

Э. И. Левданский, д-р техн. наук;  
А. Э. Левданский, канд. техн. наук;  
А. А. Гарабашу  
(БГТУ)

## Энергосберегающая роторно-центробежная мельница с инерционно-гравитационной выгрузкой готового продукта

Процессы измельчения широко распространены практически в любой отрасли производства (например, в химической, горнорудной, пищевой и других отраслях промышленности). Однако они требуют больших энергетических затрат и сопряжены с безвозвратной потерей металла из-за изнашивания рабочих элементов. В ряде работ [1, 2] отмечается, что на процесс измельчения затрачивается около 10% производимой в мире электроэнергии и несколько миллионов тонн высококачественной стали. Так, в производстве цемента для измельчения клинкера в настоящее время используются шаровые мельницы, мощность привода которых достигает 8000 кВт [1].

Большие энергетические затраты объясняются не только большими объемами перерабатываемых материалов, но и тем, что измельчающие машины, особенно для помола, отличаются чрезвычайно низкой эффективностью: КПД их составляет в лучшем случае несколько процентов [2]. Более эффективны среднеходные мельницы, в которых расход электроэнергии на единицу измельченного материала почти в 2 раза меньше, чем в барабанных мельницах [3]. Еще более перспективными машинами для измельчения материалов являются роторно-центробежные мельницы (РЦМ).

Одна из конструкций РЦМ, разработанных Белорусским государственным технологическим университетом, представлена на рис. 1.

Мельница состоит из цилиндрического корпуса 4, нижняя часть которого соединена с бункером 2. К нижней плите 10 корпуса крепится электродвигатель 3. Его вал проходит через рабочую камеру мельницы. Внутри корпуса на валу с помощью ступицы установлен диск 9 с лопастями 8. Сверху к корпусу болтами крепится крышка 7 с питательным патрубком 6. В корпусе по окружности жестко закреплены отражательные стержни 5. В зависимости от требуемой тонины помола стержни устанавливаются на расстоянии друг от друга  $b = 1 + 5$  мм. По наружной поверхности плиты 10 снизу приварена обечайка 12, соединенная с бункером 2. Таким образом, цилиндрической обечайкой корпуса 4 и обечайкой 12 образован кольцевой канал для выгрузки мо-

лотого продукта из мельницы в бункер 2, имеющий коническую форму и заканчивающийся патрубком с питателем 1 для выгрузки материала. В верхней части бункера имеется патрубок 11 для удаления воздуха.

При работе мельницы электродвигатель приводит во вращение роторный диск с окружной скоростью концов лопастей не менее 50 м/с.

Подлежащий измельчению материал через патрубок 6 равномерно подается в центральную часть мельницы. Измельчение происходит как при ударе рабочих лопастей о частицы исходного материала, так и при ударе этих частиц об отражательные стержни.

Мельница одновременно работает как вентилятор. Всасывание воздуха осуществляется через питательный патрубок 6. При вращении ротора с лопастями воздух вместе с измельченным материалом, вращаясь внутри рабочей камеры, заставляет материал многократно ударяться о рабочие поверхности. При этом за счет центробежной силы у поверхности отражательных стержней создается зона повышенного давления воздуха, который через щели между стержнями проходит вместе с тонко измельченным материалом в кольцевой канал и далее поступает в бункер 2. Измельченный материал осажается в бункере, а запыленный воздух через патрубок 11 поступает в циклон на очистку.

Поскольку тангенциальная скорость воздуха и частиц внутри рабочей камеры у поверхности отражательных стержней значительно выше, чем их радиальная скорость в щелях, естественно, что радиальный поток будет подхватывать только мелкие частицы, размер которых намного меньше размера самих щелей, т.е. исключается забивка

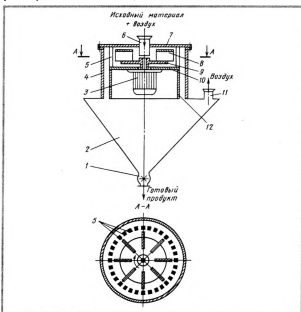


Рис. 1. Роторно-центробежная мельница с инерционно-гравитационной выгрузкой готового продукта

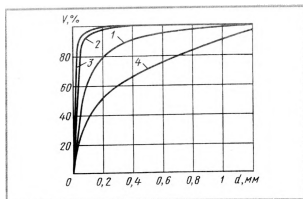


Рис. 2. Изменение фракционного состава  $V$  продуктов помола в РЦМ с инерционно-гравитационной выгрузкой ( $b = 1$  мм) при различной производительности  $G$ :

1 — гипсовый камень,  $G = 220$  кг/ч; 2 — известь,  $G = 280$  кг/ч; 3 — мел,  $G = 240$  кг/ч; 4 — зерно,  $G = 170$  кг/ч

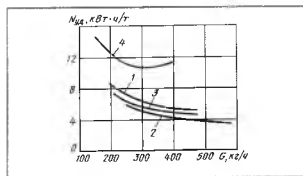


Рис. 3. Зависимость удельного расхода электроэнергии  $N_{уд}$  на разлом материалов от производительности  $G$  РЦМ с инерционно-гравитационной выгрузкой ( $b = 1$  мм). Обозначения кривых те же, что и на рис. 2

шелей между отражательными стержнями и обеспечивается высокая степень измельчения готового продукта.

С целью промышленного внедрения изготовлен экспериментальный образец РЦМ с инерционно-гравитационной выгрузкой готового продукта. Диаметр рабочего диска (по концам лопастей) — 0,4 м. Рабочий диск мельницы имеет 12 жестко прикрепленных к нему лопастей. Привод рабочего диска осуществляется электродвигателем мощностью 7,5 кВт и частотой вращения 3000 об/мин.

В качестве материала для исследований использовали гранулы извести после печи, работающей по мокрому способу производства, гипсовый камень, мел, а также зерна ячменя и ржи. Материал на измельчение подавался в мельницу из бункера шнековым питателем. Изменение подачи материала осуществлялось изменением частоты вращения шнекового питателя. Расход электроэнергии на привод электродвигателя мельницы измеряли ваттметром.

Анализ известных методов оценки качества помола и исследований по измельчению показал, что наиболее достоверным и простым является метод определения тонины помола путем рассева на ситах. Единственный недостаток метода — его длительность, поэтому для определения тонины помола использовали набор стандартных сит (минимальный размер  $d$  отверстий 0,063 мм, максимальный — 2 мм [4, 5]).

Одним из главных показателей работы мельницы является фракционный состав продуктов помола (рис. 2). Более высокая степень измельчения в РЦМ достигается при помоле извести и мела (см. рис. 2). Несколько хуже измельчается гипсовый камень (кривая 1), а наибольшие затруднения вызывает помол зерна (кривая 4). Высокая степень помола извести и мела объясняется тем, что гранулы извести или кусочки мела состоят из мелких кристаллов, связь между которыми значительно слабее, чем связь между кристаллами гипсового камня и тем более зерна. Поэтому сильного удара гранул извести или кусочков мела вначале о лопасти рабочего диска, а далее об отражательные стержни оказывается более чем достаточно, чтобы они почти полностью распались на отдельные кристаллы. В результате этого через зазоры между отражательными стержнями проходит большое количество частиц извести или мела, размер которых значительно меньше размеров самих зазоров. При помоле кусков гипсового камня или зерна того же ударного импульса оказывается недостаточно, чтобы измельчить их на отдельные кристаллы, поэтому через зазоры между отражательными стержнями уже будут проходить значительно большие по размеру частицы, соизмеримые с размером самих зазоров, т.е., чем слабее межкристаллические связи внутри материала, тем легче он поддается разрушению и тем выше качество сего помола.

Второй, не менее важной характеристикой работы РЦМ является расход электроэнергии на помол материалов. На рис. 3 представлены зависимости удельного расхода электроэнергии при помоле в мельнице 1 т гипсового камня, извести, мела и зерна. Как видно, мельница имеет оптимальную производительность, при которой удельный расход электроэнергии на разлом того или иного материала минимален. Отклонения производительности от оптимальной вызывает повышение удельного расхода электроэнергии на разлом материалов. Оптимальная производительность любой мельницы определяется экспериментальным путем, так как зависит от большого числа конструктивных и технологических факторов.

Из рис. 3 следует также, что наибольший удельный расход электроэнергии наблюдается при помоле зерна (кривая 4), несколько меньший — при помоле гипсового камня (кривая 1), а минимальный — при помоле извести и мела (кривые 2 и 3). Это объясняется прочностными

характеристиками материалов и, кроме того, чем слабее межкристаллические связи, тем легче он поддается измельчению и тем меньше энергии на это расходуется.

Важнейшей характеристикой работы РЦМ является зазор между отражательными стержнями. На рис. 4 представлены графические зависимости степени измельчения гипсового камня, извести, мела и зерна от зазора между отражательными стержнями при минимальной производительности мельницы.

Анализируя представленные на рис. 4 зависимости, можно отметить, что с увеличением зазора между отражательными стержнями мельницы остаток всех без исключения материалов на сите № 0,063 также увеличивается. Это можно объяснить следующим: чем больше зазор между отдельными стержнями, тем больше размер частиц, проходящих между ними, т. е. число частиц материала, свободно проходящих через сито № 0,063, резко уменьшается.

Кроме того, на рис. 4 ярко прослеживается взаимосвязь между прочностными характеристиками материала и степенью роста остатка на сите № 0,063, вызванной увеличением зазора  $b$  от 0,5 до 3 мм. При измельчении материалов высокой прочности, влияние зазора между отражательными стержнями мельницы на величину остатка на сите № 0,063 более существенное, чем при помоле материалов низкой и средней прочности. При помоле зерна остаток на сите № 0,063 увеличивается с изменением зазора  $b$  от 0,5 до 3 мм на 40% (кривая 4), при помоле гипсового камня — на 27% (кривая 1), при измельчении извести и мела — соответственно на 13 и 9% (кривые 2 и 3). Следовательно, чем прочнее материал (т. е. чем сильнее межкристаллические связи), тем труднее он поддается тонкому измельчению и тем меньше должен быть зазор между отражательными стержнями мельницы.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Разработанная конструкция РЦМ с инерционно-гравитационной выгрузкой готового продукта является работоспособной и может обеспечить высококачественный помол материалов при минимальном расходе

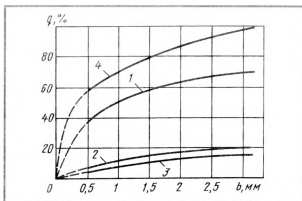


Рис. 4. Зависимость степени измельчения материалов (остаток  $q$  на сите № 0,063) от зазора  $b$  между отражательными стержнями в РЦМ с инерционно-гравитационной выгрузкой. Обозначения кривых те же, что и на рис. 2

электроэнергии; данную мельницу лучше всего использовать для тонкого помола материалов низкой и средней прочности (извести, мела, гипсового камня) при оптимальном зазоре  $b = 1$  мм; использование РЦМ с инерционно-гравитационной выгрузкой в производстве извести вместо применяемой в настоящее время барабанной шаровой мельницы даст возможность снизить расход электроэнергии на помол более чем в 10 раз, а степень измельчения извести (остаток на сите № 0,08) при этом составит 7–8%, тогда как существующим стандартом при помоле извести предусмотрен остаток на сите № 0,08 не более 10–15%.

#### Список литературы

1. Ghigi G., Rabottino L. Второй европейский конгресс по измельчению. Амстердам, 1968. С. 243–276.
2. Сборник научных трудов института "Механобр". Совершенствование процессов дробления, измельчения, грохочения и классификации. Л., 1985.
3. Лепин Л.А., Родатис К.Ф. Среднеходные и тихоходные мельницы. М.: Энергия, 1981.
4. Ходаков Г.Е. Основные методы дисперсионного анализа порошков. М.: Стройиздат, 1968.
5. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. М.: Химия, 1987.

#### Уважаемые руководители организаций, предприятий и фирм!

Если Вы подписались на журнал "Химическое и нефтегазовое машиностроение" на 1998 г. и будете нашими подписчиками в дальнейшем, мы предоставим Вам возможность опубликовать в одном из номеров журнала рекламу Вашей продукции, услуг и др. **БЕСПЛАТНО!** Размер рекламы — 1/2 (1/3) журнальной страницы.

**Воспользуйтесь этим выгодным предложением — и Вы не пожалеете!**

Адрес редакции: 107884, Москва, ул. Старая Басманная, 21/4, МГУИЭ;  
 телефон/факс: (095) 267-16-36; факс: (095) 141-00-85.