

УДК 622.73

**А.С. ДРЕШПАК**

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

## **АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ОБОГАЩЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ ИЗ НЕОДНОРОДНЫХ КАРБОНАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

В Украине разведано большое количество карбонатных месторождений. Высококачественные флюсовые известняки для металлургии традиционно разрабатывались и расположены во временно недоступных регионах материковой Украины и Крымском полуострове. Общее годовое потребление щебня из кондиционных известняков для металлургии составляет 8-10 млн т/год. Остальные карбонатные месторождения, находящиеся на территории Украины, имеют низкие физико-механические свойства и химический состав. Особенностью залегания пластов таких известняков является наличие глинистых частиц в верхних и средних слоях месторождений. Такая структура месторождений при проведении традиционных горно-добычных работ и технологических производственных линий обуславливает неэффективность использования недр и низкое извлечение в товарные фракции известнякового щебня при его добыче и последующей переработке.

Флюсы – природные соединения, добавляемые при металлургическом переделе руд с целью образования легкоплавких шлаков для более лёгкого удаления посторонних примесей. Они вводятся в доменную и агломерационную шихту для снижения температуры плавления пустой породы шихтовых материалов и придания доменному шлаку необходимого состава и физических свойств, обеспечивающих очистку чугуна от серы и нормальную работу печи. Наиболее широко и часто применяется основной флюс, т.е. породы и материалы, содержащие СаО и обладающие необходимыми физическими и химическими свойствами.

В доменном производстве практически единственным видом основного флюса является известняк, представляющий собой природную форму минерала кальцита – СаСО<sub>3</sub>. Известняк в ряде случаев включает примеси глинистых минералов, доломита, кварца, реже – гипса, пирита и органических остатков, которые определяют название известняка. Доломитизированные известняки содержат 4-17% MgO, доломиты – свыше 17% MgO. Физико-механические свойства известняка очень неоднородны, но напрямую зависят от его структуры и текстуры. Плотность известняка 2,6-2,9 т/м<sup>3</sup>. Предел прочности при сжатии колеблется в пределах 0,4-300 МПа.

Кондиционными требованиями к известнякам устанавливаются нижние пределы содержания оксидов кальция и магния СаО + MgO, содержание нерастворимого остатка SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, верхний предел содержания фосфора Р и серы S, а также крупность фракции (для доменного флюса). Производство же офлю-

## **Загальні питання технологій збагачення**

сованного агломерата різко змінило вимоги до фізическим властивостям флюса і дало можливість використовувати менше прочні известняки в виде мелких фракцій. Поэтому в качестве флюса агломерационной шихты применяется известняк-ракушечник и отсеы дробленого известняка, требования к которым приведены в таблице.

Химический состав кондиционных марок флюсовых известняков.

Наименование показателя	Норма для марки, %							
	Ч-1	Ч-2	С-1	С-2	КДУ-1	КДУ-2	М-1	М-2
Массовая доля оксидов кальция и магния (CaO+MgO) в сумме, не менее	53,5	51,5	53,5	52,5	53,0	52,0	53,0	51,0
Массовая доля оксида магния (MgO):								
а) не менее, чем	–	–	–	–	7,0	5,0	–	–
б) не более, чем	5,0	5,0	5,0	5,0	9,0	10,0	5,0	5,0
Диапазон колебаний массовой доли оксида магния (MgO) в пробах от среднего содержания в партии	–	–	–	–	± 1,0	–	–	–
Массовая доля оксида кремния (SiO <sub>2</sub> ), не более	1,50	2,00	1,50	2,00	1,50	2,50	1,50	3,00
Массовая доля серы (S), не более	0,06	0,15	0,06	0,15	0,09	0,15	0,06	0,15
Массовая доля фосфора (P), не более	Не норм.	Не норм.	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Массовая доля нераств. остатка, не более	2,0	4,0	–	–	–	–	–	–

Примечание 1. Допускается увеличение массовой доли:

а) оксида магния (MgO) до 12 % в известняках марок КДУ-1 и КДУ-2;

б) серы (S) в известняках марок КДУ-1 та КДУ-2 до 0,09 та 0,15% соответственно.

Для известняков, загружаемых непосредственно в доменную печь, устанавливают верхний и нижний пределы крупности. Верхний предел составляет 80 мм (редко 130 мм), а нижний – 25 мм. Известняки, поставляемые на агломерационные фабрики, должны иметь крупность частиц 0-25 мм, поскольку они все равно подвергаются дроблению до фракции 0-3 мм [7].

*Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.* Традиционная технология состоит из дробления та классификации известняка. Дробление проводится преимущественно на щековых дробилках, реже применяются роторные или конусные дробилки. Классификация производится на вибрационных грохотах та характеризуется низкой эффективностью и высоким взаимоза-

сорением мелкими фракциями и глинистыми частицами более крупных товарных фракций известнякового щебня. Следствием такого нерационального использования карбонатного сырья становится низкий выпуск кондиционной готовой продукции, увеличение затрат на складирование некондиционной мелочи загрязненного известняка и отсева в отвалы, а также дополнительные затраты за использование недр. Отходами текущего производства становится фракция крупностью 0-40 мм из загрязненного известнякового щебня с частицами глины. Такие отвалы являются складом частично подготовленного сырья, которые требуют отдельных технологий для получения флюсового известнякового щебня. В случае несвоевременного извлечения глинистых частиц на начальных стадиях переработки, в последующем сложность обогащения известнякового щебня возрастает вместе с уменьшением размеров фракции.

Дополнительным фактором, который усложняет добычу и переработку известняка, становится влажность горной массы. Она приводит к снижению производительности основных машин технологического процесса, а в некоторых случаях к полной остановке производства. Сложность переработки влажной некондиционной мелочи загрязненного известняка и отсева на ситах вибрационных грохотов с размером ячейки менее 10 мм приводит к быстрому залипанию поверхности деки, зерна известняка обволакиваются песчано-глинистой пленкой.

*Постановка задачи.* Целью данной работы является обзор известных методов разделения и технологий переработки известняков для определения степени влияния качественных и количественных параметров на показатели обогащения известняка, а также определение наиболее значимых из них.

*Анализ исследований и публикаций.* При переработке известняков из неоднородных карбонатных месторождений применяют два метода разделения: в воздушной среде (с влажностью материала до 10%) и в водной среде (с влажностью свыше 30%).

Промываемость материала, определяемая временем дезинтеграции глинистых примесей, комплексно учитывает их основные характеристики: гранулометрический, минеральный и петрографический состав, пластичность, предел прочности на сдвиг.

К механическим методам разрушения песчано-глинистых смесей в водной среде относят промывочные машины известных типов, которые обеспечивают удовлетворительные качественно-количественные показатели избирательного обогащения путем диспергирования глинистых частиц. Дополнительно применяют ультразвуковые и акустические колебания среды, а также электрогидравлический эффект. Применение этих методов способно частично разрушать структуру в мелких глинистых частицах, нарушать связи песчано-глинистых оболочек щебня. Результаты, полученные при испытаниях, указали на необходимость усовершенствования данных способов. [1, 2].

В большинстве действующих карьеров, связанных с геологическими особенностями (слоистостью) карбонатных месторождений, спецификой ведения

## **Загальні питання технологій збагачення**

горно-добувних работ, недостаточностью водных ресурсов и сложностью складирования глиносодержащей пульпы, возможность организации процесса промывки известнякового щебня является дорогостоящим и ограниченным. Кроме того, применение мокрого способа разделения ухудшает морозостойкие и прочностные свойства известнякового щебня, ограничивается сезонным периодом применения, повышает влажность товарного щебня вследствие высокой пористости (влагопоглощение 2-15%), а также усложняет выгрузку при транспортировке в осенне-зимний период. Вследствие чего возникает необходимость производить разделение известняка от глинистых частиц сухим способом.

Сухие способы выделения глины основаны на различных физических свойствах известнякового щебня и глинистых частиц. К ним следует отнести:

- 1) Различия упругих свойств;
- 2) Разнице в коэффициентах трения;
- 3) Принцип накалывания глины;
- 4) Принцип оттирки глины на вращающихся валках.

В сепараторе Д. Пирса по разделению заглиненных материалов была предложена конструкция на основе наклонной неподвижной плиты под углом 22,5° к горизонту. Материал поступал монослоем из питателя на плиту и, ударяясь об нее, куски глины и слабые марки щебня с малым модулем упругости практически не отскакивали от плиты. Прочные зерна щебня, наоборот, отскакивали от плиты на дальнейшее расстояние, а разделение происходило за счет отсекающей пластины. Основными недостатками такого способа было налипание глины на плиту и низкая производительность сепаратора.

Усовершенствованную конструкцию по разделению глинистых материалов предложил ВНИИНеруда, где в качестве рабочего элемента используется вибрирующая наклонная плита. На сепараторе разделяли смеси песка и гравия (влажностью до 6%), разнопрочных известняков, а также комовой глины и гравия.

Для разделения карбонатного щебня по прочности нашли применение классификаторы ДБК-20 конструкции СоюздорНИИ. Разделение на данном классификаторе осуществляется в результате различного отскока зерен от поверхности вращающегося металлического барабана. Основные параметры регулировки разделения – угол падения материала на барабан и окружная скорость барабана. Основным недостатком сепаратора является его низкая производительность при громоздкой конструкции.

Принцип разделения по пластичности основан на накалывании комков глины на острых иглах разделительного органа при отскоке прочных зерен или удержании пластичных комков глины на вращающейся поверхности при отскоке прочных зерен.

В сепараторах конструкции Оргэнергостроя питание на вращающийся барабан может подаваться и сверху, и снизу. В первом случае исходный материал в виде щебня (40-100 мм) с комовой глиной из бункера питателем равномерно подается на барабан с иглами на поверхности. Вращающиеся иглы представля-

ют собой проволоки стального троса. Зерна щебня отскакивают от барабана влево и падают на конвейер. Пластичные комки глины природной влажности нанизываются на концы игл и вращающимся барабаном увлекаются вправо. Глина ножом счищается с игл и поступает в сборник. В отходы извлекается до 90% комовой глины [3].

В технологических схемах сепаратор располагают в узлах перегрузки с одного конвейера на другой. Лучше разделяются узкие крупные фракции (40-70 мм, 70-150 мм), при этом иглы целесообразно располагать с шагом, равным  $2/3$  размера зерен щебня. Поверхность барабана необходимо периодически очищать от налипшей глины.

Глиновыделитель более совершенной конструкции с убирающимися иглами на нерабочей стороне (с целью их очистки) создан ВНИИстройдормашем. На поверхности барабана располагают металлические штыри с заостренными концами. Данный глиновыделитель рассчитан для удаления глины из гравия крупнее 70 мм. Снаружи игольчатого барабана эксцентрично расположен кожух с прорезями, для штырей. При вращении рабочего барабана штыри, проникая через прорези кожуха освобождаются в нижнем положении от нанизанной глины.

ВНИИжелезобетон разработал сепаратор ВСГ для выделения глины из щебня под действием центробежных сил. Исходный материал по течке загружается на разбрасывающую тарелку и ее ребрами разбрасывается на внутреннюю поверхность вращающегося и вибрирующего с амплитудой  $A$  в вертикальной плоскости конуса. Упругие зерна гравия (коэффициент восстановления 0,5-0,7) отскакивают от жесткой поверхности конуса и попадают в сборник гравия, откуда высыпаются на конвейер. Комки глины под действием центробежной силы удерживаются на внутренней поверхности конуса, под действием направленных колебаний сползают вниз, через разгрузочные окна поступают в кольцевую течку и периодически удаляются из аппарата. Основным недостатком сепараторов является разделение материала с крупностью выше 40 мм [1, 2].

ПК ООО "Видис", осуществляющем переработку отвала флюсовых известняков ОАО "ДФДК", с целью разрушения конгломератов и удаления глинистой оболочки с поверхности известнякового щебня использован метод избирательного дробления с применением роторной метательной машины ММ-1. Роторная метательная машина ММ-1 представляет собой цельнометаллический ротор, на котором закреплены четыре съемные лопасти, помещенный в корпус из износостойкой стали. Метательная машина установлена между приводным барабаном ленточного конвейера (подающим питание на машину) и грохотом, на котором осуществляется извлечение из щебня фракцией 5-15 мм фракции 0-5 мм, образовавшейся при разрушении конгломератов и глинистой оболочки щебня. После удара о лопасть куски щебня, много раз ударяясь о стенки корпуса, разгружаются внизу на грохот. В результате удара малопрочные глинистые включения, комовая глина и конгломераты разрушаются, а известняк (более

## **Загальні питання технологій збагачення**

прочный) при этом не разрушается. Щебень, выделенный при переработке текущих отходов, содержит 1-2% илисто-глинистых частиц, на его поверхности отсутствует глинистая оболочка. Влажность перерабатываемого материала не более 4-5% [8, 9].

Недостатком избирательного дробления является необходимость дополнительной сушки исходного материала до 4-5%, из-за сложности переработки известнякового щебня из отвалов с повышенной влажностью 10-12%.

Современные валковые грохота позволяют принимать заглиненную горную массу с крупностью до 1200 мм и деления ее на узкие фракции от 120 до 40 мм. Подача исходного материала производится в бункер, выполненный в виде одно- или двухкаскадного валкового грохота, с набором дискообразных эксцентрикеров. В настоящее время около 40 зарубежных фирм серийно выпускают валковые грохоты, которые хорошо себя зарекомендовали при переработке полезных ископаемых различной крупности и производительности. Анализ работы этих грохотов (классификаторов) показал, что их производительность в 2,0÷2,5 раза выше неподвижных колосниковых и вибрационных грохотов. К недостаткам изученных конструкций относится применение приводов в виде редуктора-двигателя на каждую пару валков, цепной передачи с консольной установкой звездочек на каждом валу, клиноременных передач. Эти дополнительные трансмиссии значительно увеличивают массу классификатора, требуют дополнительного энергопотребления и усложняют обслуживание.

Интенсификация деления осуществляется путем применения различных типов эксцентрикеров валков, а также изменения цикла поступательных и возвратных вращений всего каскада валков [6, 10].

Недостатком валковых грохотов является недостаточная эффективность деления при делении узких фракций менее 50 мм, связанная с особенностью конструкции валков, низкий коэффициент живого сечения и высокая металло- и энергоемкость. Однако производительность такой классификации при делении по крупности от 50 до 120 мм может достигать 300-800 т/ч.

Также Институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины был создан вибрационный валковый грохот, по возможности максимально отвечающего требованиям производства и технологии переработки трудногрохотимых материалов. На основании выполненных исследований создана новая конструкция валкового вибрационного грохота.

Выполненный комплекс исследований показал, что использование вибровозбуждения рабочего органа и дебалансных валков в виде просеивающей поверхности, а в качестве привода – одного или двух мотор-вибраторов, позволяет значительно упростить конструкцию, снизить ее вес и энергопотребление без снижения производительности и эффективности классификации. Валки вращаются синхронно, в одну сторону, установлены в корпусе параллельно с регулируемым зазором, определяющим крупность деления горной массы. Грохот устанавливается горизонтально с отрицательным или положительным углом наклона в сторону транспортирования. Диаметры валков подбираются в зави-

симости от крупности разделения и угла захвата требуемого класса крупности разделения.

Экспериментальные образцы таких классификаторов позволили показать их высокие технологические и эксплуатационные качества, получить зависимости технологических показателей от режимных, конструктивных параметров и свойств горной массы и создать конструкции нового технического уровня, испытания которых проводились в промышленных условиях при классификации трудногροхотимых материалов.

К общим недостаткам вибрационных валковых грохотов следует отнести низкую эффективность просеивания по классу крупности ниже 20-30 мм, низкий коэффициент живого сечения и сложность длительного удержания материала на деке [4].

Анализ исследований и публикаций показывает, что обогащение мокрым способом имеет ряд существенных недостатков, а методы и технологии разделения влажного карбонатного сырья сухим способом ограничиваются выделением фракций очищенного известнякового щебня из текущей технологии или отвала не выше 20-30 мм или с влажностью менее 4-5%, что не удовлетворяет кондиционным требованиям как производству флюсов для доменных печей, так и для агломерационных фабрик.

*Решение проблемы.* Актуальная научно-практическая задача состоит в определении оценки степеней влияния как качественных (химический состав кондиционного флюсового щебня, содержание глинистых частиц, прочность, влажность, и т.д.), так и количественных (производительность, удельные затраты энергии) параметров на показатели обогащения известняка, а также определение наиболее влиятельных из них. Это позволит исследовать закономерности и теоретически обосновать рациональные диапазоны использования и режимы работы обогатительных машин технологической линии обогащения карбонатного сырья, а также повысит степень извлечения очищенного известняка в кондиционные флюсовые фракции для агломерационных фабрик.

### *Выводы*

Внедрение такого процесса обогащения на практике позволит увеличить количество и качество мелких и средних кондиционных фракций известнякового щебня, снизить объем образуемых отвалов и уменьшит время простоев всей технологической линии на предприятиях, перерабатывающих известняки из неоднородных карбонатных месторождений.

### **Список литературы**

1. Шлаин И.Б. Разработка месторождений карбонатных пород. – М.: Недра, 1968. – 293 с.
2. Шлаин И.Б. Разработка месторождений нерудного сырья. – М.: Недра, 1985. – 344 с.
3. Олюнин В.В. Переработка нерудных строительных материалов. – М.: Недра, 1988. – 232 с.
4. Надутый, В.П., Остапенко В.А., Ягнюков В.Ф. Синтез параметров валковых класси-

## **Загальні питання технологій збагачення**

фикаторов вибрационного типа: Монография. – К.: Наук. думка, 2006. – 188 с.

5. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2005. – 252 с.

6. Электронный ресурс: <http://drobmash.ru/ru/oborudovanie/216/217/> .

7. Рогаченко А.М., Волкова Т.П. Исследование качества известняков с целью оптимизации отработки Родниковского месторождения // Научные труды ДонНТУ: Серия "Горно-геологическая". – 2011. – Вып. 13(178). – С. 15-20.

8. Назимко Е.И., Лазарева Т.А., Лазарев А.М. Комплексное использование известняков Еленовского месторождения //Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. – 2012. – Вып. 50(91). – С. 7-11.

9. Лазарева Т.А. Исследование технологии подготовки известняков с целью комплексного использования сырья: Реф. дипломного проекта. – Донецк: ДонНТУ. – 2011. Электронный ресурс: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2011/igg/lazareva/diss/index.htm>

10. Электронный ресурс: <http://www.august-mueller.com/en/machine-construction/index.html> .

© Дрешпак А.С., 2015

*Надійшла до редколегії 15.06.2015 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*