

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ДРОБЯЩИМИ ПЛИТАМИ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF ROCK DESTRUCTION BY CRUSHING PLATES OF A JAW CRUSHER

Иванов Ю.С., студент, Санкт-Петербургский Горный университет,
механико-машиностроительный факультет, кафедра машиностроения, Горные машины
и оборудование, y.ivanov2000@inbox.ru
Ivanov Y.S., Student, St. Petersburg Mining University, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Mechanical Engineering, Mining Machinery and Equipment,
y.ivanov2000@inbox.ru

Аннотация. Для оптимизации работы щековой дробилки необходимо понимать каким образом происходит разрушение породы и как взаимосвязаны разрушающее усилие и радиус притупления выступов дробящих плит. В работе представлены эксперименты и последующие расчеты, целью которых являлось установление зависимостей между усилием, требующимся для разрушения гранитного фрагмента, возникающими напряжениями и радиусом притупления индентора, воздействующего на фрагмент.

Актуальность исследования заключается в практическом применении при установлении степени притупления зубьев броневых плит щековой дробилки, при которой следует менять плиты из-за чрезмерного увеличения мощности, потребляемой дробилкой.

Ключевые слова: гранит; разрушение горных пород, индентор, предел прочности на сжатие, дробящие плиты, радиус притупления выступов.

Abstract. To optimize the operation of a jaw crusher, it is necessary to understand how the rock breaks down and how the breaking force and the radius of blunting of the crushing plate ledges are interconnected. The paper presents experiments and subsequent calculations, the purpose of which was to establish the relationship between the force required to destroy a granite fragment, the resulting stresses and the blunt radius of the indenter acting on the fragment.

The relevance of the study lies in the practical application in determining the degree of blunting of the teeth of the armor plates of the jaw crusher, at which the plates should be changed due to an excessive increase in the power consumed by the crusher.

Key words: granite; destruction of rocks, indenter, ultimate compressive strength, crushing plates, blunting radius of protrusions.

Введение. Целью проведения экспериментов и последующих расчетов являлось установление зависимостей между усилием, требующимся для разрушения гранитного фрагмента, возникающими напряжениями и радиусом притупления индентора, воздействующего на фрагмент. Определение таких зависимостей может иметь практическое применение при установлении степени притупления зубьев броневых плит щековой дробилки, при которой следует менять плиты из-за чрезмерного увеличения мощности, потребляемой дробилкой.

Основная часть. Объектом разрушения являлись цилиндрические фрагменты диаметром $D_{\text{ф}} = 56$ мм и длиной $L_{\text{ф}} = 40$ мм, вырезанные из кернов гранита (крепость $f = 13$ по шкале М.М. Протоdjяконова [1], предел прочности на сжатие $[\sigma_{\text{сж}}] \sim 190$ МПа [2]). Внедряемые инденторы изготавливались клиновидной формы длиной $L_{\text{и}} = 40$ мм с полусферической площадкой притупления радиусом $R_{\text{и}} = 3,2; 6,0; 8,0; 10,0$ и $11,0$ мм.

Эксперименты проводились с использованием испытательной машины Zwick ZHU 187,5, модернизированной для испытаний на сжатие [3], и заключались во внедрении индентора во фрагмент на всем протяжении его боковой поверхности (рис. 1). Записывалась зависимость усилия P от перемещения h траверсов машины с фиксацией

его величины P_p , при котором происходило раскалывание фрагмента. Устанавливались вид и геометрические параметры места разрушения, а также длина трещины разрушения $L_{тр}$.



Рис. 1. Оснастка испытательной машины Zwick, разработанная для изучения влияния радиуса притупления зубьев дробящей плиты на усилие разрушения фрагмента

Как показали эксперименты, основная часть фрагментов раскалывается под воздействием индентора на две примерно равные части, вследствие чего длина трещины разрушения $L_{тр}$ оказывалась близкой к диаметру фрагмента $D_{ф}$. Моменту раскалывания предшествует образование в месте воздействия индентора на фрагмент лунки в виде клина глубиной h , шириной основания a и углом при вершине α (рис. 2) со значениями возрастающими с увеличением радиуса $R_{и}$ притупления индентора.

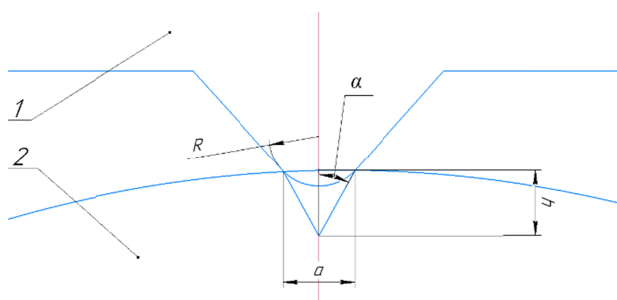


Рис. 2. Профиль и параметры лунки, образующейся в месте воздействия индентора 1 на фрагмент гранита 2

С возрастанием величины $R_{и}$ увеличивается и усилие, требующееся для разрушения фрагмента (рис. 3). При этом зависимость $P_p = f(R_{и})$ близка к виду

$$P_p = P_p^* + K R_{и}, \quad (1)$$

при $P_p^* = 35,5$ кН, $K = 1,25$ кН/мм

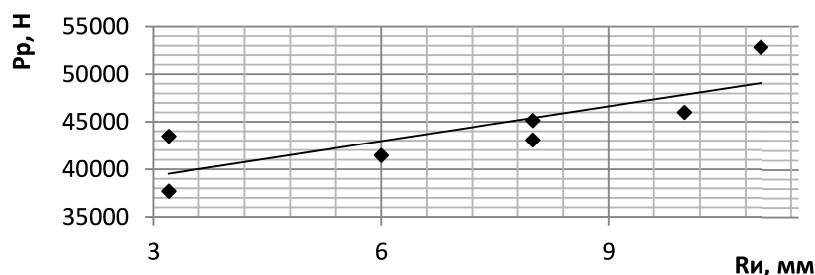


Рис. 3. Зависимость разрушающего усилия образцов гранита от радиуса площадки притупления индентора

Представлял интерес оценить напряжение сжатия $\sigma_{сж}$, при котором происходит разрушение стенок лунки при внедрении индентора, и раскалывания $\sigma_{раск}$, соответствующее разделению фрагмента на части.

В соответствии с принятой схемой действия сил значения данных напряжений и их отношение можно рассчитать по следующим формулам

$$\sigma_{сж} = P_p * \sin\alpha * \cos\alpha / (2h * D_\phi), \quad (2)$$

$$\sigma_{раск} = P_p * \sin^2\alpha / (L_\phi * D_\phi), \quad (3)$$

$$\sigma_{сж} / \sigma_{раск} = L_\phi / 2h * \operatorname{tg}\alpha = \text{const}, \quad (4)$$

Полученные в ходе опытов данные, использованные в дальнейшем для расчета, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения разрушающего усилия, параметров лунки разрушения, сжимающих и разрушающих напряжений, а также их отношения в зависимости от радиуса притупления индентора

Параметр	Значение параметра при величине $R_{и}$, мм			
	3,2	6	8	10
P_p , кН	37,73	41,48	40,87	46,01
α , °	37	37,5	38	39,5
a , мм	6	6,5	7	8,5
$L_{тр}$, мм	38,5	40,5	42	40
h , мм	2,3	2,4	2,45	2,8
$\sigma_{раск}$, МПа	8,8	9,5	9,2	11,6
$\sigma_{сж}$, МПа	98,5	104,3	101,2	100,8

Заключение. Представленные выше расчетно-экспериментальные результаты позволили прийти к следующим выводам:

– с увеличением радиуса притупления клинового индентора $R_{и}$ усилие, требующееся для раскалывания цилиндрических фрагментов гранита, возрастают по зависимости, близкой к линейной;

– значения контактных сжимающих напряжений $\sigma_{сж}$, приводящих к разрушению стенок лунки в месте внедрения индентора в породу (~ 100 МПа), примерно в 2 раза меньше предела прочности использованной породы на сжатие ($\sigma_{сж} \sim 190$ МПа), установленному при испытании породы по стандартной методике и соответствующему разрушению всего образца [5–7];

– полученное значение раскалывающего напряжения ($\sigma_{раск} \sim 10$ МПа) меньше величины предела прочности $\sigma_{сж}$ соответствующему разрушению всего образца примерно в 20 раз, что соответствует литературным данным о соотношении пределов прочности гранита на сжатие и растяжение.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протоdjяконову: ГОСТ 21153.1-75.
2. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении: ГОСТ 21153.3-85.
3. Болобов, В.И. О соотношении параметров разрушения породы в статических и динамических условиях / В.И. Болобов, В.А. Плащинский, С.В. Борисов, Л.Т. Бинь // Обогащение руд. – 2021. – № 5. – С. 3–9.

4. Основные свойства строительных материалов / Н.И. Ханова, И.В. Конкина. – Новгород: ННГАСУ, 2013. – 36 с.
5. Соколинский, В.Б. Машины ударного разрушения (Основы комплексного проектирования) / В.Б. Соколинский. – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с.
6. Механика Горных пород / под общ. ред. С.С. Гребёнкина и Н.Н. Гавриша. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – 169 с.
7. Weddfelt, K., Saadati, M., Larsson, P.-L. On the load capacity and fracture mechanism of hard rocks at indentation loading // 2017 International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 100, с. 170–176 Doi: 10.1016/j.ijrmms.2017.10.001

УДК 622.83

**ПРОБЛЕМЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ
СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ОХРАНЫ ЗДАНИЙ
ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
PROBLEMS OF EXISTING METHODS FOR ASSESSING THE MOVEMENT
OF ROCKS AND THE PROTECTION OF BUILDINGS IN THE DEVELOPMENT
OF UNDERGROUND SPACE**

Кожухарова В.К., аспирант, Санкт-Петербургский горный университет,
me@kozuharova.ru

Kozhukharova V.K., post-graduate student, Saint-Petersburg mining university,
me@kozuharova.ru

Аннотация. С каждым годом увеличиваются темпы освоения подземного пространства. Это касается как крупных городов (строительство подземных транспортных и инженерных коммуникаций), так и территорий подрабатываемых крупными подземными месторождениями. Горные работы в обоих случаях инициируют развитие сдвижений и деформаций, как в породном массиве, так и на земной поверхности, что оказывает непосредственное влияние на деформирование зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния подземных горных работ. В статье рассмотрено несколько зарубежных и отечественных методов оценки степени деформирования подработанных сооружений и сделаны выводы об их состоятельности и достоверности.

Ключевые слова: охрана зданий и сооружений, городское подземное строительство, мониторинг сдвижений и деформаций

Abstract. The pace of underground space development is increasing every year. This applies to both large cities (construction of underground transport and engineering communications) and territories that are being worked by large underground deposits. Mining operations in both cases initiate the development of displacements and deformations, both in the rock mass and on the earth's surface, which has a direct impact on the deformation of buildings and structures located in the zone of influence of underground mining. The article considers several foreign and domestic methods for assessing the degree of deformation of the underworked structures and draws conclusions about their consistency and reliability.

Key words: protection of buildings and structures, urban underground construction, monitoring of displacements and deformations

Введение. Наземная инфраструктура в результате строительства подземных сооружений, разработки месторождений подземным способом, попадает в зону техногенных оседаний, в результате чего здания и сооружений испытывают различные виды деформаций. Для предотвращения аварийных ситуаций и критических повреждений под-