

УДК 666.7.621.735

В.П. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук

(Україна, Маріуполь, Государственное ВУЗ "Приазовский государственный технический университет"),

В.Ф. ГАНКЕВИЧ, Т.В. МОСКАЛЁВА, кандидаты техн. наук

(Україна, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

На сегодняшний день энергоёмкость валового внутреннего продукта, производимого в Украине, более чем в 3 раза выше, чем в экономически развитых странах. Поэтому снижение энергозатрат является актуальной проблемой и одной из приоритетных задач всех отраслей промышленного производства.

На горно-металлургический комплекс приходится наибольшая доля потребления топливно-энергетических ресурсов.

Одним из направлений снижения энергозатрат в горно-перерабатывающей (рис. 1) и металлургической промышленности является использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) – интенсификаторов помола, связующих веществ для окомкования, добавок, регулирующих свойства шликеров и суспензий.

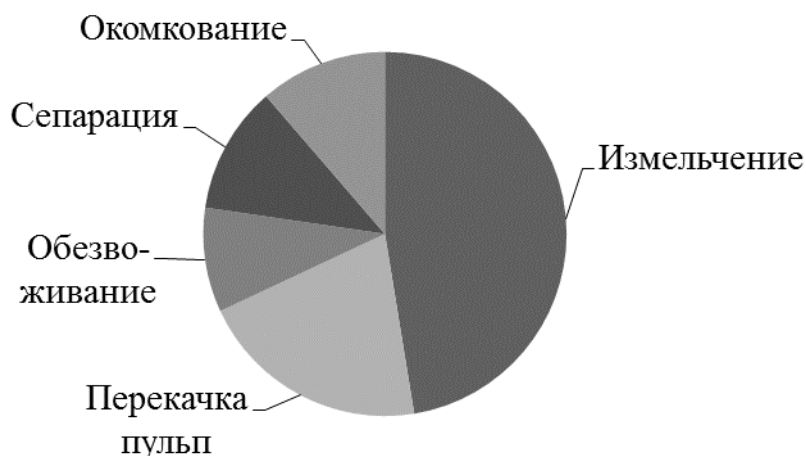


Рис. 1 Структура энергозатрат (усредненная) в горно-перерабатывающей промышленности

Рисунок 1 наглядно свидетельствует, что наибольшая часть в структуре энергозатрат приходится на измельчение материалов. Рассмотрим физическую сущность процесса измельчения. Твердые вещества, каковыми являются горные породы, как совокупность многих частиц (атомов, молекул), образуют правильную решетку, характеризуются составом, силами взаимодействия частиц, структурой кристалла и наличием в нем разного рода дефектов. Способность твердого вещества к деформированию определяется наличием в структуре дис-

локацій, которые могут перемещаться в кристалле под действием напряжений и генерировать другие дислокации в процессе деформации. Существующие в твердом веществе дефекты создают препятствия для движения дислокаций. Накапливаясь друг за другом, дислокации деформируют кристалл. При дальнейшем росте внешней нагрузки до предела прочности, дислокации, остановившиеся у границы зерна, подвергаются действию настолько мощного поля, что несколько дислокаций сливаются в одну. Заряды их складываются и образуется микротрещина [1]. Достаточно нагрузке немного превзойти предел прочности, как такая трещина раскалывает кристалл. Происходит разрушение твердого вещества. Многие ученые внесли большой вклад в развитие теории разрушения твердого вещества, в том числе Френкель Я.Н. [2] и Ребиндер П.А. [3]. Было установлено, что отношение реальной прочности P и идеальной прочности $P_{теор}$ твердого вещества определяется соотношением между межатомным расстоянием a и средним размером трещины e :

$$\frac{P}{P_{теор}} = \sqrt{\frac{a}{e}}, \quad [4],$$

поскольку $a \approx 10^{-10}$ м, достаточно иметь в твердом теле трещину длиной $e \approx 10^{-6}$ м, чтобы прочность тела понизилась в 100 раз по сравнению с теоретическим значением [4].

Развитие современной теории прочности вещества идет по пути учета дислокационных структур, различного рода дефектов, примесей и других параметров, влияющих на механическую прочность вещества.

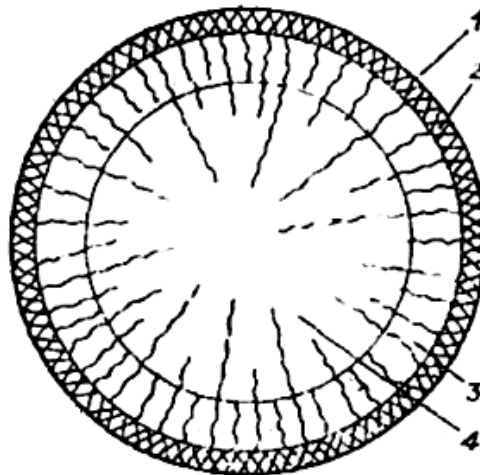


Рис. 2. Модель дефектной структуры частицы, формирующейся в процессе механической обработки порошков:

- 1 – поверхностный слой, 2 – поверхностный сильно разупорядоченный слой,
- 3 – поверхностный пластически деформированный слой, содержащий микротрещины;
- 4 – слабо искаженное ядро частицы [5]

Согласно теории активных поверхностных состояний, при разрушении твердого вещества под действием внешней нагрузки изменяются свойства ато-

мов на поверхності в отличие от свойств атомов, находящихся в объеме кристалла [1].

На рис. 2 представлена идеализированная модель дефектной структуры, формирующейся в процессе механической обработки (измельчения) твердого вещества [5].

Процесс измельчения реального твердого тела, содержащего различного рода дефекты, примеси, дислокации требует значительных затрат энергии.

Согласно источнику [6], подведенная извне энергия при разрушении твердого тела превращается в работу раскрытия структурных неоднородностей. Для снижения этой энергии, изменения размолоспособности измельчаемого материала необходимо использовать интенсификаторы помола, позволяющие на атомарно-молекулярном уровне управлять свойствами твердой поверхности. Молекулы интенсификатора, попадая в микротрещину (рис. 2), измельчаемого материала, оказывают расклинивающее действие и тем самым способствуют повышению эффективности измельчения (помола). Адсорбирующиеся молекулы или ионы проникают из окружающей среды на значительную глубину в деформируемую зону твердого тела по многочисленным микродефектам, появляющимся в процессе деформации (рис. 2).

Органические вещества с низкой поверхностной энергией – ПАВ, эффективно смачивая поверхность измельчаемого материала и создавая на его поверхности адсорбционные прослойки, оказывают активное расклинивающее действие в наиболее узких участках щелей, если они доступны для ПАВ мономолекулярных размерностей. После снятия внешних усилий происходит торможение или замедление смывания зародышевых участков микрощелей под влиянием адсорбционных слоев. Усилению эффекта понижения твердости тел способствует наибольшая разность полярностей на поверхности раздела материал – ПАВ, обусловленная отрицательным зарядом на поверхности оксидных материалов и полярным строением молекул ПАВ, а также видом концевой радикала в молекуле ПАВ (рис. 3).

На ООО "Полипласт Новомосковск" (Россия) разработанные и успешно испытаны интенсификаторы помола серии "Литопласт И" и "Литопласт АИ" в цементной и огнеупорной промышленности.

Эти интенсификаторы помола относятся к ПАВ и представляют собой новые синтетические добавки на основе полиметиленафталинсульфонатов, в результате модификации которых (рис. 3) получают соединения различной степени полимеризации ($n = 7-25$) с концевыми радикалами.

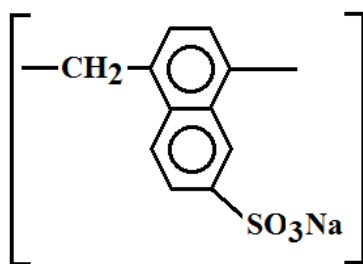


Рис. 3. Формула полиметиленафталинсульфоната

В зависимости от степени полимеризации (n) изменяется поверхностная активность добавки по отношению к границам раздела фаз жидкость – твердое (ж/т), жидкость – газ (ж/г). Высокомолекулярные фракции полиметиленафталинсульфоната проявляют поверхностную активность на границе ж/т, а низкомолекулярные – на границе ж/г [7]. Это позволяет в зависимости от поставленных задач в широких пределах изменять свойства добавки.

Применение интенсификаторов помола позволяет:

- повысить производительность мельницы;
- снизить энергозатраты на помол;
- сохранить или улучшить физико-механические характеристики измельчаемого материала.

При введении интенсификатора помола при постоянных технико-технологических и конструктивно-технологических параметрах помольной системы, задача заключается в подборе оптимального вида и концентрации интенсификатора помола при имеющихся свойствах исходного материала, технологическом оборудовании и заданных параметрах тонкости помола с достижением максимальной производительности.

Общеизвестно, что рентабельность действующих горно-обогачительных комбинатов определяется прежде всего эффективностью работы узла измельчения и классификации, при условии обеспечения экономии электроэнергии, мелющих тел и оборотной воды. Кроме этого должны быть обеспечены:

- оптимальные дисперсионные характеристики готового материала;
- энергетическая эффективность процесса и расчетная производительность измельчающих агрегатов;
- социально-экологические требования;
- надежность и долговечность;
- минимальные затраты на обслуживание и ремонт.

Все эти условия выполняются при использовании интенсификаторов помола серии "Литопласт", структура которых позволяет применять их при помоле в условиях повышенных температур; добавки не разлагаются при повышенных температурах материала в мельнице, не полимеризируются и не теряют поверхностную активность. Добавки серии "Литопласт" можно вводить в состав измельчаемого материала в виде раствора (водного или неводного), а также в сухом виде. Применение добавок серии "Литопласт" в качестве интенсификатора помола позволяет увеличить тонкость помола, сократить продолжительность помола до заданной дисперсности, повысить производительность мельницы, улучшить гранулометрию.

Рекомендуемый диапазон концентраций добавок к общей массе измельчаемого материала в пересчете на сухое вещество составляет 0,01-0,065 мас.% – рекомендация производителя интенсификатора помола серии "Литопласт". Так при измельчении электрокорунда при введении "Литопласта 1И" в количестве 0,03%, количество фракции менее 0,063 мм увеличилось с 24 до 51%.

Компанией "ООО "Полипласт Новомосковск" производится в качестве интенсификаторов помола 12 видов добавок серии "Литопласт" на водной основе (И1-И5) и на неводной основе (АИ1-АИ6, АИ18).

Проведенные опытно-промышленные испытания интенсификаторов помола серии "Литопласт" компанией производителем и ОАО "Комбинат "Магнетит" показали, что введение добавок увеличивает скорость набора удельной поверхности материала ($S_{уд}$), увеличивает выход тонких фракции, ускоряет процесс измельчения.

При измельчении шамота использовали интенсификаторы помола "Литопласт АИ1" и "Литопласт АИ2". Измельчение высокоглиноземистого шамота проводилось в два этапа по сухому способу в шаровой мельнице, затем в трубной (табл. 1). По результатам эксперимента можно заключить, что добавки серии "Литопласт АИ) позволяют ускорить процесс измельчения шамота в шаровой мельнице в три раза, в трубной – в 1,2-2,8 раза без изменения фракционного состава.

Таблица 1

Результаты эксперимента с измельчением шамота	
Тип добавки	Производительность, т/ч
Шаровая мельница	
Контрольный (без добавки)	0,9
Литопласт АИ1	2,6
Литопласт АИ2	3,0
Трубная мельница	
Контрольный (без добавки)	0,5
Литопласт АИ1	1,5
Литопласт АИ2	0,6

Все результаты экспериментов приведенные в данной статье, выполнены на "ООО "Полипласт Новомосковск" [8].

Применение интенсификаторов помола, например на горно-обогажительных комбинатах, где измельчение материалов наиболее энергозатратно (85-87%) позволит повысить рентабельность производства за счет снижения энергозатрат, повышения производительности и уменьшения износа мелющего оборудования.

Список литературы

1. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. – Новомосковск: Наука, Сибирское отделение АН СССР, 1986. – 304 с.
2. Френкель Я.Н. Электрическая теория твердых тел. – М.: Наука, 1924. – 299с.
3. Ребиндер П.А. Физико-химические исследования процессов деформации твердых тел // Юбилейный сборник АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – Т1. – С. 333.
4. Кравченко В.П. Обоснование параметров струйного измельчения при переработке и обогащении доменных шлаков: Дисс. ... к.т.н. – Днепр: НГУ, 2014. – 210 с.
5. Власова М.В., Каказей П.Г. Изучение процесса механического активирования твердых тел методом ЭПР // Изв-во АН СССР, 1983. – №12. Серия химические науки, Вып. 5. – С. 40-45.
6. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.15.08. – Днепропетровск, 2004. – 35 с.
7. Вовк А.И. О качестве нафталинформальдегидных суперинтенсификаторов // Технология бетонов. – 2008. – №3. – С. 8-9.

8. "Литопласт И" ТУ 5743-049-58042865-2010, "Литопласт АИ" ТУ 5743-061-58042865-2011, Новомосковск, Россия.

© Кравченко В.П., Ганкевич В.Ф., Москальова Т.В., 2017

*Надійшла до редколегії 04.12.2017 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н В.П. Надутим*

УДК 622.73

В.Ю. ШУТОВ,
К.А. ЛЕВЧЕНКО, канд. техн. наук,
Н.Г. КАБАКОВА, Л.А. ШАТОВА
(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВО ВРЕМЕНИ

Механоактивация – активирование твердых веществ их механической обработкой. Измельчение в ударном, ударностирающем или истирающем режимах приводит к накоплению структурных дефектов, увеличению кривизны поверхности, фазовым превращениям и даже аморфизации кристаллов, что влияет на их химическую активность, поэтому можно говорить, что механоактивация – процесс образования вещества с большей химической активностью, вследствие предварительной механической обработки [1].

Понятие "механоактивация" введено в литературу А. Смекалом [2]. Этот процесс определяется как изменение энергетического состояния, физического строения и химических свойств минеральных веществ под действием механических сил при диспергировании, причем изменение энергетического состояния относится к гетерофазной системе, твердые компоненты которой подвергались механическому воздействию. Введение в определение механоактивации энергетического состояния системы открывает возможность математического выражения и количественной оценки активации: механоактивация численно равна изменению свободной энергии системы под действием механических сил.

Часть механической энергии, подведенной к твердому телу во время активации, усваивается им в виде новой поверхности, линейных и точечных дефектов. Следствия механохимической активации [3] проявляются в улучшении механических свойств материалов (снижение пористости, повышение прочности и улучшение пластических свойств и др.), повышении реакционной способности твердых реагентов, снижении температуры спекания продуктов помола и др.

Одно из главных положений механоактивации заключается в том, что механоактивация может быть без измельчения, но измельчения не может быть без активации. Отсюда следует, что, во-первых, нельзя разделить измельчение и активацию: любое измельчение есть активация, так как под действием внешних сил увеличивается запас энергии измельчаемого вещества хотя бы за счет уве-