



Образования нарушений сплошности в высокомодульных кристаллах (минералах) гетерогенного материала
Лексовский А.М. – ФТИ. Им. А.Ф.Иоффе доктор физ.-мат. наук,
профессор,
e-mail: a.leks2007@mail.ru
Бозоров Носиржон Содикович – Кокандского госпединститут. к.ф-м.н.,
доцент
e-mail: bozоров1970@mail.ru

В работе рассматриваются результаты исследования образования нарушений сплошности в высокомодульных кристаллах (минералах) гетерогенного материала нерегулярной структуры на примере горной породы типа гранит при взрывном нагружении. Интерес к подобному рассмотрению определяется необходимостью найти физически обоснованный подход к определению истинных размеров опасной зоны микроповреждаемости компонентов, добыча которых часто и представляет основную цель взрывных работ. Хотя горные породы и не являются представителями однонаправленных ВКМ, но некоторые закономерности коррелированности микроразрушений, как нам представляется, просматриваются.

В работе впервые для изучения микроповреждений (микротрещин) в образцах горной породы с раскрытием 0,1мкм и меньше применен метод люминесцентной микроскопии (ЛМ) с использованием эффекта самодиффузии люминофоров. В эксперименте был осуществлен модельный камуфлетный взрыв заряда тэна (совместно с В.А.Боровиковым) в гранитном блоке. Из средней и дальней зоны вырезались фрагменты пластины для анализа их поврежденности. Фрагменты помещались на дно кюветы с 0,03% раствором фталамида и проводилось изучение объектов с помощью микроскопа ЛМ-3 в свете их люминесценции.

Эксперимент *in situ* показал, что через некоторое время после погружения нижней части образца в раствор с люминофором за счет капиллярных явлений последний поднимается по каналам несплошности, выходит на поверхность образца, декорируя дефекты. В ближней зоне от центра взрыва микротрещины наблюдаются в зернах кварца и полевого шпата, а зерна слюды практически остаются неповрежденными. Применение этой методики привело к наблюдению двух важнейших фактов. В дальней зоне, где по данным эксперимента и расчетам



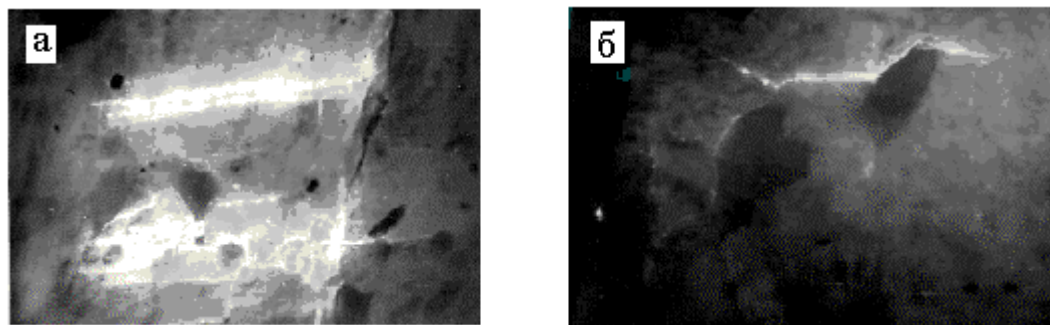


Рис.13 Наведенные взрывом микротрещины в ингредиентах гранита на расстоянии 15R03 (а) , 40R03 (б) от центра взрыва.

напряжения не превышают величины $0,2 \div 0,4$ прочности породы на отрыв сотр , микронарушений сплошности быть не должно, оказалось, что микронарушения также наблюдаются и преимущественно в зернах кварца (рис.13). При этом зерна более “мягких” минералов оставались неразрушенными. Более того, люминесцентная микроскопия показала, что путь макротрещин проходит только по расколотым зернам самого высокомодульного компонента гранита – по зернам кварца, а

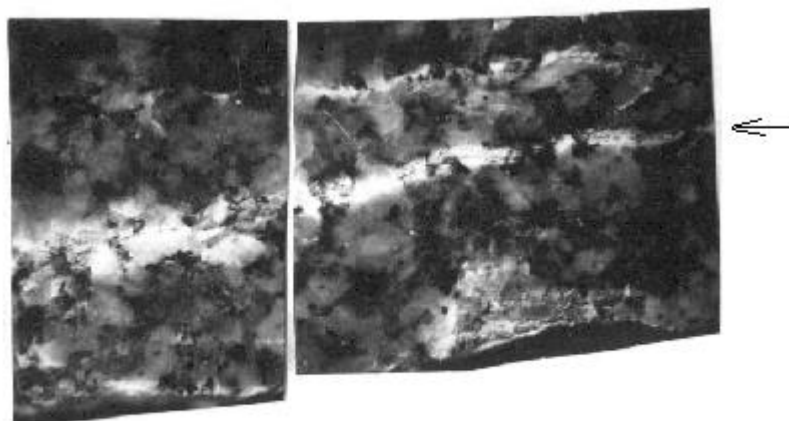


Рис.14 Декорированный люминофором “кварцевый” след (40мм) макротрещины при УФ освещении.

согласованных разрывов борных волокон незадолго до макроразрыва композита как целого. Предположение о возможности такого взаимодействия находит свое подтверждение в опытах на моделях, где было обнаружено , что итоговая трещина $L\Sigma$ от разрыва 2-х соседних волокон, расстояние между которыми было меньше длины “динамического” участка развития единичной трещины, была $\geq (L1+L2)$. Итак, эксперимент показал, что разрушаются в первую очередь высокомодульные кристаллы. Это обстоятельство никем раньше не отмечалось. С





позиции физики прочности композиционных материалов этот факт не является удивительным, поскольку в условиях совместности деформации именно в высокомодульных кристаллах могут быть достигнуты критические напряжения при одной и той же общей деформации конгломерата разномодульных зерен. Важно было убедиться в справедливости предположения об определяющей роли совместности деформации в развитии процесса разрушения разномодульных компонентов гетерогенной системы при скоростном нагружении. Были проведены специальные эксперименты (совместно с А.Б.Синани и Ю.А. Емельяновым) по откольному разрушению модельной гетерогенной системы оргстекло-бороволокно при ударном нагружении. Скорость соударения $100 \div 220$ м/с, длительность импульса около 2 мкс, Опыт показал, что динамическая прочность образца оргстекла толщиной 10 мм с каналом из отвержденной эпоксидной смолы диаметром 1,5 мм составляет $150 \div 180$ МПа. При введении в такой канал высокомодульного ($E = 400 \text{ ГПа}$) бороволокна наблюдается его откольное разрушение при вдвое меньшей динамической нагрузке $80 \div 90$ МПа. Фрактографический анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа подтвердил, что "внутренний откол" в канале был инициирован разрывом бороволокна. При замене бороволокна менее прочным и с меньшим модулем упругости стекловолокном его разрушение происходило при заметно больших динамических нагрузках $120 \div 130$ МПа, т.е. при большей деформации системы в целом, но меньшей, чем для исходного образца оргстекла без волокон. Следовательно, принцип совместности деформации "работает" не только в условиях статики, что хорошо известно для КМ, но и в условиях скоростного, в том числе и взрывного нагружения гетерогенной системы, что однако ранее в технологии взрывной отбойки не принималось во внимание. Путем взвешивания образцов на воздухе (с точностью до 0,0001 гр) и после насыщения их легким растворителем на электронных весах ER-180А определялся объем, занятый микротрещинами. Это позволило вычислить объемную "локальную" поврежденность на разном удалении от центра взрыва и





определить размеры опасной зоны микроповрежденности высокомодульных кристаллов, существование которой до последнего времени никем и не предполагалось и размеры которой в несколько раз больше традиционной, хорошо известной зоны трещинообразования в породе.

Представляется, что эти данные могут послужить основой при разработке физически обоснованной методики определения истинных размеров опасной зоны микроповреждаемости при взрывном способе добычи ценного кристаллосырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. The zone of damage for high-modulus materials in explosion-loaded granite
AM Leksowskij, VA Borovikov, NS Bozorov, AA Abdumanonov, AB Sinani, ...
Technical Physics Letters 28 (8), 705-706
2. Зона поврежденности высокомодульных материалов при взрывном нагружении гранита AM Лексовский, ВА Боровиков, НС Бозоров, АА Абдуманонов, ... Письма в ЖТФ 28 (16)
3. Obnaruzhenie mikrotreshhin v obrazcah gornyh porod s pomoshh'ju ljuminescentnoj mikroskopii AM Leksovskij, VA Borovikov, NS Bozorov, AA Abdumanov
Pis' ma v Zhurnal tehnicheckoj fiziki–JETP Letters 22 (3), 6-10
4. Обнаружение микротрещин в образцах горных пород с помощью люминесцентной микроскопии AM Лексовский, ВА Боровиков, НС Бозоров, АА Абдуманонов Письма в ЖТФ 22 (3), 6-9
5. Лексовский, А. М., et al. "Зона поврежденности высокомодульных материалов при взрывном нагружении гранита." *Письма в ЖТФ* 28.16 (2002): 90.
6. Лексовский, А. М., et al. "Обнаружение микротрещин в образцах горных пород с помощью люминесцентной микроскопии." *Письма в ЖТФ* 22.3 (1996): 6-9.
7. Leksowskij, A. M., et al. "The zone of damage for high-modulus materials in explosion-loaded granite." *Technical Physics Letters* 28 (2002): 705-706.
8. Leksovskij, A. M., et al. "Obnaruzhenie mikrotreshhin v obrazcah gornyh porod s pomoshh'ju ljuminescentnoj mikroskopii." *Pis' ma v Zhurnal tehnicheckoj fiziki–JETP Letters* 22.3 (1996): 6-10.





9. Leksovskii, A. M., et al. "Observation of microcracks in rocks by means of luminescence microscopy." *Technical Physics Letters* 22.2 (1996): 93-94.
10. Мухторов, Лутфулло Токирович, Абдуали Абдуманонов, and Носирчон Бозоров. "The method of drawing graphs on physics by using Visual Basic 6.0 program." *Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки* 4 (2018): 194-198.
11. Бозоров, Н. С. "Поврежденность кристаллов при взрыве горных пород: Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук: 01.04. 07."

