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

МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ ТА ФЕРОСПЛАВІВ

Тематична добірка публікацій з актуальних
питань сталеплавильного виробництва

Випуск 6

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 01.12.2024 р.

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

1. Конвертерне виробництво, безперервний розлив та позапічна обробка сталі

УДК 621.74.047

Математичне моделювання руху конвективних потоків розплаву в однострумковому проміжному ковші сучасного мікро-заводу при забезпеченні рафінуючого ефекту / О. П. Верзілов, О.М. Смірнов, С. В Семірягін та ін. // Процеси лиття. – 2021. – № 1. – С. 19-27.

Засобами математичного моделювання вирішувалося завдання моделювання руху конвективних потоків розплаву в однострумкових проміжних ковшах, що використовуються на сучасних металургійних мікро-заводах. Для порівняльної оцінки конструкцій металоприймачів з точки зору рафінуючого ефекту в розроблену модель руху конвективних потоків в проміжному ковші додано елемент, що імітує рух неметалевих включень. При цьому в якості вихідних даних задавалися, кількість, розміри і щільність неметалевих включень. Введення неметалевих включень в рідку ванну проміжного ковша здійснювалося через захисну трубу безпосередньо в порції металу, що надходили. Кількість неметалевих включень становила 120 одиниць. Основні розміри неметалевих включень: 25 мкм - 30 одиниць, 50 мкм - 30 одиниць, 100 мкм - 30 одиниць, 150 мкм - 30 одиниць. Встановлено, що максимальний рафінуючий ефект досягається при застосуванні металоприймача зі скошеними бічними стінками в бік найближчої вузької стінки проміжного ковша і який не має борту. Такі конструктивні особливості і спосіб установки забезпечують раціональну для спливання неметалевих включень траєкторію руху циркуляційних потоків. Незважаючи на це, оптимальною на погляд авторів є конструкція металоприймача зі скошеними бічними стінками в бік найближчої вузької стінки проміжного ковша, яка має борт. Вона має другий показник ефективності видалення включень на рівні 87,5 % ,однак характер руху потоків в проміжному ковші при його використанні є більш оптимальним. Це пояснюється тим, що потоки, які виходять з металоприймача частково гасяться його конструктивним виступом - бортом, що забезпечує менший вплив на футеровку найближчої вузької стінки проміжного ковша. Також при зменшенні висоти борту металоприймача до діапазону 20-30 мм вдається підвищити ефективність видалення неметалевих включень більше, ніж 90 %. При одночасному застосуванні металлоприймача і порога створюються сприятливі умови для переважного руху потоків металу в верхній частині рідкої ванни. За рахунок цього забезпечуються сприятливі умови для спливання і асиміляції неметалевих включень покривним шлаком. Встановлено, що кращим розташуванням порога є відстань, що становить приблизно 1/3 від відстані між віссю стакана-дозатора і віссю падаючого із сталерозливного ковша струменя з боку стакана-дозатора. При такому взаємному розташуванні порога і

металоприймача ефективність видалення включень з проміжного ковша становить 97,5 %. Такий показник є максимальним для всіх досліджуваних варіантів.

Ключові слова: металургійний мікро-завод, машина безперервного розливання сталі, проміжний ківш, металоприймач, гідродинамічна картина, неметалеві включення.……..……..**С.9**

УДК 621.74.047

DOI: 10.15407/scin15.04.005

Лисенко Т.В. Знос гільзи кристалізатора в процесі експлуатації на виробництві / Т.В. Лисенко, Д.С. Васильєв, О.М. Смірнов // Метал та лиття України. – 2021. – №3. – С.44-49.

У цій роботі представлено результати дослідження пошкоджуваності і зносу гільз кристалізаторів сортової машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) при литті в промислових умовах. Як правило, знос виникає в нижній частині широкої стінки в місцях, найбільш віддалених від кутів.

Кількість сталі, яку розливають через гільзу кристалізатора, неминуче накладає на нього інтенсивний тепловий і механічний вплив. І поступово геометрія її внутрішньої робочої поверхні змінюється, внаслідок чого погіршується якість безперервнолитої заготовки, і після певного числа плавок гільзу доводиться виводити з експлуатації. Причини виходу гільзи з ладу можуть бути різними і залежати від ряду факторів.

Авторами статті було випробувано кілька типів гільз кристалізаторів з різною геометрією робочої порожнини. Всі гільзи розділили на 3 групи і вивчали зміни геометричних розмірів і викривлення стінок гільз. З метою об'єктивізації використовували вимірювальну систему MCS-3000.

У підсумку все гільзи були зняті через появу дефектів, що роблять неможливим їх подальшу повноцінну експлуатацію, а значні відмінності в стійкості дозволили простежити динаміку їх пошкоджуваності і отримати дані про різні види пошкоджень.

Результати досліджень показали, що однією з причин виникнення ділянок ерозій є недостатня міцність зчеплення хромистого покриття з мідною основою. Ділянки ерозійного руйнування пов'язані з глибокими ризиками, які проходять глибоко через покриття і основний матеріал гільзи. Так само з порушеннями технології можна пов'язати появу глибоких раковин з рваними краями, близьких за формою до кола.

У свою чергу при використанні багатошарової гільзи виробництва фірми «Kobelco» з рівномірним зносом кутових областей в гільзі автори статті не спостерігали знос на гранях гільзи.

Ці гільзи експлуатувалися без видимих порушень технологічного процесу безперервного лиття і показали очікувано високу стійкість.

Таким чином, зроблено висновок, що при дотриманні технології можна значно підвищити ресурс гільз. І також, крім безпосередньо технологічного процесу, велику роль відіграє персонал, від недбалості якого також залежить термін служби гільз.

Ключові слова: сортова машина безперервного розливання сталі, кристалізатор, математичне моделювання, гільзи кристалізатора……..…….……...……..**С.18**

УДК 669.18

Рубан В.О. Аналітичні дослідження технології рафінування і легування металу на установці «ківш-піч» / В.О. Рубан, О.М. Стоянов // Теорія і практика металургії. – 2022. – №6. – С.20-25.

Актуальність: Обробка металу на установці «ківш-піч» (УКП) є одним з найважливіших етапів позапічної обробки сталі, ключовими операціями якої є десульфурація, легування, видалення і модифікування неметалевих включень, які пов'язані з затратами теплоти, що компенсується шляхом використання енергії електричної дуги і забезпечує задану температуру перед розливанням. Розвиток технологій позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч» обумовлений необхідністю підвищення якості та конкурентоспроможності металургійної продукції шляхом зниження її матеріало- і енергоємності. Позапічна обробка сталі на УКП дозволяє регулювати хімічний склад розплаву в вузькому діапазоні (мікролегування), підтримувати задану температуру сталі певного сортаменту перед розливанням на машинах безперервного лиття заготівки (МБЛЗ), що в свою чергу впливає на формування структури та властивостей кінцевого продукту. Аналітичні дослідження роботи установки «ківш-піч» спрямовані на оптимізацію процесу позапічної обробки сталі, зменшенні втрат енергії та матеріалів, підвищенні продуктивності та якості кінцевої продукції. Таким чином актуальність досліджень ковшової обробки металу, можуть сприяти розвитку нових технологій та матеріалів, що забезпечать більш ефективну виробничу діяльність.

Мета роботи: Аналітичний огляд науково-технічної літератури, вітчизняних та закордонних патентів, присвячений розвитку технологій позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч».

Наукова новизна: Встановлені основні вектори розвитку технологій і обладнання позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч», які стосуються використання графітованих порожнистих електродів. Визначено позитивний вплив використання порожнистих електродів, на роботу установки «ківш-піч» за рахунок стабільного існування розряду електричної дуги, унеможливлення процесу розриву шару шлаку та покращення умов передачі теплоти безпосередньо металевому розплаву.

Наукові та практичні результати: виходячи з огляду технологій обробки сталі на установці «ківш-піч» використання графітованих порожнистих електродів в подальшому дасть змогу визначити раціональні витрати газу, що подається каналом електрода, провести дослідження його впливу на параметри лунки піделектродної зони та теплові режими роботи агрегату.

Ключові слова: установка «ківш-піч», графітований порожнистий електрод, рафінування, легування, модифікування, електрична дуга…….…….. **С.24**

УДК 669.162.63

DOI: 10.52150/2522-9117-2023-37-175-183

Особливості зміни вмісту сірки в доменному чавуні, що поставляється для конвертерного переробу / Б. В. Двоскін, І. О. Маначин, В. Г. Кисляков та ін. // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2023. – Вип. 37. – С. 175-183.

Метою роботи є підвищення ефективності та стабільності процесу десульфурації за рахунок блокування ресульфурації чавуну у процесі здійснення технологічних операцій з підготовки доменного чавуну до конвертерного переділу в умовах меткомбінату «Азовсталь». Виконано технологічний контроль кожної з технологічних операцій на

маршруті «доменна піч – десульфурація - викачування шлаку - міксерне відділення», з відбором проб чавуну, шлаку та контролем хімічного складу для можливості встановити фактичний вміст сірки, що переходить зі шлаку до чавуну в процесі випуску чавуну з доменної печі до чавуновозних ковшів. Дослідження, які виконані на меткомбінаті «Азовсталь» у процесі випусків чавуну з доменних печей та наливу у ковші включають в себе 20 випусків або 53 ковша. Отримані під час технологічного контролю результати підтвердили раніше встановлені закономірності про те, що технологічні операції з знесірченим чавуном до зливу його в конвертери не супроводжуються ресульфурацією чавуну. Було встановлено, що вміст сірки в міксерах після зливу проконтрольованих порцій знесірченого чавуну практично без відхилень (у межах похибки експрес-аналізу) відповідало розрахунковим величинам, визначеним з урахуванням маси чавуну в міксері та вмісту сірки в ньому до переливу. Розроблено рекомендації щодо поправок по вихідному вмісту сірки для доменних печей, що підвищить стабільность результатів, які досягаються при десульфурації чавуну в відділенні десульфурації чавуну при встановленні необхідних витрат магнієвого реагенту. Отримані результати проведених досліджень показали, що для підвищення ефективності технологічних та технічних рішень, щодо боротьби із сіркою доцільно раціоналізувати ковшові шлакові режими, у тому числі за рахунок коригування складів ковшових шлаків та ретельного очищення чавуну від високосірчистого шлаку.

Ключові слова: десульфурація, чавун, ресульфурація, ківш, шлак, міксер.....**С.30**

УДК 669.162.2

DOI: 10.15407/scine20.02.038

Зміна складу шлаку і вмісту сірки в чавуні у технологічному ланцюгу доменна піч — комплекс десульфурації чавуну — конвертер / А. Шевченко, В. Кисляков, Б. Двоскін, І. Маначин // Science and Innovation – 2022. – №2. – С.38-49.- Текст англ.

Вступ. У сучасних умовах виробництва металопродукції в чорній металургії, що характеризуються необхідністю виробництва високоякісного конкурентоздатного товару, питання видалення сірки з найменшими витратами набуває все більшої актуальності. Проблематика. Значна кількість сірки при виробництві металопродукції надходить із шихтовими матеріалами в аглодоменному виробництві. При застосуванні позапічної обробки чавуну в комплексах десульфурації чавуну та скачування шлаку (КДЧ) ступінь десульфурації чавуну може складати 75—99 % і забезпечує отримання чавуну з вмістом сірки в межах 0,002—0,015 %.

Мета. Аналіз зміни вмісту сірки в чавуні та складу шлаку в технологічному ланцюгу виробництва сталі з подальшою розробкою технічних рішень та технологічних прийомів, спрямованих на виключення ресульфурації чавуну.

Матеріали й методи. Розрахунки, що засновані на фактичних даних роботи металургійних комбінатів України та Китаю. Відібрані проби шлаку та чавуну аналізували за допомогою методів растрової спектральної мікроскопії. При дослідженнях вмісту сірки на різних етапах переділів використовували методику розрахунку матеріального балансу. Результати. У шлаковій фазі поряд із системами типу $CaO \cdot SiO2 \cdot Al2O3$ з різним співвідношенням компонентів, що містять 0,2—3,5 % сірки, виявлені системи типу CaxSiyAlz, які містять до 1 % сірки; у «корольках» вміст сірки коливається не більше 0,1—0,85 % у вигляді сульфідів типу (Fe, Mn)S, переважно MnS, причому у неметалевих включеннях

«корольків» виявлено вміст сірки не більше 15—30 %. Залишок ковшового шлаку після десульфурації не повинен перевищувати 0,5—0,7 кг/т чавуну.

Висновки. Для запобігання ресульфурації чавуну під час випуску його з доменної печі доцільно раціоналізуватиковшові шлакові режими, зокрема й за рахунок коригування складів ковшових шлаків, підвищення ступеня очищення ковшів від залишків шлаку попереднього наливу, наведення шлакового покриву у разі відсутності ковшового шлаку. Проведені дослідження показали, що сірка зі шлаку в чавун не повертається і ресульфурація не відбувається, щопояснюється захисною дією залишкового магнію.

Ключові слова: позапічна десульфурація чавуну, шлак, сірка, ресульфурація…….……...…….**С.39**

2. Електрометалургія сплавів заліза

УДК 669.187.526:669.295
DOI: 10.37434/sem2024.01.02

Ахонін С.В. Математичне моделювання гідродинамічних та теплових процесів при кристалізації титанових зливків ЕПП / С.В. Ахонін, В.О. Березос , О.І. Бондар // Сучасна електрометалургія. – 2021. – №1. – С.17-22.

Показано, що явище термогравітаційної конвекції при зазначенні продуктивності процесу ЕПП є вагомим фактором, що визначає тепловий стан зливка. Для усталеного режиму процесу електронно-променевої плавки титану в прохідний циліндричній кристалізатор сформульована математична модель пов’язаних гідродинамічних і теплових процесів в металі, що кристалізується, з врахуванням явищ термогравітаційної конвекції. Визначено тепловий стан зливка та положення фронту кристалізації при неперервній подачі рідкого титану з проміжної ємності в кристалізатор в залежності від температури металу на вході та швидкості витягування зливка для ламінарного режиму гідродинамічної течії в рідкій ванні. Встановлено, що при збільшенні температури металу на вході в кристалізатор в досліджуваному діапазоні (2040…2100 К) зменшується зміщення точки максимальної глибини ванни від осі зливка. За допомогою розрахунків в рамках побудованої математичної моделі досліджено вплив швидкості подачі рідкого металу з проміжної ємності в кристалізатор на форму та глибину рідкої ванни. Встановлено, що при збільшенні швидкості витягування зливка на 30 % глибина рідкої ванни зростає у 1,5 рази, а точка максимальної глибини рідкої ванни наближається до осі зливка

Ключові слова: математичне моделювання; електронно-променеве плавлення; гідродинамічні та теплові процеси; зливок; титан; неперервне лиття……..……..**С.51**

УДК 669.1
DOI: 10.31319/2519-2884.41.2022.12

Качан Ю.Г. Визначення інтервалів щодо можливих значень параметрів шихти при одержанні феросплавів / Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко // Збірник наукових праць ДДТУ. – 2022. – №2. – С.107-114.

У даній статті проведений літературний аналіз можливих значень електричних, теплових і фізичних параметрів шихти при одержані феросплавів, що залежать від температури. Визначені конкретні інтервали коливання значень питомого електричного опору, теплопровідності та теплоємності в різних діапазонах температур для шихти, що

використовується у феросплавному виробництві. Встановлені межі коливання насипної щільності шихти в залежності від її компонентного складу.

Ключові слова: шихта; феросплави; питомий електричний опір; теплоємність; теплопровідність; щільність шихти; інтервали коливання……...……...**С.59**

УДК 621.311
DOI: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-31-37
Міщенко В.Ю. Дослідження можливості підвищення енергоефективності руднотермічної печі шляхом вибору доцільного діаметру розпаду електродів / В.Ю. Міщенко // Вісник Криворізького національного університету. – 2023. – Вип. 57. – С. 31-37.

Метою досліджень є з’ясувати доцільність зміни діаметру розпаду електродів заданого типу руднотермічної печі та складу використовуваної шихти задля підвищення енергоефективності її роботи.

Методи дослідження. Проаналізовані існуючі підходи щодо вирішення цього питання з відомих наукових джерел. Для подальшого вирішення поставлених задач використано математичне моделювання та розрахункові експерименти.

Наукова новизна. Виявлено, що попередні дослідження робились на реальних печах малої потужності і не враховували всі можливі обмежувальні фактори. До недоліків таких натуральних експериментів можна віднести наступне: - не врахована критично допустима межа близькості електродів до футерування ванни; - не розглянуто й компонентно-кількісний склад шихти, який теж впливає на енергетичні показники РТП. Запропоновано на комплексній моделі роботи круглої трьохелектродної руднотермічної печі, провести вище зазначені експерименти та з’ясувати динаміку зростання температури в різних окремих її зонах. На основі цих розрахункових досліджень щодо зміни діаметру розпаду електродів задля знаходження допустимої граничної межі їх розведення виявити можливість більш рівномірного прогріву шихти для різного її компонентно-кількісного складу.

Практична значимість. Отримані результати показали, що збільшення діаметру розпаду електродів суттєво підвищує енергоефективність печі, однак існують обмеження пов’язані з належною експлуатацією футерування печі при надто близькому розташуванні до них. Слід також зазначити, що представлена в роботі методика та використаний інструментарій дозволяють проводити подальші подібні дослідження для будь-яких печей такого типу та різного компонентно-кількісного складу шихти і, зменшуючи дискретність діаметру розпаду електродів, точніше визначити бажану його величину.

Результати. У кожному конкретному випадку необхідно визначати допустиму межу розведення електродів. Для існуючих в Україні печей необхідно мати конструктивний механізм щодо можливості такого розведення. Встановлено, що компонентно-кількісний склад шихти, хоч і не в значній мірі, також впливає на обсяги споживання піччю електричної енергії. Крім того за рахунок доцільного розведення електродів в печі, спостерігається ще і скорочення часу плавки, а це підвищує продуктивність обладнання та ефективність використання футеровки і електродів.

Ключові слова: руднотермічна піч, діаметр розпаду електродів, енергоефективність, електрична енергія, комплексна математична модель, компонентно-кількісний склад шихти…….**С.67**

УДК 669:621
DOI: 10.34185/1991-7848.2023.01.07
Міщенко В.Ю. Ідентифікація параметрів комплексної моделі руднотермічної печі та її адекватність / В.Ю. Міщенко // Сучасні проблеми металургії. – 2023. – №26. – С.71-83.

При створенні та апробації комплексної моделі руднотермічної печі важливим її елементом є вхідні параметри. Налаштовується модель за фізичними параметрами шихти, такими як: - питомий електричний опір; - масова теплоємність; - питома щільність; - коефіцієнт теплопровідності. Значення їх мають свої межі коливання в залежності від температури. Враховуючи вище сказане, отримати останні для кожної конкретної плавки дуже важко. Тому пропонується здійснити їх пошук шляхом розв'язання розрахункової оптимізаційної задачі за результатами здійснених плавок. Якщо в якості критерію її адекватності прийняти значення відносної середньоквадратичної похибки прогнозу вихідної величини, то для здійснення обчислювальної ідентифікації буде достатньо мати статистичну сукупність значень вихідних величин даного процесу, отриману на реальному об'єкті. Використання обчислювальної ідентифікації забезпечує ще одну істотну перевагу – можливість встановити структурну неадекватність моделі. Ідентифікація параметрів комплексної моделі руднотермічної печі шляхом розв'язання оптимізаційної задачі щодо величини її середньоквадратичної похибки прогнозу при всіляко можливих у допустимих межах значеннях цих параметрів дозволяє одночасно визначитися й з структурною та параметричною адекватністю самої моделі.

Ключові слова: руднотермічна піч, параметри шихти, феросплави, алгоритмічна модель, оптимізаційна задача……...…….**С.74**

УДК 669.185.5
DOI: 10.52209/1609-1825_2024_1_44
Металургійна оцінка концентрату марганцевої руди Жаксилик для виплавки феросилікомарганцю / Е.Н. Махамбетов, Е.А. Мыңжасар, А.М. Обдірашит та ін. // Збірник праць Карагандинського технічного університету. – 2024. – №1. – С.44-49. – Текст англ.

Анотація. Метою цієї роботи є металургійна оцінка марганцевої руди родовища Жаксилик для виплавки феросилікомарганцю. Для цього було вивчено фазовий склад концентрату за допомогою рентгенофазового аналізу на рентгенівському дифрактометрі Empyrean Malvern Panalytical, де були виявлені фази брауніту ($MnO{\cdot}3Mn_2O_3{\cdot}SiO_2$) і кварцу (α-SiO2). Визначено гранулометричний склад концентрату шляхом ситового аналізу, по крупностях 25-10, 10-8, 8-5, 5-3 та 3-0 мм, з наступним зважуванням отриманих класів крупності та обчисленням їх виходу у відсотках від загальної маси проби. Згідно з хімічним аналізом, середній склад марганцевого концентрату наступний, %: $Mn_{заг}$ - 36,93; $Fe_{общ}$ - 6,21; MgO - 0,72; SiO_2 - 38,33; CaO - 26,17; Al_2O_3 - 4,05; $P_{заг}$ - 0,042. У високотемпературній лабораторній печі Таммана була проведена серія плавок тигельних феросилікомарганця з використанням марганцевого концентрату родовища Жаксилик, отриманий феросилікомарганець за хімічним складом відповідає ГОСТ 4756-91.

Ключові слова: марганцевий концентрат, феросплав, феросилікомарганець, карботермія, фазовий склад, гранулометричний склад, руда……...…….**С.87**