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 - 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 01.05.2024 р.

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

1. Конвертерне виробництво, безперервний розлив та позапічна обробка сталі

УДК 669.18.046.58
DOI: 10.15407/scin15.04.005

Фізичне моделювання поведінки розплаву і формування застійних зон в однострумковому проміжному ковші при розливанні в умовах металургійного мікрозаводу / О.М. Смірнов, О.П. Верзілов, А.В. Кравченко та ін. // Метал та лиття України. – 2021. – №1. – С. 20-25.

Дослідження, які представлені у роботі, спрямовані на вибір оптимальної геометричної форми металоприймача, який повинен задовольняти умовам роботи в однострумковому проміжному ковші при безперервному чи напівбезперервному розливанні сортової чи блюмової заготовки на малих металургійних мікрзаводах. В основу експериментів по встановленню гідродинамічної картини витікання металу в проміжному ковші, виконаних на фізичній холодній моделі, були покладені наступні варіанти: без металоприймача (№ 1), несиметричний металоприймач з низьким бортом, розгорнутий в бік стакана-дозатора (№ 2), несиметричний металоприймач з низьким бортом, розгорнутий в бік найближчої вузької стінки (№ 3), несиметричний металоприймач без борта, розгорнутий також у бік вузької стінки (№ 4). Найкращі результати продемонстрували металоприймачі, які були розгорнуті в бік найближчої вузької стінки. Але слід зазначити, що потребує додаткових досліджень вплив конвективних та циркуляційних потоків на футерування у цій зоні. Також було здійснено спробу встановити час перетікання локального об'єму рідини з потенційно мертвої зони, яка перебувала в крайній правій 1/4 обсягу проміжного ковша, в зону лівої 1/4 обсягу ковша, в якій знаходиться стакан-дозатор. Для цього в зону правої 1/4 для всіх досліджуваних варіантів подавались кольорові чорнила і визначався час, за який перші підфарбовані потоки досягнуть лівої вузької стінки проміжного ковша. В результаті час перетікання рідини в проміжному ковші без металоприймача склав 40 секунд, а при аналогічних експериментах при використанні металоприймача “turbostop” конструкції № 2 – 50 секунд; № 3 – 45 секунд; № 4 – 30 секунд. Зроблено висновок про те, що наявність застійної зони між металоприймачем і правою вузькою стінкою проміжного ковша збільшує час перетікання металу в зону стакана-дозатора в середньому на 35–60 %.

Ключові слова: розливання сталі, проміжний ківш, металоприймач, рух потоків, теплоізолююча суміш, неметалеві включення…….……...……...…….**С.8**

УДК 669.184
DOI: 10.31319/2519-2884.38.2021.4

Сігарьов Є.М. Дослідження впливу конструкції наконечника фурми на показники конвертерної плавки з попереднім підігрівом металобрухту / Є.М. Сігарьов, Ю.С. Лобанов, А.А. Похвалітий // Збірник наукових праць ДДТУ. – 2021. – №1. – С.33-39.

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 розробка науково-обґрунтованих рекомендацій щодо методики розрахунку конструкції наконечника, раціональних дуттьових режимів попереднього підігріву металобрухту, продувки ванни та встановлення їх впливу на окисненість конвертерної ванни й шлаку та динаміку руйнування футерівки конвертера. Отримано залежності параметрів реакційної зони взаємодії кисневих струменів з конвертерною ванною при зміні кутів нахилу сопел та висоти розташування наконечника.

Ключові слова: конвертер; фурма; наконечник; брухт; підігрів; сталь; кисень……...**С.14**

УДК 669.162

DOI: 10.34185/1991-7848.2022.01.11

Молчанов Л.С. Термодинамічний аналіз технологічної операції паралельного видалення сірки та кремнію з чавуну / Л.С. Молчанов, М.В. Пушкаренко, В.Г. Кисляков // Сучасні проблеми металургії. – 2022. – №25. – С.126-135.

Анотація. В сучасних умовах існування підприємств металургійної галузі дуже гостро постає проблема дефіциту якісних шихтових матеріалів, що спричиняє необхідність розвитку інноваційних процесів позапічної обробки металургійних розплавів, а саме комплексне видалення сірки та кремнію одночасно. Метою даного дослідження є визначення раціональної технічної схеми здійснення процесу паралельної десульфурації та дисиліконізації чавуну в промислових умовах. Виходячи з різної фізико-хімічної природи процесів десульфурації та десиліконізації за умови їх одночасного протікання в межах однієї металургійної системи (один чавунозаливний ківш) їх необхідно максимально розмежувати у просторі. З метою встановлення пріоритетності протікання певних хімічних перетворень було використано методи термодинамічного аналізу. У якості показника, що визначає черговість протікання певних хімічних перетворень було обрано константу рівноваги. Шляхом термодинамічного аналізу встановлено, що окислення кремнію можливо при вдуванні газоподібного кисню. При цьом у якості відновників при десульфурації вапном раціонально використовувати марганець, оскільки він не впливає на процеси відновлення окисленого кремнію. Введення марганцю у розплав необхідно організовувати паралельно з проведенням операції десиліконізації, щоб уникнути перевитрати марганцю при окисленні домішок чавуну газоподібним киснем.

Ключові слова: термодинамічний аналіз, комплексне рафінування, рідкий чавун, паралельні хімічні перетворення, десиліконізація, десульфурація, вапно, відновник……**С.21**

УДК 669.18

Синегін Є.В. Аналітичні дослідження і характеристика методів рафінування сталі у промковші МБЛЗ / Є.В. Синегін, С.В. Суховецький // Теорія і практика металургії. – 2022. – №4. – С.25-29.

Постійно зростаючі вимоги до якості металопродукції та її собівартості спонукають до сталого розвитку технологій рафінування сталі, зокрема й від неметалевих включень, присутність яких в сталі суттєво знижує механічні властивості сталевої продукції. Наразі рафінування сталі від неметалевих включень здійснюється починаючи з позапічної обробки сталі у сталерозливному ковші і закінчується на етапі розливання сталі. Найбільш ефективними методами рафінування сталі, що зумовило їх широке використання в промисловості, є продувка інертним газом, електромагнітне перемішування, модифікування та ін. Найбільш ефективним з погляду рафінування сталі є обробка на фінішних етапах виробництва, зокрема при розливанні сталі на МБЛЗ у проміжному ковші. З огляду на широке різноманіття технологій і методів рафінування сталі, зокрема й на етапі безперервного розливання сталі, виникає потреба в їх систематизації і класифікації, що дозволить краще оцінювати і порівнювати їх ефективність. Систематизовані і класифіковані методи рафінування сталі при безперервному розливанні сталі. На прикладі світового досвіду, ґрунтуючись на огляді останніх закордонних публікацій, розглянуто конкретне застосування і ефективність кожного типу методів. Запропонована класифікація методів дозволить краще оцінювати їх ефективність та раціонально обирати доцільні методи та їх комбінації для кожного окремого виробництва, зокрема із урахуванням марки сталі. Також, виходячи з оцінки ефективності розглянутих методів, можна визначити додаткові резерви щодо їх вдосконалення.

Ключові слова: МБЛЗ, модифікування, електромагнітне перемішування, рафінування, неметалеві включення …….. **С.31**

УДК 621.74 : 669.18 : 537.84
DOI: 10.15407/plit2023.02.003

Перемішування металевих розплавів як засіб підвищення ефективності функціонування агрегату «ківш-піч». Повідомлення 2. новий метод електромагнітного перемішування металевого розплаву в агрегаті «ківш-піч» / О.М. Смірнов, В.В. Осипенко, С.В. Семірягін та ін. // Процеси лиття. – 2023. – № 2. – С. 3-15.

Вивчено особливості зносу вогнетривкої футеровки агрегату «ківш-піч», який працює в умовах металургійного мінізаводу, при інтенсивному перемішуванні рідкого металу газовими середовищами та електромагнітним полем. Установлено, що найбільш стресовими ділянками, стійкість яких визначає тривалість міжремонтної експлуатації ковша, є зона шлакового пояса, днище, а також бічна стінка, поблизу якої розташовується електромагнітний перемішувач. Розроблено рекомендації з відновлення робочого шару футеровки, сформульовано вимоги щодо раціоналізації режимів перемішування розплаву. Теоретично досліджено вплив електромагнітного перемішування на перебіг процесів тепломасопереносу в рідкометалевій ванні металургійних агрегатів, зокрема на гомогенізацію сплаву в режимі вільної турбулентності при введенні добавок.Запропоновано для впровадження в металургійних технологіях виплавки та доведення сплавів новий електромагнітний перемішувач конструкції ФТІМС НАН України, в основу дії якого покладено вплив на розплав пульсуючого магнітного поля, силові лінії якого частоти 50 Гц, характер дії створюваного поля забезпечують простоту його виготовлення та експлуатації і таким чином надають йому суттєві техніко-економічні й технологічні переваги порівняно з відомими перемішувачами біжучого магнітного поля при тих же параметрах електромагнітних систем. Спільні дослідження фахівців ФТІМС НАН України та ІЕД НАН України з використанням математичного моделювання і натурних

досліджень на алюмінієвому розплаві показали можливість реалізації широкого спектру режимів перемішування як за інтенсивністю, так і за характером руху рідкометалевого середовища. Таким чином, застосування створеного електромагнітного перемішувача в агрегаті «ківш-піч» дозволить суттєво розширити можливості доведення рідких сплавів за хімічним складом і температурою, особливо в умовах малих металургійних виробництв.

Ключові слова: агрегат «ківш-піч», металевий розплав, електромагнітне перемішування, вогнетривка футеровка, пульсуюче та біжуче магнітне поле……...……**С.36**

2. Електрометалургія сплавів заліза

УДК 669.046.516

DOI: 10.26661/2071-3789-2021-2-04

Нетяга А.В. Особливості кристалізації металевої ванни під час електрошлакового наплавлення в струмопідводному кристалізаторі / А.В. Нетяга, Ю.М. Кусков // Металургія. – 2021. – №2. – С. 30-34.

Відмічено можливість одержання дрібнозернистого наплавленого металу під час електрошлакового наплавлення в струмопідводному кристалізаторі. Виконано аналіз впливу електромагнітної дії на кристалізацію рідкого металу в споріднених технологіях зварювання, наплавлення та переплавки, а також безперервного розливання сталі. Встановлена відсутність єдиної думки про механізм кристалізації металу в таких умовах. На підставі вивчення істотних гіпотез запропоновано механізм підвищення дискретності металу, наплавленого в струмопідводному кристалізаторі таким, що об’єднує як тепло-фізичний компонент кристалізації, так і магнітну субстанцію, як самостійний елемент дії.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення, струмопідводний кристалізатор, металева ванна, кристалізація рідкого металу, електромагнітна дія……..……...……**С.49**

УДК 669.162.22

DOI: 10.31498/2522-9990242021250125

Кравченко В. П. Динамічна модель теплофізичних процесів в установці ківш-піч та її програмна реалізація / В.П. Кравченко, О.А. Орлов // Наука та виробництво. – 2021. – Вип. 24. – С. 146-152.

Позапічної обробки є невід'ємною частиною виробництва якісної сталі. Вона дозволяє виробнику бути конкурентоспроможним на світовому ринку сталі. Вивчення способів підвищення ефективності і якості позапічної обробки є актуальною задачею на сьогоднішній день в умовах жорсткої економії енергоресурсів і конкуренції на світовому ринку сталі. Одним з основних агрегатів позапічної обробки сталі є установка ківш-піч (УКП), в якій здійснюється доведення рідкої сталі до заданого хімічного складу і температури. Установка ківш-піч споживає велику кількість електроенергії на електродугової нагрів металу з метою доведення сталі у ківші до заданої температури. Економія даного ресурсу в сукупності зі зменшенням витрат часу на «зайвий» нагрів металу дозволить зменшити собівартість продукції підприємства. У даній роботі запропоновано і реалізовано динамічна модель теплофізичних процесів в сучасній установці ківш-піч. Вона заснована на тепловому балансі енергії, яка витрачається на нагрів металу електричною дугою і втратами енергії в ході технологічного процесу. Кількість тепла $\Delta_{,}$розп,(τ), яка вноситься в розплав металу за

певний проміжок часу Δτ, визначається різницею між кількістю тепла, яка виділяється електричною дугою ,дуг(Δτ) і існуючими втратами тепла ківшом з розплавом за цей же період. Основними складовими втрат тепла є – втрати через поверхню розплаву в ківші ,пов(Δτ), втрати через корпус ківшу,корп(Δτ) і втрати на нагрів добавок ,доб, які подаються в ківш. Модель програмно реалізована у вигляді підсистеми «Електричний підігрів розплаву» в системі керування агрегатом «ківш-піч». Запропонована підсистема дозволяє визначити необхідну кількість електроенергії на нагрів металу до заданої температури, розрахувати час нагріву і, таким чином, усунути втрати часу на «перегрів» металу.

Ключові слова: установка ківш-піч, позапічна обробка сталі, електродуговий нагрів сталі, тепловий баланс, динамічна математична модель……..……..…**С.54**

УДК 621.793.18.06.002.2
DOI: 10.37434/sem2022.01.05

Технологія виплавки зливків цирконієвого сплаву способом вакуумно-дугового переплаву з витратним електродом / О.Є. Капустян, І.А. Овчинникова, В.А. Ждан, Ю.М. Савонов // Сучасна електрометалургія. – 2022. – №1. – С.40-46.

Наведено результати дослідження можливості отримання зливків цирконієвого сплаву системи Zr–Nb–Ti з використанням способу вакуумно-дугового переплаву з витратним електродом. В якості витратних електродів використані зливки діаметром 50 мм, отримані способом переплаву з невитратним електродом у гарнісажній печі. Відпрацьовано технологію отримання цирконієвого сплаву заданого складу способом вакуумно-дугового переплаву в мідний кристалізатор електрода, що витрачається. Вирішено комплекс технологічних і матеріалознавчих задач, проведено дослідження технологічних факторів, методів і процесів металургії, пов’язаних з вибором устаткування та оснащення для плавлення, розроблено технологічний процес отримання зливків із заданим гомогенним хімічним складом для подальшої деформаційної обробки та отримання вихідної заготовки. Виплавлено зливок діаметром 120 мм у вакуумно-дуговій печі. Визначено технологічні параметри виплавки при дуговому переплаві з витратним електродом у вакуумній дуговій печі. Дослідження металу зливка методом ультразвукової дефектоскопії дослідного сплаву системи Zr–Nb–Ti показало відсутність внутрішніх дефектів структури — несуцільностей, усадочних раковин, пористості, великих неметалевих включень.

Ключові слова: вакуумно-дуговий переплав, піч, електрод, дуга, вакуум, цирконієвий сплав, зливок, технологія, якість……..**С.61**

УДК 669.15
DOI: /10.51301/ejsu.2022.i4.03

Жунусов А.К. Аналіз впливу електротехнічних характеристик струмопідведення на техніко-економічні показники виплавки феросилікохрому / А.К. Жунусов, В.І. Кулініч, А.К. Жунусова // Engineering Journal of Satbayev University. – 2022. – №4. – С.20-24 – Текст рос.

У цій статті наводяться результати дослідження впливу електротехнічних характеристик струмопідведення на техніко-економічні показники виплавки феросилікохрому. Розглянуто параметри роботи печі №43 Аксуського заводу феросплавів у зв'язку із зміною характеристик струмопідведення під час модернізації ЕПУ. За результатами проведених експериментів визначено, що потужність, склади металу та шлаку виробництва

феросилікохрому залишаються постійними, практично при постійному питомому електроопорі твердій шихти та питомого електроопору шлаку незалежно від положення електродів та електротехнічних параметрів струмопідведення. Під час проведення розрахунків комп'ютерно-розрахункових програм використовували одинадцять режимів роботи печі У цій роботі розглядається найбільш наближений для виробничих умов режим 10. По 10 режиму електротехнічні параметри струмопідведення піддалися модернізації. За умовами експериментальних обчислень, потужність, склади металу та шлаку виробництва феросилікохрому залишаються незмінними. Модернізація короткої мережі та збільшення заглиблення електродів у шихту призвели до зниження спротиву до 0.945-0.958 мОм і вторинної напруги до 155 В, зниження вмісту SiC в шлаку до 15.1 і зниження ульоту SiO2 до 67.0-68.6 кг/т. Заглиблення електродів з їхньою зниженою посадкою підвищило продуктивність печі до 79.8 т, а питома витрата електроенергії знизилась на 870 кВт/год*т.

Ключові слова: активний опір, коротка мережа, трансформатор, феросилікохром.……..**С.68**

УДК 621.762.4.5.8
DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287043

Визначення закономірностей структури та властивостей трубної сталі 13ХФА, що виплавляється на різних шихтах в електродуговій печі / А. Маммадов, А. Бабаєв, Н. Ісмаїлов та ін. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – Том 5, № 12. – С. 23-31 – Текст англ.

Розглянута задача підвищення ефективності трубної сталі 13ХФА для нафтогазових свердловин за рахунок селективного відбору шихти для їх виплавки в електродуговій печі. Вивчено 4 партії з різною хімічною неоднорідністю. Встановлено, що розплав 1 з більш чистої шихти 1 містить меншу кількість шкідливих домішок у вигляді поверхнево-активних речовин (ПАР), що впливають на ріст зерна при нагріванні зразків під загартування. Таким чином, розплави 1 і 2, що містять у шихті меншу кількість ПАР, мають більшу тенденцію до росту аустенітного зерна і меншу прогартовуваність у порівнянні з розплавами 3 і 4, шихта яких відносно сильно забруднена ПАР. Це пов'язано з низькою відносно вільною енергією розплавів 3 і 4. Дослідження показало, що при відносно низькій температурі відпуску (300 °С) відбувається незначна зміна механічних властивостей зразків (Rm, KC та ін.). Водневе насичення сталей значно знижує міцність сталей з усіх розплавів, проте збільшення часу відпуску призводить до збільшення тривалої міцності. При цьому максимальна ударна в'язкість (KC) всіх розплавів спостерігається після нормалізації, але зразки з розплаву 1 мають більш високий IC. При витримці зразків (570 °С) приграничні шари зерна сталі збагачувалися P, Sb, Sn, As, що призводить до крихкості та ослаблення міжзеренного зчеплення та зниження енергії меж. В процесі випробувань при температурі –80 °С на зламах зразків після крихкого відпуску видно тріщини по межах зерен. Підвищуючи чистоту металевих відходів для виплавки трубної сталі, можна поліпшити комплекс її властивостей, а отже, і довговічність вироблених з неї безшовних труб для нафтогазової промисловості.

Ключові слова: відбір металевих відходів, трубна сталь, термообробка, відпускна крихкість, холодостійкість, нафтогазова промисловість……..……..**С.73**