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

МЕТАЛУРГІЯ РУДИ ТА ЧАВУНУ

Тематична добірка публікацій з актуальних
питань аглодоменного виробництва

Випуск 3

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 01.05.2024 р.

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

1. Збагачення залізних руд

УДК 39.311-06-05
DOI: 10.34185/1991-7848.2021.01.06

Маліч М.Г. Моделювання процесу дезінтеграції рудної породи в барабанному млині з використанням методу скінчених елементів / М.Г. Маліч // Сучасні проблеми металургії. – 2021. – №24. – С.57-68.

Розглянуто особливості руху рудних матеріалів в барабанному млині. Розроблено математичну модель процесу подрібнення рудних матеріалів з позиції балансу енергетичних величин процесу руйнування За використанням методу скінчених елементів показано, що виділений в будь-якому місці елемент завантаження піддається деформації з боку сусідніх елементів завантаження (шматків руди) в умовах всебічного нерівнокомпонентного стиснення контактними силами. Проаналізовано вплив напрямку сил контактного тертя при стисненні на ефективність руйнування рудної маси Данні сили суттєво впливають на появу максимальних зсувних (дотичних) напружень, які залежать від максимальних нормальних напружень, що виникають в шматках рудної породи Показана можливість керування режимами навантаження для підвищення ефективності процесу подрібнення.

Ключові слова: рудна маса, трубний кульовий млин, контактне тертя подрібнення, руйнування, напруження, моделювання……...…….……**С.9**

УДК 66.03
DOI: 10.15587/2706-5448.2022.260278

Казак І.О. Удосконалення конструкції кульового млину з метою підвищення ефективності подрібнення матеріалу / І.О. Казак, Д.Е. Сідоров // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – Том 3, № 1. – С. 6-11. – Текст англ.

Об’єктом дослідження у роботі є конструкція кульового млина для подрібнення сухих матеріалів, предметом дослідження є спосіб удосконалення конструкції кульового млина з метою підвищення ефективності подрібнення сухого матеріалу.

Однією з важливих проблем для кульових млинів є проблема зниження ефективності подрібнення матеріалу. Ступінь подрібнення матеріалів у кульових млинах забезпечує якість одержуваного продукту. Саме тому дана робота направлена на вибір способу удосконалення конструкції кульового млина з метою підвищення ефективності подрібнення матеріалу. Це дозволить забезпечити більш якісний процес подрібнення матеріалу у кульовому млині.

В ході дослідження використовувалися аналіз особливостей конструкцій кульового млина, літературно-патентний огляд існуючих способів удосконалення конструкцій кульового

млина для підвищення ефективності подрібнення матеріалу. В результаті літературно-патентного огляду обрано та запропоновано спосіб удосконалення кульового млина на основі прототипу, який має обертовий барабан з поздовжніми перегородками та мелючими тілами. При цьому поздовжні перегородки розташовані діаметрально під прямим кутом з вікнами, що чергуються з обох боків від центру перетину перегородок.

Показано, що запропонований спосіб удосконалення конструкції кульового млина підвищить ефективність подрібнення сухих матеріалів. Це пов'язано з тим, що при переміщенні тіл, які мелють, і матеріалу по перегородках відбувається зіткнення потоків, а це збільшить продуктивність кульового млина. Також при цьому відбудеться зменшення моменту опору обертанню барабану кульового млина, що забезпечить економію електроенергії на його роботу.

У порівнянні з відомими конструкціями кульового млина виконання діаметральних перегородок під прямим кутом з призмами у барабані млина, всі тіла, що мелють, та матеріал переміщуються то по перегородці, то по половині барабана. Це дозволить забезпечити підвищення ефективності подрібнення матеріалу в удосконаленій конструкції кульового млина

Ключові слова: конструкція млина, підвищення ефективності подрібнення, тонкий помел, сухі матеріали, металеві кулі, діаметральні перегородки……...……**С.21**

УДК 622.6:622.27

Вплив форми компенсаційних камер на їх стійкість, технологічні параметри та якість видобутої рудної маси / М.І. Ступнік, М.Б. Федько, М.А. Грищенко та ін. // Вісник Криворізького національного університету. – 2023. – Вип. 56. – С. 3-8.

Метою статті є теоретичне обґрунтування оптимальних форм і розмірів компенсаційних камер, визначення їх стійкості та впливу на якість видобутої рудної маси. Україна посідає провідне місце у світі з видобутку залізорудної сировини. Переважна частина багатих залізних руд видобувається підземним способом. Встановлено, що зі збільшенням глибини розробки продуктивність шахт падає, погіршується якість видобутої рудної маси. Причиною цього є погіршення гірничо-геологічних умов відпрацювання родовищ. Видобуток багатих залізних руд характеризується значними втратами та засміченням руди досягаючи, в окремих випадках, відповідно 14-20% і 12-18%. Дані показники втрат є наслідком того, що видобуток ведеться застарілою технікою і технологіями. В роботі досліджені та запропоновані удосконалені форми компенсаційних камер, які дозволяють збільшити об’єм компенсаційного простору, видобути більшу кількість чистої руди та підвищити якість видобутої сировини. Встановлені нові залежності впливу форми компенсаційних камер на їх стійкість, технологічні параметри та якість видобутої рудної маси. Застосування компенсаційних камер високої стійкості дасть можливість збільшити їх об’єм, що дозволить підвищити кількість вилученої чистої руди, зменшити її засмічення та досягти зростання якості видобутої рудної маси, що матиме позитивний вплив на підвищення її ціни та конкурентоспроможність товарної продукції. Доведено, що найвищу стійкість має вертикальна компенсаційна камера трапецієвидної форми, яка буде стійкою у діапазоні усіх розглянутих глибин (1400-2000 м) навіть у рудах невисокої міцності та стійкості. Дещо меншу стійкість мають вертикальні компенсаційні камери та камери склепистої форми, де вивали різної інтенсивності будуть мати місце в нижній частині оголень у рудах низької міцності на глибинах понад 1750 м.

Ключові слова: залізна руда, підземна розробка, компенсаційні камери, напружено-деформований стан, стійкість, якість. …….....…….**С.27**

2. Окускування залізних руд

УДК 656.043.4
DOI: 10.31498/2522-9990242021250774

Дженчако В. Г. Оптимізація взаємодії вантажної станції, гаражів розморожування і розвантажувального комплексу агломераційної фабрики при вивантаженні масової сировини / В.Г. Дженчако // Наука та виробництво. – 2021. – №24. – С.57-68.

Розглянуто особливості руху рудних матеріалів в барабанному млині. Розроблено математичну модель процесу подрібнення рудних матеріалів з позиції балансу енергетичних величин процесу руйнування За використанням методу скінчених елементів показано, що виділений в будь-якому місці елемент завантаження піддається деформації з боку сусідніх елементів завантаження (шматків руди) в умовах всебічного нерівнокомпонентного стиснення контактними силами. Проаналізовано вплив напрямку сил контактного тертя при стисненні на ефективність руйнування рудної маси Данні сили суттєво впливають на появу максимальних зсувних (дотичних) напружень, які залежать від максимальних нормальних напружень, що виникають в шматках рудної породи Показана можливість керування режимами навантаження для підвищення ефективності процесу подрібнення.

Ключові слова: рудна маса, трубний кульовий млин, контактне тертя подрібнення, руйнування, напруження, моделювання…….…….**С.33**

УДК 669.181.428

Гришин О.М. Швидкість газових потоків при комплексному відновленні рудних матеріалів / О.М. Гришин, А.А. Надточій // Теорія і практика металургії. – 2022. – №6. – С.13-19.

Мета. Встановити оптимальні параметри комплексного відновлення рудовуглецевого окатиша в умовах відсутності рідких фаз і визначити вплив розміру окатиша, частки вуглецю, що газифікується, і температури на глибину проникнення водню всередину окатиша. Встановити залежність положення кордону, що поділяє окатиш на зону комплексного відновлення та зону вуглецевотермії, від зазначених параметрів процесу твердофазного відновлення. У роботі використовується розроблена методика розрахунку вхідного та вихідного газових потоків стосовно моделі рудовуглецевого окатиша, що обдувається потоком водню. При розрахунку величин газових потоків варіювали параметрами: розмір окатиша, частка вуглецю, що газифікується, і температура у встановлених межах. За розробленою методикою розрахунку концентрації водню на зовнішній поверхні окатиша виконано оцінку впливу зовнішньодифузійної ланки на величину вхідного потоку. Вперше розраховані величини вхідного та вихідного газових потоків стосовно процесу комплексного твердофазного відновлення рудовуглецевого окатиша. Теоретично обґрунтовано та підтверджено розрахунком вплив розміру окатиша, частки газифікованого вуглецю та температури на глибину проникнення водню вглиб окатиша. Отримано рівняння, що описують вплив аналізованих параметрів процесу на величини газових потоків. Встановлено, що збільшення розміру окатиша звужує зону проникнення водню, зменшуючи обсяг окатиша,

який відновлюється комплексно. У такому напрямі впливає підвищення частки газифікованого вуглецю, тобто інтенсифікація процесу. При постійних значеннях частки газифікації вуглецю та розміру окатиша підвищення температури процесу сприяє розширенню меж комплексного відновлення. Проаналізовано вплив швидкості зовнішнього газового потоку на величину вхідного потоку. Встановлено, що зростання лінійної швидкості потоку водню дещо інтенсифікує вхідний потік, проте цей ефект має загасаючий характер. На завершальній стадії процесу, коли повністю відновлено оксид в зоні комплексного відновлення, проходить процес комплексного довідновлення у зоні вуглецевотермії за рахунок потоків водню, що проникають, і вуглецю, що залишився. Отримані результати розрахунків дозволяють визначити оптимальні параметри процесу комплексного відновлення рудовуглевецого окатиша, які забезпечують найбільше проникнення водню вглиб окатиша.

Ключові слова: оксид, вуглецевотермічне та комплексне відновлення, вхідний та вихідний газові потоки, зовнішньодифузійний опір……..……**С.46**

УДК 622.788.36

Аналіз прийомів визначення оптимальної вологості шихти для виробництва окатишів / С.Г. Савельєв, О.В. Бабаєвська, Т.П. Ярош, М.М. Кондратенко,// Гірничий вісник. – 2023. – Вип. 111. – С. 60-67.

Відзначено існування декількох прийомів визначення оптимальної вологості шихти для виробництва окатишів, більшість яких ґрунтуються на використанні водно-фізичних характеристик шихти або показниках гранулометричного складу грудкуємого матеріалу. Проведено аналіз використовуваних методик, що визначення характеристичних вологоємностей шихти, що застосовуються для визначення оптимальної вологості тонкодисперсних матеріалів, а також формул для її розрахунку. Результати аналізу вказують на певну перевагу застосування прийомів визначення оптимальної вологості шихти для виробництва окатишів, які базуються на характеристичних вологоємностях шихти, що піддається огрудкуванню, завдяки їх більшій універсальності. Вказано на доцільність формування стандартних методів визначення характеристичних вологоємностей матеріалів, які входять до складу шихти для виробництва залізорудних окатишів. Метою роботи є порівняльна оцінка достовірності результатів визначення за різними методиками і формулами оптимальної вологості тонкодисперсних матеріалів, які використовуються при виробництві окатишів. На основі проведеного аналізу встановлено, що основні прийоми визначення оптимальної вологості шихти з тонкодисперсних матеріалів, яка використовується для виробництва залізорудних окатишів, мають приблизно однакову достовірність, але більшу перспективу мають такі, що базуються на застосуванні характеристичних вологоємностей грудкуємого матеріалу. Практична значимість роботи полягає у представлені практичних рекомендацій щодо використання прийомів визначення оптимальної вологості шихти для виробництва окатишів, що мають високу представницькість результатів і не вимагають багато часу на їх визначення. Результати роботи дають підстави вважати, що розробка і застосування прийомів визначення оптимальної вологості залізорудної шихти для ефективного протікання процесу її грануляції є одним з важливих напрямків розвитку теорії і технології виробництва окатишів, подальший розвиток якого пов'язаний з встановленням стандартних методів визначення водно-фізичних характеристик (характеристичних вологоємкостей) шихт, які піддаються огрудкуванню, і ефективним використанням їх для визначення вмісту вологи в шихті, який сприяє отриманню сирих окатишів кондиційної якості.

Ключові слова: вологоємність, матеріал, метод визначення, гранулометричний склад, окатиш, вологість……...……**С.53**

3. Доменний процес

УДК 669.162
DOI: 10.31319/2519-2884.38.2021.1

Кузнецов М.С. Вплив параметрів дуття і шлакового режиму на вміст кремнію і сірки в чавуні доменної плавки / М.С. Кузнецов, Є.М., Г.Ю. Крячко // Збірник наукових праць ДДТУ. – 2021. – №1. – С. 7-14.

На двох доменних печах (ДП) обґємом 1386 і 1500 мі досліджували вплив параметрів дуттьового і шлакового режимів на вміст кремнію і сірки в чавуні. Дуттьовий режим оцінювали витратами пиловугільного палива (ПВП) та кисню, шлаковий режим — його основністю CaO/SiO_2. Встановлено, що вдування ПВП в горн ДП 1500 мі в діапазоні витрат від 108 до 120 г/мі·с, а на ДП 1386 мі в діапазоні від 90 до 110 г/мі·с супроводжувалося зниженням вмісту кремнію в чавуні. Погіршення переходу кремнію в чавун зі збільшенням витрати ПВП пояснюється комплексною дією факторів, що гальмують відновлення його оксидів. Встановлено також екстремальні звґязки інтенсивності плавки за витратою кисню з вмістом кремнію в чавуні досліджуваних печей. Екстремальні залежності досліджуваних змінних обумовлені подвійним впливом інтенсивності плавки на відновлення оксидів кремнію — скорочення часу контакту металу з пічними газами знижує можливості переходу кремнію в метал, а зростання об’єму зони відновлення кремнію покращує ці можливості.

Ключові слова: доменна піч, дуття, шлак, режим, пиловугільне паливо, інтенсивність, чавун, кремній, сірка……..…**С.61**

УДК 669.162.2:669.788
DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-35-48

Бабаченко О.І. Декарбонізація та енергетична криза / О.І. Бабаченко, О.С. Нестеров, Л.І. Гармаш // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2022. – Вип. 36. – С. 35-48.

Метою дослідження є виявлення нових напрямків скорочення частки викопного палива в енергобалансі промислового виробництва для можливості подолання енергетичної кризи. Останні декілька років людство живе в умовах безпрецендентної енергетичної кризи. Спочатку пандемія коронавірусу, потім різке зростання цін на енергоносії та розв'язана росією війна в Україні загострили проблеми енергоспоживання та посилили необхідність ширшого розвитку альтернативних джерел енергії та новітніх промислових технологій. В кризових умовах 2022 року Європейський Союз не просто зберіг курс на декарбонізацію, а й прискорює трансформацію економіки та промисловості, розуміючи, що це сприяє енергетичній незалежності та безпеці. Розробляються дві ключові стратегії у енергетичній сфері - диверсифікація за допомогою розподілу та балансу джерел енергії, що гарантують безпеку всієї енергетичної системи, та декарбонізація як курс на поступову відмову від традиційних джерел енергії (природний газ, нафта, кам'яне вугілля, торф), зменшення викидів вуглекислого газу та перехід на відновлювані джерела (випромінювання Сонця, вітер, морські припливи, біомаса). Одним із ключових компонентів майбутньої енергетичної системи розглядається нешкідливий для довкілля водень.

Проаналізовано основні напрямки Європейської Стратегії в галузі водню, представлено низку основоположних документів енергетичної політики ЄС, прийнятих у 2022 році. Чорна металургія сьогодні є одним із найбільших джерел викидів, тому завдання змінити курс на виробництво з низьким рівнем викидів та вуглецево-нейтральним паливом є для неї одним із найактуальніших. Потенціал водню як палива та відновника відомий давно, але зараз його роль у декарбонізації на всіх етапах металургійного виробництва стає дедалі суттєвішою. У світі запущено декілька великих дослідницьких програм із виробництва водню та відновлення оксидів заліза. На основі глибокої модернізації виробничих потужностей та енергетичних систем, а також запровадження нових новаторських методів кількість поточних річних викидів під час виробництва сталі може бути знижена на 15 – 20 %. Подальше скорочення до 1,0 т CO2/т сталі можливе за допомогою впровадження нових технологій, таких як рециркуляція колошникового газу в доменній печі, киснева доменна піч, максимальна заміна коксу біомасою та за рахунок заміни вуглецю воднем у таких відновниках та паливах, як природний газ та коксовий газ. Енергетична криза може стати «вікном можливостей», розвиваючи нові напрямки скорочення частки викопного палива в енергобалансі.

Ключові слова: декарбонізація, енергетична криза, водень, низьковуглецеві технології, відновлювальні джерела енергії. ……..**С.69**

УДК 004.942
DOI: 10.15587/1729-4061.2022.246175

Розробка математичної моделі для контролю швидкість сходу стовпа шихти доменної печі за параметрами тиску газів в тракті печі / Кравченко В. П., Воротнікова З. Є., Сімкін О. І., Койфман О. О.// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – Том 1, № 2. – С.116–126– Текст англ.

Розглянуто задачу оцінки швидкості опускання стовпа шихтових матеріалів за допомогою безконтактних методів. Це важливо, тому що рівень шихтових матеріалів печі і швидкість їх сходу є одним з основних показників інтенсивності плавки, що визначає продуктивність печі. Описано конструкцію доменної печі і її дуттєвий тракт, проаналізовано існуючі методи та засоби контролю швидкості руху шихтових матеріалів у доменній печі. Представлено математичну модель оцінки швидкості опускання шихтових матеріалів у доменній печі на підставі величини і коливань тиску газів по висоті шахти печі. Модель заснована на тому, що в шахті печі горнові гази піднімаються вгору по елементарним каналах стовпа шихтових матеріалів, які складаються з сукупності ємностей і опорів. Довжини ємностей і обсяги опорів елементарних каналів постійно змінюються, змінюючи гідравлічний опір руху газів в доменній печі. Даний процес описаний системою диференціальних рівнянь, яка в сталому режимі перетворюється в систему лінійних рівнянь. Система описує залежність амплітуди коливань тисків від амплітуди зміни коефіцієнтів опору і частоти коливань тисків від частоти зміни коефіцієнтів опору. Опрацьовано експериментальні дані швидкості руху стовпа шихтових матеріалів і коливань перепаду тиску в печі, показано їх значущий зв'язок, що підтверджує попередньо отримані теоретичні результати. Для оцінки адекватності моделі застосовується метод імітаційного моделювання. Результати роботи імітаційної моделі підтверджуються експериментальними даними. Розроблювана математична модель може бути впроваджена у виробництво. Це зробить його більш економічним і безпечним за рахунок

кращого і більш передбачуваного контролю та збільшення гнучкості в експлуатації за різних зовнішніх умов

Ключові слова: доменна піч, доменний тракт, математична модель, адекватна оцінка, експериментальні дані…….…….…..……..**С.83**

УДК 669.162.16
DOI: 10.15407/steelcast2023.02.008
Крячко Г.Ю. Оцінка змін продуктивності і обмежень у форсуванні ходу при збільшенні об’єму доменних печей / Г.Ю. Крячко, Є.М. Сигарьов // Метал та лиття України. – 2023. – №2. – С. 8-17.

Вибір корисного об’єму нових або реконструйованих доменних печей є актуальною задачею як для виробників, так і для проєктувальників, тому оцінка технологічних можливостей печей різного об’єму завжди викликала інтерес як з практичної, так і з теоретичної точок зору. Метою представленої роботи є вибір найбільш представницьких показників, за допомогою яких можлива порівняльна оцінка роботи печей різного об’єму, оцінка роботи печей в умовах планової і ринкової економік, а також спроба визначити та класифікувати фактори обмеження форсованої роботи печей збільшеного об’єму. Показано, що застосування показників, які розраховуються на одиницю площі горна, не є доцільним, оскільки площа горна не є основним розміром печі. Основним розміром є повний об’єм печі, який визначає конструкцію агрегату і обсяг капітальних витрат на його будівництво. Показники питомої продуктивності, що розраховуються на одиницю об’єму печі, аналітично залежать від висоти печі і адекватно відображають результативність роботи печей різного об’єму. Показано беззаперечну перевагу компактних доменних печей з корисним об’ємом < 1500 м3 в порівнянні з печами більших об’ємів, що свідчить про недосконаліть спрощеного підходу до оцінки продуктивності печей, заснованому на поняттях балансової і газодинамічної складових, оскільки при визначенні цих складових важко врахувати всі фактори впливу. Встановлено і класифіковано фактори обмеження інтенсифікації процесу в доменних печах середнього і великого об’ємів. Головними зовнішніми факторами є якісні характеристики коксу, залізорудних матеріалів і дуття, більш онкретно, гаряча міцність коксу, багатство сировини залізом і спроможність повітродувних машин забезпечувати дуття потрібних ступенів стиснення. До головних конструкційних факторів подолання суттєвих обмежень в експлуатації печей з корисним об’ємом > 1500 м3 є раціональні профіль, співвідношення площ вихідного перетину повітряних фурм і перетину горна, а також використання безконусних завантажувальних пристроїв.

Ключові слова: доменна піч, об’єм, продуктивність, показники порівняння, фактори обмежень, інтенсифікація процесу.…… …….……..……..**С.94**