

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ
В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД**

Представлено методику експериментального дослідження виникнення та розповсюдження тріщин в геоматеріалах при стискуванні. Для реєстрації тріщини запропоновано використовувати спеціальні поверхневі датчики електропровідності. Приведені результати досліджень росту тріщин відриву на модельному матеріалі (гіпс).

**TECHNIQUE OF RESEARCH OF CRACKS-FORMATION PROCESS IN
SAMPLES OF ROCKS**

A techniques for experimental studying the appearance and propagation of the cracks in geomaterials subjected to compressive loading is presented. To detect the crack it is suggested to use the special surface gauges of electroconductivity. The results of studying the tensile crack propagation in the model material (plaster) are performed.

Разрушение геоматериалов при сжатии происходит в результате возникновения, распространения и взаимодействия сдвиговых трещин и трещин отрыва [1]. В настоящее время экспериментальные исследования этих процессов проводятся в лабораторных условиях на образцах горных пород методом тензометрии [2, 3]. Образцы в виде прямоугольных плит с наклеенными тензодатчиками подвергаются одноосному сжатию и по изменению характера показаний тензодатчиков судят о возникновении трещин или их прохождении в непосредственной близости от датчиков. Для инициации разрушения в центре образца высверливают сквозное цилиндрическое отверстие (обычно кругового поперечного сечения). Сдвиговые трещины возникают на контуре отверстия в местах концентрации сжимающих напряжений, а трещины отрыва – в местах концентрации растягивающих напряжений. Для определения момента образования трещин часть датчиков наклеивают на внутреннюю поверхность отверстия. Но даже построенная по показаниям этих датчиков кривая деформирования имеет достаточно плавный характер [3], что затрудняет регистрацию трещины с малым раскрытием в момент ее образования. Еще труднее судить о продвижении трещины по показаниям датчиков, наклеенных на разных участках поверхности образца, поскольку путь распространения трещины точно неизвестен. Для надежного исследования процесса распространения трещины требуется большое количество тензодатчиков. Подготовка одного такого образца очень трудоемка. Поэтому проведение подобных экспериментов связано со значительными затратами времени и средств на подготовку образцов и анализ полученных результатов.

В данной работе предлагается вместо тензодатчиков использовать графитовые датчики электропроводимости (ЭП). Принцип их работы, также как и тензодатчиков, основан на изменении электрического сопротивления. Оригинальным является решение использовать в качестве датчика тонкий слой графита, который наносится непосредственно на поверхность образца. При прохождении трещины электропроводимость такого датчика изменяется от некоторого начального значения до нуля (разрыв датчика), что позволяет существенно повы-

сильную чувствительность метода и надежно регистрировать трещины даже с малым раскрытием. Другим важным преимуществом датчиков ЭП является высокая технологичность и простота их “изготовления” и нанесения на образец. Датчики ЭП могут быть нанесены на любой участок поверхности образца и иметь совершенно произвольную форму. Поскольку датчики ЭП не имеют подложки и наносятся непосредственно на поверхность образца, такая технология не только обеспечивает повышение чувствительности метода, но и позволяет избежать трудностей (характерных для использования тензодатчиков), связанных с предварительной подготовкой поверхности и закреплением на ней датчиков. В результате значительно снижаются затраты на подготовку и проведение эксперимента.

Был разработан специальный состав электропроводящей краски на основе графитового порошка, в который также входит связующее вещество и растворитель. Жидкая краска наносится на образец в виде полос нужной конфигурации и после высыхания образует на поверхности образца электропроводящие дорожки, которые выполняют роль датчиков. Через согласующее устройство, выполняющее функцию преобразователя “сопротивление”–“напряжение”, датчики подключаются к многоканальной измерительной системе, работающей под управлением персонального компьютера. Регистрация трещины осуществляется по падению напряжения в соответствующем канале. Расположив датчики на различных участках образца, можно исследовать процесс возникновения и распространения трещин.

Отработку методики производили на модельном материале (гипс). Квадратные образцы размером 100×100 мм и толщиной 23 мм имели центральное круговое отверстие диаметром 25 мм. Образцы подвергали одноосному сжатию со скоростью 0,5 мм в минуту и следили за возникновением и последующим ростом трещин отрыва, образующихся на контуре отверстия по концам диаметра, параллельного оси нагружения, и распространяющихся вдоль этой оси. Момент образования трещин контролировали также с помощью датчика акустической эмиссии (АЭ).

В результате проведенных экспериментальных исследований установлены два различных механизма распространения разрушения в гипсе. В первом случае определяющую роль играют трещины отрыва, зарождающиеся в зонах концентрации растягивающих напряжений на контуре отверстия. В момент образования они имеют конечные размеры (длину и раскрытие), их появление и распространение носит внезапный, скачкообразный характер. Скачки трещины сопровождаются частичной разгрузкой образца, что отражается на диаграмме деформирования в виде появления острых зубцов (рис. 1, точка 1).

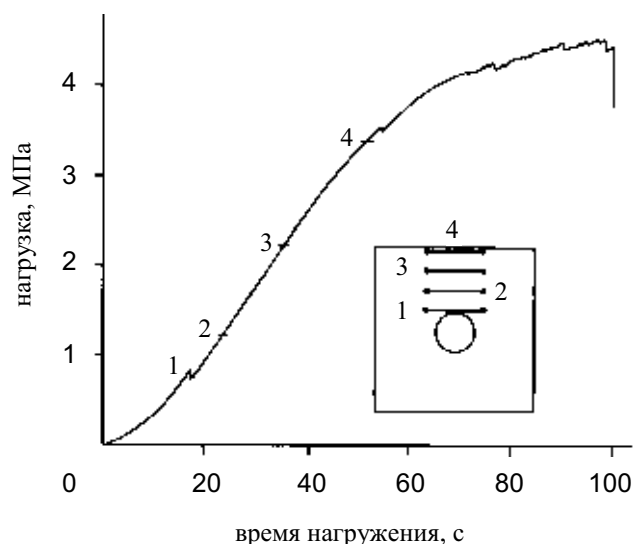


Рис. 1 – Диаграмма деформирования.

Эти скачки также четко регистрируются датчиками ЭП. На ряде образцов уже в момент старта трещины от контура отверстия наблюдался мгновенный обрыв датчика. В этом случае показания датчика имели вид идеальной ступеньки (рис. 2). Несущая способность образца и, соответственно, максимальная нагрузка определяются выходом трещин отрыва на верхнюю и нижнюю грани образца. Рост трещины регистрировали с помощью датчиков, расположенных на различном удалении от контура отверстия (рис. 1). На диаграмме деформирования (рис. 1) отмечены моменты образования и последовательного прохождения трещины через датчики 1–4. Скорость роста трещины составила 1,66 мм/с на участке между датчиками 1 и 2, 0,83 мм/с на участке 2–3 и 0,55 мм/с на участке 3–4. Разрушение образца произошло путем раскалывания по центральной вертикальной оси.

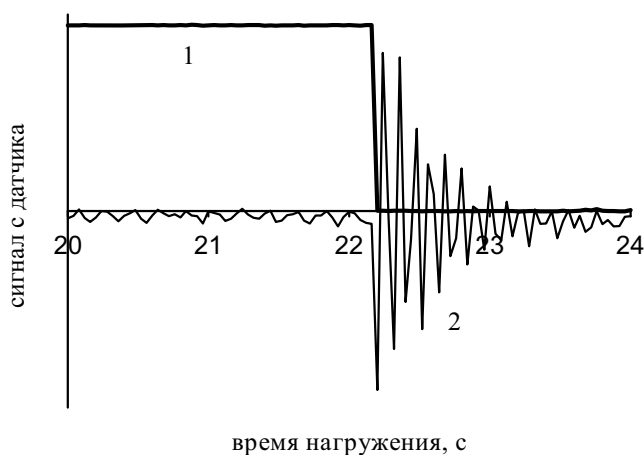


Рис. 2 – Показания датчиков в момент образования трещины (1 – датчик ЭП; 2 – датчик АЭ).

Во втором случае разрушение распространялось от внутренних дефектов, распределенных в объеме образца, или от края образца. В отличие от первого случая разрушение носило объемный характер и сопровождалось перераспределением напряжений в образце. В результате, трещины отрыва на контуре отверстия появлялись при значительно более высокой, чем в первом случае, нагрузке и имели малое раскрытие. Их появление и рост носили плавный характер и не оказывали определяющего влияния на достижение максимальной нагрузки. На ряде образцов эти трещины закрывались после снятия нагрузки. Появление таких трещин никак не сказывается на диаграмме деформирования (рис. 3) и может быть зарегистрировано только по изменению показаний датчиков ЭП. На диаграмме деформирования (рис. 3) отмечены моменты образования и прохождения трещины через датчики 1–3. После прохождения датчика 3 рост трещины прекратился. Разрушение произошло в результате появления многочисленных расслоений и смятия образца.

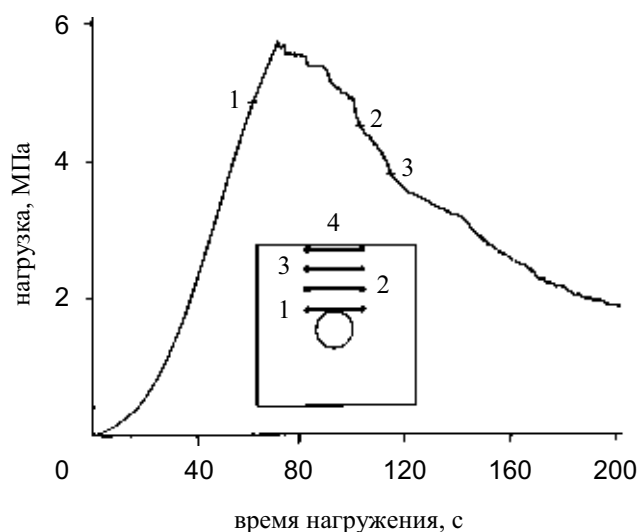


Рис. 3 – Диаграмма деформирования.

Таким образом, предложенная методика регистрации трещины, основанная на использовании поверхностных датчиков электропроводимости, позволяет исследовать процессы разрушения геоматериалов, связанные с распространением трещин как с большим, так и с малым раскрытием. Кроме этого, использование датчиков ЭП значительно снижает затраты на подготовку образцов и проведение эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 01-05-64338).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lajtai E.Z. Brittle fracture in compression // *Int. J. Fract.* – 1974. – Vol. 10, No. 4. – P. 525–536.
2. Bascoul A., Maso J.C. Critere d'etat limite et gradient de deformation // *J. Mec. appl.* – 1980. – Vol. 4, No. 2. – P. 197–223.
3. Carter B.J., Lajtai E.Z., Petukhov A. Primary and remote fracture around underground cavities // *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.* – 1991. – Vol. 15, No. 1. – P. 21–40.