

Краткое сообщение

УДК 669.162.1:549.08:544.3.03

DOI: 10.57070/2304-4497-2023-4(46)-107-111

**ТЕХНОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА
ПРОФИЛАКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА
ОБОЖЖЕННЫМ ИЗВЕСТНЯКОМ**

© 2023 г. Н. И. Кувшинникова, А. А. Пермяков, М. В. Темлянцев

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Выполнены технолого-минералогические исследования проб обожженного известняка и профилированного концентрата. Изучены процессы изменения минерального состава и влажности концентрата мокрой магнитной сепарации при профилировании его обожженным известняком. Описаны механизм и кинетика связывания воды влажного железорудного концентрата в процессе гидратации минералов. Показано, что почти все минералы обожженного известняка в определенной степени участвуют в процессе профилирования концентрата. Экспериментально установлено, что процесс профилирования протекает в течение суток, но наиболее интенсивно процесс идет в первые четыре часа после смешивания влажного концентрата с обожженным известняком.

Ключевые слова: железорудный концентрат, обожженный известняк, профилирование, минералообразование, влажность, кальцит, портландит

Для цитирования: Кувшинникова Н.И., Пермяков А.А., Темлянцев М.В. Технолого-минералогические исследования процесса профилирования железорудного концентрата обожженным известняком. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2023;(4(46)):107–111. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-4\(46\)-107-111](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-4(46)-107-111)

Short report

**TECHNOLOGICAL AND MINERALOGICAL STUDIES OF THE PROCESS OF
PROPHYLAXIS OF IRON ORE CONCENTRATE WITH CALCINED LIMESTONE**

© 2023 N. I. Kuvshinnikova, A. A. Permyakov, M. V. Temlyantsev

Siberian State Industrial University (42, Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

Abstract. Technological and mineralogical studies of samples of burnt limestone and pre-treated concentrate were performed. The processes of changing the mineral composition and moisture content of the MMC concentrate during its prophylaxis with burnt limestone have been studied. The mechanism and kinetics of water binding of wet iron ore concentrate in the process of mineral hydration are described. It is shown that almost all the minerals of burnt limestone participate to a certain extent in the process of concentrate prophylaxis. It has been experimentally established that the prophylaxis process takes place during the day, but the process is most intense in the first 4 hours after mixing the wet concentrate with burnt limestone.

Keywords: iron ore concentrate, calcined limestone, prophylaxis, mineral formation, humidity, calcite, portlandite

For citation: Kuvshinnikova N.I., Permyakov A.A., Temlyantsev M.V. Technological and mineralogical studies of the process of prophylaxis of iron ore concentrate with calcined limestone. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2023;(4(46)):107–111. (In Russ.). [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-4\(46\)-107-111](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-4(46)-107-111)

Введение

Концентрат, получаемый мокрой магнитной сепарацией, обычно содержит около 8,5 – 9,0 % влаги. Влага в концентрате негативно сказывается на его конечных свойствах. Она является балластом при транспортировке в морозное время, приводит к смерзанию концентрата в прочный монолит, снижая качество и затрудняя его отгрузку потребителем. Для уменьшения влажности товарного железорудного концентрата большинство предприятий используют барабанные сушилки, однако уменьшение влаги в товарном концентрате мокрой магнитной сепарации возможно также путем введения в его состав обожженного известняка непосредственно на обогатительной фабрике [1 – 6].

Одним из способов обезвоживания концентрата мокрой магнитной сепарации известью является получение профилактированного концентрата [7], который получают в условиях Абагурского филиала ОАО «Евразруда» и далее поставляют на ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». В силу технологических особенностей расстояние 50 км составы с концентратом проходят в течение суток и более. За это время концентрат успевает смерзаться. Для уменьшения влажности товарного концентрата и получения профилактированного концентрата на Абагурском филиале ОАО «Евразруда» используют известь, обжиг которой происходит на агломерационной машине № 7 (МАК-90) высвободившейся от производства агломерата [8]. Процесс получения профилактированного концентрата мокрой магнитной сепарации породил у технологов ряд вопросов.

Для решения проблемы технолого-минералогического обоснования процесса профилактирования в Лаборатории экологии и комплексного исследования минеральных отходов ЦКП «Материаловедения» Сибирского государственного индустриального университета были выполнены необходимые исследования проб природного и обожженного известняка, а также железорудного концентрата до и после профилактирования обожженным известняком. Особое внимание в ходе исследования было уделено изучению процессов минералообразования и физико-химических процессов, протекающих при профилактировании. В настоящей работе была изучена также кинетика перехода воды из жидкого состояния в кристаллогидратное. В процессе работы отобранные пробы были детально изучены при помощи химического, рентгенофазового и дифференциально-термического анализов с постоянным контролем микроскопическим способом.

Основные результаты

Технолого-минералогический анализ природного известняка показал, что кальцит в используемых известняках представлен в двух генерациях (мелкокристаллический кальцит I и крупнокристаллический (перекристаллизованный) кальцит II). При обжиге известняка кальцит первой генерации диссоциирует почти весь, крупнокристаллический кальцит диссоциации полностью не подвергается даже в очень мелких обломках. В табл. 1 приведен химический состав обожженного известняка по классам крупности.

Т а б л и ц а 1

Химический состав обожженного известняка по классам крупности
Table 1. Chemical composition of calcined limestone by size grades

Компоненты	Содержание компонентов, %, по классам крупности							
	+10,0	+5,0	+2,0	+1,0	+0,5	+0,2	+0,1	–0,1
Выход фракций	14,0	42,8	11,3	22,2	2,8	3,2	1,6	2,1
CaO	66,8	79,0	85,2	87,1	84,0	82,0	77,8	71,5
CaO _{акт}	31,1	59,1	79,1	84,0	76,6	71,6	66,6	56,0
MgO	0,94	1,03	1,03	0,75	1,01	0,64	1,09	1,37
Fe ₂ O ₃	1,36	1,07	0,45	0,51	1,15	0,97	1,47	3,18
SiO ₂	1,57	2,06	2,26	2,78	4,40	5,12	5,73	8,21
S	0,08	0,1	0,12	0,11	0,18	0,24	0,35	0,35
ППП	28,63	16,14	10,68	8,34	6,66	7,87	9,97	9,06

Расчетное количество влаги, переходящее в кристаллогидратное состояние
 Table 2. Estimated amount of moisture passing into the crystalhydrate state

Минерал	Формула	Количество влаги, кг, перешедшее в кристаллогидратное состояние, при добавлении извести, кг на 1 т концентрата			
		80	100	120	140
Портландит	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	17,44	21,80	26,16	30,52
Гидрокальцит	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3,02	3,58	4,54	5,29
Ольдгамит	CaS	0,36	0,45	0,54	0,63
Кальциоферриты	CaFe_2O_4	0,05	0,06	0,07	0,09
Кальциоливин	Ca_2SiO_4	1,67	2,1	2,51	2,93

Полученный на агломерационной ленте обожженный известняк смешивается с влажным концентратом. При этом активно происходит гидратация минералов. В процессе гидратации почти все минералы обожженного известняка участвуют в процессе профилирования. Процесс гидратации сопровождается образованием ряда минералов переменного состава. Было установлено, что в процессе профилирования железорудного концентрата обожженным известняком образуется не только портландит, но гидрокальцит, который переводит часть влаги концентрата из жидкого в кристаллическое состояние. Гидрокальцит в профилированном концентрате установлен в процессе микроскопических исследований и достаточно четко подтвержден результатами дифференциально-термического исследования.

Динамика перехода воды в кристаллическое состояние зависит от химического состава обожженного известняка, содержания в нем активного соединения СаО и частично от содержания кальцита и кальциоливина, а также от массы обожженного известняка, использованного на профилирование концентрата.

При смешивании концентрата с сухим обожженным известняком влажность концентрата заметно уменьшается. Рассчитать количество воды, которое переходит в процессе минералообразования из жидкого в кристаллическое состояние можно по следующей формуле:

$$W = C_{\text{мин}} m_{\text{изв}} \frac{nM_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{мин}}}, \quad (1)$$

где W – масса воды, перешедшей в кристаллическое состояние в результате минералообразования, кг; $m_{\text{изв}}$ – масса добавляемого обожженного известняка, кг; $C_{\text{мин}}$ – доля содержания минерала в массе обожженного известняка (в расчетах используется среднее содержание минеральных компонентов извести по классам круп-

ности из табл. 2); $\frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{мин}}}$ – отношение молеку-

лярной массы воды к молекулярной массе минерала обожженного известняка при гидратации; n – число молекул воды, которое приходится на одну молекулу минерала при гидратации (для ольдгамита $n = 6$, для кальциоферрита $n = 1,3$).

В табл. 2 представлено расчетное количество влаги, которое переходит в результате гидратации из жидкого в твердое кристаллогидратное состояние.

При профилировании концентрата обожженным известняком известь очень активно взаимодействует с гидратной и парообразной водой, превращаясь в портландит, при этом прирост веса составит примерно 32 % [9].

Опытным путем было установлено, что процесс профилирования влажного железорудного концентрата обожженным известняком происходит в четыре стадии и сопровождается гетерогенными кристаллохимическими, кристаллофизическими и эндотермическими (или экзотермическими) энергетическими явлениями.

На первой стадии в процессе смешивания концентрата с известью происходит усреднение тепловой энергии, температуры и влажности профилируемого концентрата. В результате происходит испарения большей части воды. Видимое испарение наблюдается на конвейерном тракте особенно в моменты каскадного пересыпания с одного конвейера на другой (в бункер или вагон). Источником энергии на испарение воды является горячий (иногда температура выше 200 °С) обожженный известняк (тепло выделяется в процессе гидратации обожженного известняка). Локально температура реакции гидратации может достигать 460 °С.

Вторая стадия сопровождается поглощением тепловой энергии в процессе растворения, способствуя образованию гетерогенного ионно-коллоидного структурированного водного раствора. Растворение минеральных компонентов обожженного известняка в воде влажного кон-

центрата сопровождается поглощением тепловой энергии, которая была привнесена горячим обожженным известняком в профилируемый концентрат. На второй стадии влажность концентрата не меняется, но существенно меняются физико-химические свойства и структура водного раствора.

На третьей стадии профилирования в процессе реакций гидратации происходит образование гидрокальцита, портландита, брусита, гипса и других гидроминералов, переводящих воду из жидкого в твердое кристаллогидратное состояние. Образование новых минералов в процессе профилирования концентрата сопровождается выделением тепловой энергии минералообразования и скрытой теплоты кристаллизации.

Во время четвертой стадии происходят процессы испарения и сушки, которые сопровождаются поглощением тепловой энергии и ее рассеиванием во времени и пространстве. Только при испарении без учета естественной сушки влажность концентрата, профилированного разным количеством обожженного известняка и в разных погодных условиях, уменьшилась на 0,4 – 2,5 %.

В зависимости от условий профилирования остаточная влажность концентрата колеблется в пределах от 1,5 до 7,0 %. Эта зависимость определяется погодными-временными условиями и количеством обожженного известняка, вносимого на профилирование концентрата мокрой магнитной сепарации. Влажность железорудного концентрата в зимнее время должна быть не более 4 % [10]. Именно при такой влажности не происходит смерзание концентрата при его транспортировке. При этом влажность концентрата в летнее время должна быть около 7 %, чтобы предотвратить «пыление» концентрата во время транспортировки, а также облегчить его выгрузку потребителем.

Выводы

С помощью технолого-минералогических исследований было установлено, что в процессе профилирования обезвоживание концентрата происходит в несколько стадий. Определено, что удаление влаги происходит не только за счет ее испарения при смешении влажного железорудного концентрата с горячим известняком, но и за счет процесса минералообразования, протекающего при гидратации минералов обожженного известняка с влагой концентрата. При этом было установлено, что почти все минералы в той или иной степени участвуют в переводе воды из жидкого состояния в твердое кристаллогидратное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. *Агломерация*. Москва: Металлургия, 1967:367.
2. Бережной Н.Н., Булычев В.В., Костин А.И. *Производство железорудных окатышей*. Москва: Недра, 1977:240.
3. Пат. 2425155 РФ. *Способ сушки тонкоизмельченного железорудного концентрата* / С.А. Напольских, Р.А. Гельбинг, А.Г. Сухарев; опубл. 27.07.2011.
4. Hong C., Xing Y., Si Y.X. et al. Lime-Mediated Sewage Sludge and Gas Ash use as Metallurgy Sintering Ingredients. *Advanced Materials Research*. 2013;779-780(9): 1623–1628.
5. Gen-Sheng Feng, Sheng-Li Wu, Hong-Liang Han et al. Sintering characteristics of fluxes and their structure optimization. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2011;18(6):270–276.
6. Loo C. E., Ellis B. G. Changing Bed Bulk Density and other Process Conditions during Iron Ore Sintering. *ISIJ International*. 2014; 54(1):19–28.
7. Пермяков А.А., Кувшинникова Н.И., Калиногорский А.Н., Бутов П.Ю., Ганженко И.М., Осокин Н.А. Технолого-минералогические исследования кинетики процессов при профилировании концентрата, производимого на Абагурском филиале ОАО «ЕВРАЗРУДА». В кн.: *Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды XVII Всероссийской научно-практической конференции*, 8-11 октября 2013; 2013:12–17.
8. Берсенева И.С., Клейн В.И., Зарщиков П.И., Осокин Н.А., Щеглов В.Н. Производство известня на агломерационной машине МАК-90. *Сталь*. 2013;4:2–5.
9. Бойтон Р.С. *Химия и технология известня*. Москва: Стройиздат, 1972:240.
10. Кулибин В.А. *Подготовка руд к плавке*. Москва: Металлургиздат, 1959:518.

REFERENCES

1. Bazilevich S.V., Vegman E.F. *Agglomeration*. Moscow: Metallurgiya, 1967:367. (In Russ.).
2. Berezhnoi N.N., Bulychev V.V., Kostin A.I. *Production of iron ore pellets*. Moscow: Nedra, 1977:240. (In Russ.).
3. Napol'skikh S.A., Gel'bing R.A., Sukharev A.G. *Method of drying of finely ground iron ore concentrate*. Pat. 2425155 RF; opubl. 27.07.2011. (In Russ.).
4. Hong C., Xing Y., Si Y.X. et al. Lime-Mediated Sewage Sludge and Gas Ash use as Metallurgy Sintering Ingredients. *Advanced*

- Materials Research*. 2013;779-780(9):1623–1628.
5. Gen-Sheng Feng, Sheng-Li Wu, Hong-Liang Han et al. Sintering characteristics of fluxes and their structure optimization. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2011;18(6):270–276.
 6. Loo C. E., Ellis B. G. Changing Bed Bulk Density and other Process Conditions during Iron Ore Sintering. *ISIJ International*. 2014;54(1):19–28.
 7. Permyakov A.A., Kuvshinnikova N.I., Kalinogorskii A.N., Butov P.Yu., Ganzhenko I.M., Osokin N.A. Technological and mineralogical studies of the kinetics of processes in the prevention of concentrate produced at the Abagursky branch of JSC “EURASRUDA”. In: *Metallurgy: Technologies, management, innovation, quality. All-Russian Scientific and practical conferences*, 8-11 October 2013; 2013:12–17. (In Russ.).
 8. Bersenev I.S., Klein V.I., Zarshchikov P.I., Osokin N.A., Shcheglov V.N. Production notified to agglomeration machine MAK-90. *Stal'*. 2013;4:2–5. (In Russ.).
 9. Boiton R.S. *Chemistry and technology of lime*. Moscow: Stroiizdat, 1972:240. (In Russ.).
 10. Kulibin V.A. *Preparation of ores for smelting*. Moscow: Metallurgizdat, 1959:518. (In Russ.).

Сведения об авторах

Наталья Игоревна Кувшинникова, ведущий инженер лаборатории экологии и комплексного использования минеральных отходов, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: n.kuvshinnikova@rambler.ru

Арнольд Аркадьевич Пермяков, к.г.-м.н., научный руководитель лаборатории экологии и комплексного использования минеральных отходов, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: permyakovarnold@mail.ru

Михаил Викторович Темлянец, д.т.н., профессор кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru
ORCID: 0000-0001-7985-5666

Information about the authors

Natalia I. Kuvshinnikova, Leading Engineer of the Laboratory of Ecology and Integrated Use of Mineral Waste, Siberian State Industrial University
E-mail: n.kuvshinnikova@rambler.ru

Arnold A. Permyakov, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, scientific supervisor of the Laboratory of Ecology and Integrated Use of Mineral Waste Siberian State Industrial University
E-mail: permyakovarnold@mail.ru

Mikhail V. Temlyantsev, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Department of Thermal Power Engineering and Ecology, Siberian State Industrial University
E-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru
ORCID: 0000-0001-7985-5666

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию 30.11.2023

После доработки 04.12.2023

Принята к публикации 06.12.2023

Received 30.11.2023

Revised 04.12.2023

Accepted 06.12.2023