

УДК 539.3

## ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ ХРУПКИХ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

© 2011 г. А.Ю. Константинов<sup>1</sup>, Д.А. Ламзин<sup>2</sup>, А.К. Ломунов<sup>1</sup>, А.Р. Филиппов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИ механики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

<sup>2</sup>Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

konstantinov\_al@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов высокоскоростного деформирования и разрушения хрупких структурно-неоднородных сред типа бетонов и огнеупоров различной плотности, некоторых горных пород. Экспериментальное изучение динамических свойств было выполнено с использованием модификаций метода Кольского. Теоретические разработки выполнены с применением модели пористой среды. Для верификации моделей использовался набор тестовых натуральных и численных экспериментов по исследованию процессов взаимодействия в прямой и обращенной постановках. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов показало их хорошее соответствие.

*Ключевые слова:* высокоскоростное деформирование, метод Кольского, мелкозернистые бетоны, огнеупорные материалы, горные породы.

### Тематика исследований

Интерес к изучению поведения бетонов, грунтовых сред и горных пород в условиях интенсивных кратковременных воздействий в последние годы значительно усилился в связи с необходимостью решения ряда проблем, таких как анализ распространения сильных сейсмических и взрывных волн и их взаимодействия с надземными и подземными частями сооружений, задачи использования энергии взрыва при строительстве плотин, каналов и т.п. Особое место в динамике грунтов отводится анализу процессов ударного взаимодействия твердых тел с грунтовыми средами, бетонами и горными породами, а также вопросам проникания. Для рационального проектирования различных зданий и сооружений гражданского и военного характера необходима обширная база данных по динамическим свойствам указанных хрупких структурно-неоднородных материалов.

Высокопористые материалы, такие как шамот и муллит, обладают высокой температурой плавления. Благодаря своим свойствам эти материалы могут быть с успехом использованы в качестве демпфирующих материалов контейнеров для авиа-, автомобильных и других перевозок радиоактивных или высокотоксичных материалов. В случае возникновения аварийных ситуаций, терактов, сопровождающихся ударными или взрывными воздействиями и высокими температурами, эти материалы могут значительно уменьшить по-

следствия подобных ситуаций. Для проектирования изделий с использованием таких материалов необходимо знание их динамических свойств.

### Методы исследований

Экспериментальное изучение динамического поведения материалов (определение ударной сжимаемости, прочностных и деформационных характеристик) было выполнено с помощью традиционной методики Кольского с использованием разрезного стержня Гопкинсона (РСГ), а также ряда оригинальных модификаций в условиях одноосного напряженного состояния и одноосной деформации [1, 2]. Для определения прочностных свойств материалов при растяжении использовался метод раскалывания при сжатии [3]. Для получения больших степеней деформаций малоплотных высокопористых сред использовалось многоцикловое нагружение образцов в одном эксперименте [4].

### Испытуемые материалы и образцы

Испытаниям подвергались образцы мелкозернистых бетонов, некоторых видов керамик и огнеупоров различной плотности. Образцы для испытаний были изготовлены в виде таблеток диаметром 20 мм и толщиной 10 мм (для испытаний на установке РСГ-20 с мерными стержнями диаметром 20 мм), а также диаметром 60 мм и

толщиной 35 мм (для испытаний на установке РСГ-60 с мерными стержнями диаметром 60 мм). Кроме того, испытывались образцы ряда горных пород. Образцы имели форму прямоугольных параллелепипедов сечением 20×20 мм и 30×30 мм при толщине обоих вариантов 20 мм.

### Результаты исследований

Было выполнено многоцикловое нагружение образцов легковесного шамота при сжатии в условиях одноосной деформации и получены диаграммы деформирования до степеней деформации 80%. После выбирания пористости (~40%) отмечается значительный рост напряжений. На рис. 1 изображены графики зависимости от времени исходных импульсов в мерных стержнях (а) и диаграмма деформирования шамота ШЛ-4 (б).

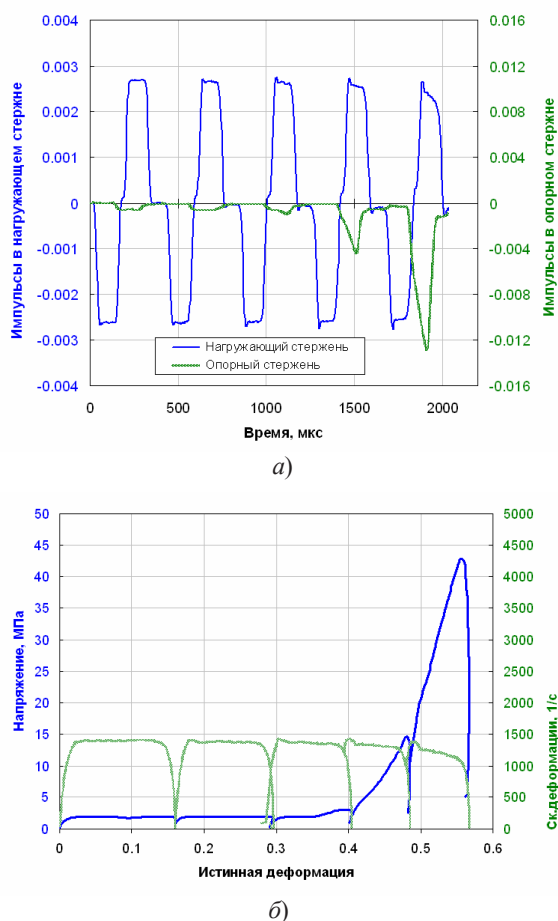


Рис. 1

Выполнены статические и динамические испытания трех горных пород при сжатии и растяжении (раскалывании). Сравнительный анализ прочности испытанных горных пород при сжатии и раскалывании в зависимости от скорости деформации показан на рис. 2. Наблюдается известная тенденция: слабое изменение прочно-

сти горных пород как при сжатии, так и при раскалывании, до скоростей деформации  $\sim 10^2 \text{ с}^{-1}$ .

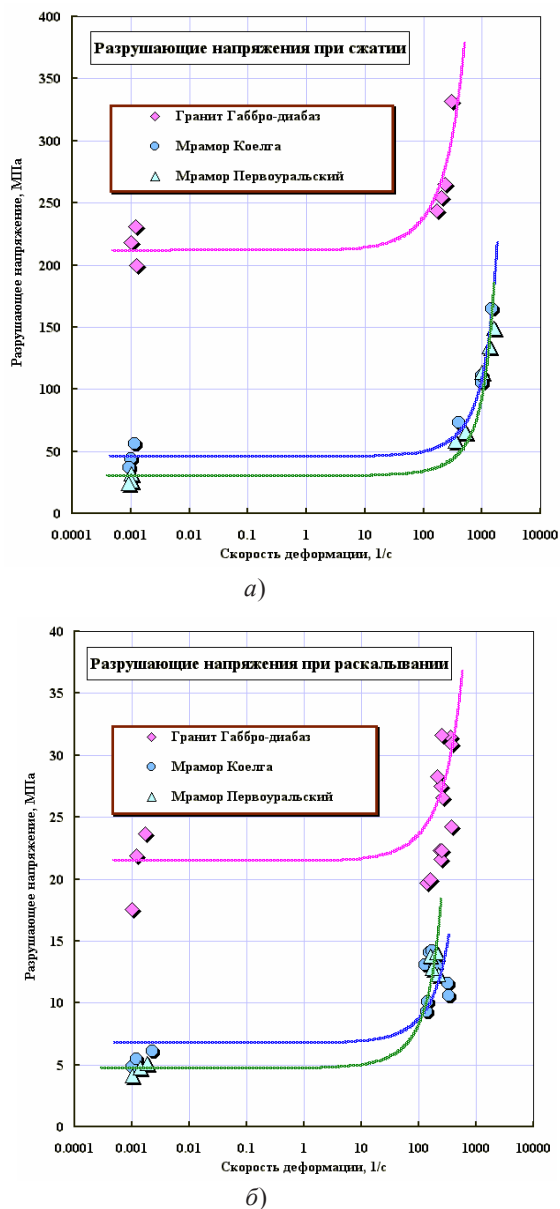


Рис. 2

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты №10-01-00585, 11-08-00545).

### Список литературы

1. Брагов А.М., Ломунов А.К. // Прикладные проблемы прочности и пластичности: Межвуз. сб. / Нижегород. ун-т. 1995. №51. С. 101–106.
2. Брагов А.М., Гандурин В.П., Грушевский Г.М., Ломунов А.К. // Химическая физика. 1995. Т. 14, №2-3. С. 126–135.
3. Rodriguez T., Navarro C., Sanchez-Galvez V. // Journal de Physique IV. C8. 1994. P. 101–106.
4. Брагов А.М., Ломунов А.К., Сергеев И.В. // Прикладная механика и техническая физика. 2001. Т. 42, №6. С. 199–204.

**HIGH-VELOCITY DEFORMATION AND FRACTURE  
OF BRITTLE STRUCTURALLY HETEROGENEOUS MEDIUMS**

*A.Yu. Konstantinov, D.A. Lamzin, A.K. Lomunov, A.R. Filippov*

The results of experimental and theoretical investigations of processes of high-velocity deformation and fracture of brittle structurally heterogeneous mediums such as concrete and refractory materials of different densities, and some rocks are presented. Experimental study of the dynamic properties has been performed using a modifications of Kolsky method. Theoretical developments have been performed using the model of a porous medium. A set of test full-scale and numerical experiments on the study of the interaction processes in the direct and inverse formulations was used for the verification of the models. Comparison of theoretical and experimental results showed their good agreement.

*Keywords:* high speed deformation, Kolsky method, fine concrete, refractory materials, rocks.