



**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД
С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭКСТЕНЗОМЕТРОВ**

П. А. Цой, О. М. Усольцева

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: paveltsoy@mail.ru, Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Рассмотрен бесконтактный метод измерения деформаций, возникающих в процессе нагружения горных пород и эквивалентных геоматериалов, с помощью виртуальных экстензометров. Проанализированы особенности проведения измерений в зависимости от геометрической формы и поверхности образца.

Деформации, бесконтактное измерение, корреляция цифровых изображений, образцы горных пород

**SPECIFICS OF STRAIN MEASUREMENTS IN ROCKS
USING VIRTUAL (NON-CONTACTING) EXTENSOMETERS**

P. A. Tsoi and O. M. Usol'tseva

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: paveltsoy@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

A non-contact method for strain measurements with virtual extensometers during the mechanical testing of rocks and equivalent geomaterials is considered. The measuring procedure is analyzed based on the geometric shape and surface of the sample.

Strains, contactless measurement, digital image correlation, hard rock samples

Одной из важных задач экспериментального исследования механического поведения горных пород является определение деформаций, возникающих в процессе того или иного вида нагружения. Методики их определения можно разделить на прямые [1, 2] и бесконтактные [3–5]. В случае прямого измерения деформаций изготавливают датчики-экстензометры, которые устанавливаются непосредственно на тестируемый образец, регистрация и вывод данных проводятся во время теста. Бесконтактный метод опирается на пост-тестовые измерения деформаций на упорядоченном наборе изображений поверхности образца, полученных в процессе эксперимента. В основе этого метода лежит так называемая корреляция цифровых изображений [3]. В настоящей работе рассмотрены особенности измерения деформаций бесконтактным методом (2D-случай) для образцов различной геометрической формы.

Для измерения деформаций бесконтактным способом использовано оборудование в составе промышленной монохромной камеры Pixelink PL-B771F и модуля светодиодной подсветки. Данные в процессе измерения выводились в память компьютера с помощью специального ПО PXRecorder2. Преобразование данных с помощью виртуальных экстензометров в величины деформаций производилась приложением GomCorrelate.

Геометрическая форма тестируемого образца горной породы диктует возможность измерения продольных и/или поперечных деформаций в 2D-случае. Для призматического образца за базу измерений берется одна из боковых поверхностей образца, что позволяет корректно измерять как продольную ε_a , так и поперечную деформацию ε_l . Если же образец имеет цилиндрическую форму, то максимально корректно можно измерить только продольную деформацию ε_a по одной из образующей цилиндра. Таким образом, при известным осевым напряжениям можно определить в первом случае как модуль упругости E , так и коэффициент поперечной деформации ν , во втором случае — только E .

На рис. 1 показаны виртуальные экстензометры, размещенные на призматическом образце мрамора (размеры $11.4 \times 10.8 \times 33.4$ мм³), на рис. 2 — на цилиндрическом образце туфа (длина 60 мм, диаметр поперечного сечения 30 мм).

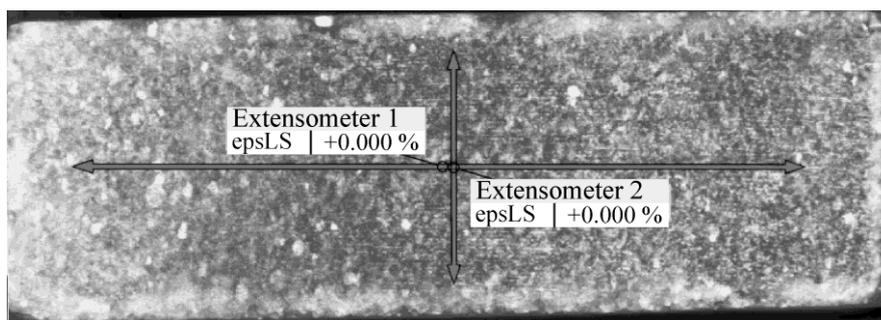


Рис. 1. Грань призматического образца мрамора с установленными виртуальными экстензометрами (взаимно перпендикулярные стрелки) для измерения продольной деформации ε_a (Extensometer 1) и поперечной деформации ε_l (Extensometer 2)

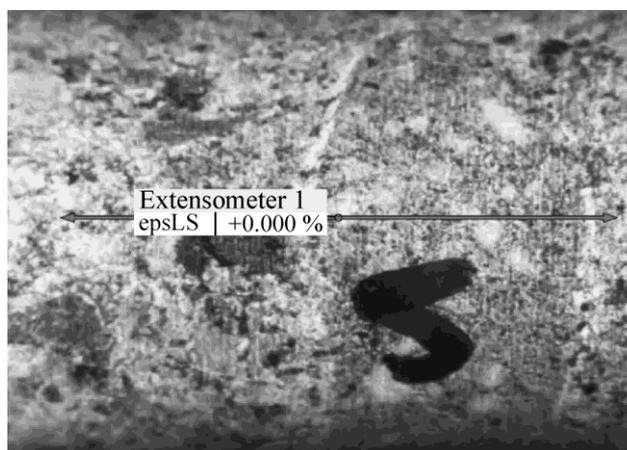


Рис. 2. Поверхность цилиндрического образца туфа с установленным виртуальным экстензометром (стрелка) для измерения продольной деформации ε_a (Extensometer 1)

Зависимости деформаций, снятых виртуальными экстензометрами, от времени приведены на рис. 3, 4. На рис. 3 график продольной деформации прерывается на 101-й секунде, в то время как график поперечной деформации продолжается, т. е. виртуальный экстензометр продольной деформации перестал регистрировать показания. Это связано с тем, что в процессе разрушения данного образца произошло цветное изменение тех групп пикселей исследуемой поверхности, к которым были привязаны концы виртуального экстензометра (Extensometer 1). В силу того, что образец мрамора оказался хрупким, значения поперечных деформаций (вплоть до момента достижения породой предела прочности на 101 с) практически не менялись.

Отметим, что модуль упругости для мрамора составил 23.3 ГПа, коэффициент поперечной деформации — 0.24. Для образца туфа $E = 57.4$ ГПа.

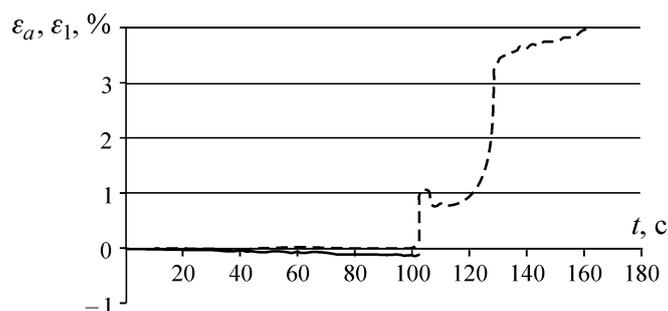


Рис. 3. Зависимость продольной деформации ε_a (сплошная кривая) и поперечной деформации ε_l (пунктирная кривая) от времени для призматического образца мрамора

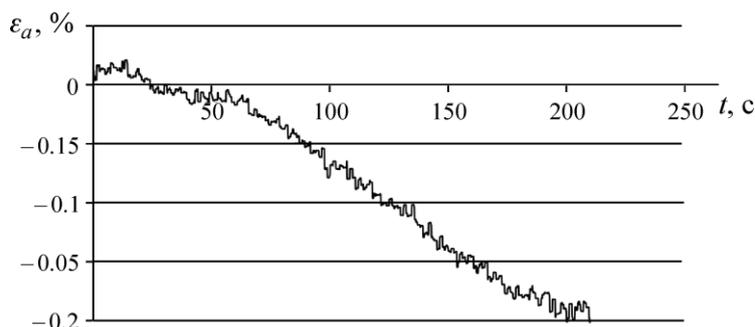


Рис. 4. Зависимость продольной деформации ε_a от времени для цилиндрического образца туфа

ВЫВОДЫ

Рассмотрены особенности измерения деформаций на образцах горных пород с помощью виртуальных экстензометров в 2D-случае. В зависимости от геометрической формы образца измеряются только определенные виды деформаций. Так, для образца-призмы можно измерить как продольную, так и поперечную деформации, для образца-цилиндра — только продольную. На примере образцов мрамора и туфа показаны установки виртуальных экстензометров и соответствующие им зависимости деформаций от времени, определены упругие характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **ASTM D 7012-04.** Standard test method for compressive strength and elastic moduli of intact rock core specimens under varying states of stress and temperatures.
2. **GOST 28985-91.** Rocks. Method for determination of strain characteristics under uniaxial compression [ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии.]
3. **Cintron R. and Saouma V.** Strain Measurements with the Digital Image Correlation System Vic-2D. Boulder, Colorado: University of Colorado, 2008.
4. **Yang L., Smith L., Gothekar A., and Chen X.** Measure Strain Distribution Using Digital Image Correlation (DIC) for Tensile Tests. Boulder, Oakland University, 2010.
5. **Gadhe Supriya S., and Navthar R. R.** Digital Image Correlation Technique for Strain Measurement of Aluminium Plate, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 2016, vol. 39, no. 6, pp. 306–311.