

*А.Ф. ШЕВЧЕНКО, А.А. САЛЕЙ, А.А. СИГУНОВ, Н.П. ПЕСКОВА*

## ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ПОМОЛА ЦЕМЕНТА

ГВУЗ “Украинский государственный химико-технологический университет”, г. Днепропетровск

Представлены основные направления интенсификации процесса помола цемента: измельчение с предварительным дроблением, двухстадийное измельчение, помол в замкнутом цикле, рациональный выбор бронеплиту-теровки, правильный подбор ассортимента мелющих тел, аспирация мельниц, введение добавок поверхностно-активных веществ, использование других мелющих агрегатов.

### **Введение**

В настоящее время развитие техники цементного производства идет по пути увеличения тонкости измельчения. Бесспорным является положительное влияние тонкого помола на процессы гидратации и гидролиза зерен цемента за счет увеличения его удельной поверхности.

Сейчас на отечественных заводах, как и раньше, основным измельчающим агрегатом остается трубная шаровая мельница, для которой характерны большая единичная мощность, возможность применения стадийных и замкнутых схем измельчения, физико-химических методов интенсификации, совершенствование технологических элементов помольных агрегатов и т.д. Вместе с тем наметилась и некоторая граница возможностей трубных шаровых мельниц, несмотря на совершенствование существующей технологии измельчения на основе комплексной механизации, создания автоматизированных систем управления и применения электронно-вычислительной техники не удастся уменьшить удельные энергетические затраты более чем на 15–20%, а металлоемкость на 10–15%.

Поэтому в данное время остро стоит вопрос о создании новых энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий в практике измельчения.

Решение данной задачи предполагается осуществить разными путями: заменой трубных мельниц валковыми или струйными мельницами, применение центробежных и вибрационных мельниц и др.

Этот переход потребует решения сложных инженерных задач, связанных с созданием надежной и экономической помольной системы, которая включает в себе процессы классификации, сушки, обеспыливания, транспортирования сырьевых материалов и газовых потоков.

### **Измельчение с предварительным дроблением цементного клинкера**

Эффективность процесса помола (произво-

дительность и удельные затраты) зависит от физико-механических свойств и исходной крупности частиц измельчаемого материала. При уменьшении исходных размеров частиц цементного клинкера до 8–10 мм можно повысить производительность мельничного агрегата на 10–15%, а при питании мельницы материалом с размерами 2–3 мм – на 25–30% [1]. При питании мельницы недробленным клинкером ее производительность резко падает, при этом возрастает и удельный расход электроэнергии.

Поэтому перед тонким измельчением клинкера необходимо дробить в дробилках различных типов: щековых, конусных, ударно-метательного действия – молотковых и роторных.

На рис. 1 представлена дробилка ударно-отражательного действия конструкции Механобра (Россия).

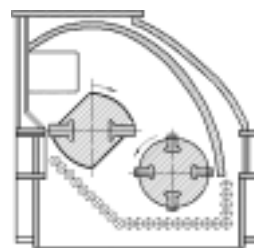


Рис. 1. Дробилка ударно-отражательного действия

В данной дробилке дробление осуществляется ударом кусков материала о роторы, которые вращаются навстречу друг другу, ударом об отражательные бронеплиты и ударом куском друг о друга в рабочем пространстве измельчителя.

### **Двухстадийное измельчение**

Помольные установки с предварительным измельчением в трубной шаровой мельнице грубого помола и домолом в трубной шаровой мельнице тонкого помола имеют высокую производительность и низкие удельные энергозатраты.

Мельница грубого помола имеет размеры  $L=4...5$  м,  $D=3...3,7$  м и выдает продукт, имеющий 50–70% остатка на сите № 008.

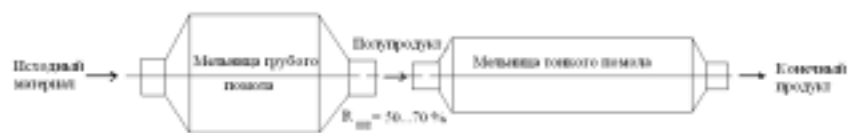


Рис. 2. Схема двухстадийного измельчения

На второй стадии помола применяют трубные мельницы, загружаемые шарами малого диаметра (25–30 мм) и цильпесом.

В результате производительность возрастает на 17–20% при одновременном снижении удельного расхода электроэнергии на 10–15%.

Схема двухстадийного измельчения представлена на рис. 2.

#### **Одностадийный помол в замкнутом цикле с центробежными сепараторами**

Помол в открытом цикле при однократном прохождении материала характеризуется повышенными энергозатратами ввиду частичного переизмельчения, относительно невысокой тонкостью помола (до 3000 см<sup>2</sup>/г).

Помол в замкнутом цикле экономически более эффективен. При его использовании из процесса помола быстро удаляются тонкие фракции, поэтому готовый продукт более однороден по гранулометрическому составу с большим количеством средних и относительно малым количеством крупных фракций. Такой состав обеспечивает более высокую прочность цементного камня, в связи с чем помол в замкнутом цикле применяется при получении высокопрочных и быстротвердеющих цементов [1].

Помол в замкнутом цикле позволяет уменьшить удельный расход электроэнергии на 10%, при этом производительность мельниц на столько же увеличивается.

Измельчение в замкнутом цикле осуществляется по разным схемам. На рис. 3 представлены наиболее распространенные схемы помола [2].

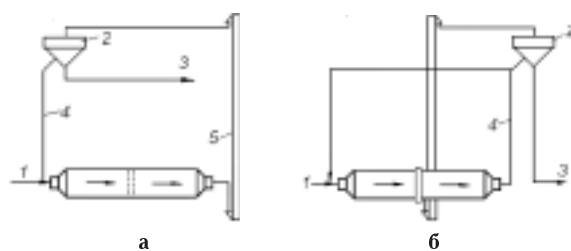


Рис. 3. Схемы помола цемента в замкнутом цикле:

- а — с выгрузкой материала в конце мельницы и возвратом крупки в первую камеру;
  - б — с выгрузкой материала из середины и загрузкой крупки в камеру тонкого помола.
- 1 — исходный продукт;  
2 — центробежный сепаратор; 3 — цемент;  
4 — крупка из сепараторов; 5 — ковшовый элеватор

Согласно схеме, изображенной на рис. 3,а, продукт, выходящий из последней камеры мельницы, поступает в один или два сепаратора, крупка

из которых попадает в первую камеру; тонкая фракция из сепараторов представляет готовый продукт.

Данная схема предусматривает удлиненный путь прохождения материала перед сепаратором. При необходимости такая установка может работать и по открытому циклу, т.е. без сепараторов, в этом случае нужно изменить ассортимент мелющих тел мельницы.

По другой схеме (рис. 3,б) материал, измельченный в первой камере до 40–50% остатка на сите № 008, через разгрузочное устройство в середине мельницы поступает в сепаратор; крупка из последнего попадает во вторую камеру для тонкого помола, которая работает в замкнутом цикле с сепаратором.

Таким образом, производительность мельницы и степень дисперсности цемента во многом зависят от режима работы воздушных сепараторов и пылеулавливающих устройств.

#### **Рациональный выбор сортирующих броневых плит и междукламерных перегородок**

Назначение бронифутеровки — создание дифференциального режима мелющей загрузки, которое осуществляется в результате взаимодействия рациональной мелющей загрузки с рабочей поверхностью бронеплит.

Мельница условно разбивается на три участка, каждый из которых футеруется разными бронеплитами.

Первый участок — участок грубого измельчения, расположен по длине от загрузочной горловины мельницы до  $L_I$ , где значение  $R_{008} = 60...70\%$ . Это составляет примерно  $3 \pm 0,5$  м для основных типоразмеров мельниц.

Второй участок — участок промежуточного измельчения, по длине соответствует  $L_{II}$ , где значение  $R_{008} = 30...35\%$ , что составляет примерно  $3,0 \pm 1,0$  м. В двухкамерных мельницах участок ограничивается междукламерной перегородкой.

Третий участок — участок тонкого измельчения, представляет собой II камеру, которая заканчивается разгрузочной диафрагмой.

Общий вид бронеплит приведен на рис. 4. Институтом НИИцемент разработан принципиально новый тип бронифутеровки с переменным коэффициентом сцепления из прокатных элементов — БРОПЭКС [3], приведенный на рис. 5.

БРОПЭКС — система из разновысоких элементов прокатных профилей, монтажных пластин и крепежных болтов, образующих по окружности мельницы кольцевые участки, которые отличаются длиной и шагом между элементами раз-

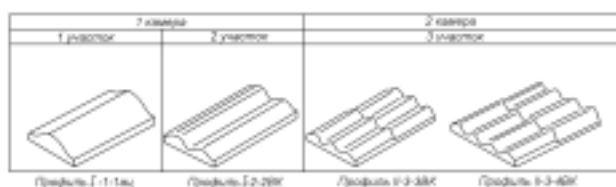


Рис. 4. Общий вид бронеплит

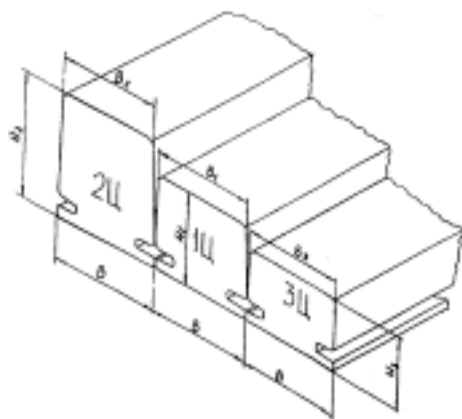


Рис. 5. Элементы из проката для бронифутеровки БРОПЭКС. В — ширина элемента; Н — высота элемента

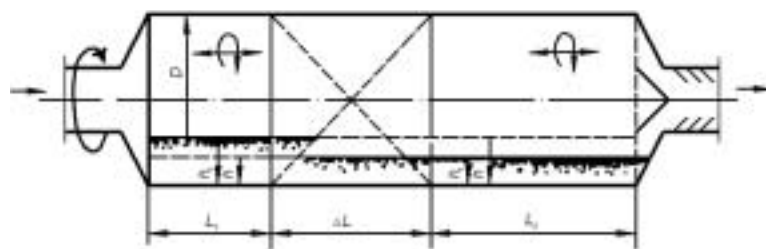


Рис. 6. Схема работы трубной шаровой мельницы с наклонной перегородкой

личной высоты.

БРОПЭКС обеспечивает дифференциальный скоростной режим работы мелющих тел по длине мельницы и имеет определенные преимущества по сравнению с общепринятой бронифутеровкой:

- повышается производительность и уменьшается удельный расход энергии на 5–10%;
- увеличивается стойкость футеровки в 2–2,5 раза;
- снижается стоимость футеровки в 2–2,5 раза;
- улучшаются характеристики дисперсности цемента;
- уменьшается количество крепежных болтов.

В последние годы совершенствование процесса измельчения в трубных шаровых мельницах основано на повышении интенсивности работы мелющей загрузки с помощью энергообменных элементов, под которыми подразумевают различные конструктивно-технологические элементы,

устанавливаемые в мельнице и взаимодействующие с мелющей загрузкой [3].

К энергообменным элементам относятся: наклонные междокамерные и внутрикамерные кольцевые диафрагмы, угловая спиральная бронифутеровка, клиновые, трапециевидные, лопастные и другие элементы, устанавливаемые в составе бронифутеровки.

Детально конструкции и характеристики описаны в литературе [4].

Наклонные междокамерные перегородки разработаны Богдановым В.С. Воробьевым Н.Д. и др. сотрудниками Белгородского института строительных материалов.

Отличительной особенностью наклонной междокамерной перегородки (рис. 6) является разрушение малоподвижного ядра в контуре мелющей загрузки.

Кроме того, благодаря оригинальной перегородке осуществляется турбулизация движения мелющих тел, возникает цикличность изменения уровня мелющих тел из-за изменения размеров камер и продольно-поперечное перемещение в зоне действия перегородки, повышается пропускная способность мельницы.

При использовании наклонной перегородки уменьшается на 30% загрузка мелющих тел, снижаются на 10% энергозатраты, улучшается аспирационный режим мельницы.

Наклонные кольцевые диафрагмы предлагаются устанавливать в камере тонкого измельчения. Схема расположения кольцевых наклонных диафрагм представлена на рис. 7.

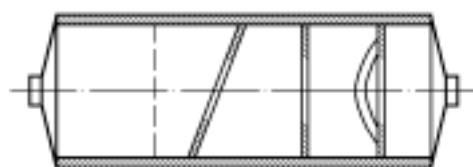


Рис. 7. Схема расположения наклонных кольцевых диафрагм

При взаимодействии мелющих тел с наклонной кольцевой диафрагмой их траектория существенно меняется. Кроме того, диафрагма влияет на скорость движения материала, ускоряя или затормаживая его. Применение наклонных кольце-

вых диафрагм повышает на 10–15% эффективность процесса измельчения цементов различных марок.

Угловая спиральная бронифутеровка (рис. 8) применяется для создания переменного угла отрыва мелющих тел, что позволяет активизировать процессы перемешивания и измельчения в периферийных и центральных зонах поперечного сечения загрузки.



Рис. 8. Принципиальная схема угловой бронифутеровки

Бронифутеровка образована последовательно уложенными в корпусе кольцевыми секциями из бронеплит, образующими в сечении шестиугольники со скругленными углами. Движение мелющих тел в поперечном сечении отличается тем, что за один оборот барабана происходит несколько циклов колебаний угла отрыва загрузки. При таком монтаже кольцевых секций рабочая поверхность футеровки приобретает форму шестиходового ступенчатого винта, который способствует лучшей классификации мелющих тел вдоль длины барабана. Рабочий объем камеры остается таким же, как и при обычной футеровке.

Промышленные испытания показали увеличение производительности агрегата, работающего в открытом цикле, на 15% и снижение удельных энергозатрат на 14%.

Совместное применение наклонной межкамерной перегородки и угловой бронифутеровки позволит повысить эффективность измельчения на 25%.

На рис. 9 представлена сравнительная оценка эффективности измельчения с различными внутримельничными устройствами.

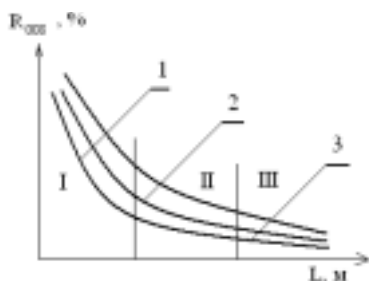


Рис. 9. Кинетика процесса помола цемента с различными внутримельничными устройствами:

- 1 — с вертикальными перегородками; 2 — с наклонной межкамерной и вертикальной перегородкой;
- 3 — с наклонной межкамерной перегородкой и угловой футеровкой; I, II, III — камеры мельницы

Видно, что эффективность процесса помола с наклонными и вертикальными перегородками выше, чем с вертикальными перегородками, а сочетание наклонной межкамерной перегородки и угловой бронифутеровки повышает эффективность по сравнению с предыдущими.

#### Подбор ассортимента мелющих тел

Правильный выбор количественного и качественного состава мелющей загрузки оказывают существенное влияние на эффективность работы трубной шаровой мельницы.

Технологические расчеты и практика измельчения показывают, что с увеличением степени заполнения на 0,1 производительность мельницы 3,2×15 м увеличивается на 1,5 т/ч.

В отечественной практике оптимальным с точки зрения удельного расхода электроэнергии является коэффициент загрузки, равный 25–30%.

Большой экономический эффект дают шары, изготовленные не из обычной, а из шарикоподшипниковой стали, поэтому использование шаров — отходов подшипникового производства является весьма перспективным направлением интенсификации помола в трубных шаровых мельницах.

В последнее время проявляется особый интерес к изменению ассортимента мелющих тел по длине мельницы, особенно на тех заводах, которые применяют шаровую загрузку и во второй камере. Большинство заводов руководствуются собственным опытом при подборе ассортимента мелющих тел, который заключается в следующем:

- размеры мелющих тел определяются крупностью частиц цементного клинкера и добавок, а также их физико-химическими и физико-механическими свойствами;
- чем крупнее исходные частицы измельчаемого материала, тем большими должны быть размеры шаров в первой камере;
- применение крупных шаров не позволяет получать цемент с высокой тонкостью помола;
- для получения высокомарочных тонкомолотых цементов наибольший эффект дает загрузка мелющих тел одинакового размера;
- первая камера загружается наиболее крупными шарами, в дальнейшем по ходу движения материала средний размер шаровой загрузки должен уменьшаться;
- последняя камера загружается цельпесом или мелкими шарами (диам. 25–18 мм).

Вместе с тем имеются возможности научного подхода к решению данной проблемы, которые заложены в методиках расчета известных институтов, давно и плодотворно работающих в этом направлении.

Методика расчета института НИИЦемент основывается на определении оптимального диаметра “максимального” шара с последующим расчетом диаметра шаров каждой фракции [3]. Схема расчета представлена ниже:

— определяется масса мелющих тел в камере (мельнице), исходя из объема, степени заполнения и насыпной плотности шаров;

— выполняется расчет максимального шара;

— определяется тип мелющей загрузки;

— выполняется расчет состава шаровой загрузки.

Работы по подбору ассортимента мелющих тел трубных шаровых мельниц проводились на кафедре силикатов ДХТИ под руководством В.В. Товарова в шестидесятые годы прошлого столетия и продолжены на кафедре ХТВМ ДВНЗ УГХТУ.

Впервые была предложена зависимость для определения оптимальных размеров мелющих тел по длине барабанной мельницы соответственно уменьшаемой крупности материал, которая позволила рассчитать диаметр шаров в любой точке мельницы в зависимости от ее диаметра и длины, степени размалываемости, начальной и конечной удельной поверхности, а также от коэффициентов износа мелющих тел и аспирации [5].

В дальнейшем была предложена формула изменения диаметра шаров по длине мельницы в зависимости от остатка на контрольном сите [6].

Она явилась основой для создания методики подбора ассортимента мелющих тел, разработанной на кафедре ХТВМ ДВНЗ УГХТУ [7].

Сущность данной методики заключается в проведении следующих мероприятий:

— снятие диаграммы помола на действующих мельницах при действующей загрузке мелющими телами;

— построение диаграммы распределения мелющих тел по данным завода;

— определения начальной крупности материала  $d_0$  и удельной затраты энергии (размалываемости)  $E_t$ ;

— построение расчетного распределения мелющих тел по длине мельницы;

— расчет ассортимента мелющих тел;

— загрузка мельницы новым ассортиментом;

— снятие диаграммы помола при новом ассортименте;

— сравнение полученных результатов (тонкостей помола, производительности и удельных затрат) до и после внедрения.

Предложенная методика испытана и внедрена на ОАО "Хайдельберг Цемент Украина", Ивано-Франковском цементно-шиферном комбинате, Брянском (Россия) цементных заводах.

В среднем производительность мельниц  $3,2 \times 15$  м,  $4 \times 13,5$  м и  $2,6 \times 13$  м увеличилась на 10–12%, а удельные затраты энергии уменьшились на 11–13%.

#### **Интенсификация тонкого помола введением добавок ПАВ**

Одной из основных причин снижения эффективности процесса измельчения с увеличени-

ем его тонкости есть агрегирование размалываемого материала и налипания последнего на молющие тела и бронеплиты. Устранить это отрицательное явление можно применением интенсификаторов помола, среди которых наибольшее распространение получили поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Применение интенсификаторов помола с целью повышения эффективности помольных агрегатов является общей тенденцией в цементной промышленности.

Можно выделить два основных направления ее развития:

— использование уже известных интенсификаторов, таких как триэтаноламин (ТЭА), мылонафт, соапсток, сульфит-спиртовая барда (ССБ), их смеси, уголь и др., которые успешно применяются на цементных заводах Украины и дают хорошие результаты;

— поиск новых интенсификаторов, более дешевых, экологически чистых, в особенности среди отходов.

Использование отходов разнообразных производств (кожевенной, мыловаренной, пищевой промышленности) позволит решить не менее важную задачу, такую как охрану окружающей среды от загрязнений.

Опыт показал, что применение ПАВ, как интенсификаторов помола, в технологии цемента — один из наиболее эффективных и перспективных средств повышения производительности, снижения удельных энергозатрат и повышения качества цемента.

Эффективность применения интенсификаторов помола, рядом со свойствами материала и параметрами процесса, зависит от ряда факторов, которые определяют гидродинамические и энергетические режимы проведения процесса.

Например, в зависимости от физико-химических свойств клинкера и поверхностно-активного вещества зависит снижение коэффициента трения между шарами, материалом и бронеплечеткой, благодаря чему возрастет подвижность материала и скорость его движения вдоль мельницы.

Поверхностно-активные вещества выбираются в зависимости от зернового состава размалываемого материала, физико-механических свойств, транспортабельности, стоимости, токсичности и т.д.

Механизм действия ПАВ до конца не выяснен. Существуют разнообразные гипотезы (теории), которые объясняют это явление. Все эти теории, в основе которых лежат, как правило, сорбционные процессы, можно разбить на несколько групп:

— теория адсорбционного снижения твердости в процессе измельчения (эффект Ребиндера);

— теория локализации электростатических зарядов, которые возникают при измельчении и агрегировании материалов;

— теория покрытия размалываемых частиц мономолекулярной прослойкой поверхностно-активного вещества;

— теория “активных центров”.

Независимо от того, как действуют ПАВ, их использование в оптимальных количествах (от 0,01 до 0,5% по массе) позволяет повысить удельную поверхность вяжущего на 30%, увеличить производительность мельниц на 10–20% при одновременном снижении удельного расхода электроэнергии [7].

#### Влияние аспирации

Раньше считалось, что аспирация трубных шаровых мельниц, т.е. просасывание воздуха через внутренний объем мельницы, лишь позволяет снизить выделение пыли из загрузочной горловины мельницы в помещение цеха и уменьшить запыленность в помольных отделениях (санитарно-гигиеническая аспирация).

При недостаточной аспирации цементных и сырьевых мельниц при сухом способе производства цемента концентрация пыли в цеховых помещениях повышается и увеличивается износ оборудования. Исходя из этого на предприятиях стремились обеспечить такую аспирацию многокамерных мельниц, которая бы удовлетворяла, прежде всего, санитарно-гигиеническим требованиям.

Позже было замечено, что помол сухих материалов без аспирации или при слабой аспирации сопровождается снижением производительности мельниц, а усиление аспирации интенсифицирует процесс помола. Поэтому в настоящее время интенсивная аспирация применяется уже повсеместно.

Установлено, что для достижения необходимой степени аспирации при сухом помолу через мельницу должно проходить около 1 м<sup>3</sup>/час воздуха на 1 кг цемента. Скорость воздуха, просасываемого через мельницу, отнесенная к его полному сечению, рекомендовалась не ниже 1, а максимальная до 2 м/с.

При определении степени аспирации исходят, прежде всего, из расчета аэродинамического сопротивления мельницы и обеспыливающих устройств в аспирационной системе.

Аэродинамическое сопротивление самой мельницы зависит от диаметра загрузочной горловины, живого сечения междуканальных перегородок, их типа и количества, наличия и размера центральных аспирационных отверстий.

Пересыпка шаров и материала в барабане незначительно влияет на аэродинамическое сопротивление мельницы. Ими можно пренебрегать при условии, что в мельницу поступает сухой материал.

Если влажность поступающего в мельницу материала превышает допустимые нормативы, щели перегородок замазываются, и аэродинамическое сопротивление мельницы резко повышается. Для того чтобы преодолеть аэродинамическое сопро-

тивление мельницы необходимо создать соответствующее разрежение и подавать воздух с определенной скоростью.

Повышение производительности при этом может достигать до 20–25% в сравнении с производительностью мельницы, которая работает с санитарно-гигиенической аспирацией, т.е. при скорости воздуха 0,3 м/с и температуре 130–150°C.

Как видно из рис. 10, производительность мельницы при помолу портландцемента возрастет с увеличением интенсивности аспирации на 25%.

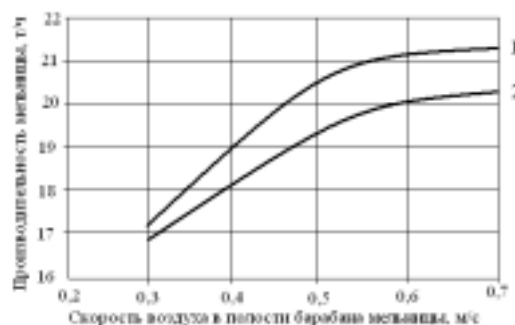


Рис. 10. Зависимость производительности мельницы от интенсивности аспирации

Приведенные на графике кривые (верхняя (1) характеризует суммарную или полную производительность, то есть производительность с учетом продукта выноса, а нижняя (2) — производительность без учета продукта выноса) показывают, что с повышением интенсивности аспирации производительность мельницы увеличивается в результате влияния аспирационного воздуха на процесс помола.

#### Альтернативные измельчители

Анализ альтернативных измельчителей показывает, что перспективными являются следующие агрегаты:

- пресс-валковые измельчители;
- барабанно-роликовые мельницы;
- конусно-инерционные дробилки;
- центробежно-ударные дробилки;
- валковые мельницы-вибрационные;
- мельницы струйной энергии.

#### Пресс-валковые измельчители

В пресс-валковом измельчителе воплощен новый принцип измельчения — внутривалковое принудительное измельчение, сущность которого заключается в том, что между измельчающими поверхностями происходит разрушение в пласте материала, образованном из отдельных зерен, под влиянием высокого давления.

При этом отдельные зерна передают давление на соседние и происходит разрушение большей их части.

Процесс эффективного измельчения идет уже при 5–10 МПа. Оптимальным является 15–20 МПа. В готовом продукте содержится 30–

35% фракции 80 мкм.

Рассмотренный агрегат может применяться как измельчитель клинкера и добавок в комплексе с трубной шаровой мельницей, эффективность которой повысится на 50%.

Принцип пресс-валкового измельчения получил новое конструктивное решение в барабанно-роликовой мельнице (рис. 11).

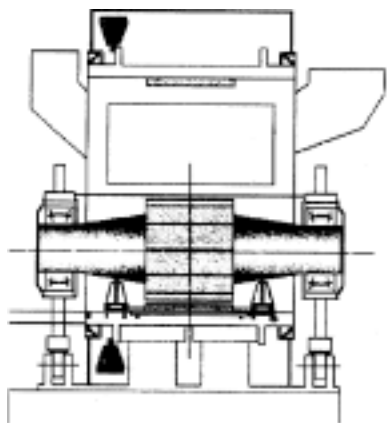


Рис. 11. Схема барабанно-роликовой мельницы

В данной конструкции роль одного из валков выполняет вращающийся со сверхкритической скоростью барабан, взаимодействующий с пресс-валком в своей нижней части. Формированный на стенках барабана пласт материала затягивается под валок. При этом округло-выгнутая форма щели увеличивает угол захвата и соответственно крупность кусков, которые захватываются в щель.

#### Конусные инерционные дробилки

Конусные инерционные дробилки также работают на основе способа внутрипластового принудительного измельчения. Институтом «Механобр» разработана конструкция виброинерционного измельчителя — конусная инерционная дробилка (КИД).

Конструкция КИД представлена на рис. 12.

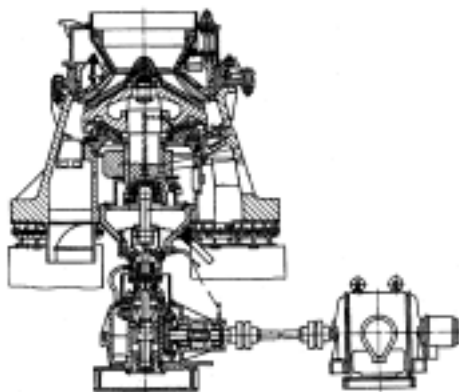


Рис. 12. Конусная инерционная дробилка мелкого дробления (КИД)

Измельчение в КИД происходит под действием сжимающих усилий инерционного характера и импульсных вибрационных сдвижных нагрузок.

Особенностью данной дробилки является независимость гранулометрического состава готового продукта от производительности, которая обусловлена тем, что с увеличением кольцевого зазора одновременно увеличивается сила, которая дробит. При этом удельное усилие на единицу объема измельченного материала остается постоянным.

В связи с этим оптимальный режим работы дробилки близкий к максимальным значениям производительности.

Удельные энергозатраты в зависимости от производительности колеблются от 3 до 10 кВт·ч/т. С этой точки зрения наиболее энергетически благоприятные режимы работы КИД на максимальной производительности, которую можно повысить увеличением диаметра дробилки.

#### Валковые мельницы

В последнее время в практике цементных заводов за рубежом находят применение валковые мельницы. Конструкция валковой мельницы представлена на рис. 13.

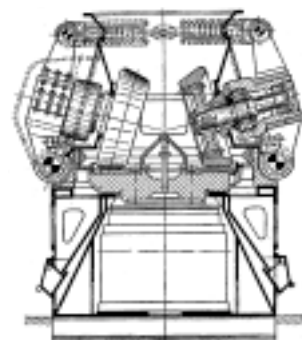


Рис. 13. Валковая среднеходная мельница

Измельчение в ней происходит путем раздавливания больших кусков и истиранием частиц в пласте мелкозернистых фракций.

Максимальный размер кусков, подаваемых на измельчение, составляет 0,015–0,040 диаметра валков.

К преимуществам валковых мельниц относят:

- низкие капитальные затраты;
- экономия удельных энергозатрат на 25–30%;
- снижение температуры материала;
- низкий уровень шума;
- изменение гранулометрии в широких границах;
- возможность быстрого перехода от одной марки цемента к другой за счет изменения аэродинамического режима работы.

К недостаткам относят:

- более высокую стоимость измельчения (на 10–5%);
- сложность конструкции;
- износ броневых плит;
- повышенные требования к квалификации персонала.

#### Роликовые мельницы

Роликовые мельницы относятся к группе машин, в которых рабочими органами является кольцо или тарелка и ролики, которые прижимаются к ним, или стальные шары. Материал, который попадает между кольцом или тарелкой и роликом, в зависимости от их формы, только раздавливается или одновременно раздавливается и истирается.

Конструкция роликовой маятниковой мельницы представлена на рис. 14.

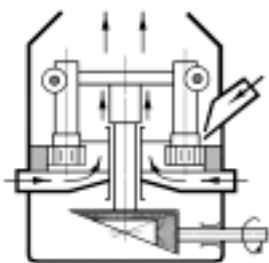


Рис. 14. Роликовая маятниковая мельница

Кольцевая шаровая мельница представлена на рис. 15.

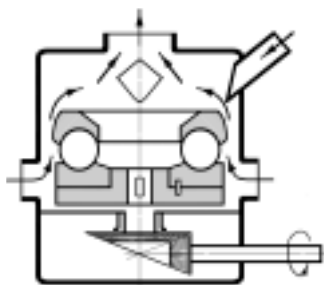


Рис. 15. Кольцевая шаровая мельница

Основным недостатком вышерассмотренных мельниц является невысокая производительность, которая не превышает 20 т/час.

Таким образом, рассматривая эту группу мельниц, как альтернативную шаровым трубным мельницам, можно отметить их невысокую эффективность, несмотря на низкие удельные энергозатраты, так как они в конечном итоге не дают конечной тонкости измельчения и могут быть использованы на стадии предварительного помола, т.е. выполнять функции I камеры трубной шаровой мельницы. Кроме того, эти мельницы требуют высоких эксплуатационных затрат.

В ближайшем будущем они едва ли смогут заменить действующие высокопроизводительные трубные шаровые мельницы.

#### Быстроходные мельницы

Центробежно-ударная быстроходная мельница представлена на рис. 16.

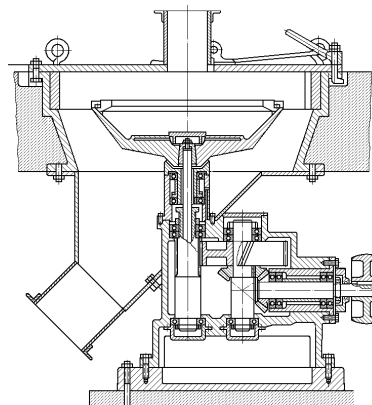


Рис. 16. Центробежно-ударная мельница-дробилка

Центробежно-ударные мельницы-измельчители с быстро вращающимися роторами и закрепленными на них рабочими элементами — билами. Измельчение в них происходит преимущественно ударом при взаимодействии частиц, которые измельчаются, с элементами ротора, внутренними поверхностями измельчителя, а также при взаимодействии частиц одна с другой. Эффективность процесса определяется скоростью вращения ротора, затратами материала и его крупностью, формой бил, схемой измельчения и др. При скорости вращения ротора 35 и 50 м/с в измельченном клинкере содержание фракции — 3мм составило 85–90%. При этом удельные энергозатраты не превысили 1,5–2 кВт·ч/т.

Внедрению указанных измельчителей препятствуют две обстоятельства: высокий износ рабочих органов и высокие нагрузки на вал ротора.

Первая проблема решается применением высоко износостойчивых сталей и сплавов, новых композиционных материалов.

Вторая проблема решается уменьшением скорости вращения ротора: при скорости, равной 50 м/с, износ составляет 0,2 мм/т, а при скорости, равной 35 м/с — 0,09 мм/т. Дальнейшее развитие измельчителей данного типа связано с решением проблемы износа.

#### Мельницы струйного измельчения

Эти мельницы предназначены для тонкого и сверхтонкого измельчения материалов. Схема мельницы представлена на рис. 17.

Частицы, двигаясь в турбулентном воздушном потоке со скоростью 60–150 м/с, интенсивно измельчаются за счет ударов друг о друга и частично за счет трения о стенки корпуса.

Достоинства мельниц: возможность получения тонких и сверхтонких продуктов.

Недостатки: невысокая производительность (5–20 т/ч), высокие энергетические затраты (150–

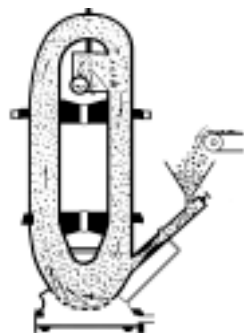


Рис. 17. Схема мельницы струйной энергии

200 кВт·ч/т), необходимость предыдущего дробления и сортировка исходных материалов, высокий износ стенок мельницы.

Представляется целесообразным использовать струйные мельницы в технологической системе измельчения для одновременной сушки и помола сырья и измельчения портландцементного клинкера с добавками с предварительным измельчением в конусно-инерционных дробилках.

#### **Вибрационные мельницы**

Эти машины предназначены также для тонкого и сверхтонкого измельчения.

В вибрационных мельницах вибрация корпуса вызывается центробежными силами инерции, которые возникают при вращении дебаланса, установленного эксцентрично относительно оси вращения.

Вибрационная мельница инерционного типа представлена на рис. 18.

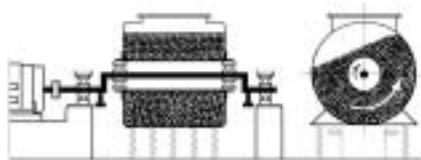


Рис. 18. Вибрационная мельница

Достоинства вибрационных мельниц: высокая дисперсность, низкие энергетические затраты. Недостаток: низкая производительность.

#### **Выводы**

В данном кратком обзоре представлены пути интенсификации процесса измельчения в существующих трубных шаровых мельницах, а также возможности альтернативного измельчения в других измельчителях.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Теория цемента / Пащенко А.А., Мясникова Е.А., Гумен В.С. и др. / Ред. Пащенко А.А. — К.: Будівельник, 1991. — 168 с.
2. Дешко Ю.И. Креймер М.Б., Крыхтин Г.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. — М.: Стройиздат, 1966. — 271 с.
3. Пирожкий В.З. Цементные мельницы: технологическая оптимизация. — СПб. — Изд-во ЦПО Информатизация образования, 1999. — 145 с.
4. Богданов В.С., Севостьянов В.С., Платонов В.С. Трубные шаровые мельницы с внутренним рециклом // Цемент. — 1989. — № 1. — С.15.
5. Товаров В.В., Шевченко А.Ф. Определение оптимальных размеров и распределение мелющих тел в барабанных мельницах // Цемент. — 1969. — № 11. — 11 с.
6. Шевченко А.Ф., Кулик В.А., Косенко А.В. Определение оптимальных размеров мелющих тел // Цементная промышленность. — Серия 1. — М.: 1990. — Вып.12. — С.7.
7. Шевченко О.Ф., Бондік Н.А., Шевченко О.В. Інтенсифікація процесу помолу за допомогою поверхнево-активних речовин та підбору асортименту молотильних тіл у трубних кульових млинах // Вопр. химии и хим. технологии. — 2001. — № 2. — С.78-84.

Поступила в редакцию 18.08.2008