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

МЕТАЛУРГІЯ РУДИ ТА ЧАВУНУ

Тематична добірка публікацій з актуальних
питань аглодоменного виробництва

Випуск 1

Дніпро - 2024

Дана тематична добірка містить копії першоджерел, присвячених вирішенню актуальних теоретичних та практичних проблем, а також вдосконаленню технологій аглодоменного виробництва і підготовки сировинної бази.

Складено за фондом ЦДНТБ ГМК України станом на 01.01.2024 р.

Бібліографічний анотований список до тематичної добірки «Металургія руди та чавуну»

1. Збагачення залізних руд

УДК 622.7: 534

DOI: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-10-15

Вимірювання параметрів процесу магнітної сепарації на основі методів ультразвукового контролю / В.С. Моркун, Н.В. Моркун, В.В. Тронь та ін.. // Вісник Криворізького національного університету. – 2021. – Вип. 52. – С. 10-15

Метою дослідження є розроблення методу комплексного ультразвукового вимірювання параметрів потоку залізорудної пульпи (продуктивності, концентрації твердої фази, вмісту контрольного класу крупності часток твердої фази), який проходить через робочу камеру магнітного сепаратора. У роботі використані наступні методи: аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду; методи аналітичного конструювання та комп'ютерного моделювання; методи чисельного моделювання для синтезу та аналізу математичної моделі; методи математичної статистики і теорії ймовірності для обробки результатів експериментів. Наукова новизна полягає в удосконаленні методу комплексного ультразвукового вимірювання характеристик потоку залізорудної пульпи, який проходить через робочу камеру магнітного сепаратора. Запропонований метод дозволяє оцінити продуктивність, концентрацію часток твердої фази і вміст контрольного класу крупності часток твердої фази. Практичне значення полягає в тому, що використання запропонованого підходу дозволяє отримати додаткову інформацію про параметри потоку залізорудної пульпи, який проходить через робочу камеру магнітного сепаратора.

Ключові слова: магнітна сепарація, ультразвукові вимірювання, залізорудна пульпа, математична модель……..**С.9**

УДК 621.926.5:539.215:531.36

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263097

Дейнека К.Ю. Виявлення механізму втрати стійкості двофракційної зернистої течії в обертовому барабані / К.Ю. Дейнека, Ю.В. Науменко // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – Том 4, № 1. – С. 34-46 – Текст англ.

З’ясовано якісний характер та встановлено кількісні параметри прояву нестійкості руху двофракційного зернистого заповнення обертового барабана. Виявлено фактори нестійкості руху і визначальні параметри коливальної системи та оцінено їх вплив на самозбудження автоколивань пульсаційного типу. Встановлено два неперервних та один періодичний усталений режими руху заповнення. Виявлено встановлення періодичних автоколивань внаслідок розвитку нестійкості при переході неперервного циркуляційного режиму руху у режим пристінкового шару. Прийнято дилатансію заповнення та демпфуючу дію частинок дрібної фракції на імпульсну взаємодію частинок крупної фракції як фактори нестійкості руху.

Виявилось, що головним визначальним параметром коливальної системи є величина швидкості обертання барабана, яка зумовлює зміну дилатансії. Посилення нестійкості реалізується у зниженні біфуркаційних значень швидкості обертання та дилатансії. Натомість іншими визначальними параметрами є вміст дрібної фракції в заповненні κff та ступінь наповнення камери κlf, зростання яких посилює автоколивальну нестійкість. Особливостями коливальної системи є релаксаційний тип, розривний характер автоколивань та жорсткий режим самозбудження при виникненні бістабільності. Розривний характер та коливальний гістерезис посилюються зі зниженням κff та κlf. Встановлено граничні значення динамічних параметрів руху, що відповідають умовам самозбудження автоколивань за відсутності та при наявності дрібної фракції: 0.96–1.11 та 0.218–0.382 для біфуркаційного значення відносної швидкості обертання, 0.745–0.855 та 0.24–0.322 для біфуркаційного значення дилатансії. Встановлені ефекти дозволяють обґрунтувати параметри автоколивного процесу переробки полізернистих матеріалів в машинах барабанного типу

Ключові слова: обертовий барабан, двофракційне зернисте заповнення, стійкість руху, автоколивання, біфуркаційна швидкість, дилатансія……..……**С.15**

УДК 622.2: 622.7

DOI: 10.31498/2225-6733.46.2023.288168

Дослідження технологічних властивостей проби ефіопської залізної руди Аравійсько-Нубійського щита. Мікроскопічний аналіз проб руди +40,0+5,0мм / В.В. Кривенко, Є.В. Чупринов, Т.А. Олійник та ін.. // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2023. – Вип. 46. – С. 78-87

Уточнений мінеральний склад різновидів із матеріалу класів крупності 10-20 мм і 20-40 мм досліджуваної проби руди. Підготовлені прозорі та поліровані шліфи вищеназваних гранулометричних. Проведене мікроскопічне вивчення за допомогою мікроскопу прохідного та відбиваючого світла «Carl Zeiss Jena NU-2 Microscope». Виявлено, що основними рудними мінералами дослідженої руди є дисперсний гематит та гідрогематит, а їх кількість складає близько 54,0 % від загального обсягу. Показано, що другорядними рудними мінералами у досліджуваній сировині є гетит та гідрогетит. Виявлено, що основним нерудним мінералом в досліджуваній сировині є кварц, вміст котрого становить у середньому 30 %. Показана наявність другорядного нерудного мінералу, який має глинисті властивості та представлений каолінітом.

Ключові слова: залізна руда, аравійсько-нубійський щит, мікроскопічний аналіз, мінералогія, вміст заліза……...……..**С.28**

2. Окускування залізних руд

УДК 622.788.34

DOI: 10.26661/2071-3789-2021-1-01

Закономірності формування шару шихти з полідисперсних гранул на агломераційній стрічці / М. Пазюк, А. Мніх, І. Овчиннікова, Ю. Куріс // Металургія. – 2021. – №1. – С. 4-11- Текст англ.

Рух окомкованої шихти при завантаженні на аглострічку супроводжується не лише зміною її гранулометричного складу, а й процесами сегрегації, тобто перерозподілом частинок сипкого матеріалу різних розмірів. Результатом цього процесу є утворення локальних неоднорідностей з переважним вмістом частинок певних фракцій. Традиційний метод аналізу

роботи завантажувального пристрою на основі фракційної класифікації не дозволяє виявити та проаналізувати неоднорідності, що виникають в більшій частині сипкого матеріалу. Це призводить до похибок при розрахунку дій системи автоматизованого керування процесом спікання та ігнорування можливості використання процесу сегрегації частинок сипучого матеріалу для оптимізації технологічного процесу. Використання балансового методу дозволяє уточнити і поглибити розуміння механізму процесів, що відбуваються при русі окомкованої шихти відносно завантажувального пристрою, а також сформувати теоретичні передумови для вибору раціональних режимів роботи сегрегації шихти на агломераційній стрічці. Встановлено, що при монотонному збільшенні кута нахилу завантажувального пристрою явища сегрегації шихти посилюються, а після досягнення певного критичного значення – знижуються, тобто мають екстремальний характер. Зазначені особливості формування шару з полідисперсного сипкого матеріалу в умовах непостійності механічних властивостей його окремих фракцій можливо врахувати при складанні балансів гранулометричного складу шихти, яка завантажується та розміщується на агломераційній стрічці, за умови прийняття рівними середніх діаметрів частинок компонентів суміші. На основі аналізу встановлених закономірностей формування структури шару сипкого матеріалу, встановлено, що теоретично доцільним є метод аутентифікації гранулометричного складу шихти на кожному її горизонті з урахуванням сегрегації під час завантаження.

Ключові слова: агломераційна стрічка, формування шару шихти, метод моделювання, аутентифікація гранулометричного складу шихти……..……..**С.38**

УДК 004.451.25: [622.788:621.867]
DOI: 10.31721/2306-5435-2022-1-110-134-139
Дослідження процесу керування термічним обробленням залізорудних котунів за допомогою нейронної мережі / В.Й. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, А.М. Тиханська // Гірничий вісник. – 2022. – Вип. 110. – С. 134-139

Метою цієї роботи є підвищення якості термічного оброблення залізорудних котунів та ефективності роботи виробництва за рахунок розробки нових більш точних способів управління регламентними параметрами технологічних зон, враховуючи вплив на них сусідніх зон. В роботі використані методи знаходження оптимальних рішень на основі математичного моделювання, методи системного аналізу, теорії оптимальних рішень, а також методи досліджень розроблені в теорії автоматичного керування; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики, аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень. Наукова новизна полягає в запропонуванні нових більш точних способиів керування термічним обробленням залізорудних котунів за допомогою нейронної мережі. На основі аналізу існуючих способів управління процесом термічної обробки залізорудних котунів на машині конвеєрного типу обґрунтовано необхідність розробки нових більш точних способів управління регламентними параметрами технологічних зон, враховуючи вплив на них сусідніх зон. Досліджено можливість підтримки регламентних параметрів технологічних зон з використанням технологій штучних нейронних мереж. При цьому керування відбувається за рахунок визначеної у роботі структури штучної нейронної мережі для технологічної зони, яка враховує взаємозв'язок з сусідніми зонами, фізико-хімічні властивості котунів і швидкість переміщення візків конвеєрної стрічки протягом технологічної зони. Практична значимість: виконано комп'ютерне моделювання технологічної першої зони сушіння котунів, яка взаємопов'язана з другою зоною сушіння і зоною охолодження, що дозволило створити модель системи,

яка забезпечила стабілізацію температури верхнього шару котунів у першій зоні сушіння на базі нейромережевої адаптації параметрів температури теплоносія газоповітряного потоку; запропоновано принципи побудови автоматизованої системи та алгоритми керування термічним обробленням залізорудних котунів за допомогою нейронної мережі, що відрізняються тим, що пропонуються нові більш точні способи управління регламентними параметрами технологічних зон, з врахуванням впливу на них сусідніх зон.

Керування термічним обробленням залізорудних котунів за допомогою нейронної мережі дозволяє враховувати збурюючі впливи зумовлені регламентними параметрами технологічних зон та підтримувати показники якості управління в заданих межах.

Ключові слова: залізорудні котуни, машина конвеєрного типу, технологічна зона, процес сушіння, нейронна мережа……...…….**С.46**

DOI: 10.31643/2024/6445.07

Дослідження ізотермічної кінетики відновлення агломерату з прокатної окалини / А.К. Жунусов, П.О. Биков, А.Е. Кенжебекова та ін.. // Комплексное использование минерального сырья – 2023. – Том 328, №1. – С. 59-67 – Текст англ.

Дослідження ізотермічної кінетики відновлення агломерату із прокатної окалини проводили у Хіміко-металургійному інституті ім. Абішова (м. Караганди, Казахстан). Вплив температури та часу нагріву на ступінь відновлення заліза та інших елементів досліджували у печі Таммана термогравіметричним методом. Кількість відновника в дослідах приймали виходячи зі стехіометрично необхідної кількості вуглецю для повного відновлення оксидів заліза більш ніж на 60 %, а також на навуглецювання одержаного металу до 2,0 % С. Для отримання кінетичних характеристик відновлення досліджуваних матеріалів залежно від температури та тривалості процесу проведена обробка отриманого масиву даних спеціально для цих випадків розробленим моделям. Наведено результати обробки експериментальних даних з моделі Гістлінга – Броунштейна. Як загальна оцінка дана модель з досить високою корелюваністю (*R* не менше 0,9) описує вивчений процес, що підтверджує його дифузійний характер. Аналізуючи розрахункові дані енергії активації можна припустити дифузійний характер гальмування реакції відновлення всіх досліджуваних матеріалів. Розмір енергії активації процесу показує, що найбільш високу выдновлюваныст має агломерат з доломітом. (офлюсований агломерат). При фронтальному відновленні оксидів заліза та інших елементів вуглецем навколо зерен матеріалів утворюється шлакова оболонка, що складається переважно з кислих оксидів порожньої породи, неметалевих включень легковагого брухту і золи відновника і має високу в'язкість. Товщина її залежить від складу матеріалу, температури, часу та ступеня відновлення.

Ключові слова: Прокатна окалина, окалина, відновлюваність, кінетика, дифузійний бар'єр, енергія активації……...……..**С.52**

3. Доменний процес

УДК 669.162.283

DOI: 10.15407/scin15.04.005

Кузнецов М.С. Взаємозв’язок критеріїв теплового стану горна з газодинамікою процесу і характеристиками продуктів доменної плавки / М.С. Кузнецов, Г.Ю. Крячко // Метал та лиття України. – 2021. – №2. – С. 30-35

В статті проаналізовано придатність відомих режимних критеріїв роботи стану горна на газодинаміку процесу і характеристики продуктів плавки. Досліджено роботу двох доменних печей об’ємом 1500 і 1386 м3 у різних періодах з 2015 по 2020 р. Зважаючи на залежності ступеня відновлення кремнію і газодинамічних процесів від тиску в робочому просторі печі, вибір досліджуваних періодів проводили за умови коливання тиску на колошнику в межах, що не перевищують 5 кПа. Підтверджено, що співвідношення теоретичної температури горіння і температури чавуну на випуску, а також різниця цих температур можуть бути використані в якості показників теплового стану горна, як такі, що, по-перше, мають відношення безпосередньо до низу доменної печі і, по-друге, мають достатньо тісний зв’язок з похідними процесу, а саме газодинамікою і властивостями продуктів плавки. Встановлено, що використання відношення Тт/тч має перевагу, оскільки має більш тісний зв’язок з параметрами доменного процесу, ніж різниця вказаних вище температур. Наведено дані, які свідчать про перевагу критерію Тт/тч у порівнянні з теоретичною температурою горіння для оперативного контролю теплового стану горна. Встановлено, що залежно від стану печі, сировинних та експлуатаційних умов, діапазону зміни Тт/тч , збільшення величини останнього співвідношення може по-різному впливати на нижній перепад тисків. Показано, що зі збільшенням величини критерію Тт/тч температура чавуну зменшується. Пояснено, яким чином дуттьовий режим, оцінюваний теоретичною температурою горіння, може впливати на формування кінцевого шлаку і чавуну на випуску, а саме через конкуруючий розвиток ендотермічних реакцій прямого відновлення і десульфурації чавуну. На противагу залежностям температури чавуну від зміни критерію Тт/тч не виявлено значущий зв’язок між Тт/тч і вмістом кремнію в чавуні. Отримані дані в черговий раз свідчать про недостатню надійність [Si] в якості критерію теплового стану горна.

Ключові слова: критерій, тепловий стан, горн, доменна піч, теоретична температура, газодинаміка, характеристика, продукти плавки……..……..**С.61**

УДК 669.162.2:669.788

DOI: 10.52150/2522-9117-2021-35-34-54

Бабаченко О.І. Низьковуглецеві технології у доменному виробництві / О.І. Бабаченко, О.С. Нестеров, Л.І. Гармаш // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2021. – Вип. 35. – С. 34-54

Метою роботи є проведення аналізу використання технологій декарбонізації доменної плавки. В рамках активної «зеленої» кампанії за зниження енергоємності та зменшення шкідливих викидів останніми роками дедалі активніше ведуться роботи у напрямку декарбонізації металургійних процесів. Металургію майбутнього все частіше називають водневою. У статті представлено аналіз основних перспективних напрямів переходу світової чорної металурги до безвідходних та екологічно чистих технологій, вуглецевої нейтральності та максимального скорочення викидів парникових газів. Проаналізовано переваги та проблеми «зеленого» виробництва сталі. Наведено огляд пілотних проектів щодо переходу на безвуглецеве виробництво сталі на найбільших світових металургійних комбінатах за рахунок використання водню замість викопного палива. Проаналізовано переваги та проблеми використання «сірого», «зеленого» та «блакитного» «вуглецево-нейтрального» водню. В історичному контексті показано як поглиблювалися та уточнювалися уявлення про роль водню як відновника у доменному процесі відповідно до змін у технології доменної плавки та внесок вчених ІЧМ у ці дослідження. Наведено основні напрямки сучасних розробок у галузі декарбонізації металургійних процесів. В

даний час найперспективнішими вважаються 2 напрямки отримання «зеленої сталі» - закачування водню в доменну піч і процес прямого відновлення заліза з використанням водню замість викопного палива. Дослідження щодо визначення фізико-хімічних закономірностей процесів відновлення у доменній печі за участю водню продовжуються в ІЧМ і в даний час. Наведено результати лабораторних досліджень впливу відновлювального газу зі змінним вмістом водню на характер відновлення агломерату та окатишів у «сухій» зоні доменної печі.

Ключові слова: декарбонізація металургії, низьковуглецеві технології, доменна піч, «зелений» водень, відновлювальні процеси, доменний газ, колошниковий газ, коксовий газ……..**С.67**

УДК 669.162

DOI: 10.31319/2519-2884.40.2022.1

Кузнецов М.С. Макроструктура зламу проб шлаку при виплавці чавуну з вдуванням пиловугільного палива / М.С. Кузнецов, Є.М. Сігарьов, Г.Ю. Крячко // Збірник наукових праць ДДТУ. – 2022. – №1. – С. 7-15

Досліджено макроструктуру зламу проб доменного шлаку при виплавці переробного чавуну з вдуванням пиловугільного палива на трьох доменних печах об'ємом 1500 і 1386 $м^3$ (2 агрегати). Діапазон зміни основності досліджених проб шлаку (CaO/SiO_2) становив 0,98—1,30; відповідні пробам температури чавуну і вміст в ньому кремнію коливались в межах 1324—1510 °С і 0,13—1,17 %. Для ідентифікації проб шлаку стану доменної печі в конкретних умовах експлуатації проби за основністю розділили на п'ять груп від кислих (B_1<1,0) до високоосновних (B_1>1,25). Чавуни за фізичним нагрівом розділили на три групи: холодні (<1400 °С); прогріті (1400—1480 °С); гарячі (>1480 °С). За хімічним нагрівом поділ здійснили також на три групи: холодні (<0,5 % Si); прогріті (0,5—0,8); гарячі (>0,8). Загальним для колишнього шлакового режиму і нового, обумовленого використанням коксу і ПВП з обмеженою кількістю сірки, є однаковий вигляд поверхні зламу кислих і низькоосновних шлаків — при нормальному нагріві злам склоподібний, блискучий, темного кольору. При похолоданні скловидність і блиск зламу таких шлаків зникає — відкол стає каменеподібним сірим або чорним з деякою відмінністю в утворенні макропор у масиві проби. Загальним для проб шлаку з B_1>1,1 є зменшення склоподібної аморфної частини зі збільшенням модулю основності. Відмінністю для таких шлаків у порівнянні з відомими для плавки в інших сировинних умовах є відсутність чіткого розмежування прошарків у зламі проб, особливо помітне для половинчастих шлаків. Встановлено, що на макроструктуру проб шлаку крім основності В1 і нагріву печі впливає величина глиноземно-магнезіального модулю; цю обставину слід враховувати при оперативному контролі ходу доменної печі за зовнішніми проявами. Встановлено також, що відхилення основності у бік кислих або високоосновних шлаків супроводжувалося поглинанням частинок вугільного пилу шлаковим розплавом. Розглянуто представницькі властивості проб щодо текучості і десульфуруючої здатності відповідних шлаків.

Ключові слова: макроструктура, злам проби, доменний шлак, властивості, виплавка чавуну, нагрів, основність, пиловугільне паливо……..….**С.88**

DOI: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-799

Ма К. Оптимізаційний аналіз механічних характеристик мідного плитового холодильника з трубами спеціальної форми в заплечиках доменної печі / К. Ма, К.Вен // ISIJ International. – 2021. – Vol.61, №1. – С. 55-61- Текст англ.

На основі теорії передачі тепла створено параметричну модель теплопередачі мідного холодильника з трубами спеціальної форми (еліптичними, прямокутними, подвійними круглими, трьома круглими і ортогексагональними) в заплечиках доменної печі. Також на основі аналізу характеристик теплопередачі холодильника підібрано оптимальну форму охолоджувальних труб. Проаналізовано модель теплопередачі гарячого кінця холодильника, вбудованого у ділянку вогнетривкої футеровки, не покриту шлаком, з використанням методу термоструктурного зв'язку на початковій стадії вдування при нормальному робочому стані. За допомогою методу поверхні відгуку отримано картину взаємного впливу різних параметрів на механічні властивості мідного холодильника. Цей метод поєднано з алгоритмом NSGA-II для оптимізації параметрів структури і технології підвищення довговічності кладки заплечиків. Оптимізована конструкція холодильника покращує характеристики теплопередачі та механічні властивості, що є свідченням придатності моделі і параметризованої розрахункової програми для використання з метою оптимізованого проектування і оцінки ефективності заходів по підвищенню строків експлуатації футеровки заплечиків.

Ключові слова: заплечики доменної печі; труби спеціальної форми; мідні плитові холодильники; метод поверхні відгуку; генетичний алгоритм……..….**С.97**