

шение расхода вспомогательных материалов (технологический кислород, конвертерный воздух, кварцевый флюс).

Литература

1. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Том 3. Книга 2. М.: МГТУ, 2005. 461 с.
2. Набойченко С.С. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов / С.С. Набойченко, Л.П. Ни, Я.М. Шнеерсон, Л.В. Чугаев. Екатеринбург, 1995. 282 с.
3. Набойченко С.С. Автоклавная переработка медно-цинковых и цинковых концентратов / С.С. Набойченко. М.: Металлургия, 1989. 112 с.
4. Садыков С.Б. Автоклавная переработка низкосортных цинковых концентратов. Екатеринбург, 2006. 581 с.
5. Шнеерсон Я.П. Применение автоклавных методов для рафинирования трудно-обогатимых медных полиметаллических концентратов / Я.П. Шнеерсон, Н.Ф. Иванов // Цветные металлы. – 2003. - №7. – С. 63-67.
6. Серова Н.В. Химическое обогащение коллективных медно-цинковых концентратов / Н.В.Серова, В.И.Горячкин, В.А. Резниченко и др. // Металлы. 2000. - №3 – С. 28-34.
7. А.с. 1788050 СССР, МПК5 С22В53/04. Способ переработки сульфидных медно-цинковых полиметаллических концентратов / Горячкин В.И., Серова Н.В., Тимошенко Э.М., Набойченко С.С., Лысых М.П., Сиряпов В.Г. (СССР). — N 4924148; Заяв. 02.04.1991; Опубл. 15.01.1993.
8. Бодуэн А.Я. Автоклавное химическое обогащение низкосортных сульфидных медных концентратов / А.Я. Бодуэн, Б.С.Иванов, М.А. Перфильева // Сборник докладов международного конгресса «Цветные металлы - 2011». Красноярск, 2011. С. 338-341.

УДК 622.283

ПРИРОДНОЕ ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Иудин М.М.

Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, Россия

Рассмотрены факторы формирования естественного напряженного состояния в криолитозоне Севера. Выделены зоны с разными температурными режимами в массиве многолетнемерзлых горных породах, в которых распределение напряженного состояния определяется природными условиями.

Современные представления о природном поле напряжений, действующих в верхних слоях земной коры, учитывают два фактора, формирующие начальное напряженное состояние массива горных пород [1]. Основной фактор относится к гравитационной составляющей силы тяжести горных пород, который определяет естественное напряженное состояние земной коры. Второй фактор, определяющий природное поле напряжений, относится к проявлениям тектонических процессов в виде тектони-

ческих (дополнительных) напряжений в массиве горных пород. Взаимодействие двух видов напряженного состояния порождает совместное напряженное состояние массива горных пород в окрестности месторождения.

Многочисленные исследования подтверждают гипотезу о существовании связи полей напряжений с геологическими структурами массива горных пород, о неравномерности распределения напряжений в окрестности геологических структур. Большинство горных пород имеют неоднородную структуру и текстуру, от которых существенно зависят деформационные свойства, определяющие распределение напряжений в породном массиве [1, 2]. Как полагают авторы [3], в реальном геологическом процессе в горной породе формировалось специфическое напряженное состояние, обусловленное последовательностью возникновения структуры под давлением (одна система напряжений) и омоноличивания этой структуры цементирующими веществами (другая система напряжений). Следовательно, деформационные свойства горных пород определяются этими совмещенными системами напряжений в горной породе, а их изучение традиционными методами не дают адекватной оценки полноты и достоверности распределения данных свойств в массиве горных пород.

Реально в массиве горных пород под действием гравитационной нагрузки происходит изменение внутренней структуры минерального скелета породы, что выражается в изменении формы и объема массива. Когда нагрузка превосходит прочность минерального скелета породы, наступает разрушение структуры и связей между частицами горной породы. Каким образом внешняя нагрузка переходит во внутренние усилия в виде напряжения можно только предполагать, применяя разные гипотезы. Например, закон Гука: напряжения прямо пропорциональны деформациям. На основании данного закона получены основные физические уравнения линейной связи между компонентами деформаций и напряжений, действующие в массиве горных пород вокруг горной выработки. Массив горных пород моделируется сплошным, твердым телом, что позволяет применить фундаментальные уравнения механики сплошной среды (уравнения равновесия, уравнения совместности деформаций) для нахождения напряжений и деформаций. В упругой модели предполагается, что уровень расчетных напряжений в массиве горных пород не должен превышать значения разрушающих нагрузок, в противном случае деформации горных пород переходят в нелинейную стадию деформирования.

Для упрощения решения геомеханической задачи расчета напряженно-деформированного состояния наделяют массив горных пород свойствами однородности, изотропности, что дает теоретическую возможность получить конечные математические выражения. Конечно, при этом необходимо обосновывать применение гипотез однородности, изотропности к

реальной структуре и строению массива горных пород. Для описания напряженно-деформированного состояния массива горных пород применяют методы математической теории упругости.

В районах распространения криолитозоны обычно выделяют три зоны по мощности мерзлого слоя массива горных пород, отличающиеся температурным режимом. Первая зона относится к слою массива пород, прилегающих к дневной поверхности, и называется зоной сезонных годовых колебаний температуры пород. Вторая зона, наиболее большая по мощности и представляющая значительный интерес при анализе напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг выработок, называется зоной естественного распределения температурного поля. Третья зона является переходной между зоной естественного распределения температурного поля и талым массивом горных пород ниже многолетней мерзлоты. [4, 5]

В первой зоне формирование напряженно-деформированного состояния в мерзлой части дисперсных пород связано с развитием таких сложных физико-химических процессов, как кристаллизация поровой влаги и распучивание породы, миграция незамерзшей воды, расклинивающее действие тонких пленок воды и др.

В данной зоне температурный фактор существенно влияет на формирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг подземной выработки. Будем считать, что в массиве горных пород вокруг выработки действуют две силы, влияющие на напряженно-деформированное состояние породного массива: гравитационная сила, обусловленная силой тяжести вышележащих горных пород, и температурные напряжения, обусловленные изменением естественного температурного поля горных пород. Если рассматривать напряженно-деформированное состояние массива только от гравитационной силы, то концентрация напряжений на контуре породного обнажения появляется с образованием полости (выработки) в горных породах. Тепловое воздействие вентиляционного воздуха на естественный температурный режим приконтурного слоя мерзлых пород вызывает появление температурных напряжений в массиве. На величину температурных напряжений влияют температурная зависимость физико-механических свойств и температурная деформация горных пород, что увеличивает или снижает общую концентрацию напряжений на контуре обнажения и носит сезонный, циклический характер.

При рассмотрении напряженно-деформированного состояния массива горных пород будем считать, что в породном массиве стабилизировалось напряженно-деформированное состояние массива под влиянием длительного геологического периода. На основе теоретических и экспериментальных исследований Ю.Л. Ребецкий сформулировал основные положения

ния развития напряжений в земной коре. В верхней части земной коры в изменяющемся поле напряжений геологическая среда формирует энергетически активные структуры, отвечающие принципу максимальной эффективной диссипации энергии, накапливаемой в процессе упругого деформирования горных пород [6].

Расчеты, выполненные в работе [4] показали, что максимальные касательные напряжения с глубиной существенно возрастают, а величина прочности горных пород на глубине 2000 м по оценке касательных напряжений стремиться к величине вертикальной гидростатической гравитационной составляющей напряженного состояния массива. Поэтому, оценку естественного напряженного состояния массива на глубинах более 1500 м следует производить с учетом развития в горных породах существенных касательных напряжений соизмеримых с прочностью горных пород и с учетом возможности формирования нескольких сопряженных систем напряжений в массиве.

Взаимодействие внутренних полей напряжений при разгрузке в процессе генезиса осадочной породы препятствует полному освобождению накопленной энергии упругих деформаций [7]. Из области механики грунтов известно положение об одновременном действии двух систем напряжений: эффективных, связанных с передачей давления от внешней нагрузки нижележащим слоям породы, и нейтральных, связанных с гидростатическим напряжением.

Результаты работы А.И. Мороз [7] подтверждают, что в процессе снятия внешней нагрузки взаимодействие систем напряжений, действующих в горной породе, приводит к тому, что коэффициент Пуассона зависит от коэффициента Пуассона слагающих ее фракций. С другой стороны, породный массив в естественном состоянии находится в относительно устойчивом равновесии и постоянном нагружении силой тяжести горных пород, что формирует величину коэффициента бокового отпора в значении константы на период устойчивого равновесия исходного поля напряжений.

При отработке кимберлитовых трубок открытым способом глубокие карьеры создают перераспределение естественного напряженного состояния массива [5]. Формирование естественного напряженного состояния массива горных пород в кимберлитовых месторождениях на больших глубинах происходит под воздействием нескольких сопряженных систем напряжений. Значительное влияние приобретает рост касательных напряжений в массиве по величине соизмеримых с прочностью горных пород [4]. Расчеты показали, что максимальные касательные напряжения с глубиной существенно возрастают, а величина прочности горных пород на глубине 2000 м по оценке касательных напряжений стремиться к величине вертикальной гидростатической гравитационной составляющей напряжен-

ного состояния массива. Поэтому, оценку естественного напряженного состояния массива на глубинах более 1500 м следует производить с учетом развития в горных породах существенных касательных напряжений соизмеримых с прочностью горных пород и с учетом возможности формирования нескольких сопряженных систем напряжений в массиве.

Литература

1. Курленя М.В., Миренков В.Е., Сердюков С.В. Взгляд на природу напряженно-деформированного состояния недр Земли и техногенные динамические явления // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – №8. – С.5-19.
2. Томилин А.В. Закономерности влияния структурно-текстурных особенностей горных пород на их деформационные свойства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №3. – С.169-170.
3. Репников Л.Н., Мороз А.И. Механизм образования двух совмещенных систем напряжений в горной породе различного генезиса // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2005. – №2. – Т.11. – С.258-265.
4. Иудин М.М. Естественное напряженное состояние массива горных пород кимберлитовых месторождений // Вестник Якутского государственного университета. – Якутск. – 2009. – Т.6. - №2. – С.25-31.
5. Иудин М.М. Напряженное состояние массива многолетнемерзлых горных пород // Отечественная геология – 2011. - №6. – С.72-76.
6. Ребецкий Ю.Л. Напряженное состояние и прочность массивов горных пород в условиях естественного залегания // Исследование в области геофизики. – М.: ОИФЗ РАН, 2004. – С.360-362.
7. Мороз А.И. К вопросу об определении коэффициента Пуассона осадочной горной породы // ФТПРПИ. – 2006. – №4. – С.59-68.

УДК 622.235

ОЦЕНКА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ЗАРЯДОВ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ РАЗРУШЕНИИ

¹Ковалевский В.Н., ²Дамбаев Ж.Г., ¹Возгрин Р.А.

¹Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия, ²Улан-Удэнский институт железнодорожного транспорта, г. Улан-Удэ, Россия

В работе проводилось исследование влияния квазистатического действия продуктов взрыва на развитие магистральной трещины. Были проведены эксперименты в кварцевом стекле с целью выявления закономерностей истечения продуктов взрыва, распространения волн напряжений и процесса развития трещин между соседними зарядами. Также осуществлена скоростная фотосъемка для определения динамики развития трещин.

Традиционный подход к решению направленного разрушения состоит в анализе динамических полей напряжений при взаимодействии волн напряжений между смежными зарядными полостями. Однако, в ряде