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

МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ ТА ФЕРОСПЛАВІВ

Тематична добірка публікацій з актуальних
питань сталеплавильного виробництва

Випуск 1

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 01.02.2026 р.

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

1. Конвертерне виробництво, безперервний розлив та позапічна обробка сталі

УДК 669.17.046.52.517В:669.184

Самохвалов С.Є. Вплив кількості добавки на гідродинаміку металевої ванни у ківші / С. Є. Самохвалов, В. П. Піптюк, С. В.Греков // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії – 2023. – Вип. 37. – С.231-245.

Відомо що виробництво сталі передбачає застосування різних твердих матеріалів - добавок, які вводяться в рідку металеву ванну на етапах конвертування і позапічної обробки. Переважна більшість таких матеріалів подається у шматковому (кусковому) вигляді і в значній кількості. Об'єм добавки може змінюватись в межах від 0,05 до декількох десятків кілограмів на тону сталевого розплаву в залежності від технологічних умов виробництва та ін. вимог. До теперішнього часу різноманітні дослідження і розрахунки щодо ефективності використання матеріалів - добавок при виробництві сталі базувались на розгляді поведінки їх окремого куска в рідкій металевій ванні. При цьому теоретичний опис гідродинамічного стану металевої ванни не враховував впливу кількості добавки, що вводиться. В той же час саме вказаний фактор може впливати на точність розрахункових результатів і збільшувати похибку подальшої оцінки ефективності використання коштовних матеріалів, що здебільшого є імпортованими. В статті показана доцільність врахування у досконалених математичних моделях процесів плавлення (розчинення) та засвоєння металевим розплавом твердих матеріалів такого фактору, як кількість добавок, що вводяться, як одного зі значущих параметрів складних фізико-хімічних процесів. На прикладі кускового феромарганцю марки ФМп78 в якості матеріалу – добавки, який в різній (від 0,2 до 2 кг/т) кількості вводили у ванну ковша ємкістю 250 т при обробці металу на установці ківш – піч (УКП) з одночасною донною продувкою аргоном в межах 200 – 800 л/хв через кожну з двох фурм, показана залежність впливу кількості добавки на зміну гідродинаміки рідкої металевої ванни.

Ключові слова: кількість матеріалу-добавки, гідродинаміка рідкої металевої ванни……...…..**С.10**

УДК 669.184.244

Юшкевич П.О. Аналіз утворення реакційної зони взаємодії у розплаві конвертеру та систематизація рівнянь з визначення глибини її проникнення / П.О. Юшкевич // Вісник ПДТУ. – 2023. – Вип. 47. – С.181-191.

Важливим аспектом у ході експлуатації конвертерів за технологією верхньої продувки є можливість впливу високотемпературної реакційної зони взаємодії на поверхню футерівки конвертеру. За умови утворення нераціональної глибини проникнення реакційної зони взаємодії, відбувається суттєва інтенсифікація зносу футерівки днища конвертера. Подібне призводе до передчасного її виходу з ладу або може викликати явище прогару днища футерівки та сталевого кожуху конвертеру з непередбачуваним зливом розплаву. Наведене є небезпечною аварійною ситуацією для умов металургійного виробництва. Одним з шляхів уникнення такого явища є передчасна прогнозна оцінка особливостей утворення реакційної зони взаємодії та глибини її проникнення у шари об'єму розплаву металу. Співставлення її розмірів з відповідними розмірами робочого простору конвертерної ванни. На сьогодні існує багато свідчень та рівнянь, що стосуються реакційної зони взаємодії для різних способів та режимів продувки конвертерної ванни. Однак потрібне сучасне представлення основних типів геометричного утворення реакційної зони взаємодії у кисневому конвертері за умови продувки через верхню фурму, незалежно від конструкції багатосоплового наконечника та режиму продувки. Відповідно до мети та завдань роботи за особливостями геометричного формування запропоновано три основні характерні типи утворення реакційної зони взаємодії у кисневому конвертері за умови продувки через верхню фурму з багатосопловим наконечником різної конструкції та режимом продувки: роздільне утворення окремих незалежних реакційних зон взаємодії певних геометричних розмірів, кількість яких дорівнює кількості кисневих струменів, що безпосередньо діють на поверхню розплаву та проникають у глиб його шарів; згруповане утворення декількох об'єднаних незалежних реакційних зон заємодії, що утворюються за рахунок об'єднання разом двох та більше одиночних реакційних зон, створених незалежними кисневими струменями; об'єднане утворення однієї суцільної реакційної зони взаємодії за рахунок злиття зовнішніх контурів усіх одиночних реакційних зон взаємодії, що сформовані незалежними кисневими струменями у єдину об'єднану реакційну зону взаємодії. Окрім цього сформовано добірки рівнянь для визначення Lrzv – глибини проникнення реакційної зони взаємодії газових (кисневих) струменів у розплав металу, що знаходиться у робочому просторі ванни конвертеру. Розділення рівнянь на добірки виконано відповідно до типу фізичного моделювання, що було виконано для їх отримання. Перша добірка рівнянь, що були отримані на підставі обробки результатів експериментів низькотемпературного фізичного моделювання, складається з 13 рівнянь. Друга добірка рівнянь, котрі отримані за рахунок обробки результатів експериментів з високотемпературного фізичного моделювання, складається з 7 рівнянь.

Ключові слова: конвертер, верхня фурма, верхня продувка, продувка розплаву, фізичне моделювання, реакційна зона взаємодії, глибина проникнення, рівняння……..…..**С.25**

УДК 669.35.054.2

Ефект вмісту фосфору в мідних сплавах, що використовуються для кристалізаторів машин безперервного лиття заготовок / О.М. Смірнов, А.В. Нарівський, В.Є. Ухін, В.О. Туник // Метал та литво України. – 2024. – Вип.32, №2. – С.31-36.

Одним із ключових елементів, що визначає технічний рівень та експлуатаційні можливості кристалізатора машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), є комплекс фізико-механічних властивостей міді або мідних сплавів, що використовуються для його виготовлення. В роботі проведено комплексну оцінку можливості отримання висококондиційних мідних плит для кристалізаторів машини безперервного лиття заготовок на базі

вітчизняних технологій та обладнання під час використання рафінованої міді. Особливу увагу приділяли потребі оптимізації хімічного складу мідного сплаву в більш вузькому діапазоні значень хімічних елементів. Аналіз досліджень показує, що використовувані на даний момент для виготовлення кристалізаторів МБЛЗ мідні сплави мають достатньо широкий діапазон коливань основних експлуатаційних властивостей, а саме теплопровідності (260—390 Вт/(м·К)) і температури знеміцнення (250—700 °С). Проте більшості використовуваних сплавів притаманні більш вузькі межі коливань допустимих значень, що складають для теплопровідності 340—390 Вт/(м·К), а для температури знеміцнення 300—370 °С і суттєво залежать від вмісту домішок у мідному сплаві. Узагальнюючи графічні залежності, слід припустити, що раціональний вміст фосфору у сплаві знаходиться в інтервалі 40—120 ppm. При цьому теплопровідність сплаву буде в інтервалі 370—400 Вт/(м·К), температура знеміцнення становитиме 410—440 °С, а температура початку рекристалізації 370—400 °С. Крім того, такий інтервал вмісту фосфору технологічно можливо зберегти під час відливки заготовок. Також показано, що нормалізаційний відпал після холодної деформації в інтервалі температур 320—350 °С здатний підвищити теплопровідність сплаву на 1—2 %. В результаті проведених досліджень встановлено оптимальні межі вмісту фосфору в міді вогневого рафінування, що забезпечують рівень її фізико-механічних властивостей не нижче показників, характерних для сплавів, отриманих з катодної міді. Проте, крім фосфору, на властивості матеріалу, виготовленого з рафінованої міді, можуть впливати інші домішки сплаву, вміст яких відрізняється від значень, характерних для сплавів, отриманих з катодної міді. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення їх комплексного впливу на фізико-механічні властивості рафінованих сплавів.

Ключові слова: машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), мідь вогневого рафінування, матеріал для кристалізаторів, вміст фосфору, температура знеміцнення, температура початку рекристалізації, фізико-механічні властивості.…….. **С.36**

УДК 669.184.244

Зниження витрати чавуну при виробництві сталі у конвертерних цехах: сучасні підходи і рішення / О.А. Чубіна, А.А. Похвалітий, М.Р. Руденко та ін. // Збірник наукових праць ДДТУ – 2024. - тематичний випуск – С. 98-110.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні ефективних методів зниження витрати чавуну при виробництві сталі в діючих конвертерних цехах, спрямованих на оптимізацію виробничого процесу, зниження витрат на сировину та підвищення якості кінцевої продукції, з урахуванням сучасних технологічних рішень та екологічних вимог.

Ключові слова: виробництво сталі, конвертерні цехи, витрата чавуну, металобрухт, оптимізація процесу, модернізація обладнання, продування киснем, технологічні добавки, економічна ефективність.…….....**С.42**

УДК 621.74

Побудова кінетичного рівняння видалення вуглецю для керування виплавкою сталі в металургійній системі «вагранка – малий конвертер» / Д.М. Макаренко, Т.В. Селівьорстова, Ю.В. Доценко та ін. // Technology Audit and Production Reserves. – 2025. – Том 2, №1(82). – С. 19-23. – Текст англ.

Об’єктом дослідження у роботі є процес виплавки сталі в малому конвертері, який працює в парі з вагранкою.

Існуюча проблема полягає в тому, що керування процесом отримання сталі в кисневому конвертері ускладнюється через необхідність визначення в реальному часі поточного хімічного складу розплаву, зокрема вуглецю. Це пов'язане з тим, що швидкість видалення вуглецю надто велика, внаслідок чого процес видалення вуглецю швидкоплинний. Тому здійснити регулювання на основі зворотного зв'язку по неперервному вимірюванню надто складно.

Наявність зазначеної проблеми потребує рішень, що стосуються можливостей розробки чи покращення програмного керування процесом.

Показано, що на визначених ділянках процесу в межах кожної часової ділянки продувки киснем розплаву в конвертері кінетична крива має лінійний вигляд з постійним значенням коефіцієнта перед вхідною мінною. Але значення початкового коефіцієнта для кожного рівняння, яке описує процес у своїх межах, змінюється. Це дає змогу стверджувати, що в разі зміни початкової умови, кінетичні криві зсуються одна відносно одної паралельно. На основі цього побудовано систему рівнянь, що описують процес видалення вуглецю в малому кисневому конвертері, який отримує рідкий чавун з вагранки.

Показано, що для користування отриманою системою рівнянь необхідно знати початковий вміст вуглецю в розплаві, що видається з вагранки, і він залежить від способу подачі кисню у вагранку. На основі моделювання цього процесу по двох варіантах – використанням «гострого дуття» та подачею кисню в повітря, що вдувається в фурми, побудовано номограму. Вона дозволяє визначати початковий вміст вуглецю для практичного використання отриманої системи рівнянь.

Використання отриманої системи дає змогу визначати час, по завершенню якого має бути зроблена відсічка кисню. Це дозволить вирішити реалізувати програмне керування процесом продувки розплаву у конвертері.

Представлене дослідження буде корисним для машинобудівних підприємств, що мають у своїй структурі ливарні цехи, де виплавляють чавун для виготовлення виливків.

Ключові слова: ваграночна плавка, конвертер, продувка киснем, гостре дуття у вагранці, кінетичні рівняння……..…….....**С.55**

2. Електрометалургія сплавів заліза

УДК 669.187.56

Дослідження якості металу легованої алюмінієм і хромом високомарганцевої сталі після електрошлакового переплаву / В.А. Зайцев, Ю.В. Костецький, Г.О. Полішко та ін. // Сучасна металургія. – 2023. – №4. – С.17-27.

Представлено результати дослідження впливу електрошлакового переплаву на властивості металу злитків високомарганцевої сталі, легованої алюмінієм і хромом. розглянуто особливості формування структури високолегованих марганцевих сталей, які одночасно з міцністю демонструють пластичність та зменшену щільність і є складними для розливання сплавами, схильними до гарячого розтріскування, утворення грубої структури та розвитку макро- і мікроліквації. виконані дослідження, які підтверджують висновки, що для сталей даного типу необхідно ретельно контролювати умови твердіння. Отримані результати ілюструють значний вплив швидкості охолодження на утворення тріщин, сегрегацію марганцю і алюмінію та параметри дендритної структури сплаву. електрошлаковий переплав

забезпечив покращення структури і призвів до зменшення розміру неметалевих включень у досліджуваному металі без суттєвих змін вмісту Mn, Al, Cr, що є однією з умов одержання гомогенних злитків великого розміру. металографічними дослідженнями показано, що мікроструктура усіх зразків досліджуваної сталі є характерною для аустенітної сталі з дендритним ростом кристалів. Дендритна структура в металі злитка ЕШП є рівномірною, відстані між осями першого і другого порядку в середній і верхній частинах злитку становлять 136,6…146,5 і 60,54…8,92 мкм відповідно. завершення формування необхідної кінцевої мікроструктури досліджуваної сталі відбувається після подальшої термічної і термодеформаційної обробки. ЕШП литих заготовок дозволяє досягти необхідного рівня однорідності металу і визначеного рівня властивостей у кінцевому виробі з меншою кількістю етапів та тривалості термомеханічної обробки й зменшити витрати ресурсів.

Ключові слова: високоміцна легка сталь, злиток, електрошлаковий переплав, мікроструктура, ліквація, фазовий склад.……...…..……**С.60**

УДК 669.131.7:669.891

Оптимізація електротермічного отримання феросиліція з хвостів вилуговування окисленої мідної руди Алмали / О.Нурпеїсова, В. Шевка, Д. Айткулов, Л. Кушакова // Engineering Journal of Satbayev University. – 2023. – Том.145, № 1. – С. 19-24. – Текст англ.

Збільшення комплексного використання окислених та мішаних мідних руд багато в чому залежить від створення технології, що дозволяють витягти не тільки мідь, а й отримувати товарну продукцію з нерудних складових. У статті наводяться результати експериментальних досліджень електроплавки хвостів вилуговування мідної окисленої руди родовища Алмали мас. %: 70.9 SiO_2, 15.9 Al_2O_3, 2.1 MaO, 2.4 CaO, 3.6 K_2O, 2.2 Na_2O, 2.0 Fe_2O_3, 0.4 TiO_2, 0.2 BaO, 0.2 CuO з отриманням феросиліцію. Дослідження проводили з використанням одноелектродної однофазної дугової печі з регульованою потужністю, а також методу рототабельного дослідження другого порядку (план Бокса-Хантера). Визначався вплив кількості коксу та сталевої стружки на ступінь вилучення кремнію в сплав та його марку. Було встановлено, що при постійній кількості коксу звеличення в шихті сталевої стружки підвищують вилучення кремнію в феросплав і зменшує в ньому концентрацію Si. Вплив коксу на поведінку кремнію впливає меншою мірою. На підставі отриманих об'ємних та площинних зображень зміни вилучення кремнію в сплав та його складу було проведено геометричну оптимізацію процесу. Знайдено, що феросиліцій марки ФС25 із вилученням у нього 70-75% кремнію утворюється в присутності 30-31.3% коксу, 31.3-32.0% сталевої стружки. Для отримання феросиліцію марки ФС 45, з вилученням 70-76% кремнію, кількість коксу має становити 32.2-36.3%, а сталевий стружки 25.6-28.3% від маси хвостів; у присутності 24-25.2% сталевої стружки, 30.7-36.3% коксу з хвостів виплавляються феросиліції марки ФС50.

Ключові слова: окислена мідна руда, хвости вилуговування, рототабельне планування, електроплавка, оптимізація, феросиліцій.……...……..……..……..**С.71**

УДК 669.187.826.002.2

Утилізація брухту нікелю способом електронно-променевої плавки / С.В. Ахонін, В.О. Березос, О.Г. Єрохін та ін. // Сучасна металургія. – 2023. – №4. – С.5-9.

Проведено дослідно-промислові плавки низькосортного брухту нікелю з метою одержання зливків нікелю маркою не нижче нП2, які в подальшому використовуються для одержання напівфабрикатів у вигляді тепло- і холоднодеформованих безшовних труб, в тому

числі капілярних, тонкостінних та особливо тонкостінних, кругів, квадратів, шестигранників та ін. Показано, що під час електронно-променевої плавки відбулося значне видалення з брухту нікелю домішкових елементів і якість металу стала відповідати марці нікелю не нижче нП2. з метою подальшого вивчення якості одержаних зливків проведено комплексні дослідницькі роботи з виготовлення напівфабрикатів у вигляді тягнутих м'яких прутків діаметром 40 мм та проволоки діаметром 3 мм. визначено, що механічні властивості напівфабрикатів із нікелю, отриманого способом ЕПП, повністю відповідають вимогам стандартів. Показано, що ефективним способом одержання зливків нікелю з вторинної сировини є електронно-променева плавка, оскільки дозволяє забезпечити високий рівень якості одержуваного матеріалу, а якість напівфабрикатів за хімічним складом, структурою і механічними властивостями повністю відповідає вимогам стандартів.

Ключові слова: електронно-променева плавка, електронно-променева установка, нікель, плавка, зливок, брухт, рафінування…….……...…..……**С.77**

УДК 669.187.56

Можливості застосування порошкових витратних електродів для електрошлакових технологій / С.М. Попов, Д.І. Білоник, Г.М. Лаптєва та ін. // Металургія. – 2024. – Вип. 1/2. – С.5-12.

В роботі наведені приклади промислового застосування електрошлакової технології, які потребують достатньо різноманітних по хімічному складу витратних матеріалів, зокрема витратних електродів.

Розглянуті варіанти легування наплавленого металу, доведено перевагу використання порошкового витратного електроду. Запропонована конструкція порошкового витратного електроду, що складається зі сталевого коробчастого профілю (сталь 3пс, 3кп) фіксуючої стрічки (сталь 08кп), яка працює також в якості дозатора для шихти, що складається із подрібнених феросплавів.

Електрошлакові зливки діаметром 60 мм, отриманих з використанням порошкових електродів, за хімічним складом відповідають сталям 20Х13, Х12 та чавуну ЧХ16. Встановлено, що хімічний склад зливків відповідає вимогам відповідних ДСТУ. Також присутній ефект рафінування, про що свідчить вміст сірки та фосфору в зливках. При дослідженні електродних торців, з їх зовнішнього вигляду можна бачити, що на торці суцільного електроду присутнє тільки одне джерело відриву крапель, яке розташоване на вершині конуса, яка співпадає з центром торця електроду. На торці порошкового електроду формується декілька джерел краплеутворення, які розташовуються по периметру сталевого коробчастого профілю. Це забезпечує рівномірність теплового потоку та робить фронт кристалізації більш пологим.

В роботі висувається припущення, що при застосуванні в порошкових електродах феросплавів з високою температурою плавлення може виникати подрібнення стурктури (інокулюючий ефект).

Умови кристалізації оцінювали по розрахованому коефіцієнту фронту кристалізації (Кф.к.) та виміряній глибині конічної частини металевих ванн (Н). Форму металевої ванни фіксували сірчаним залізом при електрошлаковому виплавленні зливка діаметром 70 мм. Встановлено, що при електрошлаковому виплавленні суцільним електродом Кф.к. = 0,65, Н=21,1 мм, а при застосуванні порошкового електроду Кф.к. =0,87 , Н=15,5мм.

Встановлено, що при електрошлаковому наплавленні порошковим електродом формується неглибока металева ванна з пласким фронтом кристалізації.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення, витратний електрод, торець, джерела відриву краплі, металева ванна, фронт кристалізації, оболонка, шихта, феросплав, хімічний склад, шлакова ванна.……..……..……..**С.82**

УДК 669.184.6:621.373.5

Підвищення ефективності процесу виплавки феросплавів в електродугових печах шляхом вдосконалення контролю та керування технологічними режимами / А. Ніколенко, В. Нежурін, В. Куваєв та ін. // Сучасні проблеми металургії. – 2025. – №28. – С.44-70.

У статті розглянуто проблеми підвищення ефективності виплавки феросплавів в електродугових печах шляхом удосконалення контролю та управління технологічними режимами. Світові тенденції, що спостерігаються останніми роками, такі як збільшення виробництва високоякісних легованих сталей та напівпровідникової продукції, визначили стрімке зростання попиту на феросплави та кристалічний кремній. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають питання інтенсифікації технологічних процесів та оптимізації енергетичних витрат у феросплавних електропечах.

Процес виплавки феросплавів базується на карботермічному способі відновлення металів із їх оксидів, що протікає при високих температурах із поглинанням значної кількості тепла. Попри те, що механізм та кінетика основних відновлювальних реакцій добре вивчені, у промислових умовах техніко-економічні показники процесу істотно поступаються лабораторним. Ступінь вилучення цільових елементів знижується до 75–80%, а витрата електроенергії перевищує теоретично необхідну у 1,5–2 рази.

Традиційні підходи до вдосконалення процесу виплавки феросплавів шляхом покращення конструкції печей і підбору фізико-хімічних властивостей шихтових матеріалів вичерпали свій потенціал. В умовах постійного зростання цін на енергоресурси та погіршення якості сировини нагальною проблемою стає впровадження принципово нових підходів до керування технологічним процесом, орієнтованих на детальний контроль та аналіз поточного стану печі.

Автори обґрунтовують необхідність переходу від системи керування за принципом «вхід-вихід» до більш прогресивного принципу «вхід-стан-вихід», що дозволяє в режимі реального часу аналізувати параметри робочого простору печі та оперативно впливати на хід технологічного процесу. Зокрема, значна увага приділяється розвитку методів аналізу електричних, теплових та фізико-хімічних характеристик активної зони печі, що визначають хід основних процесів перетворення шихти.

У роботі розглянуто конструктивні особливості електродугових печей, описано будову робочого простору для різних типів процесів - безшлакових та шлакових. Показано, що форма розподілу енергії між зонами шихти, дуги та розплаву має суттєвий вплив на техніко-економічні показники виробництва. Вивчено особливості горіння дуги, процеси теплообміну та іонізації в газових порожнинах печей.

Стаття висвітлює основні методи дослідження процесів у печах: зондування, аналіз осцилограм струму та напруги, визначення опорів шихти та розплаву, а також новітні методи оцінки розподілу потужності по зонах печі на основі вимірювань електричних параметрів. Особливої уваги надано проблематиці підвищення точності оцінки параметрів енергетичних процесів без втручання в технологічний процес.

Автори обґрунтовують важливість оптимізації режимів електропостачання та конструктивних параметрів печей для забезпечення стабільності роботи ванни, зниження дисперсії коливань та мінімізації втрат. Наведено методи вибору оптимальних параметрів занурення електродів, управління шихтовими режимами, підбору шихтових матеріалів із урахуванням їх електрофізичних властивостей.

Стаття робить вагомий внесок у створення наукової основи для підвищення ефективності виплавки феросплавів, що має особливе значення в умовах сучасної енергетичної кризи та зростання вимог до якості продукції металургійної промисловості.

Ключові слова: виплавка феросплавів; електродугова піч; карботермічне відновлення; автоматизоване керування; техніко-економічні показники; розподіл енергії; дуговий розряд; оптимізація процесу; шихтові матеріали; енергетичні витрати; контроль стану печі..……..…….……....……..**С.90**