

УДК 622.831

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ГОРНЫЙ УДАР

Аманалиев А.А.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В статье предлагается при исследовании возникновения в массивах горных пород горного удара учитывать и влияния остаточных напряжений.

Ключевые слова: Горный удар, напряжение, деформация, энергия, разрушение.

ЖЕР АСТЫНДАГЫ СОККУГА КАЛДЫК ЧЫНАЛУУЛАРДЫН ТААСИРИ

Аманалиев А.А.

КРнын УИАнын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүүрү институту

Макалада тоо тектер массивдеринде жер астындагы соккунун жаралышын изилдөөдө жарылууларынын пайда болушун изилдөөдө калдык чыңалуунун таасирин эске алуу сунушталган.

Баштапкы сөздөр: жер астындагы сокку, чыңалуу, деформация, энергия, талкалануу

INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES ON MOUNTAIN DESTRUCTION

Amanaliev A.

Institute of Geomechanics and Development of Subsoil of NAS KR

In the article, it is proposed to take into account the influence of residual stresses when studying the occurrence of rock destructions in rock massifs.

Key words: Rock burst, stress, deformation, energy, destruction.

Происходящие в горных районах землетрясения, оползни, обвалы, горные удары, стрельяния и обрушения пород опасные для ведения горного производства и жизни людей, указывает на необходимость внимательного изучения неоднородностей естественного напряженного

состояния, обусловленных природными условиями образования и последующими процессами формирования на разных этапах геологической истории структур массивов горных пород. При разработке месторождений, строительстве и эксплуатации геотехнических объектов особо актуальной геомеханической задачей является выявление очагов формирующихся горных ударов и техногенных землетрясений. Для прогноза и предупреждения этих явлений очень важно знание напряженно-деформированного состояния прилегающего массива горных пород, в формировании которого большую роль играют и остаточные напряжения.

Для эффективной и экономически выгодной разработки месторождений или строительства геотехнических сооружений, требуется при минимальных затратах создать устойчивую область вокруг выработок или сооружений. В этом случае наряду с другими возникают задачи установления возможных очагов формирования и предотвращения горных или эффективной защиты от них. Для этого нужны ответы на следующие вопросы, связанные с остаточными напряжениями: причины, условия, время и место формирования зон высокой концентрации остаточных напряжений и очагов горных ударов; механизм динамического разрушения массивов пород и процессы, происходящие при этом; механизм скачкообразного освобождения остаточных напряжений; развитие деформации растяжения вдоль оси сжатия перед разрушением образцов и моделей горных пород; сохранение остаточных напряжений в горных породах; влияние природных (гравитация, тектоника, неоднородностей массива и т.д.) и техногенных (система разработки месторождения, технология горных работ и т.д.) факторов на распределение остаточных напряжений; влияние остаточных напряжений на общее поле естественного напряженного состояния и т.д.

Для выяснения природы и закономерностей проявлений остаточных напряжений нужно ввести исследования в следующих направлениях: 1)

создание физической модели проявления остаточных напряжений; 2) проведение лабораторных исследований, на динамическое разрушение пород с остаточными напряжениями; 3) анализ экспериментальных (лабораторных и натуральных) данных математическими методами; 4) создание математических моделей проявлений остаточных напряжений по результатам анализа экспериментальных данных; 5) разработка практических методов исследования остаточных напряжений в массиве горных пород на основе полученных знаний.

По первому направлению можно сказать следующее, что, как известно из кристаллографии, носителями пластических деформации являются дефекты кристаллической решетки: вакансии, дислокации, границы зерен кристаллов. В этом случае она испытывает те же деформации, что и породы, но по размерам ее можно принять, как элементарную частицу породы, из которых состоит данная порода. Эти элементарные частицы объединяются в субзерна, субзерна - зерна, зерна - элементарные блоки породы и т.д. Когда на тело действуют внешние силы, деформируются и зерна кристаллов, изменяя свои размеры и формы. Поэтому процесс деформирования твердого тела представляется, как сложный процесс на уровне кристаллической решетки. При горных ударах мгновенно разрушаются связи в кристаллических решетках, по которым проходят разрушения породы.

По второму направлению, так как горный удар вызывает хрупкое динамическое разрушение в выработках (целиках) и формируется в зонах высокой концентрации остаточных напряжений, предполагается, что горные породы с остаточными напряжениями разрушаются всегда хрупко в виде горных ударов, стреляний и т.д.

По третьему направлению, на основе имеющихся лабораторных и натуральных данных по остаточным напряжениям, вывести эмпирические зависимости проявления остаточных напряжений в лабораторных моделях. На основе этих зависимостей построить аналитическую или

численную математическую модель и провести расчеты. Для первичного качественного анализа, наложив определенные ограничения и применив для описания периодический характер пространственной изменчивости величин напряжений (натурные данные алуу1) и модельные образцы [1]), приближенный гармонический анализ, построить аналитическую модель, которую можно решить в рамках теории деформированного твердого тела и механики горных пород.

Остаточные напряжения в геомеханике изучаются с середины XX века с натурных измерений в горных породах. Работы И.Т. Айтматова [1], К.Т. Тажибаева [4], Н.П. Влоха и др. [3], Х. Бока [5] и др. посвящены исследованиям остаточных напряжений в породных массивах. В этих работах в основном под остаточными напряжениями принимаются внутренние напряжения, сохраняющиеся в теле и после снятия внешних нагрузок. В работе Х. Бока [5] исследуются остаточные напряжения в базальте, сформировавшиеся за счет быстрого остывания магмы у земной поверхности и сохранившаяся без изменения в течении десятков миллионов лет, не подвергаясь воздействию новых физических полей (температурных, тектонических и т.д.).

Остаточные напряжения в массиве горных пород представляются, согласно [1], как напряжения: 1) возникшие в результате пространственно неравномерных упругопластических деформаций в массиве под действием длительных тектонических и гравитационных напряжений; 2) возникшие при неравномерном охлаждении магматогенных образований породного массива и физико-химических процессов, приводящие к метаморфизму пород.

В работах [1, 4], в отличие от известных гипотез предлагается подход, который основывается на представлении, что формирующиеся в массивах горных пород очаги горных ударов и техногенных землетрясений в большинстве случаев, приурочены к зонам высокой концентрации остаточных напряжений. Горный удар, зародившись в глубине массива и

мгновенно разрушая прилегающие породы, проявляется в виде толчков, сопровождаемые сильными сотрясениями массива, резким звуком, образованием пыли и воздушной волной, и вызывает хрупкое разрушение в выработках и целиках. Наведенное (техногенное) землетрясение, согласно [1, 4] имеет тот же механизм развития, что и горный удар, но с большим, чем горным удар энергией и разрушением, не всегда имеющего непосредственного выхода на поверхность. Горный удар такого типа может служить моделью техногенных землетрясений.

В работе [1] предлагается механизм проявления горного удара, заключающегося в том, что когда порода не выдерживает приложенных к нему нагрузок и начинает разрушаться, массивы горных пород, лежащие ниже и выше очага разрушения и находящиеся в сжатом состоянии, начинают расширяться и выделять энергию на повышение динамического разрушения и сотрясения всего прилегающего горного массива. Приуроченность и причины возникновения, при схожих условиях на протяженном участке выработки, а также почти мгновенно привлечение больших объемов вмещающихся пород в данный динамический процесс разрушения пород остаются не выясненными до конца.

В работе [4] предлагается механизм самоподдерживающегося взрывоподобного разрушения горных пород с остаточными напряжениями. До начала динамического разрушения массивы горных пород с остаточными напряжениями, находятся в состоянии неустойчивого равновесия превышающий предел прочности горных пород, и имеют в наличии свободную поверхность. Невысокие по сравнению с остаточными, триггерные напряжения, выполняющие роль детонатора при взрывах, образуя поверхность (трещину), приводит в действие остаточные напряжения вокруг данной поверхность, которые высвобождаясь в свою очередь образуют новые поверхности (трещин), а те приводят в действие новые остаточные напряжения и, действуя, таким

образом по принципу цепной реакции, данный процесс продолжается до разрушения неустойчивой часть массива.

В механике горных пород для оценки удароопасности массива пород используется энергия деформации массива [2]. Удельная потенциальная энергия представляется в виде двух ее составляющих

$$\Pi = \Pi_o + \Pi_\phi. \quad (1)$$

Здесь Π_o – удельная потенциальная энергия, расходуемая на изменение объема:

$$\Pi_o = \frac{3(1-2\nu)}{2E} \sigma_{окт}^2, \quad (2)$$

Π_ϕ – удельная энергия, расходуемая на изменение формы:

$$\Pi_\phi = \frac{3(1+\nu)}{2E} \tau_{окт}^2, \quad (3)$$

где $\sigma_{окт} = \sigma_{ср} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$, $\tau_{окт} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$.

По величине энергии изменения объема можно судить о величине плотности горных пород, а по величине энергии изменения формы прогнозировать возможные деформации разрушения пород в тех зонах, где они имеют наибольшие значения.

В реальных условиях разработки месторождений горные породы разрушаются при одноосном или двухосном сжатии, растяжении и изгибе. По этой причине, приемлемым условием для плоского напряженного состояния является условие $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$, где главные напряжения вычисляются следующими образом:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2}, \tau_{max} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2}. \quad (4)$$

Тогда из (2) и (3) следует, что

$$\sigma_{окт} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_2), \tau_{окт} = \pm \frac{\sqrt{2}}{3}(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{2\sqrt{2}}{3} \tau_{max} \quad (5)$$

и

$$P_o = \frac{1-2\nu}{6E}(\sigma_1 + 2\sigma_2)^2, \quad P_\phi = \frac{1+\nu}{3E}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 = \frac{4(1+\nu)}{3E}\tau_{\max}^2. \quad (6)$$

Одним из условий динамического разрушения пород является хрупкость многих горных пород. В этом случае полная деформация массива до момента разрушения пород будет почти упругим. Другим условием, является равенство или превышение уровня напряженного состояния массива пределов прочности пород на растяжение (σ_p) или на сжатие (σ_c).

Условие предельного состояния по теории прочности О.Мора, следуя [2] можно записать в виде:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = K + C \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}. \quad (7)$$

Постоянные K и C характеризуют прочность материала неодинаково сопротивляющейся сжатию и растяжению и определяются согласно [6] следующим образом:

$$C = \frac{\sigma_c - \sigma_p}{\sigma_c + \sigma_p}, \quad K = \frac{\sigma_c \sigma_p}{\sigma_c + \sigma_p}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7), получим условие предельного состояния

$$\sigma_1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_p} \sigma_2 = \sigma_c. \quad (9)$$

Таким образом, остаточные напряжения, находящиеся в равновесии в нетронутом массиве горных пород, под влиянием техногенных факторов, приводящих к нарушению естественного равновесного состояния, могут стать исходным природным условием для возникновения горных ударов. Для выявления возможных зон разрушения (оценки удароопасности) массивов пород возникает необходимость знания закономерностей распределения напряжений и соответствующей ей удельную энергию деформаций в любой точке массива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айтматов И.Т. Геомеханические условия в зонах очагов горных ударов и техногенных землетрясений // Тр. Международной научной конф. "Современные концептуальные положения в механике горных пород" – Бишкек: Илим, 2002. – С. 8–35.
2. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород.- М., недра, 1975.- 272 с.
3. Влох Н.П., Липин Я.М., Сашурин АД. Исследование остаточных напряжений в крепких горных породах // Современные проблемы механики горных пород: Материалы 4 Всес. конф. По механике горных пород. – Л., 1972. – С. 186-189.
4. Тажибаев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. – Фрунзе, 1989. – 180 с.
5. Bock H. Experimental determination of the residual stress field in basaltic Column // Proc. 4th Congr. Int. Rock. Mech., 1979/ - V.1. – P. 45-49.