

УДК 622.73

П.К. Федотов, Д.С. Васьков

ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОТРЕЩИН – ОСНОВА ОБЪЕМНОГО РАЗРУШЕНИЯ РУД

Рассмотрена проблема полноты извлечения, а также создания наиболее эффективной технологии раскрытия ценных компонентов, рассмотрен сам процесс образования микротрещин

Ключевые слова: микротрещины, вкрапленная руда, дислокация, объемное раздавливание руды

Неделя горняка

В настоящее время наблюдается стойкая необходимость повышения эффективности разрушения минералов с минимальными затратами энергии и материалов. Не решены задачи переработки руд с тонковкрапленными ценными компонентами. Руда должна перерабатываться таким образом, чтобы достичь наиболее полного раскрытия минералов, что в последствии положительно повлияет на полноту извлечения полезного ископаемого. Применение традиционной технологии для переработки труднообогатимого сырья приводит к 20-30% потерям ценного компонента, вследствие неполного его вскрытия. Сегодня известны новые аппараты, которые могут заменить несколько стадий дробления и измельчения руды, подготовить её для дальнейшего разрушения или обогащения и при этом значительно снизить затраты энергии. Для решения проблемы полноты извлечения, а также создания наиболее эффективной технологии раскрытия ценных компонентов необходимо рассмотреть сам процесс образования микротрещин. Разрушение зависит от ряда факторов, многие из которых не достаточно изучены.

Большое значение при разрушении руды имеет структура материала, которая может быть сложной и нестабильной [5]. Существенное влияние оказывают внешние условия – характер нагрузок, тепловой режим, агрессивность среды и т.д. Реальные материалы содержат многочисленные повреждения различных размеров от субмикроскопических и микроскопических дефектов до крупных пор и магистральных трещин, воздействие на эти дефекты приведет к дезинтеграции.

В идеале измельчение должно происходить селективно по поверхностям срастания минералов [2]. Степень селективности раскрытия – одна из важнейших характеристик качества измельчения. Существующие измельчительные аппараты в разной степени обеспечивают селективность дезинтеграции, однако, в большинстве случаев она недостаточна.

Наблюдения показали, что вкрапленная руда, обладающая в исходном состоянии достаточной связностью при зернистом строении, с характерным размером зерна до 1,5-2 мм, испытывая сжатие при малых и средних нагрузках подвергается преимущественно межкристаллитному разрушению [3].

При больших нагрузках начинают разрушаться и сами зерна, причем степень разрушения оказывается зависимой от ориентировки зерен относительно направления главных осей внутренних напряжений. В процессе объемного сжатия, разрушение сплошного полиагрегата приводит к разрушению агрегатов и заполнению обломками промежутков между ними. В дальнейшем, по мере роста нагрузки, формируется система трансформных магистральных трещин, а ведущим механизмом разрушения становится их рост.

Английский физик Г.Тейлор и венгерский ученый Е. Орован [4] впервые выдвинули гипотезу: в кристаллах существует особый дефект – дислокация, решительным образом меняющая свойства кристаллического материала. Исходили из того, что если бы кристалл был идеальным, то для его деформирования необходимо было бы приложить напряжения, равные теоретической прочности. А так как реальные напряжения деформирования незначительны, должен существовать какой-то концентратор, сосредотачивающий приложенное усилие в небольшой части кристалла.

Происхождение дислокации – сложный и не полностью выясненный вопрос. Существует ряд процессов, в ходе которых зарождается дислокация в кристаллах, например кристаллизация из расплава. Дислокация осуществляет пластическую деформацию кристалла. В монокристаллах дислокаций не много, примерно миллион дислокаций на один квадратный сантиметр, но так как дислокации распределены неравномерно, довольно большие пространства кристалла свободны от них. И если в этой области появиться дислокация, то ее распространению ничто не будет препятствовать. Именно поэтому монокри-

сталлы не обладают высокой прочностью. Если рассматривать измельчение, то нужно отметить, что в этом процессе участвуют в основном многокомпонентные материалы и монокристаллы встречаются довольно редко.

При объемном сжатии, дефектная структура зерен резко меняется. Сеть трещин становится гуще, однако, зерно, не всегда разламывается на части, размеры которых незначительно отличаются от исходных, чаще сохраняя свою несущую способность [3].

Кроме того оказывается, что дислокация обладает способностью создавать вокруг себя поле упругих напряжений. При этом она теряет подвижность, вмещающие элементы фиксируют ее к кристаллической решетке. А если дислокация неподвижна, то пластическая деформация невозможна. Многочисленные дислокации приводят к подавлению пластичности материала, от чего и повышается прочность.

Следует помнить, так же о винтовой дислокации. Данная дислокация не имеет экстраплоскости. После того как винтовая дислокация пробежит по металлу, части его окажутся повернутыми относительно друг друга, что благоприятствует дополнительному разупрочнению. Основные признаки дислокации – величина и направление осуществляемого ею сдвига. После прохождения, дислокации могут взаимно сместиться на разную величину и сдвиг может произойти по разным плоскостям. Дислокации осуществляют пластическую деформацию в кристаллах. Особенностью их является способность сосредоточить усилие, приложенное к плоскости скольжения в какой-то точке. Что особенно актуально для процесса измельчения, так как необходимо наиболее рационально распределить воздействия на определенные точки кристалла.

Описывая процесс дезинтеграции, необходимо так же рассмотреть, какие виды трещины существуют и как они образуются.

Известны два типа трещин: идеально хрупкие и дислокационные трещины [4]. Идеально хрупкие трещины, так называемые силовые – трещины такого вида возникают благодаря механическому силовому расщеплению слоев кристалла. Межатомные связи разрушаются как бы непосредственно под воздействием внешних механических усилий и одна атомная плоскость отрывается от другой. Отличительный признак таких трещин – плавный изгиб поверхностей и схождение их в вершине трещины на одно и то же межатомное расстояние. Именно такой тип разрушения присущ материалам, которые попадают под воздействие в традиционных аппаратах разрушения таких, как шековая, валковая дробилки, шаровая мельница и т.п. Этим обстоятельством можно объяснить причину высокого энергопотребления данных аппаратов.

Для объяснения микротрещин второго вида необходимо остановиться на дислокациях. Дислокация это коллективный дефект, так как она взаимодействует с близлежащими дислокациями. Допустим что две краевые дислокации находятся в одной плоскости скольжения и их экстраплоскости лежат по одну сторону от нее. Необходимо создать такие условия, при которых начнется процесс объединения дислокаций. Что и обеспечивается при объемном измельчении, когда в материале в результате взаимодействия частиц между собой возникает множество концентраторов в напряжениях. Образование дислокаций связано с внедрением в материал экстраплоскости. Следовательно, пространство вокруг дислокации дефор-

мировано. По мере сближения дислокаций под действием внешнего давления их упругие поля начинают взаимодействовать, препятствуя дальнейшему схождению. В этот момент большое значение имеет насколько деформирован весь объем материала. Если же в плоскости схождения дислокаций много, то напряжения в области такого схождения могут иметь значительную величину.

В определенный момент начинается процесс объединения. Две одинаковые дислокации сближаются, преодолевая сопротивление упругого поля и объединяются. Обе их экстраплоскости оказались соседними, а под их крайними атомами образовалась пустота. Срастание дислокаций возможно только при соблюдении следующих условий: большое количество дислокаций, примерно 200-500, и они должны располагаться в одной плоскости с ограничением в своем движении в одну сторону. Барьером их передвижению может быть граница зерна, инородное включение большого размера или другой мощный дефект, в то же время с одной стороны на дислокации давит внешнее воздействие. При таких условиях происходит объединение дислокаций. В вершине скопления возникает микротрещина. Объединяться могут так же дислокации разного знака. Упругие поля разноименных дислокаций тяготеют друг к другу. Предположим что по параллельным и близкорасположенным плоскостям навстречу друг другу расположились два дислокационных скопления с разноименными знаками. По существу роль каждого из скоплений двойка. Во-первых для противоположного скопления это барьер. Во-вторых, это своеобразный клин, спрессовывающий две свои головные дислокации. В итоге ситуация оказывается более благоприятной для слия-

ния дислокаций и проходит оно при относительно небольших скоплениях. Микротрещина в таком случае растет значительно быстрее. То есть даже простое статистическое повышение количества дислокаций не зависимо от их знака приводит к более эффективному разрушению материала.

В настоящее время разработаны и используются в промышленности аппараты, которые позволяют сократить несколько стадий дробления и измельчения руды, подготовить её для дальнейшего разрушения или обогащения и при этом значительно снизить затраты энергии. Конструкция разработана таким образом, чтобы наиболее рационально использовать подводимую для разрушения энергию, а так же конструктивно реализован способ объемного раздавливания руды, позволяющий значительно уменьшить удельные энергозатраты на ее разрушение, увеличить извлечение ценных


компонентов за счёт повышения селективности раскрытия минералов и снижения переизмельчения.

В работах [3] указывается на наличие сдвигового механизма разрушения руды при объёмном разрушении. Так же, установлено, что одной из причин уменьшения энергозатрат при разрушении руды, является возникновение мест критических концентраций напряжений и градиента нормальных напряжений в её кусках.

Но к сожалению до сих пор точно не установлено, какой именно из представленных в данной статье процессов зарождения микро- и далее макро- трещин реализован в данных аппаратах.

В свою очередь изучение и анализ этих процессов поможет исследователям раскрыть причины высокой эффективности разрушения в роллер прессах и в дальнейшем оптимизировать его.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норберт Патцельт, Ганс Кнехт, Вольфганг Баум. Преимущества измельчения валками высокого давления на проектируемых золотообогатительных фабриках на основе практики переработки медных руд // Доклад на конференции по добыче золота, Монтерей, Канада, 1997.
2. Ревнивцев В.И., Гапонов Г.В., Зарогатский Л.П. Селективное разрушение минералов. -М.: Недра, 1988.-286 с.
3. Федотов П.К., Федотов К.В. Валковые мельницы высокого давления (роллер прессы). – М.: ООО «Геоинформмарк», 2006. – 128с.
4. Финкель В.М., Чистякова С.А., Смурыгин Ю.И. Портрет трещины.-М.:Недра, 1988 – 191с.
5. Lemaitre J., Desmorat R. Engineering damage mechanics. – Cachan L.M.T., 2005. – 380. 

Коротко об авторах

Федотов П.К., Вассков Д.С. – Иркутский государственный технический университет, cpk@istu.edu

