© Е.Е. Балахнина, Ю.В. Дмитрак, Н.Н. Сычев, 2006

УДК 621.926.5

Е.Е. Балахнина, Ю.В. Дмитрак, Н.Н. Сычев

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Семинар № 15

Процессы дробления и измельчения горных пород и искусственных материалов являются определяющими во многих технологических процессах и схемах рудоподготовки. Измельчение – это процесс уменьшения крупности частиц, сопровождающийся потреблением большого количества энергии. Разрушение взрывом также происходит во времени, но достаточно быстро и временным фактором, как правило, пренебрегают. В расчете на единицу массы материала при измельчении тратится гораздо больше энергии, чем при взрывах [11]. Поэтому, а также в силу того, что энергию каждая частица получает не в сконцентрированном виде, а в соответствии с вероятностным механизмом распределения, процесс измельчения является протяженным во времени.

Процессы, происходящие в течение более или менее протяженного отрезка времени, подчиняются кинетическим закономерностям. В их основе заложены различные способы разрушения материалов, наиболее распространенными из которых являются удар, раздавливание, истирание или комбинация указанных способов. Выбор способа разрушения зависит от физико-механ-ических свойств измельчаемого материала, его начальной крупности, требуемой степени измельчения и ряда других факторов. На современных горно-обогатительных фабриках и других крупных производствах мелкодисперсной продукции широкое применение находят барабанные мельницы. В 1991 г. на 28 конференции «Измельчение и классификация», состоявшейся в НИИ обогащения г. Фрейберг, ФРГ, отмечалось 100 лет барабанной мельнице. В барабанных мельницах реализуется сухое и мокрое измельчение. Они обладают широким диапазоном производительности по исходному материалу.

Основными преимуществами работы барабанных мельниц являются [9]: легкость регулировки, эксплуатации и ремонта, возможность изменения режима измельчения в зависимости от характеристики питания, получение однородного по крупности продукта при различном грансоставе исходного материала.

К недостаткам барабанных мельниц можно отнести [8] относительно высокую энергоемкость, а также сильный износ футеровок и мелющих шаров.

Основным способом разрушения измельчаемых материалов в барабанных мельницах является удар.

Барабанная мельница состоит из помольной камеры, вращающейся вок-руг горизонтальной оси с небольшой угловой скоростью порядка 4-10 c^{-1}, устройств загрузки и выгрузки материала и привода (рис. 1). Внутри помольной камеры обычно находятся мелющие тела, например, шары, которые заполняют объём помольной камеры на 25-45 %. Барабанная мельница может работать и без мелющих тел в так называемом режиме самоизмельчения. Устройства загрузки и выгрузки материала состоят из системы трубопроводов, соединённых с полыми цапфами валов, на которых смонтирована помольная камера (рис. 1). Привод мельницы обычно состо-

Рис. 1

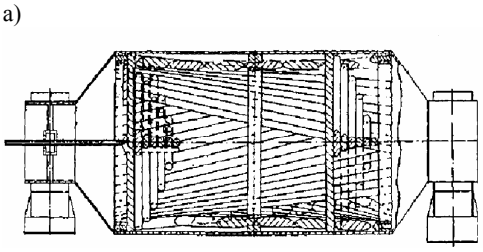
ит из цилиндрического редуктора и синхронного электродвигателя.

Исследования барабанных мельниц свидетельствуют о том, что главным резервом повышения их производительности является увеличение размеров помольных камер. В настоящее время размеры барабанных мельниц возросли до таких величин (диаметр до 12 м, длина более 20 м), когда напряжения в основных узлах – цапфах, подшипниках, помольной камере достигли предела конструкционной прочности. Кроме того, при исследовании и эксплуатации барабанных мельниц установлено, что при увеличении габаритов мельницы энергозатраты растут намного быстрее производительности, что негативно сказывается на стоимости производимой продукции. Более того, на XXIX Международном конгрессе по измельчению, состоявшемся в 1999 году в Высшей горной школе штата Колорадо, США, отмечалось, что существуют диапазоны значений гранулометрического состава измельчаемого материала, при которых вообще невозможен процесс измельчения в барабанных мельницах. Объяснение данного факта будет дано в следующих главах работы. Необходимо отметить, что участники Конгресса подтвердили сформировавшуюся в последние годы тенденцию повышения интенсификации процесса взаимодействия мелющих тел с измельчаемым материалом в помольных камерах барабанных мельниц.

В этой связи в нашей стране заслуживают внимания работы группы учёных под руководством профессора Богданова В.С., одним из главных направлений научной деятельности которого является исследование влияния внутрикамерных перегородок барабанных мельниц на интенсификацию процесса измельчения [6], [7], [10]. Одной из последних разработок учёных является шаровая мельница (рис. 2), внутри которой установлены двухзаходные винтовые устройства. Они позволяют за один оборот барабана мельницы совершить двукратный внутренний рецикл шаровой загрузки, который обеспечивается двухзаходной формой винтовых устройств 4 и 5, повернутых относительно друг друга на угол 180° и за счет применения винтовой футеровки, с наиболее предпочтительным углом подъема 10-20° интенсифицировать процесс измельчения материала. Кроме того, введение внутрь помольной камеры наклонных перегородок увеличивает время пребывания мелющей загрузки в камере и позволяет шарам приобрести дополнительную энергию при взаимодействии с перегородками. Однако при этом нарушается естественный характер движения шаровой загрузки и уменьшается время свободного полёта шаров между соударениями, что снижает их кинетическую энергию.

Другим примером стремления конструкторов и исследователей к повышению динамики шаровой загрузки является вибровращательная шаровая

а)



б)

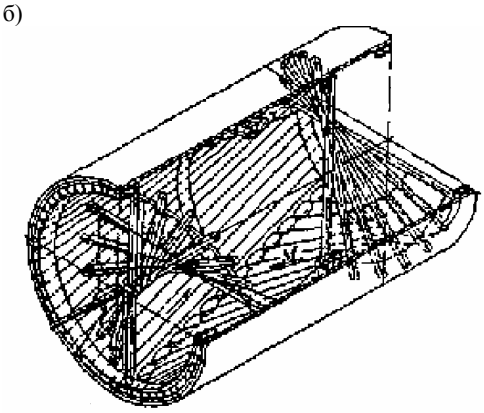


Рис. 2. Барабанная мельница конструкции Белгородской государственной технологической академии строительных материалов: а) – общий вид мельницы; б) – схема многозаходного винтового устройства

мельница, созданная в Тамбовском государственном технологическом университете. Мельница установлена на подвижную виброплиту, расположенную на пружинящих опорах на неподвижном основании (рис. 3). Для осуществления непрерывного процесса вибровращательного измельчения мельница выполнена с узлом загрузки, обеспечивающим оптимальное заполнение барабана мелющими телами и измельчаемым материалом. В вибровращательной шаровой мельнице в максимальной степени устраняются застойные зоны в барабане в результате более равномерного распределения измельчаемого материала по всему объему барабана, а также максимально эффективно используется рабочий объем помольной камеры. При этом процесс измельчения становится более эффективным.

Большое значение для совершенствования конструкций барабанных мельниц имеют труды профессора Сысы А.Б. [11-13]. Большое внимание автор уделил вопросам интенсификации процесса измельчения. В частности, им даны рекомендации по выбору длины и диаметра помольных камер в зависимости от вида и крупности материала, а также условий измельчения. Кроме того, автор исследовал особенности износа элементов футеровки помольных камер. Им установлено, что наибольший износ лифтёров футеровки происходит вблизи загрузочной торцевой стенки, для чего А.Б. Сыса разработал гидравлическое разгрузочное устройство,

Рис. 3. Вибровращательная мельница конструкции Тамбовского государственного технологического университета

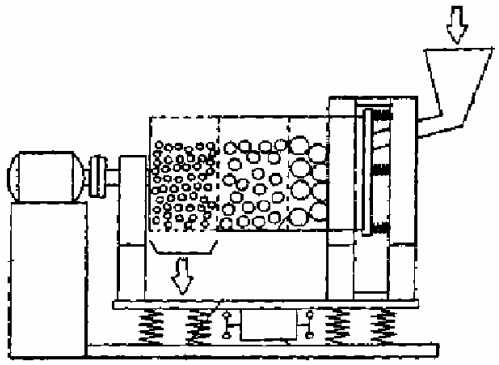
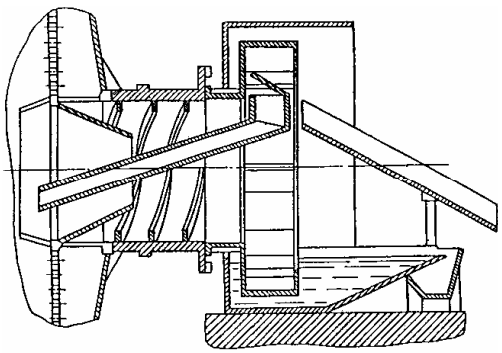


Рис. 4. Гидравлическое разгрузочное устройство конструкции А.Б. Сысы



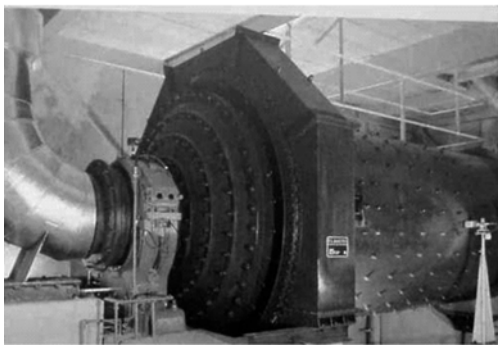


Рис. 5

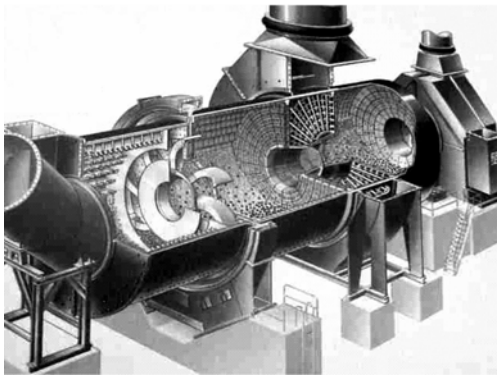


Рис. 6

позволяющее устранить значительную часть простоев, связанных с износом просеивающих поверхностей первичных классифицирующих устройств (рис. 4).

Зарубежные фирмы в своих разработках также стремятся к интенсификации динамики шаровой загрузки по всему объёму помольной камеры. Так, фирма «F.L.Smidth», Дания, выпускает барабанные мельницы с автоматическим контролем загрузки материалом и мелющими телами (рис. 5). Второе обстоятельство на наш взгляд является наиболее ценным, т. к. общеизвестно, что мелющие тела подвергаются интенсивному износу, уменьшаются в диаметре, теряют свою форму и массу, после чего шаровая загрузка в целом перестаёт эффективно выполнять свои функции. Австралийская фирма “Sweco”, разра-ботала барабанную мельницу с устройствами для интенсификации процесса движения мелющей загрузки, включающими аспирационные секции и межкамерные перегородки (рис. 6). Данная конструкция хорошо зарекомендовала себя при измельчении крупнокускового материала (фракции 10-30 мм). Однако при тонком измельчении в мельницах данного типа наблюдается рост энергопотребления из-за проявления материалом демпфирующих свойств по отношению к ударным импульсам.

Американская фирма “Fuller” разработала и успешно применяет барабанную мельницу с аспирационным устройством, обеспечивающим удаление готового продукта из зоны измельчения по всему объёму помольной камеры (рис. 7). Данное конструктивное решение позволяет предотвратить переизмельчение готового продукта и снизить энергоёмкость процесса [14].

В ЮАР фирмой “Colorox” давно производятся барабанные мельницы, использующиеся на предварительном этапе обогащения алмазосодержащих пород. Особенностью данных мельниц является их циклический характер работы. Это связано со спецификой извлечения алмазного сырья из породы. Требования к мелющим телам и движению шаровой загрузки уже на начальной стадии получения алмазного концентрата необычайно жёсткие. Футеровка помольных камер данных мельниц выполнена из специальных синтетических материалов, которые надёжно защищают стенки камеры,

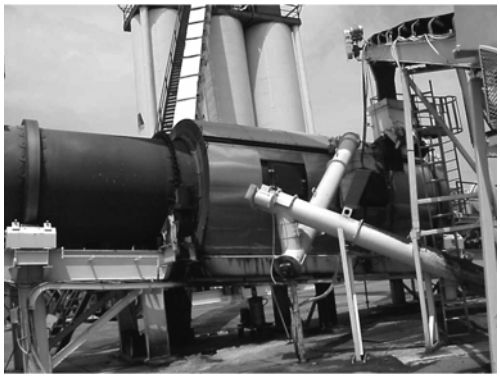


Рис. 7

обеспечивая хорошее сцепление мелющей загрузки со стенками. При этом шары проходят очистку от различных металлических включений уже на входе в мельницу, проходя через сильное магнитное поле внутри конической части помольной камеры.

Анализ конструкций барабанных мельниц показывает, что в целом тенденция повышения интенсификации процесса взаимодействия мелющих тел с измельчаемым материалом в помольных камерах барабанных мельниц является верной, но при этом существующие конструкции и технологические схемы не обеспечивают оптимальных энергетических показателей процесса измельчения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балахнина Е.Е., Дмитрак Ю.В.* Особенности движения мелющей загрузки в шаровой барабанной мельнице. – М.: МГГУ, 2001.
2. *Балахнина Е.Е.* Исследования механических параметров цепочки мелющих тел в шаровой барабанной мельнице. – М.: МГГУ, 2001.
3. *Балахнина Е.Е., Вержанский А.П., Дмитрак Ю.В.* Определение энергетического критерия разрушения горных пород в мельницах различных типов. Zestuzyty Naukowe Kafedry Mechaniki Stosowany, № 17/2001, стр. 37–45.
4. *Кобринский А.А.* Динамика одномерных систем шариков, движущихся с периодическими соударениями. – М.: Механика твердого тела, №5. 1968.-с.36-42.
5. *Балахнина Е.Е., Вержанский А.П., Дмитрак Ю.В.* Создание нового виброизмерительного оборудования для определения динамических параметров мельниц при тонком помоле горных пород. Информационно-аналитический бюллетень МГГУ, №2, 2002.
6. *Богданов В.С., Воробьёв Н.Д.* Кинематика шаровой загрузки в барабанных мельницах с наклонными межкамерными перегородками. - Изв. Вузов Горный журнал, № 16, 1985.
7. *Богданов В.С.* Расчёт траекторий движения мелющих тел шаровой мельницы с наклонными межкамерными перегородками. В сб.: Механизация и автоматизация технологических процессов в промышленности стройматериалов., – М.: МИСИ и БТИСМ, 1982.
8. *Петров В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф.* Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. - М.: Недра, 1990. - 301 с.
9. *Подэрни Р.Ю.* Горные машины и комплексы для открытых работ. – М.: Недра, 1985. – 544 с.
10. *Севостьянов В.С., Ханин С.И., Шаталов А.В., Гордеев М.В., Гендриксон В.В., Быков Ю.В., Темников А.А.* Шаровая мельница. Авторское свидетельство РФ № 2168362.
11. *Сыса А.Б.* О выборе рациональных направлений развития измельчительного оборудования - Изв. Вузов, Цветная металлургия, № 3, 1994.
12. *Сыса А.Б.* О моделировании процесса измельчения - Обогащение полезных ископаемых. Респ. межвед. сб. Техника, Киев, № 31, 1983.
13. *Сыса А.Б.* Развитие теоретических основ совершенствования барабанных мельниц.- Дисс. Докт. тех. наук, СКГТУ, Владикавказ, 1998, 430 с.
14. Mandelbrot B.B., Passoja D.E., Paullay A.J. - Nature, 1984, vol. 308, № 4, p. 721-722.

Коротко об авторах

Балахнина Е.Е. – доцент, кандидат технических наук,
Дмитрак Ю.В. – доктор технических наук, профессор,
Сычев Н.Н. – аспирант,
кафедра «Теоретическая и прикладная механика», Московский государственный горный университет.