

Н.С. ПРЯДКО, Л.Ж. ГОРОБЕЦ
ГВУЗ “Национальный горный университет”

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ

© Прядко Н.С., Горобец Л.Ж., 2011

Встановлено зв'язки акустичних параметрів струминного подрібнювання із гранулометричними характеристиками кварцових пісків і дисперсністю отриманого продукту. Розроблено рекомендації з використання акустичного моніторингу технології тонкого подрібнювання.

Connections of jet grinding acoustic parameters with granulometric characteristics of quartz sand and dispersiveness of the received product are established. Recommendations on use of acoustic monitoring technology of thin grinding are developed.

Постановка проблемы. Кварцевые пески все более широко применяют в промышленности. Помимо строительства, пески используются в производстве стекла, фарфора и фаянса, при изготовлении красок, фильтрующих устройств, в химической промышленности, в системах очистки воды. Для разных технологий существует допустимое содержание примесей, в основном окислов железа, титана, алюминия. При этом используются пески, отличающиеся содержанием кремния и размером частиц.

Для изготавливаемых сейчас солнечных батарей применяют кремний. В производстве солнечных батарей используются кварцевые пески с высоким содержанием кремния и отсутствием “вредных” примесей. В зависимости от назначения различают три вида кристаллического кремния: технический, электронный и солнечный. Последние два вида содержат свыше 99,99% кремния. Солнечные элементы создают уже давно, используя достаточно дорогие и экологически небезопасные химические технологии.

Сегодня разрабатывают новые технологии покрытий для солнечных батарей на основе тонкоизмельченных особо чистых кварцевых песков. Для этого исследуют свойства кварцевых песков и особенности их измельчения. При тонком измельчении возрастает удельная поверхность порошков, что придает им новые технологические свойства, в частности, высокую химическую активность.

Анализ последних достижений. Одна из наиболее важных задач в технологии тонкого измельчения – установление технологических характеристик процесса измельчения, поскольку на их основе возможна разработка системы мониторинга и управления процессом с целью достижения требуемой дисперсности порошков с минимальными энергозатратами. Теоретической основой выбора оптимальных условий получения тонкодисперсных порошков служат закономерности предразрушения деформируемого твердого тела [1–3]. Согласно теории эффекты диспергирования являются следствием дискретности строения гетерогенной среды и дискретно-волновых проявлений механизма саморазрушения, а максимальная величина КПД измельчения возможна в условиях нагружения частиц со скоростью порядка критической скорости авторезонанса.

При динамичном измельчении энергия нагруженных частиц изменяется скачками, так что авторезонансный механизм разрушения наиболее интенсивен при условии соизмеримости времени накачки частиц энергией со временем разрушения. С позиций диспергирования наиболее эффек-

тивен режим нагружения измельчаемых частиц с высокой частотой $N = 1/\tilde{T}$ нагружающих импульсов и высокой скоростью $\mathcal{E} = v/d$ динамической деформации в процессе измельчения (v – скорость удара; \tilde{T} – период разрушения; d – размер частиц).

Экспериментально установлен практически линейный рост количества тонких фракций (–74 мкм) железной руды с повышением скорости разрушения ударом (v , \mathcal{E}). Для получения порошков микронных размеров следует применять наиболее “жесткие” (высокодинамичные) режимы нагружения ($\mathcal{E} > 10^5$ с⁻¹, $v \cong 10^2$ м/с, $N \cong 10^6$ с⁻¹) частиц, особенно с уменьшением их исходных размеров ≤ 100 мкм. Требуемые режимы обеспечивает механизм струйного измельчения. В этом способе измельчения источником энергии, обеспечивающим внутримельничные процессы (разрушение частиц, их пневмотранспорт, разделение по крупности, возврат циркулирующей нагрузки), является взаимодействующая с частицами газовая струя, организующая их движение и обуславливающая не только высокодинамичный механизм разрушения, но и изменение структуры (механоактивацию) измельченного порошка.

Согласно теории измельчения при нагружении измельчаемых в сверхзвуковых струях частиц ускоряется состояние автоколебательного резонанса в веществе измельчаемого материала, что способствует повышению эффективности измельчения на микроуровне [2].

Для измельчения кварцевых песков в производстве стекловолокна применяется технология струйного измельчения во встречных потоках воздуха, позволяющая достичь высокодисперсных свойств порошков без вноса примесей за счет самоизмельчения частиц и исключения действия мелющих тел. Установки струйного измельчения позволяют достичь высокого уровня дисперсности (1–10 мкм) с удельной поверхностью порядка 0,5–2 м²/г при удельном расходе энергии 200–1200 Дж/м² и производительности до 2000 кг/ч [2, 4].

Сегодня развивается научное направление прогнозирования показателей измельчения на основе параметров акустической эмиссии (АЭ) при разрушении нагружаемых тел [2, 5]. Установлена корреляционная связь количества мелких и тонких фракций (менее 100–400 мкм), образованных при разрушении сжатием модельных образцов горных пород, от удельного счета акустических сигналов (АС). Образование и рост размеров трещин в зонах дробления и измельчения нагружаемого образца сопровождаются изменением амплитуд сигналов акустической эмиссии. С переходом от начала нагружения к разрушению характерная амплитуда сигналов АЭ может увеличиваться от десятков милливольт до единиц вольт.

Прогноз энергоемкости и эффектов измельчения – актуальная задача в проблеме оптимизации процесса измельчения и его управления. Выявить эффекты измельчения (диспергирования) методом акустической эмиссии возможно, сопоставив акустические параметры с эффектами измельчения, в частности, производительностью мельницы, размерами частиц и величиной удельной поверхности измельченного продукта.

Сегодня кинетика струйного измельчения исследуется с применением акустического мониторинга зоны помола. Акустическое излучение контролируется счетом сигналов (АС), значениями амплитуд и активностью $N(t)$ акустической эмиссии (N – активность; АЭ – количество сигналов в единицу времени). Изменение плотности потока частиц в струях, от которой зависит вероятность столкновений частиц в зоне помола, сопровождается изменением активности N акустического излучения этой зоны. Поддерживать оптимальные параметры в процессе работы мельницы возможно, непрерывно контролируя акустические параметры зоны помола и управляя загрузкой измельчаемого материала на основе поиска оптимальной насыщенности струй твердой фазой [6, 7].

Цель работы – исследование акустических параметров струйного измельчения кварцевых песков в их связи с гранулометрическим составом и дисперсностью порошков.

Изложение основного материала. Исследовано струйное измельчение нескольких видов кварцевых песков: иранского (И), бразильского (Б) и месторождений Украины: Глухово (Гм), Турбово (крупный песок – Тк, мелкий, промытый – Тм), Вольногорск (В).

На рис. 1 представлены гранулометрические характеристики исследуемых песков, из которых больше всего различаются по крупности бразильский песок (3) и песок месторождения Турбово (мелкий – 1).

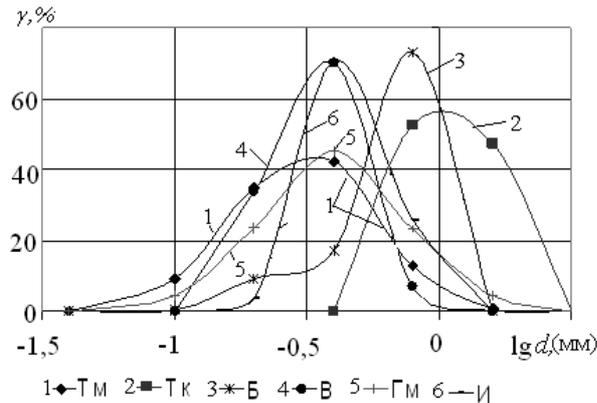


Рис. 1. Гранулометрические характеристики исходных кварцевых песков

Акустическую активность рабочей зоны противоточной струйной установки измеряли с помощью широкополосного пьезокерамического датчика, соединенного с латунным волноводом, установленным внутри помольной камеры и на выходе из классификатора. Запись и дальнейшая обработка сигналов осуществлялась посредством аналого-цифрового преобразователя, соединенного с персональным компьютером.

На всех стадиях загрузки струй материалом регистрировали уровень акустической активности N и значения амплитуд (средних A_{cp} и максимальных A_{max}) акустических сигналов. В режиме работы мельницы с рациональной загрузкой измельчаемого материала (коэффициент загрузки $K = 0,5-1$) активность акустического излучения зоны помола составляет $N = (1,2-1,9) \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, производительность $Q = 1,9-5,8 \text{ кг/ч}$ ($P = 0,3 \text{ МПа}$, $n = 2000 - 3000 \text{ мин}^{-1}$), удельная поверхность порошков $S_{уд} = 0,48-0,82 \text{ м}^2/\text{г}$.

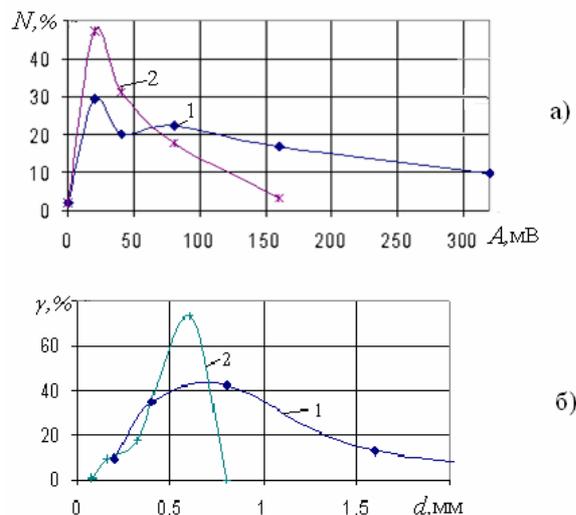


Рис. 2. Акустические характеристики (а) гранулометрических распределений (б) в режиме загрузки струйной мельницы частицами песков (1 – Тм и 2 – Б)

В результате акустического мониторинга процесса струйного измельчения установлены величины максимальных амплитуд в режиме загрузки исходного материала и в режиме разгрузки измельченного продукта. На рис. 2 сопоставлены акустические и гранулометрические распределения соответственно амплитуд (а) и частиц (б).

Можно сделать вывод о том, что акустические сигналы с преобладающим количеством амплитуд высоких значений (порядка 0,3 В) свидетельствуют о содержании в струе более крупнозернистых фракций песков (порядка 0,6 мм).

На рис. 3 показаны связи акустических параметров с удельной поверхностью измельченных продуктов: максимальной амплитуды A_{max} и относительной доли малоамплитудных сигналов в диапазоне 5–20 мВ.

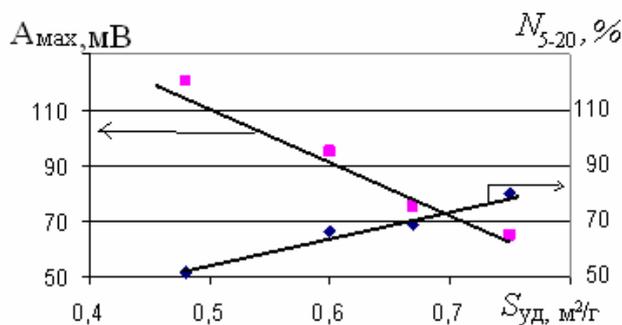


Рис. 3. Зависимость величины максимальной амплитуды и количества малоамплитудных сигналов АС от удельной поверхности продуктов

Видно, что повышение дисперсности измельчаемого порошка сопровождается уменьшением характерной величины амплитуды A_{max} АС и ростом долевого участия малоамплитудных сигналов.

На рис. 4 показаны записи АС в различных режимах классификации измельченного кварцевого вольногорского песка (В): частота вращения ротора классификатора изменялась от $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ до 3000 мин^{-1} , что изменяло соответственно величину удельной поверхности продукта от $S_{уд} = 5670$ до $6700 \text{ см}^2/\text{г}$.

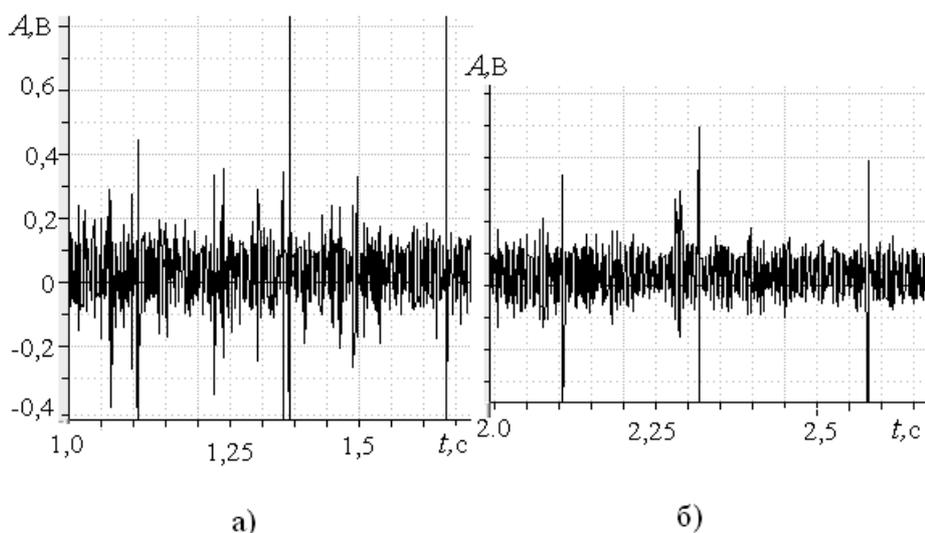


Рис. 4. Кинетика амплитуд акустических сигналов в различных режимах классификации на стадии рабочего режима измельчения Вольногорского песка: а – $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $A_{cp} \approx 0,3 \text{ В}$, $S_{уд} = 0,57 \text{ м}^2/\text{г}$, б – $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $A_{cp} \approx 0,18 \text{ В}$, $S_{уд} = 0,67 \text{ м}^2/\text{г}$

Из рис. 4 видно, что увеличение частоты вращения ротора классификатора сопровождается естественным уменьшением преимущественных значений амплитуд АС в зоне помола. Графики подтверждают сделанные выводы.

Выводы. Исследования показали, что информационная система контроля акустических параметров струйной мельницы может составить основу регулирования загрузки струй материалом и частоты вращения ротора классификатора с целью поддержания требуемого гранулометрического состава и дисперсности готового продукта. Эти исследования необходимы для моделирования процесса струйного измельчения и могут стать основой для управления этим процессом с помощью акустического мониторинга. Выявленные зависимости акустических параметров от гранулометрических характеристик исходных кварцевых песков и удельной поверхности полученных продуктов будут использоваться для контроля качества получаемых порошков струйным измельчением.

1. Бовенко В.Н. Синергетические эффекты и закономерности релаксационных колебаний в состоянии предразрушения твердого тела: автореф. дис... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07/МИЭМ. – М. – 1990. – 30 с. 2. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. автореф. дисс. д-ра техн. наук по спец. 05.15.08: НГУ: Днепр. – 2004. – 35 с. 3. Бовенко В.Н., Горобец Л.Ж. Дискретно-волновая природа диспергирования // Науковий вісник НГУ. – № 1, 2008. – С. 7–9. 4. Горобец Л.Ж., Прядко Н.С., Краснопер В.П., Цыбулько Л.А., Бакум П.А. Характеристики дисперсности продуктов струйного измельчения // ЗКК, № 41–42, 2010. – С. 111–121. 5. Исследование акустоэмиссионных свойств природных материалов в режиме высоких давлений / Л.Ж. Горобец, В.Н. Бовенко, С.Б. Дуброва, О.Ф. Панченко // Физика и техника высоких давлений. – 1995. – № 3. – С. 65–73. 6. Пилов П.И., Горобец Л.Ж., Бовенко В.Н., Щербатов А.Е., Прядко Н.С., Верхоробина И.В. Параметры акустического излучения промышленной газоструйной установки // Вестник нац. техн. ун-та “ХПИ”. – Харьков, 2007. – Вып. № 27. – С. 33–41. 7. Pilov P.I., Gorobets L.J., Bovenko V.N., Pryadko N.S. / An acoustic monitoring of the sizes changes of grinded particles // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 6. – С. 23–26.