

УДК [622.235.674.3:622.235.112.3](043.3)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОДЕЛИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЗРЫВЕ**Я. С. Долударева**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Нагрузка на контуре прямолинейной грани позволяет создать условия, затрудняющие развитие трещин от поверхности зарядной полости. Изменение граничных условий на свободных поверхностях блоков может регулировать интенсивность трещинообразования в них за счет различных условий отражения и преломления упругих волн на границе двух сред с различной акустической жесткостью. Чем меньше коэффициент отражения упругих волн на границе двух сред, тем менее интенсивное разрушение образцов. Когда коэффициент отражения упругих волн стремится к единице, наблюдается максимальная степень трещинообразования породы образца.

Ключевые слова: граничные условия, акустическая жесткость, интенсивность трещинообразования.

ВПЛИВ РІЗНИХ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА ВІЛЬНІЙ ПОВЕРХНІ МОДЕЛІ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ПРИ ВИБУХУ**Я. С. Долударєва**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Навантаження на контурі прямолінійної грані дозволяє створити умови, що ускладнюють розвиток тріщин від поверхні зарядної порожнини. Зміна граничних умов на вільних поверхнях блоків може регулювати інтенсивність тріщиноутворення в них за рахунок різних умов відображення і заломлення пружних хвиль на межі двох середовищ з різною акустичною жорсткістю. Чим меншим є коефіцієнт відбиття пружних хвиль на межі двох середовищ, тим меншим є інтенсивне руйнування зразків. Коли коефіцієнт відбиття пружних хвиль прямує до одиниці, спостерігається максимальна ступінь тріщиноутворення породи зразка.

Ключові слова: граничні умови, акустична жорсткість, інтенсивність тріщиноутворення.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Распределение напряжений вокруг зарядной полости, а, следовательно, прочность откалываемого блока и качество получаемой поверхности зависит, от формы заряда; применения в зарядной полости различных вставок и прокладок, влияющих на направленное воздействие газодинамического потока продуктов детонации; граничных условий вблизи свободных поверхностей раскалываемых блоков; наличия концентраторов напряжений, ориентированных в плоскости предполагаемого раскола.

Для раскола горной породы необходимо создать по соответствующим направлениям повышенные растягивающие напряжения, превышающие предел прочности на отрыв. В процессе взрыва создаются динамические напряжения. Управляя, характером распределения и величиной амплитуды этих напряжений, можно регулировать степень разупрочнения и качество отбиваемой поверхности. Граничные условия на свободной поверхности влияют на распределение напряжений при взрыве [1–5]. Они могут изменяться за счет созданий искусственных препятствий перемещению свободной поверхности при создании давлений внутри зарядной полости. Кроме того, создаваемое напряженное состояние зависит от условий передачи энергии взрыва в окружающую среду. Нагрузка на контуре прямолинейной грани позволяет создать условия, затрудняющие развитие трещин от поверхности зарядной полости [1].

Цель работы – установить влияние граничных условий на свободной поверхности на изменение величины напряжений, возникающих при взрыве, и интенсивность трещинообразования разрушаемого блока.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

С целью изучения влияния на интенсивность трещинообразования граничных условий на свободной поверхности модели при взрыве была проведена серия лабораторных экспериментов на моделях параллелепипеда (40x40x80 мм) из лабрадорита. Модели разрушали шпуровыми зарядами тэна массой 25 мг. Нагрузку на внешнем контуре разрушаемой модели создавали за счет сил инерции и сопротивления. Изменение граничных условий достигали за счет размещения на свободной поверхности параллелепипедов (40x40x80 мм) из различных материалов (металл, дерево, песок) с разной акустической жесткостью. Распространение волн напряжений, их отражение и преломление осуществляется по законам акустики. При этом энергетические соотношения на границе раздела двух сред могут быть определены путем сопоставления их акустической жесткости. Чем больше различаются между собой акустические жесткости двух смежных сред, тем меньше энергии проходит через границу их раздела и тем больше энергии отражается в сторону источника возмущения. Для уменьшения энергии отраженных волн напряжений создавали искусственную прослойку из материала, мало отличающегося по акустической жесткости от исходной породы. Акустическую жесткость можно определить по формуле:

$$G_A = C_p \cdot \rho,$$

где G_A – акустическая жесткость, кг/(м² с); C_p – скорость продольной волны, м/с; ρ – плотность материала, кг/м³.

Величина акустической жесткости используемых в

лабораторном експерименте матеріалів равна для граніта $13500 \cdot 10^3$ кг/(с·м²), для піска – $1550 \cdot 10^3$ кг/(с·м²), для дерева – $750 \cdot 10^3$ кг/(с·м²), для металла – $45661 \cdot 10^3$ кг/(с·м²), для повітря 396 кг/(с·м²) (для граніта $C_p=5400$ м/с, $r=2500$ кг/м³; піска – $C_p=100$ м/с, $r=1550$ кг/м³; дерева – $C_p=1500$ м/с, $r=500$ кг/м³; металла – $C_p=5930$ м/с, $r=7700$ кг/м³; повітря – $C_p=330$ м/с, $r=1,2$ кг/м³ [6].

Коефіцієнт відбиття еластичних хвиль на межі двох серед представляє собою відношення амплітуди відбитої хвилі A_{omp} к амплітуді падаючої хвилі $A_{над}$ і визначається по формулі

$$K_{omp} = \frac{A_{omp}}{A_{над}} = \frac{(G_{A_{i+1}} - G_{A_i})}{(G_{A_{i+1}} + G_{A_i})}$$

де K_{omp} – коефіцієнт відбиття; G_{A_i} – акустична жорсткість вибувальної моделі, кг/(с м²); $G_{A_{i+1}}$

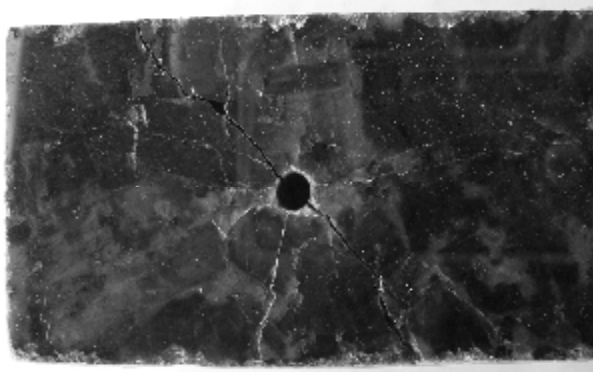
– акустична жорсткість моделі, імітуючої межовий шар, кг/(с·м²).

Значення коефіцієнтів відбиття і відношень акустичних жорсткостей серед приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти відбиття і відношення акустичних жорсткостей серед

	Граніт–металл	Граніт–пісок	Граніт–дерево	Граніт–повітря
$\frac{G_{A_i}}{G_{A_{i+1}}}$	0,296	8,7	18	34,1
K_{omp}	0,544	-0,794	-0,895	-0,99994

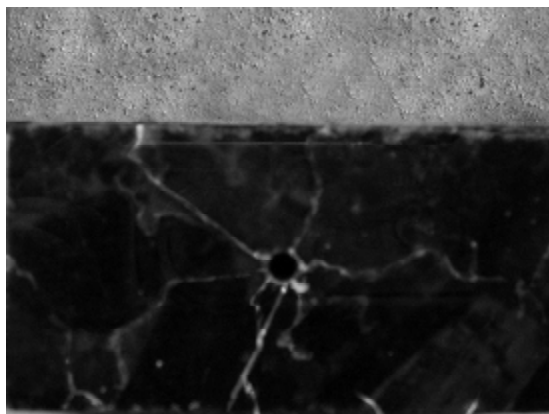
В лабораторних експериментах було проведено дослідження впливу різних типів межових умов на характер тріщиноутворення при вибувальному руйнуванні (рис. 1,а–г).



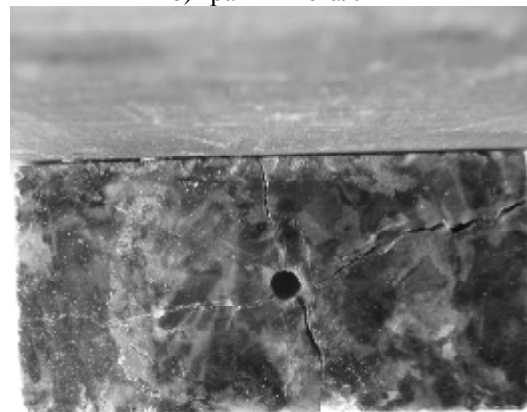
а) граніт–повітря



б) граніт–металл



в) граніт–пісок



г) граніт–дерево

Рисунок 1 – Вплив межових умов на характер розподілу тріщин в матеріалі моделі після вибувальної навантаження

На рис. 1,а приведені фотоілюстрації характеру руйнування при відсутності навантаження на зовнішньому контурі (вільна поверхня). Система тріщин, обумовлена хвильовим впливом вибува, симетрична. При цьому відсутні переважні напрямки розвитку тріщин. Характерно,

що при руйнуванні цієї моделі практично відсутні тріщини, розповсюджені від вільної поверхні.

На рис. 1,б,г приведені фотоілюстрації характеру руйнування, коли на зовнішньому контурі моделі в момент вибува виникає тиск. Оно воз-

никает за счет сил инерции, присоединенной к внешнему контуру массы. Величина и характер изменения во времени давления на внешнем контуре модели определяется величиной акустической жесткости присоединяемой массы на свободной поверхности модели.

В качестве присоединяемой массы использовали стальной параллелепипед толщиной 40 мм или деревянный брус той же толщины. Использование различного материала для присоединенной массы позволяет управлять временем достижения максимального давления на внешнем контуре модели и интенсивностью трещинообразования. Этим объясняется различие в характере разрушения материала при различных граничных условиях на свободной поверхности модели.

На рис. 1, в приведены фотоиллюстрации характера разрушения при наличии подпора из песка. При взрывании кубика в окружении песчаной подушки в первоначальный период на внешнем контуре преобладают силы инерции и сопротивления. В этом случае значительно уменьшилось использование энергии взрыва, что объясняется преобладанием сил сопротивления и расходом энергии на работу по преодолению сил трения.

ВЫВОДЫ. Создание моделей, состоящих из различных сред, отличающихся акустической жесткостью, приводит к изменению концентрации энергии волн напряжений в объеме разрушаемой среды и дает возможность управлять интенсивностью разрушения при взрыве.

Чем меньше коэффициент отражения упругих волн на границе двух сред (0,544), тем менее интенсивно разрушение образцов. Когда коэффициент отражения упругих волн стремится к единице (0,99994), наблюдается максимальная степень трещинообразования породы образца.

Граничные условия способствуют возникновению усилий на контуре прямолинейной грани раскалываемого блока, которые затрудняют развитие трещин, обусловленных действием отраженной волны, а значит, уменьшают его разупрочнение.

Применение в качестве граничных условий сред с различной акустической жесткостью дает возможность регулировать интенсивность трещинообразования разрушаемого блока.

EFFECT OF FREE SURFACE VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS OF THE MODEL ON EXPLOSION CRACKING INTENSITY

Ya. Doludareva

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

The load on the circuit straight edge can create conditions that impede the development of cracks on the surface charge of the cavity. Modification of the boundary conditions at free surfaces of the blocks allows you to adjust the intensity of the crack in them due to different conditions of reflection and refraction of elastic waves at the interface of two media with different acoustic impedance. The smaller the reflection coefficient of elastic waves at the interface of two media, the less intense destruction of the samples. When the reflection coefficient of elastic waves tends to 1, there is a maximum degree of cracking in a rock sample.

Key words: boundary conditions, acoustic stiffness, cracking intensity.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование характера распределения напряжений в массиве в зависимости от условий взрыва / В.М. Комир, В.И. Ильин, Н.И. Мячина и др. // Сборник «Механика и разрушение горных пород», т. 1. – М.: Недра, 1969. – С. 112.

2. Хорошман В.О. Определение оптимальных параметров отбойки лабрадорита при использовании низкотемпературного метода разрушения породы // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 1/2012 (9). – С. 41–45.

3. Определение оптимальных параметров заряда для контурного взрыва / В.В. Воробьев, В.В. Костин, В.Е. Проценко // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 2/2011 (8). – С. 39–43.

4. Теоретические исследования закономерностей действия цилиндрического заряда в разнопрочных горных породах на пластовых месторождениях / Ю.Д. Норов, Ш.Ш. Заиров // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 1/2012 (9). – С. 45–50.

5. Кратковский И.Л. Совершенствование технологии добычи облицовочного камня с использованием энергии взрыва // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009 (3). – С. 40–46.

6. К вопросу о размерах зоны эффективного действия продуктов детонации при взрыве в твердых породах / В.В. Воробьев, Р.Г. Аргат // Проблемы создания новых машин и технологий.: Научные труды КГПУ. – Кременчук: КГПУ, 2000. – Вып. 2/2000 (9). – С. 509–510.

REFERENCES

1. The study of the distribution of stresses in the array, depending on the conditions of explosion / V.M. Komir, V.I. Ilin, N.I. Myazhina at all. // *Mechanics and destruction of rocks*, Vol. I. – Moscow: Nedra, 1969. – P. 112. [in Russian]
2. Horoshman V.O. Determination of optimal parameters of breaking labradorite using low-temperature method of destruction of breed // *Modern resources and energy saving technologies in mining industry. – Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. – Kremenchuk: KrNU, 2012. – Iss. 1/2011 (9). – PP. 41–45. [in Ukrainian]
3. Determination of optimal size of explosive charges for contour Blasting / V.V. Vorobyov, V.V. Kostin, V.Ye. Protsenko // *Modern resources and energy saving technologies in mining industry. – Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. – Kremenchuk: KrNU, 2011. – Iss. 2/2011 (8). – PP. 39–43. [in Ukrainian]
4. Theoretical study of the laws of charge in cylindrical Different Strengths of rocks on the bedded deposits / Yu.D. Norov, Sh.Sh. Zairov // *Modern resources and energy saving technologies in mining industry. – Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. – Kremenchuk: KrNU, 2012. – Iss. 1/2011 (9). – PP. 45–50. [in Ukrainian]
5. Kratkovsky I.L. Perfection of technology of extraction of a facing stone with use of energy of explosion // *Modern resources and energy saving technologies in mining industry. – Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University*. – Kremenchuk: KSPU, 2009. – Iss. 1/2009 (3). – PP. 40–46. [in Ukrainian]
6. On the question of the size of the effective area of the detonation products in the explosion in hard rock / V.V. Vorobyov, R.G. Argat // *Problems of creating of new machines and technologies: Collected works of KSPU*. – Kremenchuk: KSPU, 2000. – Iss. 2/2000 (9). – PP. 509–510. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 27.11.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Воробйовим В.В.