

Э. И. Левданский, профессор; А. Э. Левданский, доцент; П. С. Гребенчук, аспирант

### ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МЕЛЬНИЦЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Basis technological and constructive parameters of a centrifugal percussion mill are produced in the given work. The influence of these parameters on the quality of grinding is described; optimum meanings for industrial designing of a new construction of mill are determined.

Исследованиями и широкомасштабными внедрениями последних лет доказано, что для среднего и мелкого дробления, а также для грубого и среднего помола весьма эффективными оказались ударно-центробежные измельчители метательного типа [1, 2, 3]. Принцип измельчения материала в таких конструкциях весьма прост и заключается в том, что в центр вращающегося ротора подается исходный материал, где он за счет центробежной силы инерции направляется в разгонные каналы и на выходе из них с высокой скоростью ударяется об отражательную стенку, где и происходит измельчение. Высокие скорости на выходе из каналов позволяют кускам материала двигаться поштучно, и удар их о стенку получается не стесненный, а свободный. Это позволяет достигать высокой степени измельчения всех кусков с получением продукта более равномерного состава. В таких конструкциях ударно-центробежных мельниц продукты легко удаляются из зоны измельчения, а в некоторых осуществляется его классификация с возвратом крупной фракции на повторное доизмельчение [4, 5, 6]. В ряде работ [3] отмечаются и другие достоинства таких конструкций измельчителей, а именно:

– параметры работы измельчителей поддаются точному регулированию путем изменения скорости вращения ротора, причем стабильный грансостав продукта обеспечивается даже при значительном износе рабочих органов;

– дробление и помол можно осуществлять практически при любой крепости и твердости материалов;

– материал после дробления имеет форму, близкую к кубической, что очень важно, например, при получении щебня, идущего для дорожного покрытия и приготовления качественных бетонов;

– высокая энергонапряженность в рабочей зоне измельчителей обеспечивает им низкую металлоемкость, низкие капитальные и эксплуатационные затраты, простоту обслуживания и высокую ремонтоспособность.

Очень важные результаты получены при эксплуатации таких измельчителей на ряде горно-обогатительных предприятий по селек-

тивному измельчению минеральных руд [3]. Подбирая соответствующий режим измельчения, можно достичь селективного разрушения руды, при котором минералы, имеющие меньшую прочность, разрушаются, а более прочные остаются целыми. Следовательно, полное раскрытие кристаллов извлекаемого из горной породы вещества наступает при крупности продуктов измельчения большей, чем крупность измельченного, например, в барабанной мельнице. Кроме того, при последующем флотационном разделении степень извлечения полезных минералов из более крупного продукта измельчения оказывается выше.

Для достижения высокой эффективности измельчения материала в ударно-центробежных мельницах метательного типа необходимо обеспечить непрерывный отвод мелкого продукта, а более крупные куски подвергнуть повторному, а при необходимости многократному ударному нагружению.

На основании анализа существующих конструкций измельчителей и с учетом вышеизложенных требований нами разработана новая конструкция ударно-центробежной мельницы. Описание конструкции, принципа действия мельницы, а также расчет мощности привода приведены в предыдущем сборнике трудов [7].

Отметим только, что в новой конструкции измельчителя благодаря наличию дополнительных отражательных лопаток крупные недоизмельченные частицы подвергаются дополнительному ударному нагружению, а мелкие легко и непрерывно удаляются из камеры измельчения.

Исследования процесса измельчения материалов в новой конструкции осуществлялись на полупромышленной установке с диаметром ротора мельницы по концам лопаток 0,45 м. Скорость вращения ротора в ходе исследований изменялась с помощью частотного преобразователя от 600 до 2930 об/мин. Нагрузка по измельчаемому материалу изменялась от 1000 до 3000 кг/ч. Все опыты осуществлялись при сухом способе измельчения.

В процессе исследований измельчению подвергались различные материалы, такие, как гипсовый камень, гранулы фритты и извести,

зерно овса, ячменя, горох, соя, корни лекарственных растений, сильвинит и многие другие материалы.

Проведенные исследования показывают, что при измельчении любых материалов в новой конструкции продукт помола получается более однородным, чем при помоле в других конструкциях измельчителей, в нем мало сильно переизмельченной фракции и в то же время отсутствуют крупные недоизмельченные частицы. Этот показатель является весьма важным при переработке сильвинита с целью получения калийных удобрений, измельчении зерна для получения комбикормов и в других производствах. Исследования показывают, что основным фактором, определяющим тонину помола материала, является скорость вращения ротора. Конечно, физико-механические свойства исходного материала также существенно влияют на качество помола, поэтому, в зависимости от требований, предъявляемых к степени измельчения готового продукта, скорость вращения ротора должна быть строго определенной.

Зависимость степени измельчения сильвинита в ударно-центробежной мельнице от окружной скорости вращения ротора представлена на рис. 1. Прежде чем анализировать кривые на рис. 1, следует отметить, что для дальнейшей флотационной переработки сильвинита желательно иметь продукт измельчения с размером частиц от 0,15 до 1,8 мм, так как частицы менее 0,15 мм будут теряться со шламом и в итоге попадут в отвал, а в частицах крупнее 1,8 мм будут еще недостаточно раскрыты кристаллы КСl. Согласно этим условиям, из графика рис. 1 видно, что при скорости вращения ротора более 1000 об/мин, т. е. при окружной скорости более 23 м/с (кривые 1–5), происходит переизмельчение сильвинита с образованием большого количества частиц размером менее 0,15 мм.

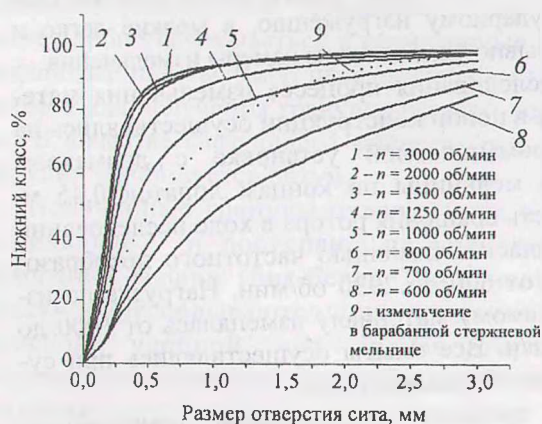


Рис. 1. Степень измельчения сильвинита в ударно-центробежной мельнице при различных скоростях вращения ротора

Наиболее оптимальным является измельчение сильвинита при скорости вращения ротора 750–900 об/мин с последующим доизмельчением крупной фракции. На графике (рис. 1) штрихами нанесена кривая 9, показывающая дисперсный состав продуктов измельчения в барабанной стержневой мельнице первой обогатительной фабрики ПО «Беларуськалий». Из этой зависимости видно, что содержание переизмельченного продукта (мельче 0,15 мм) на выходе из барабанной мельницы составляет 25%. А при измельчении сильвинита в ударно-центробежной мельнице при скоростях 750–900 об/мин содержание переизмельченной фракции составляет всего 7%, что позволяет значительно снизить потери КСl при обесшламливании продуктов помола.

В дальнейшем проводились исследования по влиянию геометрических параметров роторно-центробежной мельницы на качество измельчения материалов.

Влияние зазора между концами лопаток и отражательной стенкой на качество измельчения исследовалось при измельчении сильвинита со скоростью вращения ротора 800 и 1450 об/мин. При этом зазор изменялся от 3 до 15 мм через каждые 3 мм. На рис. 2 представлены графические зависимости, отображающие влияние зазора на медианный  $\delta_{50}$  размер частиц продуктов помола, т. е. размер условного отверстия сита, через которое прошло бы 50% измельченного продукта. Из графика видно, что чем меньше зазор, тем предсказуемо меньше медианный размер, так как чем ближе расположены лопатки к футеровке корпуса, тем больше ударов куска материала о лопатки и о футеровку.

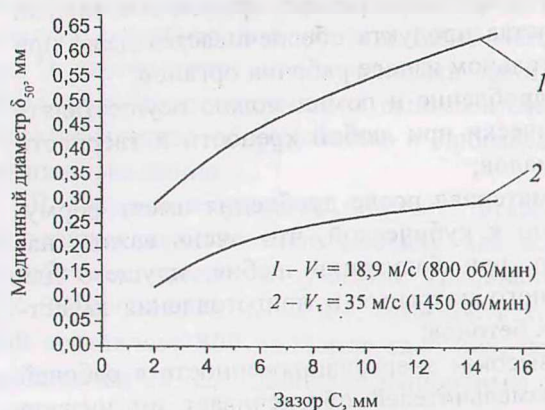


Рис. 2. Влияние величины зазора между лопатками ротора и отражательными стержнями на медианный диаметр частиц продуктов помола сильвинита

Это особенно ощутимо при более низких скоростях вращения ротора (кривая 1). Следовательно, при изготовлении мельниц данной

конструкции нужно стремиться делать зазор минимальным, что потребует высокой точности изготовления рабочих органов.

Ротор ударно-центробежной мельницы состоит из диска, на котором сверху закреплены разгонные лопатки, а снизу – отбойные. Куски исходного материала достигают высоких скоростей удара за счет разгонных лопаток, а последующие удары о стенку недоизмельченных кусков осуществляются с помощью отбойных лопаток. Чтобы в помольную камеру поступало небольшое количество воздуха, и тем самым был низкий расход энергии на его сжатие и транспортировку, разгонные лопатки необходимо применять как можно меньшей высоты. Что касается отбойных лопаток, то чем они выше, тем большему количеству ударов будут подвергаться недоизмельченные куски материала, и, следовательно, материал будет измельчаться более качественно. Результаты исследований по влиянию высоты отбойных лопаток на качество помола силвинита представлены на рис. 3, а результаты помола зерна ячменя – на рис. 4. Из обоих графиков видно, что отбойные лопатки оказывают весьма существенное влияние на качество помола материалов. Особенно ощутимо влияние высоты отбойных лопаток при измельчении трудноизмельчаемых материалов, таких, как зерно ячменя (рис. 4), что вполне объяснимо, поскольку такие материалы можно качественно измельчить только многократными ударами или придав материалу при первоначальном ударе очень высокую скорость. Однако в последнем случае потребуются высокие энергозатраты.

Весьма актуальным является вопрос ориентации расположения лопаток на диске ротора. Если лопатки на диске располагать по радиусу, то при сходе частицы с лопатки она за счет радиальной и тангенциальной составляющих скорости будет подходить к отбойной поверхности стенки под углом.

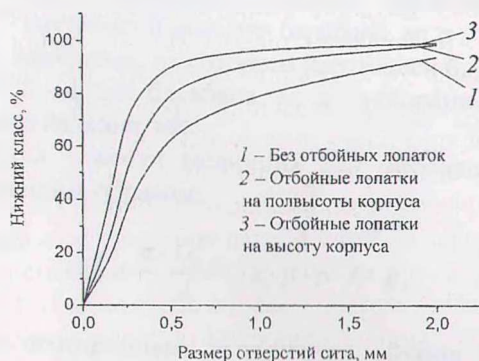


Рис. 3. Влияние высоты отбойных лопаток на качество помола силвинита

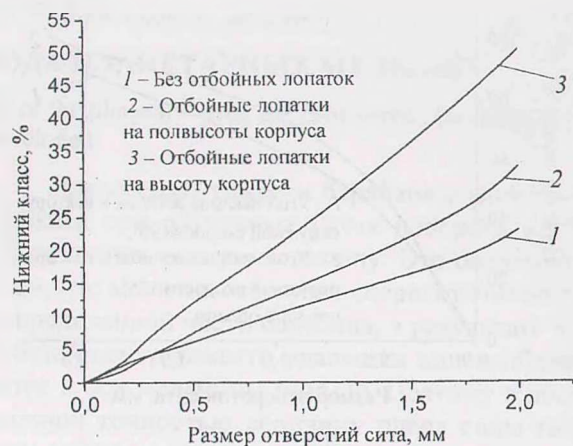


Рис. 4. Влияние высоты отбойных лопаток на качество помола зерна

В этом случае удар будет не прямой, а косой, что может сказываться на качестве помола. Следовательно, для получения более прямого удара необходимо, чтобы лопатки были отогнуты назад, т. е. угол установки лопаток к вектору окружной скорости должен быть более  $90^\circ$ . Влияние угла установки лопаток на диске к вектору окружной скорости исследовалось при измельчении силвинита и зерна ячменя при скоростях вращения ротора 900–3000 об/мин. Угол установки лопаток изменялся от  $90^\circ$  до  $135^\circ$ . В ходе исследования по измельчению силвинита существенного влияния угла установки лопаток на качество измельчения не обнаружено. Это объясняется тем, что силвинит имеет сравнительно невысокие прочностные характеристики и он хорошо измельчается даже при косом угле подхода частиц к отражательной поверхности. Кроме того, отражательная поверхность мельницы набрана из стержней круглого сечения, что делает угол в месте контакта частицы с поверхностью более прямым. Однако при высокоскоростном измельчении более прочных материалов, таких, как зерно ячменя, результаты получаются более интересными (рис. 5).

При установке лопаток под углом  $135^\circ$  к вектору окружной скорости в целом качество измельчения выше, чем при угле  $90^\circ$ . В то же время при угле установки лопаток  $90^\circ$ , т. е. по радиусу диска, удар будет косой и, естественно, материал частично будет измельчаться за счет истирания.

В результате фракций мельче 0,2 мм будет больше, что и видно из анализа кривых на графике (рис. 5).

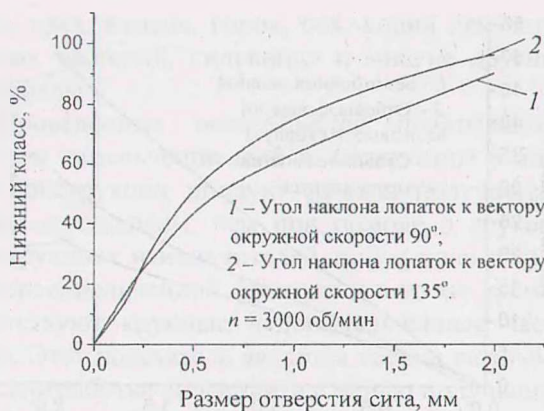


Рис. 5. Влияние угла наклона лопаток к вектору окружной скорости на качество измельчения ячменя

Проведенные исследования позволяют находить оптимальные технологические и геометрические параметры ударно-центробежных мельниц при промышленном их проектировании, что дает возможность осуществлять их успешное внедрение в ряде производств.

### Литература

1. Ревнивцев В. И. Селективное разделение минералов. — М.: Недра, 1988.

2. Материалы 7-го международного конгресса по измельчению. — Париж, 1980.

3. Центробежная техника. Высокие технологии: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. / НПО «Центр». — Мн., 2003.

4. Пат. 3010 С2 ВУ, МПК В02С13/14. Мельница / А. Э. Левданский, Э. И. Левданский, В. С. Володько, И. И. Демидчик, С. В. Радашкевич (РБ). — № 960330; Заявл. 01.07.96; Опубл. 30.09.99 // Афіц. бюл. / Дзярж. пат. ведамства РБ. — 1999. — № 3. — 96 с.

5. Пат. 3011 С2 ВУ, МПК В02С7/08. Мельница / А. Э. Левданский, В. С. Володько, Э. И. Левданский, И. И. Демидчик, С. В. Радашкевич (РБ). — № 960332; Заявл. 01.07.96; Опубл. 30.09.99 // Афіц. бюл. / Дзярж. пат. ведамства РБ. — 1999. — № 3. — 96 с.

6. Пат. 3054 С2 ВУ, МПК В02С13/08. Мельница / А. Э. Левданский, В. С. Володько, Э. И. Левданский, И. И. Демидчик, С. В. Радашкевич (РБ). — № 960331; Заявл. 01.07.96; Опубл. 30.03.99 // Афіц. бюл. / Дзярж. пат. ведамства РБ. — 1999. — № 3. — 96 с.

7. Левданский Э. И., Левданский А. Э., Гребенчук П. С. Проблемы измельчения материалов ударом и некоторые пути их решения // Труды БГТУ. Серия III. Химия и технология неорган. в-в. — Мн., 2005. — Вып. XIII. — С. 154–158.