

Ю. А. Веригин, д-р техн. наук, проф.; Я. Ю. Веригина
ГОУ ВПО «АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. И. Ползунова»
Барнаул, Россия

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Существующие машины и оборудование для измельчения материалов, как правило, работают при постоянных скоростных режимах. Это не соответствует физике процесса разрушения твердых сред, что снижает производительность помольного оборудования. В связи с этим рекомендуется с уменьшением размера частиц продукции изменять скоростные параметры измельчителя по закону роста дефектности в структуре дисперсной фазы измельчаемого вещества.

Для измельчения материалов (цементные клинкеры, гипс, карбиды кремния и др.) используются шаровые, планетарные мельницы и пр. Процесс измельчения осуществляется при постоянных режимах работы (число оборотов барабана, частота и амплитуда колебаний системы), что совершенно противоречит физике процесса разрушения тонкодисперсных сред и непоправимо повышает энергоемкость процесса.

Анализ сверхтонкого измельчения материалов показывает, что с уменьшением размеров микрочастицы меняется дефектность ее структуры. Она как бы упрочняется, освобождаясь от первичной дефектности, что требует изменения режимных параметров измельчительного агрегата, т.е. условий ударно-истирающих воздействий.

Уменьшение объемной дефектности частицы и разрушение идет в основном по кристаллическим плоскостям её кластерной структуры. При этом, в зависимости от деформационных свойств вещества, оно может быть вязким либо хрупким с различной природой зарождения дефектов в структуре (рис. 1).

Электронно-микроскопический анализ показывает, что для каждого вида разрушения характерен индивидуальный сценарий зарождения микротрещин и роста макродефектов:

– хрупкое разрушение сопровождается интенсивным ветвлением микротрещин, например, разрушение стекла, и сопровождается с $v_{TP}=1800 - 2000$ м/с; (v_{TP} – скорость распространения трещин);

– вязкое разрушение обеспечивает расширение устья трещины с последующим ростом соизмеримым со скоростью $v_{TP} = 0,3 - 0,8 v_{ЗВ}$, где $v_{ЗВ}$ – скорость звука.

Поверхность вновь образованных зерен (фрактограмма) также разнообразна.

Для хрупкого монокристаллического разрушения, являющегося следствием разрыва межатомных связей по кристаллографическим плоскостям, характерны гладкие поверхности, отражающие световое излучение. Поэтому поверхность излома блестящая, а наличие ступенек излома позволяет рассчитать поверхностную энергию ультрадисперсной частицы σ_a .

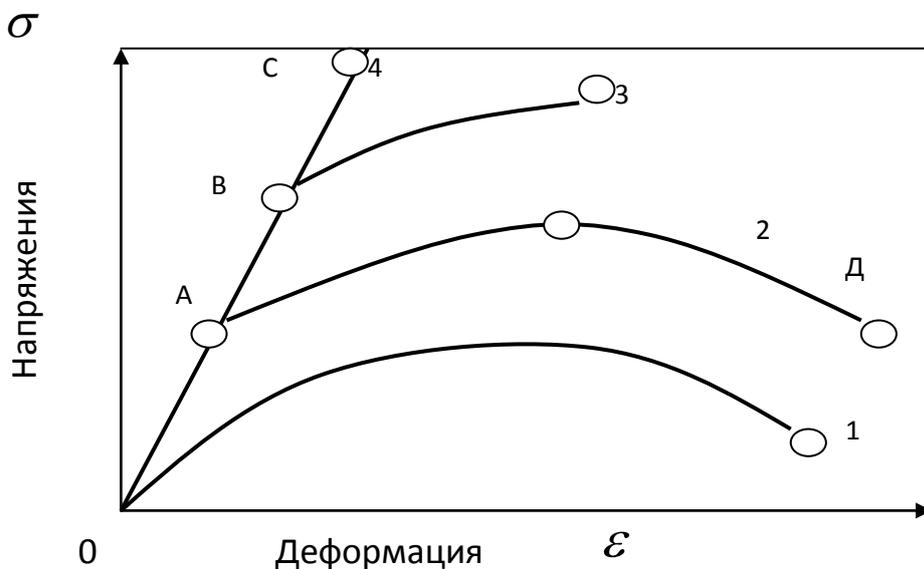


Рис. 1. Характер диаграммы напряжений – деформаций в микрообъеме вещества: 1 – низкопрочный пластический материал; 2 – упругопластический материал; 3 – высокопрочный пластический материал; 4 – хрупкий материал, ОАВС – участок упругой деформации; АД – пластическая деформация

Поликристаллическое разрушение происходит по границе раздела зерен и поэтому рост трещины скола ограничивается плоскостями зерновой ориентации и имеет ступенчатый характер. Ступеньки являются признаком «перескока» трещины с одной плоскости на другую.

Разрушение вязких тел сопровождается деформацией материала и накоплением его дефектности. Поверхность раздела матовая и рассеивает световое излучение.

Описанная картина разрушения микрообъемов материала показывает, что в зависимости от природы измельчаемого продукта следует подбирать тип измельчителя и его режимные параметры работы.

При этом с повышением степени измельчения материала i превалирующим признаком разрушения является дислокационный ρ^* (плотность дислокаций). Следовательно, в качестве параметра порядка может быть принята скорость разрушения v_p микроструктуры вещества.

Процесс разрушения кластерных ансамблей микрочастицы сопровождается потреблением энергии измельчения, которая расходуется на:

- создание поля напряжений, релаксирующих в локальных микронеоднородных областях микрочастицы;
- обеспечение пластической деформации кристаллической структуры кластерного блока и его зерен, перемещения точечных дефектов, концен-

трации дислокаций, размножения и роста трещин с последующим увеличением удельной поверхности вещества \mathfrak{S} и степени его измельчения i ;
 – рассеивание энергии в виде тепловых деформаций и пассивного тепла [1].

Полученный продукт отличается от исходного более высокой удельной поверхностью, повышенной химической и реакционной способностью и высокой структурной прочностью дисперсной фазы. Это дает основание для вывода, что механически разрушенная ультрадисперсная система ведет себя как новое вещество, отличное от исходного продукта.

Длительность процесса разрушения зависит от частоты (скорости) импульсных воздействий измельчительного аппарата.

Эффект разрушения повышается при совпадении дебаевской частоты колебаний кристаллической структуры кластерного блока со скоростью релаксации напряжений.

Для обеспечения этого условия необходимо обеспечить частоту или скорость импульсных воздействий измельчителя, которая может определяться из условия

$$A_p = NRT \ln \left[\frac{18RT}{ah} K_m \rho^* l^6 (i-1) \right] \quad (1)$$

Приняв во внимание, что скорость разрушения $v_{уд}$ эквивалентна 1/3 скорости распространения упругих деформаций (a) в кристаллической решетке блока и решая полученную зависимость относительно $v_{уд}$ можно определить оптимальную скорость механического воздействия (удара) измельчительного органа на ультрадисперсную среду (единичную дисперсную частицу).

$$v_{уд} = \frac{K_m \rho^* \mathfrak{S} T l i}{0,42 N_G \frac{t}{T}}, \quad (2)$$

где K_m – молярная концентрация вещества; ρ^* – удельная плотность дислокаций на единицу поверхности; T – абсолютная температура среды; \mathfrak{S} – удельная поверхность вещества; l – средний размер микрочастицы; i – степень измельчения; t – длительность процесса; N_G – теоретически потребная энергия для разрушения частицы по Гриффитсу; действительная работа разрушения вещества; h – постоянная Планка; k – постоянная Больцмана.

В уравнении (2) произведение $\rho^* \cdot \mathfrak{S} = K_\alpha$ характеризует уровень дефектности структуры вещества. Так, например, для кварцевого песка активированного в шаровой мельнице с энергообменным устройством (табл. 1.) $K_\alpha = 4 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^6 = 12 \cdot 10^{11}$.

Табл. 1. Результаты ультрадисперсного измельчения кварцевого песка различными способами

Способ активации	Время активации, с	Удельная поверхность $S_{ФЭГ}$, м ² /г	Размеры микроблоков первичных кристаллов, D , нм	Значения относительных средних квадратичных микродеформаций решетки $\sqrt{\varepsilon^{-2}}$, 10 ⁻³	Усредненная плотность дислокаций в структуре вещества, ρ^* , 1/м ²
Исходные характеристики порошка	-	0,02	192	нет	нет
Шаровая мельница	1800	0,11	161	-	-
	3600	2,30	120	-	-
	5400	4,19	106	-	-
	9000	4,17	108	-	-
Вибрационная мельница	300	0,50	103	-	-
	600	2,17	78	-	-
	2100	6,05	63	2,9	-
	5400	7,12	59	2,8	-
	7200	7,01	59	2,8	-
Планетарная мельница	160	2,39	68	2,7	-
	600	6,18	46	2,9	-
	1200	12,03	24	5,1	3*10 ⁶
	1800	11,69	20	5,3	3*10 ⁶
Шаровая мельница с козырьковым энергообменником	180	4,12	56	3,8	-
	600	9,06	42	4,3	4*10 ⁵
	1200	14,78	23	5,7	3*10 ⁶
	1800	16,21	18	7,0	6*10 ⁷

Анализ результатов табличных данных и уравнения (2) указывают на то, что скорость разрушения, а, следовательно, и режим работы измельчителей, зависят от требуемой активности вещества. Поэтому режимные параметры измельчителей должны иметь устройства для настройки скоростных режимов в процессе рабочего цикла, что обеспечит непрерывный рост удельной поверхности и отсутствие возможной агрегации частиц.

Для этих целей разработана универсальная шаровая мельница с энергообменными устройствами, позволяющая изменять режимные параметры процесса в ходе ее работы [2], т.е. без остановки аппарата. Это позволяет плавно изменять режимы работы мельницы и достичь требуемой энергонапряженности процесса, а также существенно повысить производительность измельчительного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Веригина, Я. Ю.** Моделирование процессов измельчения тонких сред в технологиях производства материалов / Я. Ю. Веригина // Изв. вузов. Строительство. – 2010. – №1. – С. 3–6.
2. **Веригин, Ю. А.** Моделирование рабочих процессов в шаровых мельницах. / Ю. А. Веригин, Л. Ю. Маликова // Строительные и дорожные машины. – 2001. – № 9. – С. 12–14.