

Е.Б. Джантаев, Г.С. Кенжибаева*

магистрант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

к.т.н., доцент, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

*Автор для корреспонденции: gs.kezhibaeva@mail.ru

АГЛОМЕРАЦИЯ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ В ФОСФОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация

Истощение запасов высококачественных руд, т.е. ухудшение качества сырья, имеет своим следствием то, что работа фосфорных производств с хорошими технико-экономическими показателями возможна лишь при организации устойчивых режимов работы печных агрегатов на высоких мощностях, а это обеспечивается только в случае соответствующей подготовки исходного сырья. Все фосфатное сырье до подачи в рудотермический агрегат должно подвергаться предварительной прокатке с целью максимального сокращения затрат электроэнергии на побочные процессы, проходящие в ванне печи. В статье рассмотрена сущность агломерации фосфатного сырья и технологические параметры процесса. Предложен оптимальный вариант предварительной прокатки фосфоритного сырья. Проведен химический и физико-химический анализ агломерата с применением котельного молока, полученного при электротермической переработке агломерированного фосфатного сырья.

Ключевые слова: агломерация, производство фосфора, подготовка сырья, обжиг сырья.

Введение

Постепенное истощение запасов высококачественных руд, т. е. ухудшение качества сырья, имеет своим следствием то, что работа фосфорных производств с хорошими технико-экономическими показателями возможна лишь при организации устойчивых режимов работы печных агрегатов на высоких мощностях, а это обеспечивается только в случае соответствующей подготовки исходного сырья.

При всем многообразии существующих методов подготовки сырья практически не один из них не может быть рекомендован как универсальный из-за большого разнообразия применяемых видов фосфатного сырья и наличия тех или иных недостатков рассмотренных методов подготовки. Однако на основании практического опыта и проведенных исследований можно сформулировать принципы, которые должны быть положены в основу выбора метода для конкретных условий того или иного фосфорного производства.

Материалы и методы

Все фосфатное сырье до подачи в рудотермический агрегат должно подвергаться предварительной прокатке с целью максимального сокращения затрат электроэнергии на побочные процессы, проходящие в ванне печи [1]. Сырье должно иметь равномерный гранулометрический состав, обеспечивающий наилучшие условия: теплообмена в ванне печи.

Для порошкообразных видов фосфатного сырья, например, флотоконцентратов, наибольшее предпочтение следует отдать в настоящее время методу грануляции с последующим высокотемпературным обжигом гранул. Выбор оборудования для сушки и обжига гранул должен решаться в зависимости от наличия освоенных промышленностью машин и механизмов. В процессе окомкования должны быть сведены к минимуму добавки связующих и максимально использоваться отходы фосфорного производства [1].

Окомкование мелких фракций фосфатного сырья более логично вести методами, не требующими дополнительного размола, если при этом полученный продукт обеспечит нормальное ведение процесса электровозгонки и технико-экономические показатели метода не будут уступать другим способам, требующим более тонкого размола исходного сырья.

Все методы подготовки фосфатного сырья включают стадию высокотемпературной обработки, поэтому в той или иной степени происходят газовые выбросы, что также следует учитывать при выборе метода подготовки исходных материалов [2].

Результаты и обсуждение

Сущность процесса агломерации фосфатного сырья на агломерационных (ленточных) машинах заключается в следующем: сравнительно тонкий слой увлажненной шихты, включающей мелкие фракции фосфоритов и необходимое количество топлива, загружают на колосниковую решетку агломерационной машины [2]. После зажигания верхнего слоя шихты, продукты горения просасываются сверху вниз через слой шихты. Горение, начавшееся на поверхности, постепенно идет через весь слой шихты узкой зоной с высокой температурой (~1570 К). Когда зона высокой температуры достигнет колосников, процесс спекания заканчивается. После зажигания шихты на расстоянии 1,5—2,0 м от горна наблюдается резкий подъем температуры, достигающей 1470 К в верхних слоях, а при дальнейшем движении зоны спекания — до 1570 К в нижних слоях. За счет горения топлива, заключенного в шихте, выделяется такое количество теплоты, которого достаточно для плавления значительной части минеральной составляющей шихты. В процессе спекания агломерата происходит диссоциация карбонатных минералов и выделившиеся при этом окислы кальция и магния реагируют с кремнеземом, образуя кальциевые и кальциевомагниевого силикаты. Испарение влаги идет при ~370 К, кристаллизационная влага удаляется при более высоких температурах.

Процесс спекания с просасыванием воздуха сопровождается большими скоростями реакций. Воздух, необходимый для горения топлива, находящегося в шихте, кроме того является и передатчиком теплоты внутри слоя шихты.

После достижения максимальных температур спекания наступает охлаждение и затвердевание агломерата. Последний имеет мелкопористое строение за счет просасывания воздуха через расплавленную шихту.

Один из важных факторов, определяющий свойство агломерационной шихты, ход процесса агломерации и качество готового агломерата, — газопроницаемость шихты и количество топлива в шихте. На газопроницаемость в основном влияют: размер кусков спекаемого материала, влажность, вакуумный режим, температура шихты и высота слоя ее.

Известно, что чем мельче материал, тем хуже его газопроницаемость. На газопроницаемость влияет также и форма зерна материала. Мелкие фракции материала при увлажнении комкуются, улучшая тем самым газопроницаемость. Однако по мере увлажнения шихты газопроницаемость сначала увеличивается, затем резко падает. При увлажнении происходит разрыхление с одновременным окомкованием шихты и уменьшением ее насыпной массы. Следует заметить, что шихта, не содержащая влаги, не спекается. Правильная дозировка кокса в шихте и надлежащая его подготовка обеспечивают необходимую прочность агломерата.

Агломерационная машина представляет собой подвижную ленту, состоящую из спекательных тележек, на которые непосредственно загружают подстилочный и шихтовый материал.

Для зажигания твердого топлива шихты служит природный газ. Полученные при его сжигании дымовые газы просасываются через слои агломерационной шихты и зажигают кокс, содержащийся в ее составе. Горячие газы для зажигания верхнего слоя шихты имеют температуру 1570 К, в остальные секции горна для формирования устойчивой зоны горения подают дополнительную теплоту за счет поступления газов с температурой 1270; 1120 и 1020 К.

Из зоны зажигания шихта поступает в зону спекания, где за счет теплоты сгорания твердого топлива температура повышается до 1570 К, происходит удаление влаги, органических веществ, разложение карбонатов и образование спека — «пирога».

В фосфорной промышленности нашей страны используются наиболее крупные агломерационные машины с площадью спекания 312 м^2 , имеющие длину зоны спекания 78 м и ширину 4 м. Скорость движения спекательных тележек от 1,5 до 7,5 м/мин. Удельный объем годного агломерата — $0,5 \text{ т/м}^2$.

Образующийся на агломерационной машине спек при 1070—1170 К поступает на одновалковую дробилку горячего агломерата, где разламывается на куски размером до 150—200 мм, после чего передается на самобалансный грохот для отсева «горячего» возврата фракции 0—8 мм. Освобожденные от мелочи куски агломерата, охлаждаются на прямолинейном охладителе до 370 К. Охладитель представляет собой наклонный конвейер (угол наклона 10°) с полотном, состоящим из 2-х бесконечных цепей и колосниковых решеток с бортами, прикрепленными к их звеньям. Бесконечные цепи, несущие на себе секции с колосниками, образуют основной рабочий орган охлаждения — полотно. Активная площадь охладителя — 315 м^2 , длина рабочей поверхности полотна — 90 м, ширина — 3,5 м, скорость движения полотна — 1—3 м/мин.

Охлажденный агломерат отсеивается от фракции выше 50 мм, которая додрабливается на конусной дробилке, а затем весь агломерат поступает в отделение грохочения, где сортируется с получением годного агломерата фракции 8-50 мм, «постели»-фракции 5-8 мм и мелкой фракции 0-5 мм, направляемой в виде «возврата» в отделение первичного смешивания для использования в составе агломерационной шихты.

Агломерационные газы содержат значительные количества пыли и химические загрязнения, в виде таких компонентов, как P_2O_5 , PH_3 , HF , SO_2 . Основная часть пыли осаждается в пылевых мешках газового коллектора, откуда удаляется через гидрозатворы. Остальная часть пыли улавливается на очистных установках, расположенных перед эксгаустерами. Химические загрязнения улавливаются на установках мокрой химической очистки. В небольшом количестве они попадают также и в вентиляционный воздух от аспирационных установок, а также в горячий воздух от охладителя.

По сравнению с методом гранулирования данный метод имеет как преимущества, так и недостатки. При агломерации отпадает необходимость тонкого размола фосфатного сырья и ввода связующего, достигается более высокая степень декарбонизации в процессе прокали и одновременно идет офлюсовывание сырья за счет высоких температур, что особенно важно при работе на фосфоритах с невысоким содержанием P_2O_5 . Для проведения агломерации используется готовое комплектное высокопроизводительное оборудование металлургической промышленности, все узлы которого освоены в промышленных условиях.

Согласно изобретению [3] получение офлюсованных углеродсодержащих фосфоритных окатышей из фосфоритной мелочи и 10-25 мас.% отходов в угледобывающей промышленности, содержащих не менее 20 мас.% углерода, осуществляется путем грануляции тонкоизмельченных материалов на дисковом грануляторе с использованием в качестве связующего воды, сульфитноспиртовой бражки или коттрельного молока. Полученные окатыши с влажностью 11-13,5 мас.% сушат и обжигают при температуре 800-900 °С в течение 18-25 мин. В зоне обжига обжигового агрегата. Технический результат заключается в повышении прочности окатышей и их качества, снижении энергозатрат и экологических преимуществах.

Предлагается использовать в процессе агломерации фосфатно-кремнистого сырья топочные газы при сжигании печного газа, что позволяет сократить расход природного газа, а в качестве связующего использовать коттрельное молоко и фосфорсодержащие шламы, способствующие повышению прочности и выхода готового агломерата [4]. По этому способу шихта, содержащая мелочь фосфатно-кремнистого сырья фракции 0-8 мм, коксовую мелочь, термоантрацит, коттрельное молоко в количестве 2,5-4,0 % и шлам, используемые в качестве связующих, подается на колосниковую решетку агломашины, где происходит зажигание

твердого топлива, преимущественно термоантрацита, которое осуществляется при температуре 700-800 °С.

Предлагается способ агломерации фосфатного сырья, сущность которого представляется в следующем. Перед агломерацией фосфатное сырье смешивают с коксом. Смесь увлажняют, окомковывают и загружают на колосниковую решетку агломерационной машины. Смесь нагревают топочными газами до зажигания кокса с последующей заменой топочных газов воздухом, просасываемым сверху вниз через слой окомкованной смеси. В конце процесса спекания над поверхностью спека пропускают пылевоздушную смесь, содержащую 50 мас. % коттрельной пыли, при скорости подачи смеси 0,86-1,60 м³/с в течение 1,20-1,50 мин. Далее спек дробят, охлаждают с получением продукта агломерации. Фракцию минус 5 мм возвращают на стадию смешения. Плотность агломерата 71,2 г/см³ [5-7].

При проведении экспериментальных исследований использовали коттрельное молоко, образованное при электротермической переработке агломерированного фосфатного сырья. Продукция цеха агломерации – годный агломерат фракции (6-120) · 10⁻³ м, содержание фракции (0-6) · 10⁻³ м не более 12%.

Качество агломерата определяется:

- а) прочностью, которая характеризуется содержанием фракции (0-0,5) · 10⁻³ м в барабанной пробе не более 9%, фракции крупнее 5 · 10⁻³ м не менее 68%.
- б) содержание остаточного углерода не более 0,5%,
- в) содержание СО₂ не более 0,4% (при степени декарбонизации 95%).

Фосфоросодержащими компонентами агломерата являются фосфаты кальция, в основном Са₃(РО₄)₂.

Содержание Р₂О₅ в агломерате – не менее 22,6 % и зависит от состава поступающего сырья.

По внешнему виду агломерат представляет собой куски спека неправильной формы, пористой структуры, серо-бурого цвета. Агломерат не горюч, не растворим в воде. Насыпной вес (0,8-1,0) т/м³ в зависимости от гранулометрического состава. Кажущаяся теплоемкость в интервале температур (270-1700) К – (700-750) Дж/кг К. Коэффициент теплопроводности в интервале температур (270-1700) К-(0,25-0,95) Вт/м К.

Проведен химический и физико-химический анализы агломерата с применением коттрельного молока (табл.1).

Таблица 1 – Химический состав агломерата

Наименование материала	Содержание компонентов, в % весовых								
	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CO ₂	K ₂ O	F
Агломерат	22,6	36,7	2,5	2,9	1,6	27,9	0,5	3,0	2,2

При проведении экспериментальных исследований использовали коттрельное молоко, полученное при электротермической переработке агломерированного фосфатного сырья. Состав фосфоритного агломерата представлен на рис. 1.

Элемент	Весовой, %
O	46.56
F	2.20
Na	0.37
Mg	1.09
Al	1.95
Si	12.30
P	8.69
K	1.27
Ca	23.84
Ti	0.14
Fe	1.59

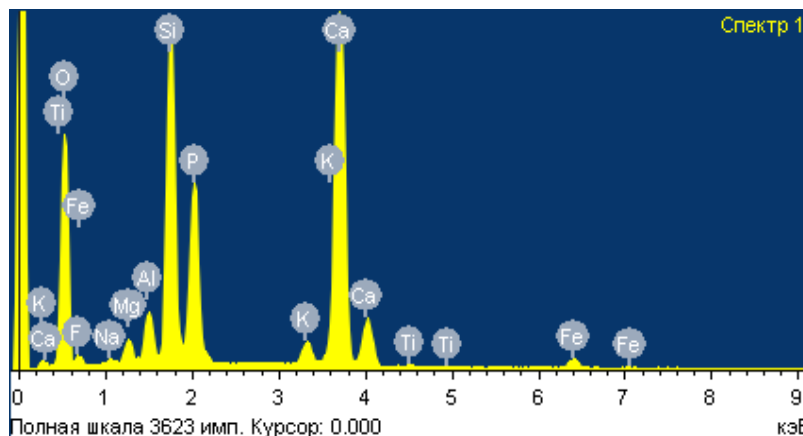


Рис.1. Поэлементный состав и микроструктура фосфоритного агломерата

Выводы

Основным фактором, определяющим эффективность процесса, является газопроницаемость шихты, зависящая от крупности материала, влажности, вакуума и высоты слоя. Оптимальное увлажнение улучшает окомкование, однако его избыток резко снижает газопроницаемость. Важнейшие параметры управления — дозировка кокса и влажность, так как сухая шихта не спекается.

Технологическая схема включает зажигание природным газом (до 1570 К), спекание, дробление горячего агломерата, грохочение с возвратом мелочи (0–8 мм) и охлаждение до 370 К. Готовый агломерат фракции 8–50 мм должен иметь прочность (фракции <0,5 мм ≤9%, >5 мм ≥68%), остаточный углерод ≤0,5%, CO₂ ≤0,4% (степень декарбонизации ≥95%). Содержание P₂O₅ — не менее 22,6%.

Сравнение с гранулированием показывает преимущества агломерации: отсутствие тонкого размола и связующих, высокая декарбонизация и офлюсовывание сырья, использование отработанного металлургического оборудования. Экологические аспекты решаются улавливанием пыли и химических загрязнений (P₂O₅, PH₃, HF, SO₂) на мокрых очистных установках.

Список литературы

1. Пехотин, Г.А. Термическая подготовка фосфатного сырья агломерацией. М.: НИИТЭхим, 1986, 76 с.
2. Постоянный технологический регламент № 3 по производству фосфоритного агломерата для получения желтого фосфора. Тараз: ЖФ ТОО «Казфосфат» (НДФЗ), 2016, 117 с.
3. Патент KZ В № 24300 С 05В 11/08. Способ переработки фосфорсодержащих отходов фосфорного производства. / Менлибаев А. и др.; заявл. 01.07.2009; опубл. 15.07.2011, бюл. № 7.
4. Инновац. патент KZ А4 № 29959 С 05В 11/16. Способ переработки котельного молока./ Джусипбеков У.Ж.. и др.; заявл. 12.06.2014; опубл. 15.06.2015, бюл. № 6.
5. А.с. № 1819850 СССР, С 01В 25/01. Способ агломерации фосфатного сырья /Масляшова Г.А. и др. – № 4897432/26; заявл. 27.12.90; опубл. 07.06.93. Бюл. № 21.
6. С.Т. Тлеуова, А.С. Тлеуов, Д.Т. Пазылова, Н.Т. Сагиндикова, Ж.А. Туришбеков Исследование физико-химических особенностей и термодинамических закономерностей процесса агломерации фосфатного сырья с использованием нефтяного кокса // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки, 2024, №2(14), С. 552-562.

7. Способ агломерации фосфатного сырья / Темирбеков Т. Т., Ишханов Е. С., Битней Л. Б. [и др.]; заявитель: Новоджамбульский фосфорный завод // Описания изобретений (ретрофонд) / Комитет по патентам и товарным знакам России. – М., 2003. – 1984, № 1

References

1. Pekhotin, G.A. Termicheskaya podgotovka fosfatnogo syr'ya aglomeracij. М.: NIITEkhim, 1986, 76 s.
2. Postoyannyj tekhnologicheskij reglament № 3 po proizvodstvu fosforitnogo aglomerata dlya polucheniya zheltogo fosfora. Taraz: ZHF TOO «Kazfosfat» (NDFZ), 2016, 117 s.
3. Patent KZ V № 24300 S 05V 11/08. Sposob pererabotki fosforsoderzhashchih othodov fosfornogo proizvodstva. / Menlibaev A. i dr.; zayavl. 01.07.2009; opubl. 15.07.2011, byul. № 7.
4. Innovac. patent KZ A4 № 29959 S 05V 11/16. Sposob pererabotki kotrel'nogo moloka./ Dzhusipbekov U.ZH.. i dr.; zayavl. 12.06.2014; opubl. 15.06.2015, byul. № 6.
5. A.s. № 1819850 SSSR, S 01V 25/01. Sposob aglomeracii fosfatnogo syr'ya /Maslyashova G.A. i dr. – № 4897432/26; zayavl. 27.12.90; opubl. 07.06.93. Byul. № 21.
6. S.T. Tleuova, A.S. Tleuov, D.T. Pazylova, N.T. Sagindikova, ZH.A. Turishbekov Issledovanie fiziko-himicheskikh osobennostej i termodinamicheskikh zakonornostej processa aglomeracii fosfatnogo syr'ya s ispol'zovaniem neftyanogo koksa // Vestnik Universiteta SHakarima. Seriya tekhnicheskie nauki, 2024, №2(14), S. 552-562.
7. Sposob aglomeracii fosfatnogo syr'ya / Temirbekov T. T., Ishkhanov E. S., Bitnej L. B. [i dr.]; zayavitel': Novodzhambul'skij fosfornyj zavod // Opisanija izobretenij (retrofond) / Komitet po patentam i tovarnym znakam Rossii. – М., 2003. – 1984, № 1

Е.Б. Джантаев, Г.С. Кенжибаева

магистрант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: gs.kezhibaeva@mail.ru

ФОСФОР ӨНДІРІСІНДЕГІ ФОСФАТ ШИКІЗАТЫНЫҢ АГЛОМЕРАЦИЯСЫ

Түйін

Жоғары сапалы кен қорларының сарқылуы, яғни шикізат сапасының нашарлауы, жақсы техникалық-экономикалық көрсеткіштері бар фосфор өндірісінің жұмысы пеш агрегаттарының жоғары қуаттардағы тұрақты жұмыс режимін ұйымдастыру кезінде ғана мүмкін, ал бұл бастапқы шикізатты тиісті дайындау жағдайында ғана қамтамасыз етіледі. Барлық фосфат шикізаты кенотермиялық агрегатқа берілгенге дейін пеш ваннасында өтетін жанама процестерге электр энергиясының шығындарын барынша қысқарту мақсатында алдын ала шыңдауға ұшырауы тиіс. Мақалада фосфат шикізатының агломерациясының мәні және процестің технологиялық параметрлері қарастырылған. Фосфорит шикізатын алдын ала қыздырудың оңтайлы нұсқасы ұсынылған. Агломератталған фосфат шикізатын электротермиялық өңдеу кезінде алынған котрельдік сүтті қолдана отырып, агломераттың химиялық және физикалық-химиялық талдауы жүргізілді.

Кілттік сөздер: агломерация, фосфор өндірісі, шикізатты дайындау, шикізатты күйдіру.

Ye.B. Dzhantaev, G.S. Kenzhibaeva

Master's student, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
Cand.Tech.Sci., Associate Professor, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

***Corresponding author's email:** gs.kezhibaeva@mail.ru

ФОСФОР ӨНДІРІСІНДЕГІ ФОСФАТ ШИКІЗАТЫНЫҢ АГЛОМЕРАЦИЯСЫ

Abstract

The depletion of reserves of high-quality ores, i.e. the deterioration of the quality of raw materials, has the consequence that the work of phosphoric production with good technical and economic indicators is possible only with the organization of stable modes of operation of furnace units at high capacities, and this is provided only in the case of appropriate preparation of raw materials. All phosphate raw materials to feed in the ore-thermal unit shall be subjected to a preliminary calcination, with the aim of maximum reduction of the energy costs for secondary processes taking place in the furnace bath. The article deals with the essence of agglomeration of phosphate raw materials and process parameters. The optimal variant of preliminary calcination of phosphorite raw materials is offered. Chemical and physico-chemical analysis of agglomerate with the use of boiler milk obtained during electrothermal processing of agglomerated phosphate raw materials was carried out.

Keywords: agglomeration, phosphorus production, preparation of raw materials, roasting of raw materials.