

Измельчение широко используется в самых различных областях материального производства. Знаковые достижения человеческой цивилизации – от хлебной муки до извести – неразрывно связаны с процессами дробления и помола. В век информационных технологий механическое диспергирование не только не утратило своего значения, но приобрело статус базового передела, результаты которого в конечном итоге и определяют основные свойства измельченного коммерческого продукта.



Новая техника механического диспергирования

А. Б. Липилин, генеральный директор, **М. В. Векслер**, ведущий специалист, **Н. В. Коренюгина**, главный технолог, завод «ТЕХПРИБОР»

1. Тонкий помол сегодня и завтра.
2. Удар и сжатие.
3. Разнообразие вариантов и отсутствие альтернативы.
4. Скорость, масса, размер.
5. Рациональное ускорение и возможности ударного диспергирования.
6. Kinetikós – приводящий в движение.

Проблема рационализации процесса измельчения, как и создания новых типов мельниц, никогда еще не стояла так остро как в настоящее время. В настоящее время реальная потребность в высокодисперсных порошках значительно превышает возможности «классических» мельниц тонкого помола как в части себестоимости, так и качества продукта. При этом некоторые типы измельчающего оборудования практически полностью исчерпали резервы для серьезной модернизации.

Рост потребления порошкообразных материалов, в том числе субмикронной размерности, предъявляет все более жесткие требования не только к гранулометрическим характеристикам порошков, но также к форме отдельных частиц, структуре пограничных слоев, реакционной способности новообразованной поверхности, себестоимости помола и т. д. В этой связи показатели эффективности измельчения приобретают совершенно новое значение. И если при относительно грубом помоле рас-

ход или, точнее, перерасход энергии не превышает общепринятых норм, а ее доля в себестоимости конечной продукции незначительна, то производство высокодисперсных порошков, которое всегда связано с более высокими энергетическими затратами, попросту не может позволить себе использование недостаточно эффективных способов диспергирования. В противном случае самые прогрессивные технологии становятся пленниками устаревших взглядов, традиций и технических решений «...времен Очаковских и покоренья Крыма...».

1. Тонкий помол сегодня и завтра

Существуют различные способы получения высокодисперсных порошков твердых тел, используемых в том числе, в качестве наполнителей полимерных композиционных материалов. При этом механический способ является наиболее простым и широко распространенным. Для диспергирования минерального сырья находят применение машины, отличающиеся способом воздействия на материал. В одном случае это может быть раздавливание, в другом – удар, истирание или их комбинация [1].

В настоящее время основными агрегатами тонкого помола являются шаровые и аналогичные им мельницы. Их рабочие элементы – это броневые плиты барабана и загруженные в него мелющие тела – шары, стержни, диски, а в мельни-

цах самоизмельчения – крупные куски материала. Вращение барабана вызывает подъем мелющих тел, которые, достигнув определенной высоты, падают и скатываются вниз (рис. 1). Разрушение материала в шаровых мельницах происходит как в результате медленного раздавливания – истирания при скатывании шаров, так и быстрого сжатия от ударов при их падении.

Несмотря на абсолютное лидерство среди агрегатов тонкого помола, используемых в многотоннажном производстве порошкообразных материалов, шаровым мельницам присущи и серьезные недостатки. Только от 2 до 20 % всей потребляемой энергии расходуется непосредственно на измельчение [2], а остальная ее часть идет

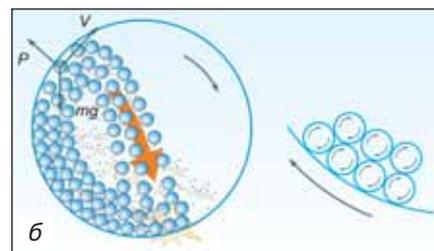


Рис. 1. Схемы шаровой мельницы (а) и движения шаров в барабане (б) (все иллюстрации: «ТЕХПРИБОР»)

на преодоление сил трения, образование тепла, звуковых колебаний, вибрации и др. В результате проведенных исследований было установлено, что приблизительно только каждый тысячный удар шара производит работу непосредственно по измельчению [3]. И если грубый помол с получением частиц размерами в сотые доли миллиметра не вызывает серьезных затруднений, то при более тонком помоле КПД шаровой мельницы снижается настолько, что ее дальнейшее использование становится экономически не целесообразно. О технической ограниченности самого способа измельчения, как и реализующего его оборудования наглядно свидетельствует мнение российского ученого, д. т. н. А. В. Волженского: «...большое уменьшение затрат энергии могут дать лишь те способы, при которых материалы измельчались бы под влиянием прямых разрывающих воздействий на них, а не в результате первоначальных сжимающих сил» [4, с. 216–217].

2. Удар и сжатие

Все твердые материалы характеризуются присущим им сопротивлением измельчению. Разрушение твердого тела происходит в том случае, если подведенной энергии достаточно для преодоления сил внутреннего сцепления. Обычно при механическом диспергировании обрабатываемый материал подвергается действию сжимающих сил с двух сторон (статическое раздавливание-истирание) или с одной стороны (свободный удар). Первый способ измельчения реализуется, например, в щековых, конусных и валковых дробилках, шаровых и вибрационных мельницах, второй способ характерен для дезинтеграторов, мельниц, струйных и ударно-отражательных дробилок. Но в любом случае кинетической энергии действующих мелющих тел должно быть достаточно для создания таких напряжений, которые при достижении предельных значений приведут к разрыву целого куска материала с образованием более мелких фрагментов. При этом расход

энергии, необходимой для создания критических напряжений, может существенно различаться в зависимости как от физико-механических свойств самого измельчаемого материала, так и способа приложения разрушающих сил.

Минеральное сырье, обычно используемое в производстве порошков твердых тел, характеризуется прочностью на сжатие, в 6–12 раз превосходящей прочность на растяжение, поэтому для его диспергирования целесообразно использовать быстрый удар, а не медленное сжатие. Одни и те же результаты измельчения могут быть достигнуты с разными показателями экономичности процесса, и существующий опыт использования самого распространенного инструмента тонкого помола подтверждает такую возможность.

Хотя шаровые мельницы лишь условно можно назвать агрегатом ударного действия, теория и практика их применения позволяет установить четкую зависимость между преобладающим способом разру-

StarBetter

НАША ПРОДУКЦИЯ:

STARBETTER СЕМ. (1990 г.) ЯВЛЯЕТСЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕМ ПОЛИМЕРНЫХ ДОБАВОК.

Starbetter (Beijing) Chemical Materials Co., Ltd.
 Адрес: Rm. 802, No. 101 Inter. Sci. & Tech. Park,
 No. 1 Shang Di Info Road, HaiDian District,
 Beijing, 100085, P.R. China
 Почтовый индекс: 100085
 Тел.: +86-10-82895046; +86-10-82895072
 Факс: +86-10-82895068
 URL: <http://en.starbetter.com/>
 E-mail: ex_sales@starbetter.com

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СИНЕРГИСТЫ:

- на основе Sb_2O_3 для ПВХ, ПБТ и ПА (ПО НИЗКОЙ ЦЕНЕ!)
- триоксид сурьмы Sb_2O_3
- антимонат натрия (для ПЭТ)
- безводный борат цинка
- водный (3.5) борат цинка

БЕЗГАЛОГЕНОВЫЕ АНТИПИРЕНЬ:

- полифосфат аммония APP (II) для покрытий, текстиля, ненасыщенной полиэфирной и эпоксидной смол
- цианурат меламин МСА-10 для ПА
- EPFR-100A/100C/100D/110A/110D для ПП
- EPFR-300A для армированного стекловолокном ПБТ
- EPFR-400A/400B для ТПУ

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ АНТИПИРЕНЬ:

- FR1000/1001 для ПП (V-2)

БРОМИРОВАННЫЕ АНТИПИРЕНЬ:

- Трис(трибромфенил)цианурат
- Тетрабромбисфенол А бис (2,3-дибромпропил)эфир
- Тетрабромбисфенол А (TBVA)
- Гексабромциклододекан (HBCD)
- Бромированная эпоксидная смола

КАТАЛИЗАТОРЫ СИНТЕЗА ПЭТ:

- Этиленгликолят сурьмы
- Катализатор на основе триоксида сурьмы



НАШИ ТЕХНОЛОГИ ВСЕГДА ГОТОВЫ ПОМОЧЬ ВАМ НА МЕСТЕ!

шения и эффективностью тонкого помола.

Как говорилось выше, способ разрушения материала в шаровых мельницах – комбинированный, то есть присутствует и раздавливание-истирание от качения шаров и удары от их падения. От того, какой способ будет преобладающим, зависит количество энергии, расходуемой на образование единицы новой поверхности. Несмотря на простоту устройства и принципа действия шаровой мельницы, технико-экономическая эффективность ее использования зависит от множества факторов. Ключевыми из них являются: крупность питания, размер и распределение мелющих тел, объем загрузки и скорость вращения барабана. Последний фактор в большей степени и определяет эффективность работы мельницы, так как ударная составляющая помола – это, прежде всего, масса и скорость шаров.

Механизм «бросания» мелющих тел в шаровой мельнице достаточно хорошо изучен, и большинство вышеперечисленных факторов работают на интенсификацию именно ударного воздействия. Вращение корпуса мельницы увлекает шары, которые, поднявшись на некоторую высоту, отрываются от стенки и падают вниз. При этом шары падают не отвесно, а по параболе. После отрыва от стенки шар продолжает двигаться как тело, брошенное под углом к горизонту со скоростью равной скорости вращения барабана. Акт измельчения происходит в том случае, если кинетической энергии брошенного шара достаточно для преодоления внутренних связей в частицах матери-

ала. Чем больше энергия шара, тем выше и его размольная мощность.

Так как масса шара постоянная, увеличение его кинетической энергии возможно только за счет повышения скорости вращения барабана. Однако сам принцип работы шаровой мельницы исключает такую возможность: как только действующие центробежные силы начинают сильнее прижимать мелющие тела к стенкам барабана, то падение шаров и, как следствие, помол прекращаются. Поэтому главной задачей расчета параметров шаровой мельницы является определение критической скорости вращения барабана. Если она выбрана верно, то достигается большая высота подъема и скорость «бросания» шаров, если нет – процесс измельчения резко замедляется, а энергопотребление мельницы возрастает. Но центробежная составляющая определяет предел максимально допустимой скорости вращения барабана, а значит, эффективность тонкого помола с использованием шаровых мельниц не может быть существенно увеличена, что в свою очередь вызывает необходимость в изыскании таких способов диспергирования, в которых ударная составляющая была бы реализована в максимально полном объеме.

3. Разнообразие вариантов и отсутствие альтернативы

В настоящее время разработана большая номенклатура аппаратов измельчения свободным ударом. Однако в крупнотоннажном производстве нашли применение только ударно-отражательные дробилки, серьезно потеснив, а в некоторых областях и практически пол-

ностью заменив «тихоходные» агрегаты дробления. Ударные же мельницы, несмотря на безупречность теоретических посылов для их создания, не могут похвастаться подобными успехами: сферой их применения является относительно грубый помол мягких материалов до размеров частиц в 100 мкм, с невысокой производительностью и относительно большими затратами энергии. Редкие исключения, когда рассматриваемые машины все же используются для помола мягких, малоабразивных материалов, только лишней раз указывают на серьезные проблемы технической реализации принципов ударного диспергирования.

Даже после десятилетий научных исследований, экспериментов, масштабных испытаний, модернизаций и улучшений современные мельницы свободного удара, используемые в производстве высокодисперсных порошков (удельная поверхность $S_{ya} \geq 3000 \text{ см}^2/\text{г}$), не имеют существенных преимуществ перед шаровыми мельницами ни по одному из ключевых показателей. Напротив, попытки промышленного использования наиболее ярких представителей быстроходных машин ударного диспергирования: струйных и вихревых мельниц, дезинтеграторов и дисмембраторов выявили целый ряд их серьезнейших недостатков. В частности, расход энергии центробежной мельницы при помоле цементного клинкера до удельной поверхности 2500 $\text{см}^2/\text{г}$ превышает 200 кВт/т, что почти в десять раз больше энергии, затрачиваемой многокамерными шаровыми мельницами, используемыми, например, в произ-

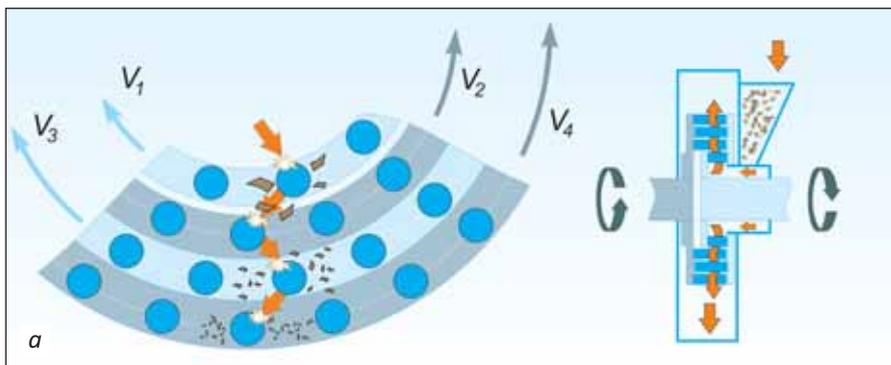


Рис. 2. Схема движения материала в дезинтеграторе (а) и последствия абразивного износа его стержней (б) (коричневые стрелки показывают направление движения измельчаемого материала, черные – направление вращения, серые и голубые – направление движения стержней дезинтегратора с различной окружной скоростью V)

водстве цемента [1, с. 158]. Не приходится удивляться и весьма низкой технической надежности вихревых, центробежных, а также подобных им быстроходных мельниц, учитывая высокую скорость движения помольных элементов, находящихся в постоянном контакте с материалами различной степени абразивности.

Струйные мельницы характеризуются также большим расходом энергии, который дополняется и относительно быстрым износом деталей, контактирующих с измельчаемым материалом, высокой сложностью самого агрегата, а также его периферийного оснащения. Так как размольная мощность струйных мельниц невелика, получение высокодисперсных порошков возможно только в замкнутой схеме помола при интенсивной циркуляции материала. В некоторых случаях эта циркуляция в десятки раз превосходит производительность самой мельницы. Дополнительные сложности применения струйных мельниц создает необходимость очистки больших объемов отходящего воздуха и неизбежный унос наиболее высокодисперсной фракции материала с отработанным носителем.

Из перечисленных агрегатов дезинтегратор является примером, пожалуй, наиболее успешной реализации ударного измельчения твердых материалов. Существует

обширный опыт промышленного использования дезинтеграторных мельниц-активаторов в производстве оригинального строительного материала – силикальцита, получаемого путем совместного помола извести и кварцевого песка [5]. Однако применение быстроходных дезинтеграторов ограничено относительно грубым помолом, и производство порошков с удельной поверхностью до 2000 см²/г включительно можно считать естественным пределом для данного вида оборудования. Предпринимаемые попытки увеличения размольной мощности дезинтеграторов за счет большей частоты вращения помольных органов вызывают ускоренный износ последних, уменьшая и без того небольшие сроки безремонтной эксплуатации (рис. 2).

Для того чтобы понять, почему применение измельчителей ударного действия сегодня ограничено только грубым помолом мягких материалов, необходимо проанализировать способы реализации ударного разрушения твердого тела с позиции основных законов ньютоновской механики – инерции, действия и противодействия. Именно здесь и скрывается ответ на вопрос: почему ударные дробилки успешно используются во всем мире, а мельницы свободного удара, так и не реализовав и малой части своих потенциальных возможностей, нашли очень ограниченное применение.

4. Скорость, масса, размер

В мельницах ударного действия разрушение частиц материала происходит вследствие ударных нагрузок. Эти нагрузки могут возникнуть в самых разнообразных условиях и обстоятельствах. Например, при падении мелющих тел, при столкновении летящей частицы с неподвижной преградой или, напротив, столкновения мелющих тел с неподвижной или движущейся частицей; также возможны и взаимные соударения частиц в полете. Но, как отмечалось, в любом случае кусок измельчаемого материала или само мелющее тело должно обладать таким количеством кинетической энергии, которой хватило бы для преодоления внутренних связей между частицами материала.

При ударном измельчении разрушающий эффект зависит от массы тела и его скорости. Кинетическая энергия E тела в момент удара определяется по известной формуле:

$$E = mV^2/2,$$

где m – масса тела, а V – его скорость.

Чем больше масса куска материала и выше его скорость, тем эффективней работа ударного диспергирования. Если уменьшить массу тела, для достижения тех же результатов измельчения нужно увеличить его скорость и наоборот, но в любом случае недостаток одного должен компенсироваться избыт-

ООО "ЕвроПласт"

Россия
г. Владимир
ул. Электрозаводская 5

тел./факс +7(4922) 57-93-31
тел./факс +7(4922) 53-20-36

...максимальная эффективность, лучшее качество, гибкое управление и высокая репутация - наши наиболее весомые активы.

Полный цикл переработки полимеров любой фракции

www.techplastik.ru

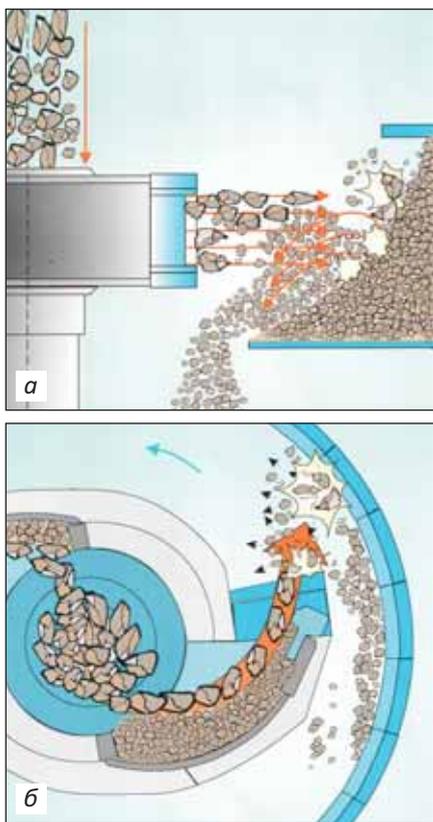


Рис. 3. Движение материала (направление показано стрелками) в ударно-отражательной дробилке: а – вид спереди; б – вид сверху

ком другого – это основа способа измельчения ударом.

Несмотря на все разнообразие конструкций измельчительных машин ударного действия, механика разрушения твердого тела различается лишь некоторыми нюансами, что хорошо прослеживается на примере центробежной мельницы и ударно-отражательной дробилки. В последней материал, подлежащий измельчению, подается на быстро вращающийся ротор-ускоритель, частицы приобретают скорость, равную скорости ротора, и выбрасываются в пространство помольной камеры; их разрушение происходит при ударе об отражательные плиты и столкновении друг с другом в полете (рис. 3).

В ударно-отражательных дробилках материал после столкновения с преградой практически сразу выводится из агрегата, а в центробежных мельницах часть материала отправляется на дополнительное измельчение. Частицы, ударившись о препятствие, отскакивают от него, возвращаются к ротору-ускорителю и снова отбрасываются им. Таким образом, цикл может повториться

до тех пор, пока частицы не достигнут требуемых размеров и не будут выведены из мельницы.

Ударно-отражательные дробилки, выпуск которых налажен такими известными производителями измельчительного оборудования как BHS sonthofen, Barmak Associates, Sandvic, Krupp, позволяют получать продукт высокого качества с меньшими затратами. Однако по мере изменения массы частиц характер их взаимодействия с рабочими органами измельчительной машины кардинально меняется.

Одной из особенностей измельчения свободным ударом является тот факт, что разрушение материала происходит по наиболее слабым связям, дефектам структуры в местах соединения кристаллов, зерен, слоев и т. д. В производстве фракционированного щебня или искусственного песка это несомненное преимущество, так как продукт ударного дробления представлен зернами изометрической формы без внутренних дефектов и с небольшим содержанием переизмельченного продукта. В то же время для получения большей тонкости по-

мола упрочнение частиц, которое происходит вместе с уменьшением их размеров, создает дополнительные трудности. В определенный момент, когда структурная прочность каждой отдельной частицы достигает своего максимума, а ее масса ничтожно мала, свободный удар практически полностью замещается истиранием, и ротор центробежной мельницы перестает выполнять функцию ускорителя и работает скорее как завихритель материаловоздушных потоков (см. фото). Увлекаемые к стенкам помольной камеры крупные частицы вытесняют более мелкие, которые, перемещаясь от периферии к центру, измельчаются исключительно за счет взаимного истирания в турбулентных потоках. Если судить по расходу энергии на образование единицы новой поверхности твердых материалов, то это один из самых неэффективных способов измельчения.

5. Рациональное ускорение и возможности ударного диспергирования

Совершенно очевидно, что для поддержания высокого уровня эффективности ударного диспергирования кинетическая энергия мелющих тел, кусков, зерен, частиц и т. д. не должна уменьшаться. Данное условие ставит под сомнение саму возможность промышленного использования эффекта самоистирания твердых материалов (твердостью ≥ 3 по шкале Мооса) в производстве высокодисперсных порошков ($S_{\text{YA}} \geq 3000 \text{ см}^2/\text{г}$), так как расход энергии в этом случае в десятки раз превышает общепринятые нормы. Естественно, это вовсе не означает, что ударное измельчение ограничено диспергированием только мягких, непрочных, малоабразивных веществ, напротив, приведенные факты только указывают на необходимость создания других типов мельниц, способных реализовать все преимущества разрушающего удара.

Интенсификация механического диспергирования возможна только за счет увеличения работы мелющих тел, масса которых остается неизменной в течение всего процесса. Данное условие отчасти реализуется в вибрационных, планетарных и центробежно-эллиптических



Вихревая мельница (а) и ее ротор после определенного срока эксплуатации (б). Преобладающий способ измельчения в таком агрегате – истирание

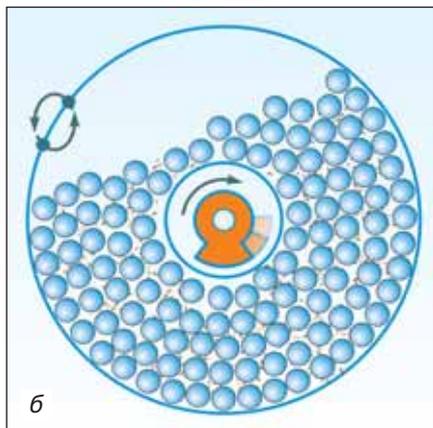


Рис. 4. Вибрационная мельница (а) и схема ее работы (б)

шаровых мельницах, используемых в настоящее время для тонкого по-

мола минерального сырья. Принцип действия этих машин основан на интенсивном побуждении мелющих тел, когда взамен сил гравитации, вызывающей падение шаров, используется инерция, центробежные силы и т. д.

Вращение вала вибратора, а за ним и самого корпуса мельницы заставляет мелющие тела совершать движения в соответствии с величиной эксцентриситета или радиуса водила. Передача энергии мелющей загрузки осуществляется через корпус мельницы. Под действием инерции, центробежных сил, знакопеременных нагрузок шары внутри корпуса движутся по сложной траектории, прижимаются к стенкам барабана, ударяются друг об друга, а также о частицы измельчаемого материала, разбивая, раздавливая и пегрирая их (рис. 4).

Минусом данного способа являются техническая сложность его реализации. Целый ряд конструктивных и технологических недостатков вибрационных и аналогичных им мельниц препятствует созданию машин,

в которых высокая эффективность помола сочеталась бы с технической надежностью оборудования. Трудности уравнивания массивных движущихся частей, разрушающее воздействие вибрации и большие ударные нагрузки, сложная кинематика привода барабана – все эти факторы самым негативным образом сказываются на надежности и безотказности агрегатов. В настоящее время вибрационные и подобные им мельницы в основном используются в качестве лабораторного и полупромышленного оборудования, позволяющего осуществлять тонкий и особо тонкий помол минерального сырья с производительностью до 500 кг/ч. В крупнотоннажном производстве данные мельницы широкого применения не нашли.

Однако в данном случае проблему масштабируемости процесса следует отнести не к реализуемому способу измельчения, а скорее к его аппаратному обеспечению. Уже тот факт, что более интенсивное побуждение шаров позволило выйти на новый уровень ме-

ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ВСЕХ СФЕР ПРИМЕНЕНИЯ

109202, Россия, Москва, ул. 1-я Фрезерная, д. 10, т./ф.: +7 (499) 171-94-02, 171-33-05, e-mail: mail@texosn.ru

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ:

- холодно- и горячеканальной
- для литья с газом
- для литья изделий из пенополиуретана, алюминиевых сплавов, РТИ
- для вакуумного прессования

ПРОДАЖА БЛОКОВ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ГОРЯЧИХ КАНАЛОВ ЛИТЬЕВЫХ ФОРМ (ОТ 1 ДО 8 ЗОН)

Нанесение тиснения (шагрени), имитирующего фактуру текстиля или кожи, на формообразующие поверхности пресс-форм



ЭКСКЛЮЗИВНАЯ ПРОДУКЦИЯ

ПОСУДА ИЗ ПЛАСТИКА С ИОНАМИ СЕРЕБРА НА СТРАЖЕ ЗДОРОВЬЯ

- чашки, стаканы, тарелки, кувшины и многое другое
- для холодных и горячих напитков и пищевых продуктов
- успешно пройденные сертификационные испытания
- постоянный антибактериальный эффект
- стильный дизайн



 **ТЕХОСНАСТКА**
www.texosn.ru

ЕВРОПЕЙСКОЕ КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

ханического диспергирования указывает на перспективность данного направления. Основной вопрос заключается только в выборе наиболее рационального способа сообщить мелющим телам достаточную высокую скорость.

Но увеличить работу мелющей загрузки возможно и не приводя в движение весь корпус мельницы, а, например, разогнав только относительно легкий ротор-ускоритель, который и будет разбрасывать или «выстреливать» шары вместе с измельчаемым материалом. Ведь сообщить более высокую кинетическую энергию мелющим телам возможно как минимум двумя способами: или напрямую, разогнав в ускорителе шары вместе с измельчаемым материалом, или опосредованно – через корпус мельницы. При этом первый способ является более эффективным, так как энергия передается непосредственно действующему телу и объекту разрушения, исключая передаточные звенья, а значит и дополнительные затраты энергии.

6. Kinetikós – приводящий в движение

Если в центр ротора-ускорителя вместе с материалом подать также и мелющие тела, преобладающим способом измельчения будет не раздавливание-истирание, а именно удар (рис. 5). Такую мельницу можно назвать «ударно-шаровой», так как именно шар является действующим мелющим телом. Данный способ успешно реализован в высокоэффективной мельнице «ТРИБОКИНЕТИКА», разработанной машиностроительным предприятием «ТЕХПРИБОР» (г. Щекино, Тульская обл.). Новая мельница и реализуемый ею способ измельчения открывают совершенно новые возможности диспергирования твердых тел, позволяя серьезно пересмотреть существующую практику получения порошкообразных материалов.

Удачно сочетая преимущества «классических» шаровых и быстроходных центробежных мельниц, «ТРИБОКИНЕТИКА» демонстрирует наибольшую в классе степень измельчения, техническую надежность, возможность проведения полного спектра механохимических реакций и превращений. Ее основ-

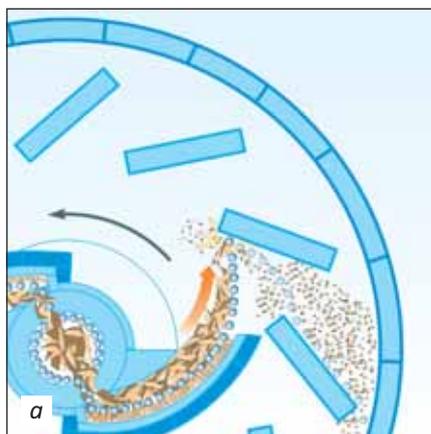


Рис. 5. Принцип действия (а) и внешний вид помольной камеры (б) ударной шаровой мельницы «ТРИБОКИНЕТИКА»

ным отличием от рассмотренного выше оборудования является высокая эффективность на всех стадиях измельчения – от мелкого дробления до сверхтонкого помола.

Большая размольная мощность ударно-шаровой мельницы обеспечивает и целый ряд дополнительных преимуществ в создании участков дробления-помола за счет сокращения единиц оборудования, задействованного в процессе. Если крупность питания вибрационных мельниц обычно не превы-

шает 3–5 мм, то «ТРИБОКИНЕТИКА» загружается кусками материала размерами до 70 мм включительно. Так как их масса достаточно высока, то покидая ротор-ускоритель со скоростью порядка 40–60 м/с, крупные куски разрушаются при ударе об отражательные плиты статора мельницы. С уменьшением размеров частиц их дальнейшее измельчение происходит в результате ударов шаров, кинетическая энергия которых составляет от 6 до 40 Дж (в зависимости от массы шара и скорости ротора), что вполне достаточно для разрушения самых прочных материалов, используемых в производстве порошков. Таким образом, на всех стадиях помола ударная составляющая не замещается истиранием, а значит, и не теряет своей эффективности; изменяются только виды удара.

Так, при грубом помоле преобладающим является свободный удар, когда материал разрушается по слабым спаям и дефектам. По мере уменьшения размеров частиц их дальнейшее разрушение происходит в местах сосредоточения наибольших нагрузок, то есть в результате стесненного удара. С учетом наибольшей крупности питания степень измельчения в ударно-шаровой мельнице «ТРИБОКИНЕТИКА» достигает 1000 и выше, что превосходит возможности практически всех существующих в настоящее время агрегатов тонкого помола. И эти впечатляющие результаты достигаются при относительно невысоких скоростях вращения ротора-ускорителя (от 1000 до 3000 об./мин), что положительно сказывается на ресурсе изнашивающихся частей, приводной части и общей надежности оборудования.

Но новая мельница – это не только большая размольная мощность, но и прежде всего высокая экономичность измельчения. Ведь создание предельной концентрации энергии в ограниченном объеме помольной камеры не является самоцелью: эффективность тонкого помола определяется тем, на что расходуется большая часть подведенной энергии. При истирающем помоле – это, прежде всего, нагрев, вибрация, создание паразитных воздушных и циркуляционных по-

токов, непродуктивное нагружение тонких фракций продукта помола и т. д. «ТРИБОКИНЕТИКА» практически полностью лишена этих недостатков, и даже воздушные потоки, образованные вращающимся ротором-ускорителем, используются максимально продуктивно.

Хорошо известно, что эффективность механического диспергирования, оцениваемая по оптимальному гранулометрическому составу порошка и минимальному удельному расходу электроэнергии, тем выше, чем быстрее и полнее выделяются из материала наиболее тонкие фракции, тормозящие процесс измельчения. В существующих мельницах процессы помола и классификации, как правило, разделены. То есть мельница состоит из отдельного измельчителя и устройства, где происходит разделение продукта помола на товарную фракцию и крупку, отправляемую на домол. В новой ударно-шаровой мельнице процессы измельчения и разделения совмещены в одном устрой-

стве – мельнице-классификаторе. Воздушные потоки захватывают частицы нужных размеров и выводят их из помольной камеры, улучшая тем самым условия работы мельницы. Таким образом, большая часть подведенной энергии расходуется именно на разрушение относительно крупных частиц, а не на повторное нагружение мелких.

Встроенный классификатор также позволяет изменять границу разделения, переключать систему на возврат крупки в замкнутых схемах измельчения или выдачу до трех фракций продукта помола в открытых схемах.

Конструкторские решения, использованные при создании ударно-шаровой мельницы «ТРИБОКИНЕТИКА», защищены патентами РФ.

Литература

1. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
2. Акунов В. И. О выборе оптимальных типов измельчителей // Строительные материалы. – 1962, № 11. – С. 21–22.

3. Рулли А., Тедер Х. Форма и характер поверхности зерен кварцевого песка в зависимости от способа помола и их влияние на фракционный способ при воздушной сепарации // Сб. трудов НИПИ силикатобетона. – 1971, № 6. – С. 103–118.

4. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

5. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. – М.: Госстройиздат, 1962. – 600 с.

New Machinery of Mechanical Dispersing

A. B. Lipilin, M. V. Vexler,
N. V. Korenjugina

To dispersing of minerals used equipment characterized by the exposure to the material. In one case it can be crushing, in another shock, abrasion or a combination thereof. The characteristics of the various mechanical methods of obtaining highly dispersed powders of solids used as fillers of polymer composites are analyzed, and the advantages of the new shock ball mill are discussed. ■



Тел./факс офис: (495)941-30-45
производство: (495)933-35-77
E-Mail: miandr@mcn.ru, www.termovf.ru

SIRTEK

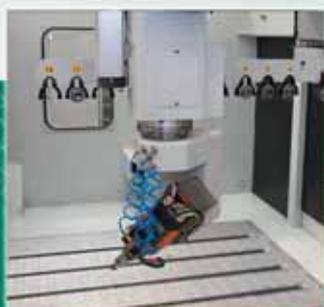
CMS Industries

HUFSCHMIED
ZERSpanungssysteme

ALWA

- ▶ ВАКУУМНОЕ ТЕРМО-ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ
- ▶ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОСНАСТКИ ДЛЯ ВАКУУМНОГО ФОРМОВАНИЯ
- ▶ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАКЕТОВ, МАСТЕР-МОДЕЛЕЙ И ФОРМ

- ▶ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВСЕХ ВИДОВ МАТЕРИАЛОВ
- ▶ ПОСТАВКА, ИНСТАЛЛЯЦИЯ И СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ:
 - вакуумного формования;
 - пятикоординатной обрезки отформованных изделий;
 - армирования отформованных изделий



О Б Р Е Т Е Н И Е Ф О Р М Ы