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

МЕТАЛУРГІЯ РУДИ ТА ЧАВУНУ

Тематична добірка публікацій з актуальних
питань аглодоменного виробництва

Випуск 2

Дніпро - 2025

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 01.04.2025 р.

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

1. Збагачення залізних руд

УДК 622.7:534
DOI: 10.31721/2306-5451-2022-1-54-3-8

Попереднє оброблення пульпи ультразвуком для очищення рудних зерен та дезінтеграції флокулоутворень на основі ефектів кавітації / В. С. Моркун., Н. В. Моркун, В. В. Тронь та ін. // Вісник Криворізького національного університету. – 2022. – Вип. 54. – С.3-7.

Метою дослідження є підвищення ефективності флотаційного доведення магнетитових концентратів шляхом дезінтеграції рудних флокулоутворень та очищення поверхні часток.

Методи дослідження. При дослідженні процесу флокулоутворення та дефлокуляції враховано залежність величини магнітної сприйнятливості часток рудної сировини від тривалості намагнічування. Результати експериментальних досліджень використання пристрою розмагнічування часток залізорудної пульпи, одержані із застосуванням ультразвукового гранулометра «Пульсар».

Наукова новизна. На підставі дослідження закономірностей протікання кавітаційних процесів одержано залежності, які дозволяють визначити оптимальну частоту високоенергетичного ультразвуку для підтримання кавітаційних процесів у залізорудній пульпі у залежності від параметрів її складових.

Практичне значення. На основі результатів моделювання встановлено, що для підвищення якості очищення часток руди перед флотацією доцільно здійснювати просторовий вплив на залізорудну пульпу, який включає комбінацію високоенергетичного ультразвуку з частотою 20 кГц в кавітаційному режимі, модульованого високочастотними імпульсами з частотою від 1 до 5 МГц та імпульсного магнітного поля спадної напруженості.

Результати. Запропоновано застосовувати нелінійні ефекти поля високоенергетичного ультразвуку та дослідити особливості формування кавітаційних режимів у залізорудній пульпі для дезінтеграції рудних флокулоутворень та очищення поверхні часток рудної сировини. На основі узагальненої моделі динаміки руху повітряних бульбашок, представленої у вигляді рівняння Релея-Плессета, розраховано параметри ультразвукового впливу для формування і підтримання у залізорудній пульпі кавітаційних процесів і акустичних течій. Для моделювання процесу поширення ультразвукового сигналу в рідкому середовищі в умовах зміни швидкості поширення звуку та зміни щільності використовують метод k-space першого й другого порядку, заснований на системі лінійних рівнянь першого порядку. Розрахунок потужності високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє підтримувати кавітаційні режими у залізорудній пульпі, здійснювався на основі результатів дослідження поширення фронту ультразвукового імпульсу за допомогою комп’ютерного моделювання.

Ключові слова: ультразвук, кавітація, залізорудна пульпа, дезінтеграція, флокулоутворення….....……..…….**С.10**

УДК 622.235:622.271

DOI: 10.31721/2306-5435-2022-1-110-22-27

Експериментальні дослідження застосування нових матеріалів та варіювання параметрів БПР в кар‘єрі «Південний» ТОВ «Рудомайн» / Г.І. Єременко, Д.А. Тітов, С.М. Генкуленко та ін. // Гірничий вісник. – 2022. – Вип. 110. – С. 22-06.

Основною метою дослідження є формулювання змісту й алгоритму реалізації експериментальних досліджень для визначення можливості та шляхів максимально можливого зниження шкідливих впливів на довкілля масових технологічних вибухів у кар’єрах в межах населених пунктів шляхом створення доступних для підприємств спеціальних пилепридушуючих сумішей та технології їх застосування.

Методами дослідження є факторний та компаративний аналіз результатів апаратної реєстрації даних щодо впливу розробленої авторами даної статті суміші на виділення мінерального пилу в процесі руйнування породного масиву вибухом на відкритих розробках.

Наукова новизна дослідження полягає в установленні закономірності впливу нового пилопридушуючого розчину на виділення мінерального пилу в атмосферу при руйнуванні скельних гірських порід вибухом.

Практичне значення. Подальший розвиток і виробниче застосування результатів досліджень забезпечить значне зниження викидів пилу за рахунок підвищення ефективності буро-вибухових робіт у залізорудному кар'єрі.

Результати. В експерименті загалом було використано 13 т розчину «DUSTRONTMEX17» для розробки методу формування гідро-забивки свердловин. На 1 свердловину витрачалося 400 л реагенту (250 л - у зовнішню гідрозабивку і 150 л - у внутрішню). Питомі витрати розчину реагенту - 0,619 м3/м3; вартість витрат розчину на 1 м3 гірничої маси складає 0,619 грн. Випробування розчину реагенту «DUSTRON™EX17» для формування гідро-забивок довели свою технологічність та екологічну ефективність. Використання реагенту «DUSTRONTMEX17» знижує виділення пилу на 27%, а висоту пило-газової хмари - на 20-30 м. За результатам виконаних досліджень рекомендовано конструкції свердловинних зарядів з гідро-забивкою.

Ключові слова: гірська порода, вибухове руйнування, вибух, свердловинні заряди, гідро-забивка свердловин…….....……...……**С.15**

УДК 622.268.6:622:838:331.45

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.284386

Визначення деформаційних властивостей подрібненої породи в умовах компресійного стискання / Д.А. Чепіга, С.А. Пахомов, В.В. Гнатюк та ін. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – Том 4, № 1. – С. 85-95. – Текст англ.

Об’єктом дослідження є процеси формування закладних матеріалів із подрібненої породи під навантаженням для управлінням станом бічних порід у вуглепородному масиві з підготовчими виробками. Деформаційні властивості подрібненої породи в лабораторних умовах оцінювались на основі дослідження компресійного стискання закладного матеріалу. Зафіксовано, що між зміною насипної щільності подрібненої породи різного гранулометричного складу і питомої потенціальної енергії деформації, існує квадратична функціональна залежність. Експериментально встановлено, що питома потенціальна енергія

деформації досягає граничних значень за максимального стиснення подрібненої породи, коли закладний матеріал складається з частин різних розмірів.

Для експериментальних зразків при різній потужності породного шару h_0 (м), між їх поздовжньою деформацією D_h(м) і зовнішнім навантаженням F(кН) існувала лінійна залежність, яка визначала поведінку тіла, що деформується, на критичних рівнях. В таких умовах при відносній зміні об'єму закладного матеріалу dV=0,36, тобто при однаковій відносній деформації при будь-яких значеннях параметра h_0(м) і коефіцієнті ущільнення подрібненої породи kcon=1,57, забезпечувалась максимальна жорсткість породних опор.

При обмежені величини зовнішнього статичного навантаження на експериментальні зразки, в процесі їх деформації при зменшенні параметра h_0 в 2 рази до їх стискання, коефіцієнт ущільнення подрібненої породи збільшувався від k_{con}=1,33 до k_{con}=1,57. При цьому питома потенціальна енергія деформації зростала на 40 %, що дозволило забезпечувати максимальну жорсткість закладного матеріалу при мінімальному значені поздовжньої деформації D_h(м) експериментальних зразків

Ключові слова: подрібнена порода, закладний матеріал, компресійне стискання, потенціальна енергія, несуча здатність……..…….……..……**С.20**

УДК 546.161 + 661.482
DOI: 10.15588/1607-6885-2024-1-6

Лабораторні дослідження процесу розкриття ільменітового концентрату за енергоефективною технологією із застосуванням фториду амонію / В.Г. Шевченко, Є.В. Баженов, С.М. Попов, Н.В. Шалева // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні – 2024. – №1. – С. 41-46.

Мета роботи. Полягає в дослідженні основних технологічних можливостей інноваційного напряму отримання з ільменітового концентрату матеріалів, що містять титан, шляхом гідрофторування.

Методи дослідження. Лабораторні дослідження процесу розкриття концентрату ільменіту шляхом гідрофторування в водному розчині при різних концентраціях і температурних режимах, поділ отриманих продуктів шляхом вилуговування і фільтрації, визначення складу продуктів методами хімічного аналізу.

Отримані результати. У дослідженнях використовувався сировинний компонент – концентрат ільменіту Малишевського родовища (Вольногорський ГМК, Україна). Як реагент використано твердофазний фторвмісний комплексоутворювач – фторид амонію (NH4F). Як робочий варіант організації процесу обрана схема розтину ільменітового концентрату в розчині при температурах від 170 °С до 200 °С. Побічні продукти реакції у вигляді парогазової суміші (ПГС), що не містить фтор-компоненти, евакуювали з реактора. Фтор залишається у продуктах проведеної реакції. У реакторі утворюється водяна суспензія розчинних комплексних солей титану і кремнію, фториду амонію, що не прореагував, та комплексних солей заліза, що не розчиняються. Утворена суспензія використовується у подальших операціях поділу компонентів. Дослідження, що проведені при температурах не вище 200 °С, показали ефективність процесу розкриття ільменітового концентрату з отриманням фторметалатів амонію, що поділяються у наступних гідрометалургійних операціях.

Наукова новизна. Встановлено залежності параметрів процесу від співвідношення реагентів, вплив заповнення реактора і температури процесу на характер протікання та швидкість реакції, на повноту вилучення титану.

Практична цінність. Отримані показники чистоти продуктів реакції підтверджують перспективи дослідженої технології для оптимізації ряду виробничих схем отримання матеріалів, що містять титан, і ефективного використання попутних оксидів – кремнію і заліза.

Ключові слова: концентрат, ільменіт, титан, гідрофторування, фтортитанат амонію, фтороферрат амонію, діоксид титану, оксид заліза, оксид кремнію…….**С.31**

2. Окускування

УДК 622.788.5

Спікання залізорудних обкотишів із підвищеним вмістом твердого палива Досвід виробництва / А.А. Ванюков, Д.А. Ковальов, Л.В. Камкіна, А.С. Комар // Теорія та практика металургії – 2022. – №2. – С. 23-31.

В роботі розглянуто питання підвищення продуктивності доменних печей. Одним із способів, поряд зі збільшенням кількості дуття і зменшенням витрати коксу, є використання високоякісної металізованої шихти. Тому обгрунтування можливості широкого використання твердого палива, як джерела теплової енергії, так і відновника оксидів заліза, у виробництві залізорудних обкотишів є актуальним. Завдання дослідження при виробництві обкотишів: підвищення міцності офлюсованих обкотишів, що вміщують тверде паливо фракції 0,08—0,8 мм, покращення їх ступеня металізації та можливість перенесення частини процесу відновлення з доменної печі на стадію спікання гібридних згрудкованих шихтових матеріалів.

Ключові слова: обкотиші, тверде паливо, огрудкування, витарта природного газу, металізація, обпалювальна машина, підвищення продуктивності……...…….**С.37**

УДК 669.18

DOI: 10.15407/steelcast2022.01.008

Дослідження шляхів інтенсифікації агломераційного процесу в умовах акціонерного товариства «Покровський гірничо-збагачувальний комбінат» / С.П. Шуваєв, С.В. Семірягін, К.Г. Нізяєв та ін. // Метал та лиття України. – 2022. – №1. – С. 8-15.

Використання в агломераційній шихті великої частки дрібнодисперсного концентрату і відходів металургійного виробництва, коливання складу агломераційної шихти та якості її підготовки, відхилення від норми технологічних параметрів спікання та низька ефективність механічної обробки спеченого продукту, знижує продуктивність агломераційних машин, призводить до підвищення витрати палива, погіршує якість агломерату. За таких умов зростає значення попередньої підготовки шихти та необхідне застосування способів інтенсифікації процесу спікання. Наразі відома значна кількість способів інтенсифікації агломераційного процесу, ефективність кожного залежить від конкретних умов агломераційної фабрики, встановленого обладнання і сировинних матеріалів, які застосовуються.

В роботі було досліджено ефективність різних способів підвищення інтенсивності агломераційного процесу і якості агломерату для умов акціонерного товариства «Покровський гірничо-збагачувальний комбінат» з визначенням раціональних технологічних заходів, спрямованих на покращення роботи підприємства. Дослідження проводилися на лабораторній агломераційній установці з використанням шихтових матеріалів та технологічних умов Богданівської агломераційної фабрики.

За результатами досліджень встановлено, що крупність шихтових матеріалів, які застосовуються на агломераційній фабриці, перевищує максимально допустимий розмір. Це знижує техніко-економічні показники процесу спікання та не дозволяє отримувати агломерат високої якості. Для покращення показників роботи агломераційних машин в досліджуваних умовах рекомендується використовувати попередню підготовку шихтових матеріалів перед використанням, а саме – дроблення для отримання раціональної крупності часток. Крім того, використання вапна, як часткова заміна вапняку у флюсовій суміші, дозволить підвищити якість агломерату.

Ключові слова: агломерація, інтенсифікація, підготовка шихти, якість агломерату, продуктивність, вапно.……...……...……..……..**С.46**

УДК 669.531.433
DOI: 10.31643/2025/6445.18

Ібраєв І.К. Безвипалювальний спосіб переробки високовологих залізовмісних шламів металургійного виробництва / І.К. Ібраев, О.Т. Ібраева І.В. Айткенов // Комплексное использование минерального сырья. – 2025. – Том 333, №2. – С. 59-70 – Текст англ.

Метою даного дослідження було вивчити можливість виробництва високоміцних брикетів з високовологих залізомістких шламів гідратацією негашеним пилоподібним вапном (хімічне зневоднення) в комбінації з доломітовим пилом із системи знепилювання і вуглецевмісних пилоподібних матеріалів і розробки на цій основі безстічних технологій виробництва комплексних. Досліджено фізико-хімічні умови процесу гідратації, температурно-часові параметри процесу, визначено вибір активних зневоднюючих матеріалів, що значно підвищують ступінь гідратації композитної системи та їх оптимальних співвідношень, період початку та кінця самозатвердіння. Розглянуто умови поєднання процесів зневоднення, самозатвердіння з процесами формування при доданні зовнішнього тиску до твердючої суміші в прес-формі з одержанням окускованого матеріалу у формі брикету в одному технологічному циклі, що становить одне з основних положень наукової новизни запропонованого способу. Встановлено оптимальні умови отримання високоміцних брикетів придатних для технологій металургійного виробництва, що виключають стадії термічного сушіння та випалу, а набір властивостей міцності відбувається на повітрі. Спосіб дозволяє отримувати самовідновлювальний окускований матеріал введенням в шламовапняну самотвердіючу суміш відновника, що містить вуглець. Як зневоднювальний матеріал використовуються дешеві непридатні пилоподібні відходи випалу вапняку і доломіту, а як відновник - пилоподібні вуглецевмісні матеріали (відсіви коксика і вугілля). На відміну від відомих технічних рішень запропонована технологія виключає складування залізовмісних шламів у шламосховищі і дозволяє організувати безстічну схему безобпалового окускування та виробництво комплексного самовідновлювального залізовмісного матеріалу для виробництва сталі та прокату. Технологія дозволить організувати виробництво з переробки високовологих залізовмісних шламів, пилоподібних кальцій- і магнійсодержащих і вуглецевмісних пилоподібних відходів і вирішує також проблеми забруднення навколишнього середовища та відведення земель для зберігання відходів виробництва.

Ключові слова: шлам, пил, переробка, зневоднення, окускування, брикетування…..**С.54**

3. Доменне виробництво

УДК 669.162.2: 662.6/9.001.5
DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-49-66

Дослідження впливу технологій використання ПВП, природного та коксового газу на декарбонізацію доменного виробництва / О. Л. Чайка, Б. В. Корнілов, А. О. Москалина та ін. // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2022. – Вип. 36. – С. 49-66.

Метою роботи є встановлення закономірностей використання різних паливних добавок, спрямованих на зменшення викидів діоксиду вуглецю з доменної печі. В зв'язку з глобальним потеплінням та пов'язаними з ним негативними наслідками в майбутньому питання зменшення парникових газів (в тому числі CO_2) є одними з найважливіших у світі. Таким чином, питання декарбонізації металургійної галузі України, на яку приходиться близько 26 % викидів є актуальним. В Україні при виробництві сталі викиди CO_2 на ~8 % більші, ніж в країнах ЄС, що в першу чергу пов’язано з тим, що енергоємність технології доменного виробництва України більша. Тому з введенням квот на викиди CO_2 (EU ETS), без впровадження технологій декарбонізації доменного виробництва, українська металургія може стати не конкурентоспроможною. З використанням вдосконалених теплоенергетичної та ексергетичної моделей доменної плавки встановлені закономірності при використанні пиловугільного палива (ПВП) як найбільш економічного замінника коксу, природного та коксового газу на викиди CO_2 та техніко-економічні показники доменної плавки. За базовий варіант розрахунку було обрано найкращий період роботи доменної печі №4 об’ємом 2002 м^3 ПрАТ «МК «Азовсталь» у 2021 році. Встановлено закономірності впливу застосування різних марок вугілля для ПВП та зміни хімічного складу ПВП при підтримці теоретичної температури горіння на постійному рівні на викиди CO_2 та показники доменної плавки, що дозволить раціонально підходити до вибору вугілля для ПВП, що особливо актуально в воєнний час та повоєнного відновлення України в умовах втрати енергетичної бази вугілля для ПВП. Вперше визначено критичні витрати паливних добавок, при яких, згідно з принципом Грюнера, очікується досягнення повного відновлення заліза непрямим шляхом, а значить і мінімальної витрати палива при досягненні rd близького до 0%. В результаті виконаної роботи встановлені граничні значення ефективності використання технологій вдування ПВП, природного та коксового газу на викиди діоксиду вуглецю, вихід ВЕР та витрату коксу.

Ключові слова: доменна піч, декарбонізація, витрати коксу, тепловий баланс, пиловугільне паливо, природний газ, коксовий газ……..……..**С.66**

УДК 669.131.7:621.74:621.78.082:66.046.516
DOI: 10.15407/plit2024.01.003

Бубликов В.Б. Одержання високоміцних чавунів перлітного класу з підвищеними технологічними та механічними властивостям / В.Б. Бубликов, Ю.Д. Бачинський, О.П. Нестерук // Процеси лиття. – 2024. – Том 155, №1. – С. 3-13.

Високоміцні чавуни з перлітною металевою основою широко застосовуються для виготовлення великої номенклатури високонавантажуваних деталей машин. Світові лідери в галузі високоміцного чавуну успішно виготовляють деталі з нових марок перлітного високоміцного чавуну, які, порівняно з українськими марками, мають тимчасовий опір розриванню 700–850 МПа та підвищене в 2,5–5 разів відносне видовження. Традиційні технології

виготовлення таких чавунів вимагають використання в шихті дорогих легувальних елементів (нікелю та / або міді) і обов'язкового проведення енергоємного термічного оброблення. У статті наведено порівняльні дані щодо впливу ковшового модифікування базового розплаву з різних за якістю шихтових матеріалів двома типами магнієвмісних лігатур, а саме нікель-магнієвої $NiMg_{15}$ та феросиліцій-магній-кальцієвої $FeSi_{45}Mg_7Ca_4$, на структуроутворення та механічні властивості високоміцних чавунів у литому стані та після нормалізування. Отримані результати свідчать, що застосування розробленого процесу модифікувально-рафінувального оброблення вихідного розплаву феросиліцій-магній-кальцієвою лігатурою $FeSi_{45}Mg_7Ca_4$ спільно з легкоплавким оксидно-фторидним рафінувальним шлаком системи $CaO–SiO_2–CaF_2$ взамін традиційного процесу модифікування нікель-магнієвою лігатурою $NiMg_{15}$ і феросиліцієм $FeSi_{75}$ є перспективним та ефективним способом отримання високоміцних чавунів перлітного класу з підвищеними технологічними й механічними властивостями при економних енерговитратах на термічне оброблення виливків. Розроблена технологія дозволяє одержати високоміцний чавун перлітного класу, що має такі механічні властивості: тимчасовий опір розриванню σ_B = 830–890 МПа; відносне видовження δ = 6,5–7,5 %; ударну в'язкість КС = 30–65 Дж/см^2 при твердості 241–255 НВ. Результати досліджень створюють передумови для розроблення нових конструкцій деталей сучасної техніки, заготовки яких отримують литтям, із заданими високими механічними властивостями та експлуатаційними характеристиками і високоефективних економічних технологій їх одержання.

Ключові слова: високоміцний чавун, перліт, лігатура, модифікувально-рафінувальне оброблення, механічні властивості, нормалізування……..**С.84**

УДК 669.173:544-971

DOI: 10.31498/2225-6733.49.1.2024.321243

Пантейков С.П. Термодинамічний аналіз умов перебігу хімічних реакцій навуглецювання заліза газом СО при відновленні з вюститу / С.П. Пантейков // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2024. – Вип. 49, №1. – С. 174-183.

У статті наведено результати термодинамічної оцінки можливості перебігу хімічних реакцій непрямого відновлення із вюститу заліза та його навуглецювання за допомогою відновлювального газу СО. Метою роботи є отримання виразів для розрахунку числових значень вільної енергії Гіббса в залежності від температури для зазначених хімічних реакцій та знаходження за їх допомогою числових значень граничних (рівноважних) температур, що дозволять визначити діапазон числових значень температур, в якому перебіг хімічних реакцій процесу навуглецювання відновленого заліза монооксидом вуглецю термодинамічно можливий. Результати проведеного термодинамічного аналізу з використанням виведених автором виразів для розрахунку числових значень вільної енергії Гіббса для хімічних реакцій непрямого відновлення заліза з вюститу та навуглецювання заліза газом СО дозволили встановити, що процес навуглецювання заліза термодинамічно можливий за хімічною реакцією навуглецювання заліза при непрямому відновленні його з вюститу газом СО, що складається з 2-х окремих стадій, які описуються хімічними реакціями непрямого відновлення заліза з вюститу і навуглецювання відновленого заліза газом СО, тільки при числових значеннях температур до 662°С або в діапазоні негативних значень температур. Враховуючи той факт, що хімічна реакція Белла–Будуара теоретично може перебігати при температурах, які вищі за 557°С або вищі за 697°С, або вищі за 699°С, або вищі за 706°С, або вищі за 748°С, або вищі за 750°С (згідно з літературними даними), або вищі за 709°С (за даними автора), а також великі

числові значення температур робочого простору металургійних відновлювальних печей, можна зробити висновок, що навуглецювання відновленого заліза за допомогою газу CO (поряд з неможливістю відновлення заліза з вюститу газом CO понад 765°C, що було встановлено автором роботи раніше) практично не відбувається або ступінь навуглецювання заліза мізерно мала, що добре кореспондується з даними деяких літературних джерел. Зроблено висновок про навуглецювання відновленого заліза за рахунок твердого вуглецю.

Ключові слова: термодинамічний аналіз, монооксид вуглецю, відновлення, навуглецювання, хімічна реакція, вюстит, вільна енергія Гіббса, ентальпія, ентропія, гранична температура.……..……...…..…**С.95**