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

МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ ТА ФЕРОСПЛАВІВ

Тематична добірка публікацій з актуальних
питань сталеплавильного виробництва

Випуск 5

Дніпро - 2024

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 01.10.2024 р.

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

1. Конвертерне виробництво, безперервний розлив та позапічна обробка сталі

УДК 669.184

Особливості визначення конструкції наконечників кисневих фурм в нестаціонарних умовах конвертерної плавки з попереднім підігрівом металобрухту / А.А. Похвалітий, Є.М. Сігарьов, К.І. Чубін та ін. // Збірник наукових праць ДДТУ. – 2021. – №2. – С.27-32.

В роботі вирішена актуальна наукова задача, яка полягає в науковому обґрунтуванні напрямків удосконалення конструкції наконечника кисневої фурми зі встановленням зв'язку між конструктивними та технологічними параметрами останнього та показниками конвертерної плавки. Метою роботи є обґрунтування конструктивних параметрів продувних пристроїв 250-т кисневих конвертерів для умов ПАТ «ДКХЗ» (колишній ПАТ «ДМК») в умовах попереднього підігрівання металобрухту в конвертері. Отримано залежність коефіцієнту нерозрахунковості для штатних і дослідних наконечників кисневих фурм. Показано, що запропоновані наконечники є більш ефективними для умов попереднього підігрівання брухту.

Ключові слова: конвертер, фурма, наконечник, брухт, підігрів, сталь, кисень, коефіцієнт нерозрахунковості……...**С.9**

УДК 621.746.393–043.61:669.14

DOI: 10.15407/steelcast2019.10.064

Удосконалення методів підготовки виливниць до розливки сталі / В.К. Тарасов, О.С. Воденнікова, С.А. Воденніков, Є.А. Манідіна // Метал та лиття України. – 2021. – №3. – С. 28-35.

Розглянуто можливість використання технології кріогенного бластінгу в умовах металургійного виробництва при очищенні виробів та обладнання. Зокрема, запропоновано використання гранул сухого льоду як сучасного методу очищення чавунних виливниць в процесі їх підготовки до розливки сталі. Для оптимізації процесу очищення поверхні виливниці від забруднень (слідів нагару, хлоридів, сплесків та іншого) треба раціонально підбирати: гранулометричний склад сухого льоду; тиск в повітряній магістралі; витрату стисненого повітря; форму та довжину сопла для подачі сухого льоду; відстань від сопла до стінки виливниці та температуру виливниці перед очищенням. На прикладі лабораторних досліджень в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь» показано, що використання кріогенного бластінгу при очищенні виливниць від забруднень дозволяє в 2–4 рази збільшити швидкість очищення в порівнянні з використанням механічного та гідравлічного способу (зокрема

металевих щіток та сталевих скребків). Також до 70 % знижуються експлуатаційні витрати завдяки високій ефективності процесу та відсутності необхідності демонтажу та розбирання обладнання, що очищується, а також прибирання миючої речовини. У роботі представлено схему руху частинок льоду при кріогенному бластінгу, яка дозволяє розкрити суть процесу накопичення відцентрової енергії частинок льоду при обертанні спеціального диску у виливниці. Розрахунковим шляхом визначено значення відцентрової сили частинок льоду залежно від зміни їх маси та радіуса диска при фіксованих параметрах швидкості обертання диска. Змінюючи масу частинок льоду у вигляді кулі в діапазоні 0,002–0,01 кг та радіуса диска, що обертається, в діапазоні 0,1–0,3 м показано, що максимальне значення відцентрової сили досягає значення 84,14 Н. Значний вплив на відцентрову силу частинок льоду має також і швидкість обертання – її збільшення з 1000 до 1600 об/хв призводить до збільшення відцентрової сили в 2,6 рази.

Ключові слова: чавунна виливниця, підготовка виливниць до розливки сталі, очищення виливниць, кріогенний бластінг, гранули сухого льоду.……...……..**С.15**

УДК 669.162.22
DOI: 10.31498/2522-9990252023286611
Черевко О.О. Розробка методу оперативного коригування щільності зрошення у секціях зони вторинного охолодження МБЛЗ / О.О.Черевко, С.В. Щербаков // Наука та виробництво. – 2023. – №25. – С.34-44.

Вирішення проблем із якістю слябів, виготовлених в умовах МБЛЗ, пов’язане з налагодженням і оптимізацією роботи системи автоматичного охолодження в секціях ЗВО та коригуванням роботи технологічного обладнання. В даний час розрахунок оптимальних витрат води на секції зон вторинного охолодження є важким завданням, що вирішується впровадженням комплексних підходів – від експериментальних досліджень та математичного моделювання до застосування сучасних методів управління з використанням мікропроцесорних засобів.

Для підвищення якості функціонування динамічної системи вторинного охолодження (ДСВО) пропонується включити до її складу засоби контролю температури поверхні зливка в ЗВО. Безпосередній контроль температури поверхні зливка дозволить підвищити точність моделі кристалізації та покращити роботу ДСВО та системи м'якого обтиснення, які відповідають за якість продукції.

Внесені пропозиції щодо доповнення ДСВО підсистемою коригування щільності зрошення в секціях ЗВО та підсистемою налаштування моделей кристалізації та вторинного охолодження зливка.

Для дослідження роботи вдосконаленої системи управління створені моделі кристалізації та охолодження зливка у ЗВО, в основі яких лежить чисельне рішення задачі нестаціонарної теплопровідності. Дослідження показали, що запропоновані нововведення дозволяють максимально наблизити дійсну температуру поверхні зливка до еталонногопрофілю, що підвищує якість одержуваної продукції.

Ключові слова. МБЛЗ, зливок, вторинне охолодження, щільність зрошення, система автоматизованого управління, експеримент, комп'ютерне моделювання.……..**С.23**

УДК 609.182

Аналіз параметрів безперервної розливки високовуглецевистих сталей / Є.В. Синегін, К.Ф. Чмирков, В.Г. Герасименко та ін. // Теорія і практика металургії. – 2022. – №6. – С.8-12.

За результатами проведеного статистичного аналізу було встановлено, що на розвиток дефектів осьова пористість і хімічна неоднорідність мають вплив хімічний склад сталі та її температура, а також параметри розливання сталі на МБЛЗ. Для зменшення ураженості безперервнолитих заготовок наведеними вище дефектами доцільно рекомендувати наступні заходи: легування сталі з отриманням вмісту марганцю якомога ближче до нижнього його межі згідно зі стандартом; вміст хрому не нижче 0,03 %, але не вище 0,1 % (відповідно до стандарту); дотримання співвідношення в сталі вмісту марганцю і кремнію [Mn]/[Si] в межах 2,8-3,0, а [Mn]/[S] – щонайменше 150; вміст у сталі азоту не більше 0,003 %, а фосфору 0,015-0,02 %; зменшення перегріву сталі;

Ключові слова: МБЛЗ, дефекти виливків, хімічний склад, перегрів сталі …….. **С.34**

УДК 669.184

DOI: 10.31319/2519-2884.43.2023.2

Голуб Т.С. Дослідження та оцінка способу активізації газового потоку для здійснення легування газоподібним нітрогеном / Голуб Т.С., Молчанов Л.С., Семикін С.І. // Збірник наукових праць ДДТУ. – 2023. – №2. – С.18-27.

Нітроген є одним з дієвих легуючих, що покращує ряд показників сталі, проте дужеобмежено розчиняється у ній, особливо при введенні більш екологічним способом у газоподібному стані прямим продуванням. У зв’язку з цим актуальним є дослідження можливості підвищення розчинення газоподібного нітрогену при продуванні. Існують різні способи активізації газу, проте задля забезпечення відносно невисоких енергетичних затрат було запропоновано дослідити варіант активізації шляхом впливу низькотемпературної плазми — електричного кистьового розряду. Дослідження проведено на фізичному стенді, який моделює ділянку фурми на виході для подачі активованого газу при використанні різних типів розрядних пристроїв закритого типу: із занурюваним не ізольованим електродом та виступаючим практично повністю ізольованим електродом. Було проаналізовано вплив тиску продувного газу та довжини дуги (відстані між електродами) на ефективність процесу іонізації потоку нітрогенвмісного газу (на прикладі повітря). Встановлено, що у разі використання розрядного пристрою із зануреним електродом сила струму, що формує активований газ, має квадратичну залежність від відстані між електродами з максимумом при відстані близько 15 мм та тиску продувного газу 0,25—0,3 МПа. При використанні розрядного пристрою із виступаючим електродом отримані значно вищі показники сили іонізованого струму при збереженні візуального розряду навіть при високих тисках продувного газу (0,6МПа). При цьому сила струму зростає при збільшені дистанції розряду — із найбільшими показниками при низьких продувних тисках. Тобто варіант розрядного пристрою із виступаючим електродом більш перспективний з точки зору активізації нітрогенвмісного газового потоку.

Ключові слова: продувка; фурма; активізація; електрод; кистьовий розряд. ……...**С.40**

2. Електрометалургія сплавів заліза

УДК 669.15-198’162.1:358.953

Воденікова О.С. Вибір складу шихти з мінімальним теплоспоживанням для виплавки малофосфористого шлаку / О. С. Воденнікова, О. Б. Матяшева, Л. В. Воденнікова // Процеси лиття. – 2021. – № 3. – С. 24-31.

Важливе значення для підвищення ефективності виробництва марганцевих сплавів, зниження матеріаломісткості продукції та економії сировинних ресурсів є застосування сучасних енерго- та ресурсозберігаючих технологій в феросплавній промисловості. Зокрема особливо актуальним у зв›язку зі зростанням вимог до екологічної безпеки виробництва та охорони навколишнього середовища виступає питання підвищення рівня використання вторинних матеріалів. У роботі запропоновано новий підхід до оптимізації складу компонентів шихти при виплавці малофосфористого шлаку за рахунок вибору шихтових матеріалів, які володіють низькою питомою теплоємністю, та розглянуто можливості повернення у виробництво вторинних металовмісних матеріалів як замінників дорогих та дефіцитних компонентів шихти. Зокрема при виплавці МФШ запропоновано застосування у шихті замість кварциту та частини коксу відходів вуглезбагачення коксохімічного виробництва та відходів виробництва вторинного алюмінію. Досліджено залежність теплофізичних властивостей (тепловміщення, питомої теплоємності та теплопровідності) компонентів шихти для виплавки МФШ в інтервалі температури 100–1100 0С на установці ДТВМ-1, в якій використано комплексний нестаціонарний метод балансу теплоти в зразку. Аналіз цих залежностей дає змогу пошуку оптимального складу шихти з мінімальною теплоємністю (з метою енергозбереження) та з максимальним коефіцієнтом теплопровідності (з метою поліпшення технологічних характеристик шихти). В лабораторних умовах проведено серію плавок МФШ з доданням у шихту відходів вуглезбагачення коксохімічного виробництва у кількості 9,2–10,3 % та відходів виробництва вторинного алюмінію у кількості 3,5–3,8 %. Металографічні дослідження зразків малофосфористого шлаку з зовнішньої частини гарнісажу (без футеровки) показали, що МФШ складається з округлих зерен манганозіту з силікатними складовими.

Ключові слова: малофосфористий шлак, марганцеві сплави, теплофізичні властивості, питома теплоємність, теплопровідність, теплоспоживання……..**С.50**

УДК 621.365.22

DOI: 10.34185/1991-7848.2021.01.13

Тімошенко С.М. Енергоефективні водоохолоджувані елементи дугових сталеплавильних печей ливарного класу / С.М. Тімошенко, Е.М. Нємцев, М.В. Губинський // Сучасні проблеми металургії. – 2024. – №21. – С.132-139. - Текст англ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Низька енергоефективність сталеплавильних електродугових печей класу ливарного класу (ДСП) головним чином обумовлена втратами тепла у масивних вогнетривких футеровках під час вимушеного простою. Трансформатор малої потужності не дозволяє в умовах класичної технології застосовувати традиційні елементи з водяним охолодженням, щоб частково замінити футеровку, що обумовлює збільшення витрат вогнетривких матеріалів. Відомі математичні моделі тепло- та масопереносу в робочому просторі ДСП не приділяють

достатньої уваги особливостям теплового стану і втратам енергії у водоохолоджуваних елементах, коли мова йде про печі ливарного класу.

Мета. Робота спрямована на підвищення енергоефективності та економії вогнетривів у ДСП ливарного класу за рахунок покращення конструкції водоохолоджуваних елементів.

Метод. Робота заснована на чисельному моделюванні теплообміну випромінюванням у робочому просторі ДСП і теплового стану водоохолоджуваних елементів просторової структури.

Результати досліджень. На основі досліджень радіаційного теплообміну було отримано рівняння множинної регресії для потужності теплових втрат з охолоджуваною водою, що враховує потужність печі, коефіцієнт форми сталеплавильної ванни (відношення діаметра до глибини), тривалість технологічного періоду нагріву й усереднюючий коефіцієнт теплового потоку через робочу поверхню водоохолоджуваного елемента. Для традиційних однорядних, дворядних і складних трирядних панелей коефіцієнт усереднення становить 0,82, 0,67 і 0,61 відповідно.

Практичне значення. Розроблено трирядні водоохолоджувані стінові панелі з просторовою структурою, що забезпечує зниження теплових втрат з охолоджуваною водою на 14% у порівнянні з дворядними і на 40% у порівнянні з традиційними однорядними панелями з щільною структурою. Отримано оцінку оптимальної відносної охолоджуваної поверхні робочого простору ДСП 3-12 т, що забезпечує економію вогнетриву до 25-30% за рахунок встановлення трирядних водоохолоджуваних панелей.

Ключові слова: електродугова піч ливарного класу, водоохолоджувані елементи, енергоефективність……**С.58**

DOI: 10.15407/scine18.04.085

Інноваційна система комп’ютерного моделювання мультифізичних процесів керованої електрострумової обробки розплаву / Ю.М. Запорожець, А.В. Іванов, Ю.П. Кондратенко та ін. // Science and Innovation – 2022. – №4. – С.85-105.

Широке застосування литих виробів з алюмінію та його сплавів потребує забезпечення якісної структури виливків, від якої залежать їхні експлуатаційні властивості. Керувати процесом формування якісної структури виливків можливо, зокрема, методом електрострумової обробки розплаву.

Проблематика. Через недоступність розплаву для прямого вимірювання параметрів процесу обробки єдиною можливістю реалізувати керування режимами обробки є їх чисельне моделювання. Але складність та взаємозалежність мультифізичних процесів електрострумової обробки розплаву обумовила нетрадиційний підхід до формулювання їхніх математичних моделей та обчислювальних процедур, що визначило особливості завдань щодо побудови відповідних комп’ютерних моделей та їх застосування.

Мета. Розробка новітньої шаблонно-модульної системи комп’ютерного моделювання мультифізичних процесів електрострумової обробки розплавів для керування режимами формування якісної структури виливків.

Матеріали та методи. Матеріалом дослідження є сукупність модельних задач мультифізичних процесів електрострумової обробки, їх онтологія, інтегральні рівняння цих процесів та їхні властивості, а також бази даних про параметри модельованих об’єктів. Використано метод онтологічної таксономії, здійснено систематизацію модельних задач і

математичних інструментів їх розв'язання, застосовано метод формалізації інтегральних рівнянь пов'язаних мультифізичних процесів.

Результати. Розроблено уніфіковані шаблони основних алгоритмічних процедур та бібліотеку програмних модулів обчислювальних операцій часткових задач, кожній з яких присвоєно унікальний код згідно з кодифікатором. Комбінування шаблонів з різними модулями, які ідентифікуються за вказаними кодами, забезпечило можливість формувати широкий спектр комп'ютерних моделей процесів обробки. Побудовано гнучку систему комп'ютерного моделювання мультифізичних процесів і підтверджено її працездатність при симуляції режимів електрострумової обробки розплавів.

Висновки. Отримані результати забезпечують можливість керування режимами електрострумової обробки розплавів для формування якісної структури литого металу.

Ключові слова: електрострумова обробка, розплав, мультифізичні процеси, таксономічний кодифікатор, математичні моделі, комп'ютерне моделювання, шаблон, модуль……...…….. **С.66**

УДК 669.184.244.66:669.184.235.083.133
DOI: 10.52150/2522-9117-2023-37-211-219

Встановлення раціональних режимів взаємодії газового струменя та електричного розряду для розробки методу легування газоподібним нітрогеном при використанні електричної активації / Т. С. Голуб, Л. С. Молчанов, С. І. Семикін, П. Г. Прокопенко // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2023. – Вип. 37. – С. 211-219.

Анотація. Сьогодення металургійної галузі, як основного виробника конструкційного матеріалу, ставить нові підвищені вимоги до експлуатаційних якостей сталей, які зумовлюють надійність та довговічність деталей та конструкцій. Способи поліпшення властивостей сталей досить різноманітні, проте важливе місце серед них займає легування, у тому числі нітрогеном, введення якого дозволяє зменшити у сплавах вміст більш вартісних елементів при збереженні необхідної міцної структури та високих корозійних характеристик сплавів, пластичності тощо. Нітроген достатньо розповсюджений хімічний елемент і як легуючий відомий давно, проте широкому використанню заважає його обмежена розчинність у залізних сплавах, особливо при високому вмісті інших компонентів. Для підвищення розчинності нітрогену використовують різні способи активізації газу. Авторами було досліджено варіант активізації шляхом створення електричного розряду на фізичному стенді. Моделюванню підлягала ділянка між фурмою, для подачі продувного газу, та пристроєм активізації газу шляхом створення електричного розряду між електродами. Встановлено, що для забезпечення електричної активізації нітрогенвмісного газового струменя можливо створювати електричний дуговий чи розгалужений іскровий розряд, різновид якого залежить від відстані між електродами. Задля забезпечення ефективної взаємодії газового потоку з електричним розрядом необхідно забезпечити тиск газу на рівні 0,8-1,2 атм, а продувний пристрій розташовувати на висоті над електричним розрядом на рівні 20-40 калібрів. Дотримання зазначених параметрів дозволить забезпечити ефективну взаємодію газового струменя з електричним розрядом у формі електричної дуги, або іскрового розгалуженного розряду.

Ключові слова: легування, газоподібний нітроген, активізація електричним розрядом, фізичне моделювання…….....**С.87**

УДК 669.187.56.001.1
DOI: 10.37434/sem2024.01.02
ЕШП титану у вакуумі / І.В. Протоковілов, Т. Бейнертс, В.Б. Порохонько, Д.А. Петров // Сучасна електрометалургія. – 2024. – №1. – С.17-22.

Наведено результати експериментальних досліджень процесу електрошлакового переплаву титану в камерній печі при різних значеннях тиску в плавильному просторі — від вакууму до надлишкового тиску. Експерименти проводили при виплавці зливків діаметром 85 і 105 мм з титанових сплавів ВТ1-0 і ВТ22 з використанням фторидно-хлоридного флюсу АНТ4. Тиск інертного газу в камері печі змінювали в межах від 20 до 300 кПа. Показано, що в усьому досліджуваному діапазоні тисків електрошлаковий процес проходив стабільно з формуванням зливків з якісною боковою поверхнею і щільною структурою, без пор, шлакових включень та інших внутрішніх дефектів. Наведено експериментальні дані щодо впливу тиску в плавильному просторі на газовий склад і структуру титанових зливків. Показана можливість зменшення вмісту водню у титанових сплавах шляхом ведення електрошлакового процесу в умовах вакууму. Встановлено, що зливок титану ВТ1-0, виплавлений в умовах вакууму, характеризується більшим розміром зерен у порівнянні зі зливком, отриманим при надлишковому тиску.

Ключові слова: електрошлаковий переплав, камерна піч, вакуум, титан, газовий склад, зливок, структуру……...……..…….……..**С.96**