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

МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ ТА ФЕРОСПЛАВІВ

Тематична добірка публікацій з актуальних
питань сталеплавильного виробництва

Випуск 3

Дніпро - 2026

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 01.07.2026 р.

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

1. Конвертерне виробництво, безперервний розлив та позапічна обробка сталі

УДК УДК 669.18

Деякі особливості розливання сортової заготовки відкритим та закритим струменем / О.М. Смірнов, В.Є. Ухін, С.В. Семірягін та ін. // Метал та литво України. – 2023. – № 2. – С. 34-41.

Проведено експериментальні серії розливання сталі для визначення впливу методу безперервного розливання на частоту формування дефектів сортової заготовки. При цьому виробництво квадратних заготовок перетином 125х125 мм здійснювалось на шестиструмковій сортовій машині безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) зі швидкостями розливання 2,8-4,3 м/хв. У процесі дослідження спочатку була розлита серія з 5 плавок сталі 60 (Ст60) відкритим струменем. Після цього, з використанням тих же гільз кристалізаторів, послідовно розливали закритим струменем 5 плавок сталі 40Х. Шляхом промислового експерименту було визначено, що в результаті безперервного розливання сталі відкритим струменем кількість ромбічності сортової заготовки становить 4,5 %. Зокрема, у випадку застосування технології розливання металу закритим струменем дефектів геометричної форми заготовок не виявлено. Використання системи «стопор-моноблок» — «стакан-дозатор» — «занурений стакан» дозволяє більш точно й вчасно регулювати витрату металу під час розливання в автоматичному режимі, не змінюючи швидкість витягування заготовки. При цьому забезпечується збереження рівня металевого розплаву в кристалізаторі, що найбільш точно враховує особливості формування скоринки заготовки по всій довжині гільзи при поточній швидкості лиття. Відсутність необхідності регулювання швидкості розливання рівнем металу в промківші дозволяє підтримувати в ньому оптимальну кількість розплаву, що стабілізує температуру розливання. Підведення струменя сталі за допомогою зануреного стакана під рівень металу в кристалізаторі запобігає бурлінню на межі розподілу фаз, а можливість істотного збільшення внутрішнього діаметра стакана-дозатора (у порівнянні з вільним витіканням) у кілька разів знижує швидкість його заростання відкладеннями корунду. Крім цього, розливання закритим струменем дозволяє застосовувати спеціальні шлакоутворюючі суміші, які забезпечують покращення якості поверхні заготовки. Додатково підвищити якість безперервнолитих зливків можливо за рахунок застосування електромагнітного перемішування рідкої сталі.

Ключові слова: безперервне розливання, дефекти безперервнолитої сортової заготовки, вторинне окиснення, відкритий струмінь, стопор-моноблок, занурений стакан, електромагнітне перемішування.……..…….…….....**С.9**

УДК 669.02/09:669.18.054.83.001.5

Степаненко Д.О. Аналітичні та експериментальні дослідження властивостей шлаків та шлакоутворюючих сумішей сталеплавильного виробництва / Д.О. Степаненко, О.М. Гришин, А.І. Белькова // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2023. – №37. – С.260-270.

Метою дослідження є аналіз та узагальнення властивостей шлаків в межах системи $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO-CaF_2$ у різному співвідношенні компонентів та їх концентрацій, яка є основою рафінувальних шлаків у сучасному сталеплавильному виробництві. Для забезпечення технологічних функцій шлаковий розплав повинен мати комплекс оптимальних значень фізико-хімічних властивостей, зокрема: в'язкість, поверхневий натяг, електропровідність, температури плавлення (початку і кінця), ентальпія , густина та інші, які в значній мірі впливають на кінетику тепло- і масобмінних процесів в системі «метал-шлак». Інформаційний ресурс досліджень забезпечений власними експериментальними даними та даними баз даних «Шлак» і «ШУС», що містять інформацію про технологічні властивості розплавів шлакових і оксидних систем. Виконано аналіз даних про залежність властивостей оксидних систем від їх хімічного складу та температури. Розглянуто оксидні системи в межах хімічного складу $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO-CaF_2$. Встановлено зв'язок хімічного складу шлакових систем з властивостями їх розплавів з позиції концепції спрямованого хімічного зв'язку за допомогою інтегральних параметрів: ρ - показник стехіометрії; Δe - середньостатистичне число електронів, що локалізується у напрямку зв'язку катіон-аніон (К-А); d - середньостатистична між'ядерна відстань К-А; tgα - зміна щільності лектронів у напрямку зв'язку К-А; ZA(A-A), ZK(K-A), ZK(K-K) - середньозважені значення зарядів катіонів і аніонів в зв'язках А-А, К-А, К-К. За результатами експериментальних та аналітичних досліджень отримано прогнозні моделі властивостей розглянутих оксидних систем, а саме для розрахунку в'язкості, електропровідності, температури кристалізації та густини шлакових розплавів в діапазоні їх температур від 1200°С до 1800°С. Представлена методика прогнозування властивостей рафінувальних шлаків може бути використана для оцінки застосування шлаків різного складу в ковші, наприклад, на установках ковш-піч.

Ключові слова: шлак, властивості, хімічний склад, температура, залежність…….. **С.17**

УДК 621.74.002: 669.001.2

Дан Л.О. Щодо одного з шляхів економії металу при відливанні сталевих зливків / Л.О. Дан, Л.О. Трофімова, П.В. Павленко // Вісник Приазовського ержавного технічного університету. – 2024. – Вип. 49, Т.1. – С. 183-192.

Дана стаття присвячена аналізу шляхів зменшення витрат металу при відливанні сталевих зливків. Наведені чинники, що стосуються необхідності використання додаткового об'єму металу в верхній частині зливку та кількісні дані стосовно витрат металу на додатки. Проаналізовано тепловий баланс додатку, що твердне, та зроблено висновки щодо необхідності утримання додатку в рідкому стані як можна довше. На підставі літературних даних вказано на два шляхи можливого поліпшення теплової роботи додатків, за рахунок чого може бути зменшений їх об'єм. Перший – максимально ефективно використовувати тепло, що містить в собі рідкий метал додатку. Другий – збільшення тепловмісту розплаву в додатку за рахунок зовнішніх джерел. Розглянуті способи внесення тепла до металу додатку:

електродуговий, індукційний, газокисневий, електрошлаковий та інші. Обґрунтовано проведення експериментів по відливанню сталевих зливків зі зменшеною додатковою частиною умовах її електродугового обігріву та описані умови проведення експериментів. На підставі експериментальних даних побудовано криві твердіння металу дослідних і контрольних зливків. Показано, що за умов електродугового обігріву навіть зменшений вдвічі додаток забезпечує більш тривалий час твердіння дослідного зливка в порівнянні з контрольним. Встановлено також, що електродуговий обігрів додатку забезпечує підвищення щільності металу головної частини і зменшення ліквації сірки всередині зливку. Зроблено висновки про те, що електродуговий обігрів металу додаткової частини зливку дозволяє зменшити її об'єм вдвічі без погіршення щільності і однорідності металу зливка. Це має позитивні технічні, економічні та екологічні наслідки.

Ключові слова: зливок, додаток, усадкова раковина, електродуговий обігрів…..**.....С.28**

УДК 621.9.1

Вплив властивостей зливків вторинного α-титану, отриманих безкамерною електрошлаковою виплавкою, на оброблюваність точінням / Д.І. Білоник, О.Є. Капустян, Г.В. Канашевич та ін. // Technology Audit and Production Reserves. – 2025. – № 1. – С.41-45.- Текст англ.

Об'єктом досліджень є здатність до оброблюваності точінням зливків вторинного α-титану, отриманих за технологією безкамерної електрошлакової виплавки (далі – вторинний α-титан) з залученням до виготовлення витратних електродів 100% відходів листової обрізі титану ВТ1-0. Одним з найбільш проблемних місць є важкість механічної обробки титану та вторинного титану. Зокрема, це налипання стружки на інструмент обробки, що обумовлене високою пластичністю титанових сплавів, а також підвищення температури на контактних поверхнях, що призводить до окислювання.

В ході дослідження використовувалися сучасні металографічні методи для вивчення макроструктури, хімічного складу та механічних властивостей α-титану, експериментальні методи підбору раціональних режимів точіння, метод графічної інтерполяції для визначення коефіцієнту оброблюваності. Оцінювання зносостійкості різців проводилося методом порівняння.

Встановлено оптимальні параметри режиму для видалення альфірованого шару, а також для отримання шорсткості поверхні 5–8 класу: швидкість різання V = 25–30 мм⁄хв; подача S = 0,5–0,9 мм⁄об; глибина різання T = 1,0–1,2 мм. Визначені режими точіння дозволяють отримувати складні різьбові профілі у відповідності до вимог ISO 724:1993. Проведеними дослідженнями доведено, що точіння зливків вторинного α-титану не потребує додаткових технологічних заходів та високо зносостійких спеціальних інструментів. При цьому, коефіцієнт оброблюваності складає 0,47–0,48. Покращена оброблюваність зливків вторинного α-титану пояснюється його високою якістю, забезпеченою крапельним перенесенням металу та послідовною кристалізацією зливків у водоохолоджувальному мідному кристалізаторі, що призводить до підвищення рівня щільності та однорідності структурного стану. Застосування безкамерної електрошлакової технології виплавки забезпечило покращення якості α-титану та розширило можливості використання даного сплаву для виготовлення деталей машинобудівної, хімічної, авіаційної галузей.

Отримання вторинного α-титану з використанням титанових відходів безкамерною технологією виплавки забезпечує зниження собівартості отримання вторинного α-титану в межах 25–30%.

Ключові слова: зливок, оброблюваність, α-титан, шорсткість, міцність, макростуктура, мікроструктура, точіння, зносостійкість, твердість……...…….....**С.38**

УДК 621.365:681.5

Картамишев Д.О. Програмна реалізація імпедансного рі-регулятора системи керування дугової сталеплавильної печі на мові go / Д. О. Картамишев // Сучасні проблеми металургії. – 2026. –Вип. 29. – С. 69-87.

Керування електродами дугової сталеплавильної печі (ДСП) залишається складною інженерною задачею через нелінійну та стохастичну природу електричної дуги. Нестабільність дуги безпосередньо впливає на питоме енергоспоживання та рівномірність проплавлення шихти, що критично для металургійних підприємств з безперервним циклом виробництва. У цій роботі розглянуто підхід до програмної реалізації імпедансного PI-регулятора системи керування електродами ДСП із застосуванням мови програмування Go. В основу алгоритму покладено дискретну форму PI-регулятора з обмеженням інтегратора (anti-windup), що дозволяє уникнути насичення при різких змінах завдання. Математична модель дуги побудована на базі рівнянь Кассі-Майра, адаптованих для дискретного часового кроку. Програмна реалізація оформлена у вигляді модульної структури мовою Go з окремими компонентами для розрахунку регулятора, циклу моделювання та збереження результатів у форматі CSV. За результатами моделювання встановлено, що система виходить на заданий імпеданс протягом 0,15-0,2 с при перерегулюванні, що не перевищує допустимих меж. Зафіксована залишкова статична похибка в межах 2-3% пояснюється прощеннями прийнятої моделі дуги та може бути усунена шляхом введення адаптивного коригування коефіцієнтів. Отримані результати підтверджують придатність Go як інструменту для реалізації алгоритмів керування у складі промислових програмних систем.

Ключові слова: дугова сталеплавильна піч, імпедансне регулювання, PI-регулятор, математичне моделювання, електрична дуга, мова Go, система керування, автоматизація……..**С.43**

2. Електрометалургія сплавів заліза

УДК 669.187

Вибір та обґрунтування підготовки шихти на основі марганцевих відходів від збагачення руд / Є.Є. Жолдасбай, Є.Б. Тажієв, А. Аргин та ін. // Engineering Journal of Satbayev University. – 2023. – Т.145, № 2. – С.13-19. – Текст англ.

У зв'язку з обмеженістю ресурсів мінеральної сировини з високим вмістом марганцю некондиційні руди та техногенні відходи можуть розглядатися як додаткове сировинне джерело. У статті представлено огляд досліджень з переробки низькоякісної сировини, що містить марганець, шляхом її збагачення з отриманням марганцевих концентратів, агломерації марганцевої дрібниці з формуванням котунів і плавки агломератів на феромарганцеві сплави. Охарактеризовано основні сировинні джерела марганцю. Марганцеві руди поділяються на три основні типи: оксидні, крем'янисті та карбонатні. Залежно від типу сировини здійснюється вибір способу його збагачення. Описані області застосування сплавів марганцю: у чорній

металургії їх використовують у вигляді феромарганцю та феросилікомарганцю при виробництві сталі та чавуну; у кольоровій металургії як легуючий метал у складі бронзи, латуні, більшості алюмінієвих та магнієвих сплавів. Розглянуто процеси збагачення низькоякісної сировини, що містить марганець – некондиційних руд і техногенних відходів. Перспективним напрямом у збагаченні залізомарганцевих руд є магнітна сепарація. Важливе екологічне та практичне значення має витяг марганцю з техногенних джерел – рудної дрібниці, шламових хвостів збагачувальних фабрик. Описані способи агломерації марганцевої дрібниці з отриманням котунів, брикетів, вплив вмісту кислотних та основних оксидів, складу сполучних матеріалів на властивості котунів. Наведено дані щодо впливу різних акторів на процес плавки марганцевих феросплавів, відновлення окатишів марганцевої руди та фазовим перетворенням, що відбуваються в ході процесу.

Ключові слова: техногенні відходи, що містять марганець, збагачення, котуни, плавка, сплави На великих збагачувальних фабриках металургійних комбінатах, заводах накопичуються великі обсяги відходів від збагачення марганцевих руд, дисперсні залізо-вуглецеві шлами. На Джездинському ГЗК накопичено мільйони тонн марганцевих відходів. Переробка дрібних та дисперсних металовмісних промислових відходів не може бути здійснена традиційною технологією. Розробка та реалізація нової технології з переробки перерахованих відходів у цінні металеві сплави є дуже актуальною проблемою. У цій роботі на підставі порівняльного аналізу до теоретичних підходів виробництва сталі та феросплавів традиційної технології та нових уявлень проведено вибір та обґрунтування підготовки шихти. Показано, що теоретичні основи адсорбційно-автокаталітичного механізму можна переглянути з точки зору організації виробництва металів з точки зору твердофазних реакцій. Наведено теоретичні основи «Дисоціаційно-адсорбційного механізму», де феноменологічне явище сфокусоване на тому, що дисоціація хімічних сполук, у тому числі й оксидів металів, властива їм так само, як їх утворення з окремих елементів незалежно від зовнішніх умов. Вплив зовнішніх факторів, наприклад енергії (підвищення температури), викликає термічну дисоціацію, яка не стільки доводить, існує чи ні дисоціація взагалі, скільки показує конкретний ступінь дисоціації сполуки для цілеспрямованого відновлення елемента або утворення нової сполуки. Показано, що дисоціація оксидів металів інтенсифікується пропорційно зменшенню розмірів частинок та підвищення температури. Встановлено, що оксидні дисперсні матеріали можуть бути металізовані твердим вуглецем за рахунок відновлення заліза в межах температури 950-1100°С.

Ключові слова: оксид заліза, оксид марганцю, гарячі відновлювальні гази, вуглець, твердофазні реакції, дисоціація оксидів, температура, шихта, дрібні відходи...……...……..……...…….…**С.62**

УДК 669.168.5

Термодинамічний моделювання процесу виплавки ванадієвого сплаву з використанням кремнеалюмінієвого відновника / Є.Н. Махамбетов, А.С. Байсанов, Н.Р. Воробкало та ін. // Праці Карагандинського технічного університету – 2023. – №4. – С.43-50.- Текст англ.

Стаття присвячена вивченню теоретичного аспекту одержання ванадієвого сплаву алюмосилікотермічним способом. Як шихтові матеріали вивчені пентаоксид ванадію і конвертерний ванадієвий шлак. У ролі відновника будуть використані кремнеалюмінієві феросплави, такі як фероалюмосилікокальцій, феросилікоалюміній та алюмосилікомарганець з кальцієм. Хімічний склад вихідних ванадієвмісних матеріалів і кремнеалюмінієвих

відновників були вивчені спектральним методом аналізу. Для аналізу у системі V-Fe-Si-Al-Ca-O алюмосилікотермічного відновлення ванадію був використаний метод повного термодинамічного моделювання металургійних процесів, реалізованого в комп'ютерній системі за допомогою програмного комплексу HSC Chemistry. Як вихідні дані для визначення параметрів термодинамічної рівноваги для реального складу шихти виплавки ванадієвої лігатури з техіометричною витратою відновника. Для аналізу співіснування фаз у багатокомпонентній системі при алюмосилікотермічному відновленні ванадію за допомогою програми Triangle побудували потрійну фазову діаграму для системи V2O5-Al-Si при різних ізотерміях. В результаті було вивчено процеси алюмосилікотермічного відновлення ванадію в процесі виплавки ванадієвого сплаву з використанням кремнеалюмінієвих відновників. Встановили оптимальний температурний інтервал виплавки ванадієвого сплаву в діапазоні 1650-1850 К. Також отримані результати термодинамічних досліджень дозволили спрогнозувати кінцевий фазовий склад сплаву у вигляді V5Si3, VSi2 та вільного кремнію Si.

Ключові слова: ванадій, феросилікоалюміній, кремнієалюмінієвий відновник, металотермія, моделювання процесу, ванадієва лігатура..……...……..**С.69**

УДК 669.187.25:669.01

Пройдак Ю.С. Технології виплавки сталі для залізничних коліс різного функціонального призначення / Ю.С. Пройдак // Сучасна електрометалургія. – 2024. – № 2. – С.13-19.

Показано, що проблема підвищення якості суцільнокатаних коліс була вирішена комплексно шляхом удосконалення діючих технологій виплавки і розливки сталі та наукового пошуку більш придатних режимів пресопрокатки заготовок, протифлокенної обробки та оптимізації параметрів термічної обробки (нагрів під гартування, прискорене охолодження та низькотемпературний відпуск). Однак цілком очевидно, що якість кінцевої продукції в цій складній технологічній схемі виробництва коліс багато в чому визначається первісно властивостями сталі, впливом низки металургійних факторів на стадії виплавки металу в печі, позапічної обробки та розливки.

Ключові слова: залізничні колеса, підвищення якості, колісна сталь, удосконалення технології виробництва, фізико-механічні властивості……..……...……...……..**С.77**

УДК 338.001.36

Аналіз технологій підвищення ефективності феросплавівного виробництва / В.І. Нежурін, С.В. Башлій, В.Л. Коваленко, В.С. Мартинцев // Металургія. – 2025. – № 2. – С.119-126.

Інтенсифікація процесу та підвищення ефективності виробництва феросплавів є надзвичайно актуальним та має важливе науково-практичне значення для розвитку металургійної промисловості, забезпечення її економічної ефективності та екологічної безпеки. Постійний аналіз науково-технічних джерел дозволяє відстежувати новітні тенденції та розробки в цій галузі, сприяючи впровадженню передових технологій на виробництві.

Огляд досліджень в цій сфері підкреслює ключову роль інтенсифікації процесів та підвищення ефективності у сучасній феросплавній промисловості. Постійний моніторинг науково-технічних досягнень є фундаментом для інновацій та сталого розвитку галузі в

умовах зростаючих вимог до якості продукції, економічності виробництва та мінімізації екологічного впливу.

Саме завдяки глибокому аналізу наукових публікацій, патентів, конференційних матеріалів та галузевих звітів стає можливим виявляти найбільш перспективні напрямки досліджень та розробок, оцінювати їхній потенціал для практичного застосування та впроваджувати передові технології на виробничих майданчиках. Це, у свою чергу, забезпечує підвищення конкурентоздатності підприємств та сприяє загальному прогресу металургійної галузі.

Ключові слова: феросплави, оперативний моніторинг, інтенсифікація процесу, енергоефективність плавки, алгоритм керування……..……...……....…….……..**С.84**

УДК 621.74

Визначення умов запобігання хімічного зносу футеровки індукційної печі в дуплекс-процесі «вагранка – індукційна піч» / Д.А. Ніколаєв, В.Ю. Селівьорстов, Ю.В. Доценко та ін. // Technology Audit and Production Reserves. – 2025. – Том 6, № 1. – С.43-47.-Текст англ.

Об’єктом дослідження є плавка чавуну в дуплекс-процесі «вагранка – індукційна піч». Необхідність дослідження такого дуплекс-процесу продиктована умовою забезпечення необхідної якості чавуну в разі, якщо використовується неякісна або неконтрольована за якістю шихта. Виконання цієї умови неможливе, якщо індукційна піч застосовується як єдиний плавильний агрегат. Але проблема полягає в тому, що у процесі індукційної плавки чавуну, зокрема на етапі перегріву та витримки розплаву, може розпочатися тігельна реакція, яка приводить до хімічного зносу футеровки. Необхідність зменшення вмісту вуглецю у розплаві, який видається з вагранки, потребує підвищення температур, що створює ризики для початку тігельної реакції.

На основі статистичних розрахунків показників ваграночної плавки встановлено, що у розплаві, який видається з вагранки в індукційну піч, середній вміст вуглецю складає C = 3,47% при середньоквадратичному відхиленні SC = 0,14%, а середній вміст кремнію складає Si = 2,05% при середньоквадратичному відхиленні SSi = 0,21%. При цьому з ймовірністю 96% вміст вуглецю складає C = (3,33–3,75)%, а вміст кремнію відповідає діапазону Si = (1,84–2,46)% з ймовірністю 98%. Встановлено, що константа рівноваги знаходиться у діапазоні (0,15–0,21) з ймовірністю 97,8% за середньої температури T = 1355°C при середньоквадратичному відхиленні температури ST = 6°C. За таких показників розплаву, який видається в індукційну піч, ризики початку тігельної реакції не виникають. Визначено, що навіть на температурних режимах, достатніх для видалення FeO, ризик початку тігельної реакції мінімальний. Задля забезпечення умов, що запобігають початку тігельної реакції, слід дотримуватись наступних рекомендацій по вмісту вуглецю та кремнію за високотемпературного режиму плавки, коли температура знаходиться у діапазоні T > 1480°C: C > 0,3% та Si < 0,3%.

Результати дослідження можуть бути використані на плавильних ділянках ливарних цехів, оснащених вагранками та індукційними печами.

Ключові слова: дуплекс-процесі «вагранка – індукційна піч», тігельна реакція, хімічний знос футеровки, неякісна шихта……...…….....**С.92**