

УДК 622.271

В.В. Демьянов, Р.Ю. Сорокин

**МЕХАНОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА**

Семинар № 2

Непрерывный рост объема добычи полезных ископаемых и интенсификация разработки месторождений приводят к увеличению глубины горных работ, что обусловлено как ухудшением, так и усложнением горно-геологических условий работ.

При проведении горных работ нарушается естественное состояние горного массива, и возникают деформации в сторону проводимых выработок. Напряженно-деформированное состояние приводит к образованию трещин, их росту и далее к разрушению приконтурной части массива, что нередко приводит к тяжелым последствиям как социального, так и экономического характера.

Предвестниками разрушения выступают акустические, электромагнитные и оптические излучения, которые имеют хотя и разную физическую природу, но являются основой для дистанционного контроля устойчивости горного массива. Эти излучения исходят из самого напряженно-деформированного массива и поэтому непосредственно несут информацию о его состоянии.

Свечение горных пород в оптическом диапазоне колебаний представляет собой механолюминесценцию, которая происходит в сильных электрических полях, возникающих в напряженно-деформированном массиве

за счет пьезоэффекта, электрострикции и других механоэлектрических процессов.

Таким образом процессы механолюминесценции могут быть описаны процессами электролюминесценции, которые, как известно, протекают при возбуждении твердых и газообразных веществ в электрическом поле. Обычно электролюминесценция обусловлена процессами возбуждения, передачи энергии возбуждения и рекомбинации на центрах свечения. Центрами свечения могут выступать как точечные дефекты (атомы примесей, вакансии и др.), так и линейные, представляющие собой дислокации и другие образования.

При ударном возбуждении вероятность ионизации ($W_{уд}$) в газоразрядном промежутке согласно Таунсенду зависит от поля (E) по формуле

$$W_{уд} \sim \exp(-\text{const}/E). \quad (1)$$

Для кристаллов вероятность ударной ионизации атомов решетки и центров свечения имеет вид

$$W_{уд} \sim \exp(-\text{const}/E^{\gamma(E)}), \quad (2)$$

где $2 > \gamma > 1$ и зависит от типа кристаллов (ионные или ковалентные), длины свободного пробега и величины поля E [1].

В кристаллах предпробойная электролюминесценция наблюдается в

электрических полях порядка 10^3 - 10^5 В/см. Эта же величина поля и даже сравнительно больше возникает при механическом разрушении горных пород. Тогда процесс свечения горных пород можно представить как предпробойную электролюминесценцию, происходящую либо в газоразрядном промежутке между гранями трещин либо за счет ионизации и рекомбинации центров свечения, возникающих на гранях трещин при механическом разрушении горных пород.

В электрических полях, превышающих величину 10^5 В/см, возможна туннельная ионизация атомов решетки и центров свечения горных пород. Для кристаллов, например, сульфида цинка, которые можно представить как модельные объекты электролюминесценции горных пород, туннельная ионизация протекает в электрических полях порядка 10^6 - 10^7 В/см.

Вероятность туннельной ионизации атомов решетки и центров свечения имеет вид

$$W_{\text{тун}} \sim E \exp(-\text{const} / E). \quad (3)$$

Этот вид ионизации может возникнуть в достаточно тонких слоях, в которых затруднено развитие лавины, т.к. ударная ионизация происходит при значительно меньших полях, нежели туннельная. Вполне возможно, что на первых стадиях образования трещин развивается туннельный механизм ионизации, который далее при расширении трещин переходит в ударный механизм ионизации.

После акта ионизации часть появившихся электронов может рекомбинировать с ионизованными центрами свечения, а другая – будет захвачена мелкими ловушками. Возврат этих электронов к центрам свечения и их рекомбинация будут происходить

при снятии электрического поля. Такая схема процесса электролюминесценции работает в кристаллах сульфида цинка, активированных медью, алюминием, серебром и другими элементами I-III групп таблицы Менделеева [2].

Процесс передачи энергии возбуждения возможен от атомов решетки к центрам свечения, а также от центров свечения одного типа к центрам свечения другого типа по так называемой схеме рекомбинационного взаимодействия между центрами свечения. В этом случае кроме изменения интенсивности будет изменяться и спектр свечения.

Без учета процессов тушения можно предположить, что все электроны, появившиеся в процессе ионизации, рекомбинируют с центрами свечения. Тогда яркость свечения (B) будет пропорциональна скорости изменения ионизированных центров свечения (n), т.е.

$$B \sim dn/dt. \quad (4)$$

Для ударной ионизации в твердом теле примем $\gamma = 1$, тогда

$$B \sim A \exp(-\text{const}/E), \quad (5)$$

где A – постоянная или слабозависящая от поля E величина.

Электрическое поле в кристаллах распределяется неравномерно. Поэтому напряженность E электрического поля в кристалле нельзя определить как для равномерного случая, т.е. $E = U / d$, где U – приложенное к кристаллу напряжение, а d – расстояние между электродами. Неравномерное распределение поля в кристалле создает области сильного и слабого полей. В области слабого поля процессы ионизации не протекают. Концентрация электрического поля происходит в области сильного поля, распределение поля в которой соответствует барьеру типа Мотта-Шоттки, максимальная напряженность

в котором $E \sim \sqrt{U}$. Тогда зависимость яркости свечения от приложенного к кристаллу напряжения определяется соотношением:

$$B \sim A \exp(-const / \sqrt{U}). \quad (6)$$

Эта зависимость подтверждается экспериментально и выполняется в достаточно широких пределах изменения яркости свечения кристаллов.

Для горных пород также характерно неравномерное свечение в областях трещин, образующихся под действием вертикального напряжения (σ_v), обусловленного весом пород и глубиной выработки: $\sigma_v = \rho H$, где ρ – объемный вес горных пород,

H – расстояние от земной поверхности. В этом случае яркость свечения B можно определить из соотношения $B(U)$, если учесть, что U представляет собой разность потенциалов, возникающих в микрокристаллах горных пород под действием вертикального напряжения σ_v , т.е. $U \sim \sigma_v$. Тогда зависимость яркости свечения будет определяться соотношением

$$B \sim A \exp(-const / \sqrt{\sigma_v}). \quad (7)$$

Таким образом, механолюминесцентный метод позволяет косвенным образом оценить напряженное состояние в массиве горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочков Ю.В. Электролюминесценция и некоторые электрические характеристики однородных монокристаллов сульфида цинка / Ю.В. Бочков, А.Н. Георгобиани, Г.С. Чилая // Сб. тр. ФИАН. Т. 50. – М.: Наука, 1970. С. 60-93.
2. Демьянов В.В. Зависимость квантового выхода электролюминесценции кристаллов ZnS-Cu с Sm, Eu, Pb или Tm от частоты возбуждающего напряжения / В.В. Демьянов, Е.Ю. Львова, М.В. Фок // ЖПС. Т. 45. 1986. С. 596-601. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Демьянов В.В. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации,

Сорокин Р.Ю. – инженер кафедры электропривода и автоматизации Кузбасский государственный технический университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 2 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Л. Шкуратник.

