

В.В. Шаповалов /д.х.н./, **С.В. Горбатко** /к.т.н./

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМОКАЛЬЦИЕВОГО СПЕКА ИЗ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЛИНОЗЕМА МЕТОДОМ БЕСЩЕЛОЧНОГО СПЕКАНИЯ

Приведены экспериментальные данные по получению алюмокальциевого спека из отходов угледобывающих производств. Установлено, что на качество спека и степень извлечения из него глинозема существенное влияние оказывает оксид железа. Добавление в исходную шихту каолина позволяет снизить содержание оксида железа (III) до оптимального уровня, обеспечивая, тем самым, понижение температуры при получении высококачественного спека и высокую степень извлечения из спека глинозема. Определены оптимальный состав шихты и температурный режим получения алюмокальциевых спеков. Исходя из данных рентгенофазового анализа, шламы, образующиеся после извлечения глинозема, могут являться ценным компонентом в производстве цемента.

Ключевые слова: аргиллит, каолин, мел, алюмокальциевый спек, алюминат кальция, двухкальциевый силикат, алюминат натрия, белитовый шлам, глинозем.

Постановка проблемы

В результате деятельности горнодобывающих и металлургических производств, предприятий ТЭК накапливается огромное количество отходов, которые в настоящее время занимают значительные территории и создают множество экологических проблем: продукты горения и твердые взвеси (пыль) попадают в атмосферу; растворимые соли и кислотные остатки – в грунтовые воды и грунты. Но при разработке соответствующих технологий они могут также являться источниками ценного минерального сырья. Так, например, каждые 1 млн. т породы угледобывающих шахт содержат примерно 160...200 тыс. т глинозема, что в пересчете на металл составляет около 84...105 тыс. т алюминия, не говоря уже о наличии в отходах соединений таких металлов, как ванадий, германий и т.д. По мере истощения природных ресурсов внимание к переработке отходов будет возрастать, что потребует значительных усилий по разработке соответствующих технологий. Проблема усложняется тем, что технология переработки существенно зависит от минерального и химического состава сырья, которое при использовании отходов изменяется в широких пределах.

Анализ последних исследований и публикаций

Объем использования отходов добычи и обогащения угля путем производства аглопорита, керамического кирпича, применения в дорожном строительстве, рекультивации земель не превышает 15 %. При выборе способа утилизации гор-

ных пород следует учитывать принципы рационального природопользования, принимая во внимание, что отходы добычи и обогащения горных пород содержат ряд ценных компонентов. Так, бокситы в своем составе могут содержать: Al_2O_3 – до 70 %; SiO_2 – 2...14 %; Fe_2O_3 – до 30 %; Ga – 0,005 %; Ge – до 0,1 %. Нефелин: Al_2O_3 – 33 %; SiO_2 – 43...45 %; R_2O – 18...23 %; Ga – 0,004 %. Зола ТЭС – Al_2O_3 – до 25 %; SiO_2 – ~60 %; Fe_2O_3 – 8...14 %; R_2O – ~3 %. Аргиллит: Al_2O_3 – 21,9 %; SiO_2 – 59,6 %; Fe_2O_3 – 7,9 %; R_2O – ~3,9 %; Ga – 0,0043 %; Ge – 0,0006 %; V – 0,015 %.

Сложность переработки отходов горнодобывающих производств заключается в значительном содержании в их составе диоксида кремния SiO_2 . В зависимости от его содержания используют различные методы переработки. Так, извлечение глинозема (Al_2O_3) из высококачественных бокситов осуществляется по способу Байера растворами щелочей с последующим выделением алюминия в виде гидроксида $Al(OH)_3$ [1]. Для низкосортного сырья с большим содержанием SiO_2 разрабатываются альтернативные способы извлечения глинозема: кислотные [2], термические [3...7], комбинированные [8]. Суть кислотных методов сводится к обработке сырья кислотами, в которых растворяются соединения металлов, но не растворяется диоксид кремния. Недостаток технологии заключается в накоплении кислотных шламов, коррозионной стойкости аппаратуры и разделении соединений железа и алюминия. В термических и комбинированных методах сырье при высоких температурах спе-

кают с компонентами, которые связывают диоксид кремния в нерастворимые соединения, а затем из образующегося спека извлекают ценные компоненты кислотными или щелочными растворами. Проблемой термических методов являются высокие температуры спекания и переход ценных компонентов в формы, из которых они не извлекаются.

Одним из перспективных направлений комплексной утилизации техногенных отходов, содержащих глинозем, является способ бесщелочного спекания с известняком, который представляет интерес в реализации попутного производства глинозема, цемента и редкоземельных металлов. По способу бесщелочного спекания с известняком получают алюмокальциевый спек, который при выщелачивании содовыми растворами разлагается на алюминат натрия (жидкая фаза), являющийся источником глинозема, и двухкальциевый силикат (твердый остаток – белитовый шлам). В [9...13] рассмотрены основные факторы, влияющие на степень извлечения глинозема из алюмокальциевого спека: примеси, состав шихты, химизм процесса, температурные условия. Установлено, что для каждого вида сырья необходимо разрабатывать свои условия спекания. В [14] было рассмотрено извлечение глинозема из аргиллита, основного компонента породных отвалов и каолина, являющегося компонентом вскрышных пород месторождения огнеупорных глин. Установлено, что для систем аргиллит – мел и каолин – мел характерна высокая температура образования спека (1360...1400 °С) и невысокая степень извлечения из него глинозема. В [15] отмечается, что спек после извлечения глинозема, может быть использован в качестве компонента при производстве портландцемента либо в качестве добавки от 10 до 20 % в готовый цемент без потери его прочностных свойств. Таким образом, метод бесщелочного спекания позволяет разработать технологию полной утилизации отходов горнопромышленного комплекса.

Цель (задачи) исследования

Целью исследования является разработка технологии комплексной утилизации техногенных отходов, содержащих глинозем, включаю-

щей способ бесщелочного спекания отходов с известняком. Задача исследования – подобрать оптимальный состав шихты (аргиллит – каолин – мел), обеспечивающий пониженную температуру спекания и высокую степень извлечения глинозема.

Основной материал исследования

В качестве объекта исследования была выбрана трехкомпонентная система аргиллит – каолин – мел с различным стехиометрическим соотношением глиноземсодержащих минералов.

Для лабораторных исследований в качестве бесщелочного алюминийсодержащего сырья были выбраны каолин (вскрышные породы Просяновского месторождения каолина) и аргиллит (горные отвалы шахты «Речная»). Кальцийсодержащий компонент шихты – мел представлял некондиционные отходы содового производства фракцией менее 30 мм. Химический состав сырьевых компонентов приведен в табл. 1.

Для приготовления шихты для спекания каолин и аргиллит по отдельности измельчались в шаровой фарфоровой мельнице и с помощью сита 008 отбирались фракции с размером частиц менее 0,08 мм, а затем смешивались с измельченным мелом.

Шихта готовилась таким образом, чтобы обеспечить молярные соотношения основных компонентов для спекания, которые отвечают насыщенной шихте:

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 2; \quad \frac{\text{CaO}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1,8; \quad \frac{\text{CaO}}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1.$$

Для выбранного сырья расчетными оптимальными массовыми соотношениями CaCO₃ – сырье являются:

$$\frac{\text{CaCO}_3}{\text{Аргиллит}} = 2,26; \quad \frac{\text{CaCO}_3}{\text{Каолин}} = 2,5.$$

Затворенную водой шихту с влажностью 40 % выкладывали в шамотный тигель, помещаемый в печь сопротивления. Использовали два типа печей с различными нагревателями: фехралью марки Х23Ю5 (рабочая температура 1300 °С,

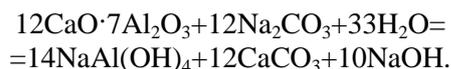
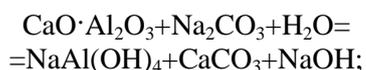
Табл. 1. Химический состав сырьевых материалов

Сырьевой материал	Содержание оксидов, масс. %					
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Другие	п. п. п.*
Аргиллит	56,7	-	16,2	7,1	9,7	10,3
Каолин	56,3	-	32,6	0,1	1,7	9,3
Мел	0,8	54,3	0,4	0,3	1,4	42,8

* Потери при прокаливании.

кратковременно до 1360 °С) и молибденом в инертной среде аргона (рабочая 1450 °С, но в зависимости от футеровки до 2200 °С). Для управления режимом спекания была разработана компьютерная система ПИД-управления печью. Программное обеспечение было выполнено на основе MasterSCADA, что позволило с высокой точностью задавать такие важные для технологии спекания параметры, как скорость нагрева печи, выдержку при заданной температуре и темп охлаждения. Контроль и выдерживание данных параметров крайне важны, так как только при определенном температурном режиме образующаяся высокотемпературная β-модификация 2CaO·SiO₂ (плотность 3,28 г/см³) переходит в γ-модификацию (2,95 г/см³). Этот переход приводит к саморассыпанию спеков в тончайший порошок. При нарушении температурного режима спек остается в камнеобразном состоянии, из которого глинозем практически не извлекается.

Охлажденный алюмокальциевый спек, содержащий алюминаты кальция CaO·Al₂O₃ и 12CaO·7Al₂O₃, подвергали выщелачиванию содовым раствором (81,6...120 г/л Na₂CO₃) при 70 °С в течение 30 минут, в ходе которого проходят реакции и алюминий в виде алюмината натрия NaAl(OH)₄ переходит в раствор в соответствии со схемой:



Выщелачивание осуществляли в термостатируемом реакторе с перемешиванием раствора электрической мешалкой. Разделение пульпы проводили с помощью воронки Бюхнера и колбы Бунзена, подключенных к вакуумному насосу. Белитовый шлак промывали до нейтральной реакции, сушили и направляли для переработки в цемент.

Так как стадия выщелачивания является целевой в выделении глинозема в раствор, степень извлечения глинозема определяли по концентрации алюмината натрия NaAl(OH)₄, который анализировали согласно ГОСТ 22552.3-77. Анализ осуществляли при помощи комплексометрического метода, сущность которого состоит в образовании трилонатного комплекса алюминия при pH=5,2...5,8 и титровании избытка трилона Б раствором сернокислорого цинка.

Степень извлечения глинозема Al₂O₃ (%) из спека в алюминатный раствор рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{X \cdot V(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{A_{\text{теор}}},$$

где X – содержание глинозема в алюминатном растворе, г/мл; V (Na₂CO₃) – объем раствора соды, мл; A_{теор} – теоретическое содержание глинозема в алюминатном растворе, г.

Комбинирование шихт аргиллит – мел и каолин – мел позволяет, с одной стороны, затруднить плавление шихты в печи и снизить температуру спекания, а с другой – увеличить выход глинозема по сравнению с двухкомпонентной шихтой.

Для определения количественного и качественного анализа, установления фазового состава продуктов спекания и выщелачивания был применен рентгенофазовый анализ. Съемка проводилась на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2. Количественный и качественный состав проанализированных образцов приведен в табл. 2. На рис. 1 представлена дифрактограмма алюмокальциевого спека, продукта спекания шихты аргиллит – каолин – мел, а на рис. 2 – дифрактограмма белитового шлама после выщелачивания алюмокальциевого спека.

Данные рентгенофазового анализа (рис. 1) показывают, что основными хорошо выраженными кристаллическими фазами в спеке после саморассыпания являются: Ca₃Al₆SiO₁₆ – 5 %; Ca₂SiO₄ – 60 %; неопределенная фаза – 35 %. Алюминий-содержащие фазы, из которых легко извлекается глинозем, находятся в рентгеноаморфном состоянии и на рентгенограмме не проявляются. Анализ показывает, что основными кристаллическими фазами шлама (рис. 2) являются белит (γ-Ca₂SiO₄) и муллит. В шламе содержится также 15...20 % CaCO₃, который образуется в результате разложения алюминатов кальция содой, оксид железа и некоторое количество неизвлеченного Al₂O₃.

Табл. 2. Количественный и качественный состав образцов по данным рентгенофазового анализа

Образцы для анализа	Количественный и качественный состав
1. Аргиллит – каолин – мел (спекание при 1300 °С)	Ca ₃ Al ₆ SiO ₁₆ – 5 %; Ca ₂ SiO ₄ – 60 %; неопределенная фаза – 35 %
2. Белитовый шлак	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ (Mullite) – 5 %; Ca ₂ SiO ₄ – 55 %; неопределенная фаза – 45 %

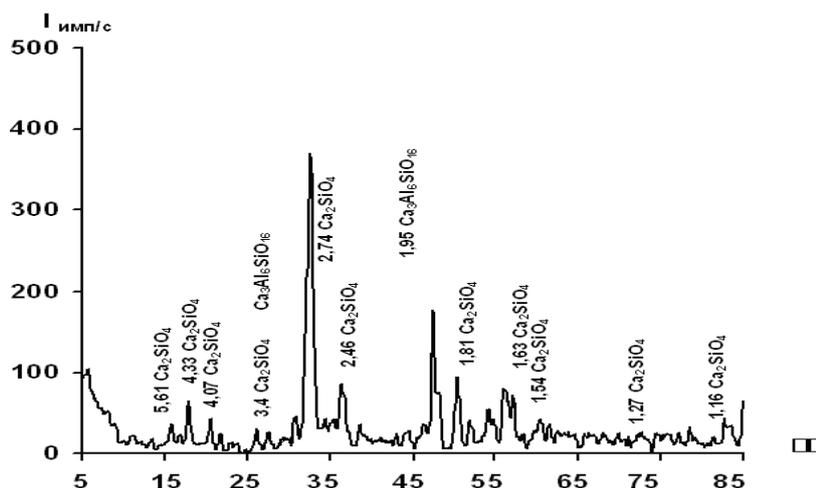


Рис. 1. Рентгенограмма продукта спекания аргиллит – каолин – мел. Температура спекания 1300 °С

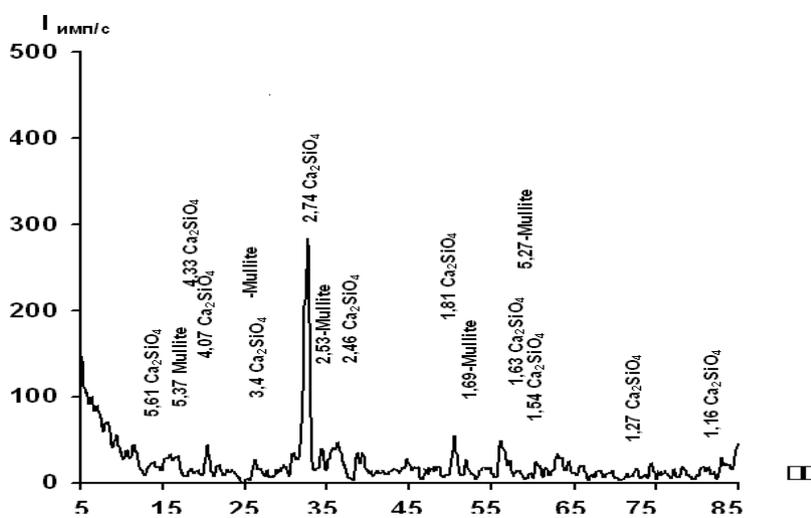


Рис. 2. Рентгенограмма белитового шлама

При добавлении к белитовому шламу аргиллита и мела можно подготовить шихту для получения цементного клинкера [13].

В табл. 3 приведены температурные режимы спекания композиций, составленных из шихт аргиллит – мел и каолин – мел. Как видно, в отличие от бинарных систем [15], высокая степень извлечения глинозема достигается при обжиге шихты уже при температуре 1280...1300 °С. Исходя из данных, приведенных в табл. 3, можно отметить, что важнейшим показателем для получения хорошего саморассыпающегося спека является выдержка шихты в печи при максимальной температуре на протяжении примерно 60 мин., а затем медленное охлаждение спека в печи на 40...50 °С на протяжении 20...40 мин., что характерно и для других видов сырья [5...7].

Степень извлечения глинозема существенно зависит от соотношения в шихте аргиллит – каолин (табл. 4). Оптимальным представляется соотношение аргиллит – каолин близкое к 3:7. Обращаем внимание, что данное соотношение свя-

зано с содержанием в шихте оксида железа.

Зависимость степени извлечения глинозема от содержания оксида железа (III) в смеси аргиллит – каолин представлена на рис. 2.

Как показали эксперименты, степень извлечения глинозема (рис. 3а) не линейно зависит от содержания в шихте каолина или аргиллита, а проходит через максимум. Это свидетельствует о том, что максимальное извлечение глинозема достигается при соблюдении вполне определенного химико-минералогического состава каолина и аргиллита, которое, с одной стороны, способствует извлечению оксида алюминия, а с другой – препятствует образованию стеклообразных фаз, уменьшающих степень извлечения глинозема. То есть в данном случае проявляется синергетический эффект, когда при обжиге минералы каолина блокируют образование стеклообразной фазы аргиллита и тем самым способствуют извлечению из него Al_2O_3 , а минералы аргиллита понижают температуру перехода Al_2O_3 каолина в извлекаемую форму.

Табл. 3. Влияние температурного режима спекания на качество спека из шихты аргиллит – каолин – мел и степень извлечения глинозема

Массовое соотношение шихт (аргиллит-мел): (каолин-мел)	Спекание		Охлаждение		Извлечение глинозема, %	Саморассыпание спека
	t, °C	время, мин.	t, °C	время, мин.		
50:50	300	60	1240	30	62,9	пудра и кусочки
40:60	300	60	1240	40	86,4	хорошее
40:60	300	60	1200	40	78,8	хорошее
30:70	300	60	1250	20	95,1	отличное
30:70	300	60	1250	20	92,7	хорошее
30:70	300	60	1200	40	85	хорошее
30:70	280	60	1200	40	79,7	удовлетворительное
30:70	250	60	1200	40	52,0	пудра и кусочки, плохое
20:80	300	60	1200	40	81,0	хорошее
10:90	300	60	1250	20	51,0	пудра и кусочки, плохое

Табл. 4. Технологические параметры спекания шихты аргиллит-каолин-мел и степень извлечения глинозема

Состав сырья, масс. %		Содержание Fe ₂ O ₃ , масс. %	Состав шихты, масс. %			Расчетное содержание Al ₂ O ₃ , кг/т шихты	Температура спекания, °C	Степень извлечения глинозема, %
аргиллит	каолин		аргиллит	каолин	мел			
0,23	0,77	1,8	6,68	28,1	68,54	102,4	1260	90,3
0,31	0,69	2,3	9,06	22,4	70,74	87,7	1280	97,5
0,39	0,61	2,8	11,4	17,9	70,7	76,1	1290	91,2
1,0	-	7,1	29,2	-	70,8	47,3	1350	65,3
-	1,0	0,1	-	28,5	71,5	92,9	1360	84,8

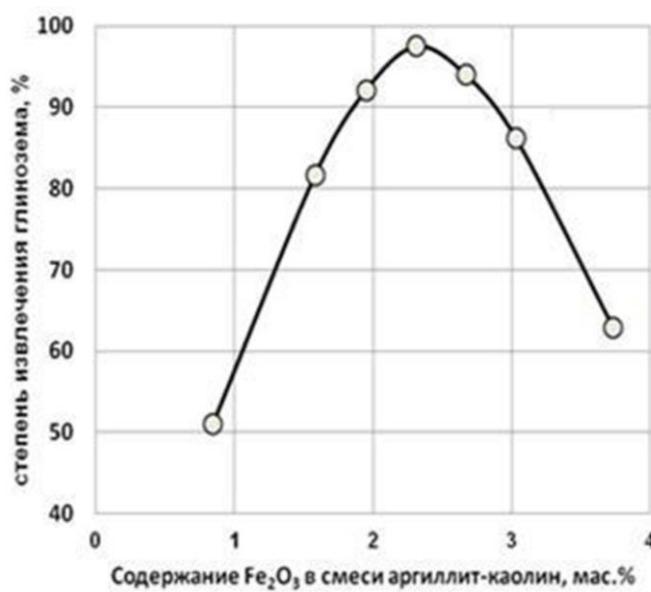
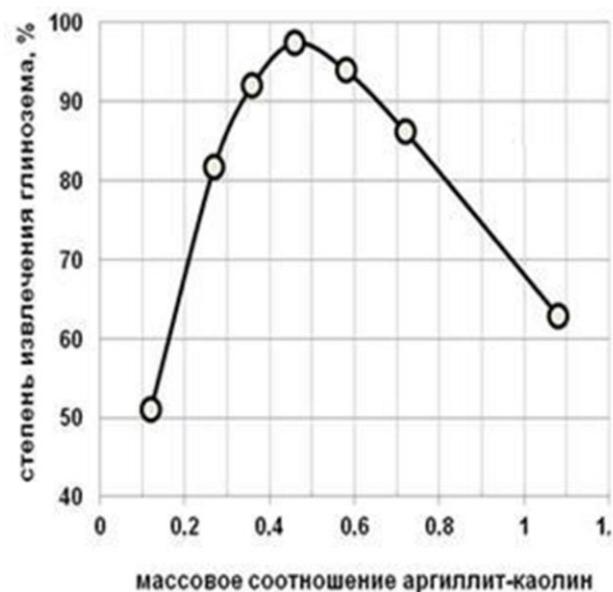


Рис. 3. Зависимость степени извлечения глинозема от соотношения в шихте аргиллит-каолин-мел: а – аргиллита и каолина; б – содержания оксида железа. Температура спекания 1300 °C. Охлаждение в печи до 1250 °C в течение 30 мин.

Зависимость степени извлечения глинозема от содержания оксида железа (III) в смеси аргиллит-каолин представлена рис. 3б. Как показывают экспериментальные данные, увеличение содержания Fe_2O_3 сначала приводит к увеличению степени взаимодействия между основными компонентами шихты и увеличивает степень извлечения глинозема. Однако с увеличением содержания Fe_2O_3 , с одной стороны, образуются стеклообразные фазы, что приводит к ухудшению саморассыпания спека, а с другой – увеличивается вероятность образования тугоплавкого $2CaO \cdot Fe_2O_3$ ($t_{пл} = 1480$ °С), вследствие чего оксид железа перестает выполнять функции плавня. Процессы спекания и саморассыпания спека ухудшаются, что приводит в итоге к уменьшению степени извлечения глинозема.

Из данных эксперимента (см. рис. 3б) следует, что для достижения степени извлечения глинозема более 90 % содержание Fe_2O_3 в смеси аргиллит-каолин должно быть равно 1,8...2,8 масс. %. При этом массовые доли аргиллита и каолина должны определяться соотношениями:

$$X = \frac{(1.8 \div 2.8) (\%Fe_2O_3 \text{ каолин})}{(\%Fe_2O_3 \text{ аргиллит}) (\%Fe_2O_3 \text{ каолин})};$$

$$Y = 1 - \frac{(1.8 \div 2.8) (\%Fe_2O_3 \text{ каолин})}{(\%Fe_2O_3 \text{ аргиллит}) (\%Fe_2O_3 \text{ каолин})},$$

где X – массовая доля аргиллита, Y – массовая доля каолина.

Выводы

Предложена технология получения саморассыпающихся спеков при пониженной температуре спекания сырья, содержащего отходы угледобывающих производств и каолина. Установлено, что фактором, существенно влияющим на температуру спекания и степень извлечения глинозема из спеков, является оксид железа (III), содержание которого в исходной шихте для спекания должно находиться в пределах 1,8...2,8 %. При этом температура получения высококачественных спеков может не превышать 1300 °С, а степень извлечения глинозема из них составляет более 90 %. Продукт после извлечения глинозема представляет собой силикаты кальция, являющиеся компонентами цемента, что позволяет использовать его как в производстве цементного клинкера, так и в качестве добавки к готовому цементу.

Список литературы

1. Лайнер, А.И. Производство глинозема / А.И.

Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер. – М.: Metallurgy, 1978. – 420 с.

2. R. Den Hond. Alumina Yield in the Bayer Process; Past, Present and Prospects / R. Den Hond, I.Hiralal, A. Rijkeboer // Light Metals. – 2007. – No.7. – P. 528-533.
3. Шаршенбек, К.А. Исследование возможности получения глинозема из природной каолиновой глины Чоко-Булакского месторождения / К.А. Шаршенбек, З.Б. Кочкорова, Б.М. Мурзубраимов // Известия вузов Кыргызстана. – 2017. – № 7. – С. 74-77.
4. Holappa, L. Slags in ferroalloy production – review of present knowledge / L. Holappa, Y. Xiao // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2004. – No.7. – P. 429-437.
5. Zhang, L. Recovery of titanium compounds from molten Ti-bearing blast furnace slag under the dynamic oxidation condition / L.N. Zhang, M.Y. Wang // Minerals Engineering. – 2007. – No.7. Vol.20. – P. 684-693.
6. Переработка нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана спекательным способом / М. Бодур [и др.] // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2016. – №1-3 (200). – С. 143-147.
7. Извлечение ценных компонентов из алюмосиликатных природных и техногенных материалов при получении глинозема способом спекания / И.И. Шепелев [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – №4(135), Т.22. – С. 203-214.
8. Инновационные направления полного использования золы ТЭС, работающих на угле, для производства глинозема и строительных материалов / Л.М. Делицын [и др.] // Теплоэнергетика. – 2013. – № 4. – С. 3-10.
9. Еремин, Н.И. Исследование химизма и механизма взаимодействий в системе $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ при нагревании / Н.И. Еремин, В.Ф. Кочержинская, А.И. Егерова // Производство глинозема: труды ВАМИ. – 1969. – № 65-66. – С. 192-199.
10. Мазель, В.А. Разработка условий получения саморассыпающихся алюмокальциевых спеков, пригодных для переработки на глинозем / В.А. Мазель, Н.И. Еремин, В.П. Мельникова // Производство глинозема: труды ВАМИ. – 1969. – №65-66. – С. 153-159.
11. Панаско, Г.А. Влияние скорости охлаждения саморассыпающихся шлаков на их микроструктуру и технологические качества / Г.А. Панаско, Н.С. Гусева, Ю.И. Павлов // Произ-

- водство глинозема: труды ВАМИ. – 1969. – №65-66. – С. 206-210.
12. Абрамов, В.Я. Физико-химические основы комплексной переработки алюминиевого сырья / В.Я. Абрамов, И.В. Николаев, Г.Д. Стельмакова. – М.: Металлургия, 1985. – 288 с.
 13. Мазель, В.А. Влияние Fe₂O₃, Na₂O, MgO, Cr₂O₃ и CaF₂ на некоторые свойства алюмокальциевых спеков / В.А. Мазель, Н.И. Еремин, В.П. Мельникова // Производство глинозема: труды ВАМИ. – 1969. – №65-66. – С. 200-205.
 14. О возможности получения глинозема из отходов угле- и горнодобывающей промышленности методом спекания бесщелочного сырья с известняком / А.А. Клименко [и др.] // Научные труды ДонНТУ. Серия: Химия и химическая технология. – 2012. – №19(199). – С. 151-157.
 15. Клименко, А.А. Использование белитового шлама глиноземного производства в качестве добавки при получении цемента / А.А. Клименко, Т.В. Шаповалова, Л.М. Реброва // Научные труды ДонНТУ. Серия: Химия и химическая технология. – 2014. – №2(23). – С. 189-194.

V.V. Shapovalov /Dr. Sci. (Chem.)/, S.V. Gorbatko /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

PRODUCTION OF ALUMOCALCIUM SINTER FROM MINING INDUSTRY WASTE FOR EXTRACTION OF ALUMINA BY THE METHOD OF ALKALI FREE SINTERING

Background. The real ways to use the waste of coal production do not provide full processing. The complexity of the processing of these wastes lies in the significant content of silicon dioxide in their composition and depending on its content, various methods of processing used.

A promising direction of complex utilization of technogenic waste containing alumina is a method of alkali free sintering with limestone; as a result, it is possible to obtain alumina, cement and rare earth metals. The task of the study was to choose the optimal composition of the charge material, which provides a low sintering temperature and a high degree of alumina extraction.

Materials and/or methods. Three-component system of argillite – kaolin – chalk with a different stoichiometric ratio of alumina-containing minerals is the object of the study.

The components of the charge were mixed in a particular proportion to obtain a given molar ratio and then crushed in a ball mill. After mixing with water, the charge burned. After cooling, the sinter leached with the extraction of aluminium oxide.

Results. As a result, the charge compositions in the systems argillite – chalk and kaolin – chalk determined, in which the melting of the charge in the furnace is severe, the sintering temperature decreases, and the yield of alumina increases.

Conclusion. It is found that iron oxide (III) has a significant effect on the quality of the sinter and the degree of extraction of alumina from it. The addition of kaolin to the initial charge makes it possible to reduce the iron oxide content to the optimum level, thereby providing a decrease in temperature when producing high-quality sinter and a high degree of extraction of alumina from the sinter. The optimal composition of the charge and the temperature regime for obtaining aluminium-calcium sinters determined. Based on the data of x-ray phase analysis, sludge formed after the extraction of alumina can be a valuable component in the production of cement.

Keywords: argillite, kaolin, chalk, aluminium-calcium sinter, calcium aluminate, dicalcium silicate, sodium aluminate, belite sludge, alumina.

Сведения об авторах

В.В. Шаповалов

SPIN-код: 2428-5889
Author ID: 56931339100
Researcher ID: A-8893-2016
ORCID iD: 0000-0001-8634-8929
Телефон: +380 (71) 385-51-05
Эл. почта: wwshapovalov@gmail.com

С.В. Горбатко

SPIN-код: 2241-5066
Author ID: 834373
Телефон: +380 (50) 189-02-75
Эл. почта: svgnick7@mail.ru

Статья поступила 15.05.2019 г.

© В.В. Шаповалов, С.В. Горбатко, 2019
Рецензент д.т.н., проф. Ю.Б. Высоцкий