

MECHANICAL PROPERTIES INVESTIGATION BY UNIAXIAL LOAD CONDITIONS ON POROUS SANDSTONE SAMPLE USING NEUTRON TOF DIFFRACTION METHOD

A. Badmaarag^{a,b,1}, *D. Sangaa*^a, *V. V. Sikolenko*^{b,c}, *L. Enkhtur*^d

^a Institute of Physics and Technology, MAS, Ulaanbaatar, Mongolia

^b Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

^c Karlsruhe Institute of Technology, IAG, Karlsruhe, Germany

^d National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia

The knowledge of the stress and strain state in rock sample is of importance in the understanding of the rock properties for the interpretation of geodynamic processes and for geotechnical applications such as mining and tunneling. Recently, the topic of induced seismicity has become a major issue in geenergy production (gas production, geothermal sources). Thus, the role of tectonic stress for the initiation of rock failure is of high scientific and economic interest. The investigation of deformation with conventional lab scale experiments allows the determination of macro-strain in the cm- to m-range. On the nano to micro-scale, the application of diffraction methods offers the investigation of the strain which is localized in the crystal lattice, the so-called intra-crystalline strain. This localization of strain in a sample with dimensions in cm-range is achieved by strain scanning. Because of the low absorption properties of neutrons in matter, like metals and minerals, neutron diffraction is an excellent method for the investigation of strain in bulk samples, especially in multiphase samples, like rocks.

The neutron time-of-flight strain diffractometer EPSILON, operated at the pulsed neutron source IBR-2M at JINR (Dubna), is designed for the investigation of residual and applied intra-crystalline strain of bulk samples. Because of the large wavelength-range (up to $\lambda = 7.8 \text{ \AA}$), diffraction pattern with d -spacings up to $d = 5.6 \text{ \AA}$ can be investigated. Using the long flight path of about 107.03 m, a good spectral resolution is achieved. That allows the investigation of multiphase rocks containing minerals with lower crystal symmetry. The diffractometer is equipped with an uniaxial applied stress device, allowing load states up to 100 kN, e.g., 150 MPa with sample diameter of 30 mm and 60 mm in length.

The investigations concentrated on three locations within the sample: in the centre, at the rim and at a location in-between (half-radius). To avoid immediate rock failure, a pre-experiment to determine the failure stress has been performed. Sample OU-2 (sandstone) has scanned for four load steps (0, 11.65, 23.5, 35.21 MPa axial load). For each load level, the intra-crystalline strain has been determined in the direction of σ_1 and σ_3 . A newly developed analysis tool, which uses all diffraction peaks for detection of the lattice deformations, has been applied to determine the *in situ*

¹E-mail: badmaarag@jinr.ru

modulus of elasticity and Poisson's ratio at different positions (rim, half-radius, center) within the sample.

Знание состояния напряжений и деформаций в образце горной породы имеет важное значение для понимания свойств горных пород, интерпретации геодинамических процессов, а также для геотехнических применений, таких как горное дело и строительство тоннелей. В последнее время проблема индуцированной сейсмичности стала важной в производстве геоэнергии (добыча газа, геотермальные источники). Таким образом, роль тектонических напряжений в инициировании разрушения горных пород представляет как научный, так и экономический интерес. Исследование деформации с помощью обычных лабораторных экспериментов позволяет определить макродеформацию в диапазоне сантиметров и метров. На нано- и микроуровне применение дифракционных методов дает возможность изучать деформацию, локализованную в кристаллической решетке, так называемую внутрикристаллическую деформацию. Эта локализация деформации в образце размером в сантиметры достигается с помощью сканирования деформации. Благодаря низкой способности нейтронов к поглощению в веществах, таких как металлы и минералы, нейтронная дифракция является отличным методом для исследования деформаций в массивных образцах, особенно в многофазных, таких как горные породы.

Нейтронный дифрактометр для исследования деформаций методом времени пролета EPSILON, работающий на пульсирующем нейтронном источнике ИБР-2М в ОИЯИ (Дубна), предназначен для исследования остаточных и приложенных внутрикристаллических деформаций массивных образцов. Благодаря большому диапазону длин волн (до $\lambda = 7,8 \text{ \AA}$) возможно исследование дифракционных картин с межплоскостными расстояниями до $d = 5,6 \text{ \AA}$. Использование длинного пролета нейтронов ($\sim 107,03 \text{ м}$) обеспечивает хорошее спектральное разрешение, что позволяет исследовать многофазные горные породы, содержащие минералы с низкой кристаллической симметрией. Дифрактометр оснащен устройством для приложения одноосного напряжения, обеспечивающим нагрузку до 100 кН, например, 150 МПа при диаметре образца 30 мм и длине 60 мм.

Исследования были сосредоточены на трех точках образца: в центре, на краю и в промежуточной позиции (на полурадиусе). Для предотвращения немедленного разрушения породы был проведен предварительный эксперимент по определению напряжения разрушения. Образец ОУ-2 (песчаник) сканировался на 4 ступенях нагрузки (0, 11,65, 23,5, 35,21 МПа по оси). Для каждого уровня нагрузки внутрикристаллическая деформация определялась в направлениях σ_1 и σ_3 . При определении *in situ* модуля упругости и коэффициента Пуассона в различных точках образца (край, полурадиус, центр) применялся разработанный недавно инструмент анализа, использующий все дифракционные пики для обнаружения деформаций решетки.

PACS: 61.05.ig; 61.05.Fm; 61.05.F-; 07.85.Jy

Received on October 13, 2025.