

ничого травматизму, тобто в впровадженні сертифікації по стандартах серії OHSAS 18000, яка забезпечує регламентацію норм охорони праці та безпеки персоналу. Сертифікація СУОП (OHSAS) на підприємствах Кривого Рогу проводить ДП «КРИВБАССТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ».[2] Підприємство, що має сертифікат охорони праці, позиціонує себе на ринку як надійного партнера, яке дійсно піклується про своїх співробітників. Для того щоб впроваджені стандарти приносили дійсну користь, а не були черговим позитивним папірцем у послужному списку організації, необхідно залучення всіх співробітників в роботу над безпекою виробництва. Тільки двосторонній підхід до проблеми безпеки й охорони праці як з боку керівників, так і з боку персоналу, здатний привести до появи безпечних робочих місць, підвищенню культури виробництва, зниження рівня ризиків для здоров'я співробітників і скорочення загальної кількості нещасних випадків на підприємстві [8,9].

Список літератури

1. http://uchebnikionline.com/bgd/upravlinnya_ohoronoyu_pratsi_ta_rizikom_za_mizhnarodnimi_standartami_gogitash_vili_gg/mizhnarodniy_standart_ohsas_180022000.htm
2. <http://www.krivbasscenter.dp.ua/index.html>
3. «На допомогу спеціалісту з охорони праці»: Наук. - виробн. журнал. К.: ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2014. – № 4. – с. 16-18.
4. «На допомогу спеціалісту з охорони праці»: Наук. - виробн. журнал. К.: ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2014. – № 8. – с. 18-21.
5. «На допомогу спеціалісту з охорони праці»: Наук. - виробн. журнал. К.: ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2014. – № 10. – с. 12-19.
6. «На допомогу спеціалісту з охорони праці»: Наук. - виробн. журнал. К.: ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2014. – № 12. – с. 64.
7. http://opb.org.ua/579/1/Diodor_04_09.pdf
8. BS OHSAS 18001:2008 «Occupational health and safety management systems - Requirements»
9. ILO - OSH 2001 «Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems»
10. www.bureau-veritas.ru

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 669.054.8

Г.В. ГУБІН, д-р техн. наук, проф.,
Г.Г. ГУБІН, Т.П. ЯРОШ, кандидати техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ДО ПИТАННЯ ПРО ПЕРЕРОБКУ ЧЕРВОНИХ ШЛАМІВ ЯК КОМПЛЕКСНОЇ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ

Наведені дані про хімічний і мінеральний склад червоних шламів – відходів глиноземного виробництва. Показано, що найбільш перспективним напрямом утилізації червоних шламів можна вважати чорну металургію. Доцільність використання червоних шламів у металургії обумовлена високим вмістом заліза, відношенням CaO: SiO₂ більш, ніж 1, та достатньо високим вмістом Al₂O₃. Однак використанню червоного шламу у складі доменної шихти заважає наявність у ньому до 6% лужних металів у вигляді оксидів натрію, калію і цирконію. Введення червоних шламів в агломераційну шихту до 2-5% можливо, але при цьому потрібно відпрацювання технології доменної плавки, і не вирішується проблема повної їхньої утилізації. При виробництві залізородних окатишів червоний шлам може бути використаний як зміцнювальна зв'язка замість дефіцитного лужного бентоніту. Але при цьому погіршуються фізико-хімічні й механічні властивості випалених окатишів і ускладнюються умови їх виробництва.

Запропонована безвідходна технологія пірометалургійної переробки червоних шламів методом рідкофазного відновлення. Даний спосіб переробки червоних шламів дозволяє одержати чавун, який направляється на сталеплавильний переділ або використовується в ливарному виробництві, та шлак, який можна використати для додаткового вилучення глинозему або як клінкер для отримання глиноземистого цементу. Продуктивність установки по переробці підсушеного до вмісту вологи 15% шламу може складати 350-380 тис. т на рік. З 1 тони переробленого червоного шламу буде виходити по даній технології приблизно 0,35 т чавуну і до 0,5 т глиноземистого клінкера.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В даний час у відстійниках Миколаївського глиноземного заводу накопичилося більш ніж 30 млн. т відходів, так званих червоних шламів. Як і будь-яке шламосховище, відстійники червоних шламів представ-

ляють значну загрозу навколишньому середовищу, особливо в разі їх переповнення і прориву. Про це свідчать події, які мали місце нещодавно в Румунії. Ця проблема загостриться ще сильніше, коли буде остаточно знято мораторій на продаж землі, тому що більше немає вільних земель для спорудження нових хвостосховищ. Тому, щоб не зупиняти завод, необхідно розпочати утилізацію червоних шламів.

Аналіз досліджень і публікацій. Червоні шлами завдяки своєму речовинному складу треба розглядати не просто як відходи глиноземного виробництва, а як вторинну техногенну сировину, що потребує комплексної переробки до отримання з них товарних продуктів. Червоні шлами можна ефективно використовувати в наступних галузях промисловості: чорній металургії, будівельній, скляній промисловості та сільському господарстві.

Підвищений вміст оксидів заліза, алюмінію і титану робить червоні шлами привабливими для витягу цих металів. Одержання металів можливо здійснювати різними способами [1-10]. У світі родовища бокситів сильно відрізняються по хіміко-мінералогічному складу, тому в процесі Байера потрібні різні умови для успішної екстракції оксиду алюмінію. В результаті переробки різних бокситів одержують червоні шлами різного складу. Наприклад, Гірниче Бюро США досліджувало технологію екстракції оксиду алюмінію, заліза і титану з ямайського червоного шламу. Одержання алюмінію за цією технологією потребує спікання шламу з карбонатом натрію для утворення алюмінату натрію. Останній розчиняється лугом і промивається. Витягання заліза відбувається при відновленні його оксиду до металу, який відділяється магнітною сепарацією і потім розплавляється з отриманням чавуну. Екстракція оксиду титану може здійснюватися різними способами. Класичний процес Кролю, що проводиться після карбохлорування, може бути застосований, якщо оксид титану знаходиться у вигляді рутилу. Якщо він знаходиться у вигляді перовскиту, його необхідно перевести в рутил за допомогою сульфатизації для одержання товарного продукту. Витягання оксиду титану викликає появу інших реакцій і може бути здійснено після виділення певних складових. Тому послідовність витягання продуктів з доданою вартістю є важливим питанням для успішної екстракції. Після виділення оксиду алюмінію, заліза і титану залишається матеріал, дуже схожий на портландцемент.

Найбільш перспективним напрямом утилізації червоних шламів можна вважати чорну металургію. Червоний шлам тут використовують як залізовмісну добавку в шихту при виготовленні агломерату й окатишів із залізородного концентрату для доменного процесу. Однак використанню червоного шламу у складі, наприклад, доменної шихти заважає наявність у ньому до 6% лужних металів у вигляді оксидів натрію, калію і цирконію. Дослідження додавання червоних шламів в аглошихту показують, що введення їх до 2-5 % можливо, але при цьому потрібно відпрацювання технології доменної плавки, і головне, не вирішується проблема повної їхньої утилізації [11]. При виробництві залізородних окатишів червоний шлам може бути використаний як зміцнювальна зв'язка замість дефіцитного лужного бентоніту. Але дослідження інституту «Механобрчормет» (м. Кривий Ріг) у 80-х роках показали, що при використанні червоного шламу Миколаївського глиноземного заводу погіршуються фізико-хімічні й механічні властивості випалених окатишів і ускладнюються умови їх виробництва [12].

Для утилізації червоних шламів запропоновані різні технології, одна з яких запропонована Криворізьким національним університетом і Інститутом геохімії навколишнього середовища НАН України [12-14].

У даний час відомо ряд технологій рідкофазного відновлення, наприклад, Romelt, DIOS, Hismelt та ін., які дозволяють використовувати в якості залізородної частини шихти неокисковані тонкоподрібнені матеріали, а в якості палива і відновника використовують некоксовіне вугілля [15].

Постановка завдання. Завданням даної роботи було розробка ефективних заходів щодо переробки червоних шламів як комплексної залізовмісної техногенної сировини з одночасним підвищенням екологічної безпеки виробництва.

Викладення матеріалу та результати. Червоні шлами – це піщано-глиниста грудкова маса, пронизана оксидами заліза. Найбільше значення для байеровського шламу має гематит, який є баластним матеріалом. Він має найбільшу щільність і найбільший розмір часток при питомій поверхні $1,5 \text{ м}^2/\text{г}$, що суттєво впливає на швидкість осадження та згущення в системі промивки.

Залежно від якості бокситу і особливостей його переробки червоний шлам містить, %: 40-55 Fe₂O₃, 14-18 Al₂O₃, 5-10 CaO, 5-10 SiO₂, 4-6 TiO₂, 2-4 Na₂O. Мікрокомпонентний склад шла-мів наступний, г/т: 5 Cu, 10 Be, 50 B, 4 S, 0,2 Co, 30 Ga, 30 Se, 20 La, 30 Ce, 20 Mo, 8 V, 20 Ni [10]. Хімічний склад шламів Миколаївського глиноземного заводу (МГЗ) та Запорізького алю-мінієвого комбінату (ЗАЛК) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад відвальних червоних шламів [9]

Підприємство	Рік	Вміст основних оксидів, % мас.							
		п.п.п.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	інші
ЗАЛК	1979	8,6	16,6	7,0	48,8	8,2	5,3	4,8	6,7
	1983	9,4	15,3	6,3	50,7	8,1	6,3	4,2	-
МГЗ	1979	10,7	12,1	4,1	59,7	7,7	5,7	1,7	-
	1983	10,9	12,2	4,6	56,7	7,7	5,4	1,8	1,3

Щільність червоного шламу – 2,8 кг/м³. Гранулометричний склад і питома поверхня червоного шламу залежать від тонкості помелу бокситу, хімічного диспергування часток бокситу в процесі їх автоклавного вилуговування, розмірів фаз, що утворюються, і агрегації часток шламу в процесі відмивання і згущення під впливом коагулянтів-флокулянтів. У практиці переробки більшості типів бокситів за способом Байєра їх подрібнюють на 60-80 % (по масі) у середньому до мінус 0,063 мм. Мінеральний склад різних фракцій відрізняється.

Фракція 100-250 мкм складається з кварцу, гематиту, кальциту, у фракції 50-100 мкм переважають гематит, алюмогетит, в якому 5-8% заліза заміщено алюмінієм, у фракції 10-50 мкм спостерігається гематит, алюмогематит, алюмогетит, в якому 7-12% Fe заміщено Al, підвищується вміст гідрогранатів, а у фракції менше 10 мкм основу складають гідроалюмосилікати типу канкриніту, гідрогранат, вторинний карбонат, алюмогетит, в якому 25% Fe заміщено Al, гідрогематит, рутил.

У процесі зберігання в шламах здійснюються певні зміни під впливом технічної води з рН=11-13, діоксиду вуглецю та кисню, які потрапляють у розчин з повітря. Хімічні перетворення в шламах значно підвищуються під дією температури. Основними активними фазами шламів є гідрогранати кальцію (нозеан і канкриніт), які під впливом вуглекислого газу через 1-3 роки розкладаються на гідрокарбоалюмінат кальцію і аморфний кремнезем. На швидкість протікання цього процесу впливає кількість кремнезему в гідрогранаті, що сповільнює цей процес і наявність ізоморфних домішок заліза й титана.

Алюмогетит і гематит в умовах шламонакопичувача не змінюються. Присутність гідрокарбоалюмінату кальцію добре фіксується рентгенофазовим аналізом у лежалих шламах. Під впливом підвищеної температури він розкладається на карбонат кальцію і гідроаргіліт.

Гідроалюмосилікати натрію шламосховища під впливом розчиненого в технічній воді CaO, піддаються низькотемпературній каустифікації.

Слід зазначити, що хімічний склад всіх відвальних шламів змінюється згодом у бік зниження лужності і підвищення вмісту SiO₂.

Доцільність використання червоних шламів у металургії обумовлена високим вмістом заліза, відношенням CaO: SiO₂ більш, ніж 1, та достатньо високим вмістом Al₂O₃.

Серед згаданих вище процесів рідкофазного відновлення, перспективним і опробуваним на дослідно-промисловій установці є російський процес Romelt, розроблений в Московському інституті сталі і сплавів під керівництвом професора В.А. Роменца [16]. У 70-х роках у цьому ж інституті під керівництвом професора А.В. Ванюкова на кафедрі важких кольорових металів успішно велися роботи з промислового освоєння процесу переробки сульфідних мідно-нікелевих руд плавкою в рідкій ванні на Норільському гірничо-металургійному комбінаті. Цей досвід дозволив В.А. Роменцу спільно з А.В. Ванюковим і ін. у 1979 р. запропонувати принципово новий процес рідкофазного відновлення заліза в шлаковій ванні, що барботується кисневим дуттям, з допалюванням над ванною горючих газів. Це новий безперервний одностадійний

рідкофазний процес отримання чавуну з різної залізвмісної сировини і відходів з використанням марок вугілля, що не коксується.

Процеси рідкофазного відновлення доки не отримали значного поширення, проте мають непогані перспективи. Переваги технології рідкофазного відновлення:

виключає застосування дорогого металургійного коксу;

дозволяє застосовувати різні види залізорудної сировини, в тому числі й відходи металургійного виробництва без попереднього огрудкування;

забезпечує високий витяг заліза, дозволяючи переробляти незбагачені або слабозбагачені руди, зменшуючи втрати заліза і обсяги видобутої руди.

Альтернативні безкокскові процеси по рівню енергоємності стають конкурентоздатними з традиційним аглококсодоменим виробництвом. По суті, це енерго-технологічні комплекси, що дозволяють виробляти метал, шлак для суміжних галузей промисловості і сільського господарства, а також електроенергію для власних потреб і на сторону за рахунок ентальпії відхідних газів.

Ще однією перевагою таких процесів є зниження впливу на навколишнє середовище, оскільки відсутнє коксохімічне виробництво та агломерація руд.

Принципову схему установки рідкофазного відновлення наведено на рис. 1.

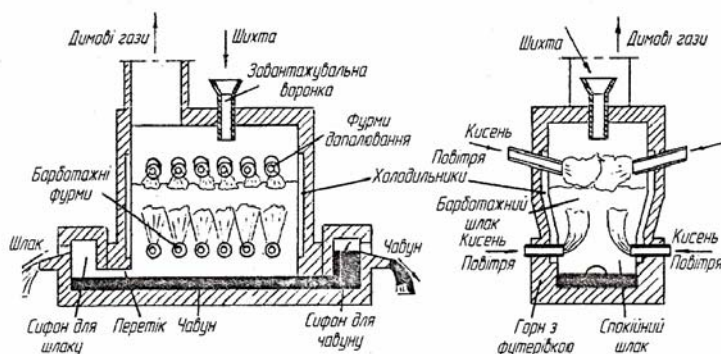


Рис. 1. Схема печі рідкофазного відновлення

Оксиди заліза відновлюються до металу вуглецем твердого палива, що завантажується на поверхню розплаву.

Залізо, яке утворилося у вигляді чавуну, збирається на подині агрегату.

Склад отриманого шлаку при необхідності коригується добавками флюсу залежно від його подальшого призначення.

Гази, що відходять, використовуються для сушіння, підігріву та попереднього відновлення оксидів заліза, а також для виробництва електроенергії.

Даний спосіб переробки червоних шлаків дозволяє одержати чавун, який направляється на сталеплавильний переділ або використовується в ливарному виробництві, та шлак, який можна використати для додаткового вилучення глинозему або як клінкер для отримання глиноземистого цементу.

Чавун, що отримується за даною технологією, відрізняється від доменного пониженим вмістом кремнію і марганцю (0,05-0,15 %).

Переробка червоних шлаків на установках з плавильно-відновними агрегатами є безвідходним виробництвом, оскільки пил вловлюється та повертається інжекторами в плавильну камеру в шламовий розплав.

Продуктивність установки по переробці підсушеного до вмісту вологи 15% шламу може складати 350-380 тис. т на рік. З 1 т переробленого червоного шламу буде виходити по даній технології приблизно 0,35 т чавуну і до 0,5 т глиноземистого клінкера.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Впровадження і використання установок та процесу рідкофазного відновлення дозволить вирішити проблему ефективної переробки шлаків по безвідходній, екологічно чистій технології з отриманням металу і шлаку для виробництва цементу та інших будівельних матеріалів або для довиймання глинозему.

Високий потенціал тепла вторинних енергоресурсів дозволяє забезпечити установку електроенергією, а надлишок відправляти стороннім споживачам. При всьому цьому вирішується проблема відведення землі для складування відходів.

Список літератури

1. **Furman, J.E. Mauser, M.O. Butler and W.A. Stikney.** Utilization of Red Mud Residues From Alumina Production// U.S. Bureau of Mines Report of Investigation 7454. – 1970.
2. **Piga, F. Pochetti and L. Stoppa.** Recovering Metals From Red Mud Generated during Alumina Production// JOM 45 (11). – 1993. - pp. 55-59.
3. **Braithwait G.B.** Patent No. 2078211 – A. (Jan. 1982).
4. **Guccioni.** “Red Mud”, a Solid Waste, Can Now Be Converted To High-Quality Steel// Eng. Min. J. 172 (9). – 1972. – pp. 136-138.
5. **Vochon, R. Tyagi, J-C. Auclair and R.J. Wilkinson.** Chemical and Biological Leaching of Aluminum from Red Mud// Environ. Sci. Technol. 28 (1). – 1994. – pp. 26-30.
6. Vereinigte Aluminium-Werke. FR Patent No. 2117930 - A (Dec. 1971).
7. **Baetz, R.C. Lightbourne.** U.S. Patent No. 3690828 (Sept. 1972).
8. **B. Mishra, M. Slavic and D. Kirkpatrick.** Application of processed Red-Mud in Blast Furnaces// Proceedings the 2nd International Conference on RAMM 99. – 1999. – pp. 557-568.
9. **Корнеев В.И., Сусс А.Т., Цеховой А.Н.** Красные шламы (свойства складирование, применение). М.: Металлургия, 1991. – 144 с.
10. **Утков В.А., Мешин В.В., Ланкин В.П., Тесля В.Г.** Промышленные способы переработки красных шламов// Состояние, проблемы и направления использования в народном хозяйстве красного шлама. – Николаев. – 1999. – С. 11-13.
11. **Плотніков В.В., Ярош Т.П., Марасанова О.В.** Перспективи утилізації промислових відходів у металургійному виробництві// Вісник Криворізького національного університету. – Випуск 32. – 2012. – С. 215-219.
12. **Губіна В.Г., Кадошніков В.М.** Червоний шлам Миколаївського глиноземного заводу – цінна техногенна сировина// Геолого-мінералогічний вісник. – 2005. – № 2. – С. 122-126.
13. Промислові відходи України. Проблеми та шляхи їх вирішення/ **Т.В. Тарасова, В.Г. Губіна, Л.П. Кващук та ін.** – К.: Логос, 2011. – 199 с.
14. **Ладыгин А.В.** Использование жидкофазного восстановления для получения чугуна из красных шламов// Разработка рудных месторождений. – Выпуск 94. – 2011. – С. 217-219.
15. **Губін Г.В., Півень В.А.** Сучасні промислові способи безкоксової металургії заліза. – Кривий Ріг, 2010. – 336 с.
16. **Роменец В., Биласанов А.** Российская плавка// Металлы Евразии. – 2006. – № 6. – С. 70-75.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 620.9: 621.771.065.+004.942: 621.771.065

А.А. ШЕПЕЛЬ, аспірантка, Криворізький національний університет

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ШИРОКИХ ПОЛОС

Разработана математическая модель, реализующая новую методику снижения энергозатрат для процесса горячей прокатки широких полос. Предложенная методика расчета учитывает специфику компоновки технологического оборудования непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 1700 Мариупольского металлургического комбината имени Ильича, а также размерный и марочный сортамент сталей. С учетом технологических возможностей оборудования данного широкополосного стана горячей прокатки решены программно задачи расчета энергосиловых параметров обеспечивающих требуемые показатели качества готовой полосы. Исследовано влияние легирующих элементов в наиболее используемых марках стали, что позволило скорректировать их оптимальный химический состав с учетом температурного режима прокатки. Из существующих методик для расчета сопротивления деформации использована методика, которая позволяет определить мгновенное значение сопротивления деформации в широком диапазоне химического состава сталей, охватывающем практически весь сортамент углеродистых марок стали при условиях, характерных для их горячей прокатки, а так же позволяет рассчитать сопротивление деформации в любой точке очага деформации при прокатке в зависимости от температуры, скорости и накопленной деформации в данной точке. При этом обеспечивается возможность расчета давления металла на валки и момента прокатки с использованием дифференциальных уравнений контактных напряжений, не прибегая к их аналитическому преобразованию с достаточно грубыми упрощениями.

Ключевые слова: энергосиловые параметры, широкая полоса, горячая прокатка, энергосбережение, марка стали.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Сохранение конкурентоспособности на международных рынках стали обуславливает наряду с оптимизацией технологических режимов горячей прокатки разработку и реализацию мер по снижению энергетических затрат процесса. Металлургия считается одним из главных потребителей энергии. Прокатный передел занимает 2 место, после доменного производства по затратам энергии на изго-