

УДК 551.435.626

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОРОД В ЗОНЕ ТРЕЩИНЫ РАЗРУШЕНИЯ

Середин В.В.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, e-mail: nedra@nedra.perm.ru*

В любом материале, в том числе и в горных породах, содержатся дефекты. При нагружении тела вокруг дефекта возникает концентрация напряжений, которая вызывает рост и распространение трещин. Этот процесс приводит к формированию магистральной трещины разрушения горных пород. С физической точки зрения внешние напряжения (нагрузки) на горную породу должны реализоваться в ней в виде акустической эмиссии и тепла. Экспериментально установлено, что температура материала (Δt) в зоне магистральной трещины разрушения контролируется типом материала и видом напряженного состояния (сжатие-растяжение) через физико-химико-геологические процессы, протекающие в зоне сдвига (разрушения). С увеличением прочности пород температура материалов в зоне разрушения возрастает. В условиях одноосного растяжения наблюдаются минимальные значения температуры (Δt), а в условиях одноосного сжатия она (температура) закономерно увеличивается.

Ключевые слова: «магистральная» трещина разрушения, напряженное состояние, температура, горные породы

ROCK TEMPERATURE RESEARCH IN THE ZONE OF DESTRUCTION (FRACTURE)

Seredin V.V.

Perm State National Research University, Perm, e-mail: nedra@nedra.perm.ru

Each material, including rocks, has defects. When the body is loaded, the tension concentrates around the defect, which causes growth and spreading of cracks. This process leads to the formation of the main rock fracture. From the physical point of view, the external load on the rock should be realized in it in the form of acoustic emission and heat. Experiments provided that the material temperature (Δt) in the main fracture depends on the type of material and kind of tension (compression or extension) and is controlled through physical, chemical and geological processes that occur in the zone of destruction. With increase of rock strength, the material temperature in the zone of destruction is also increasing. In conditions of uniaxial extension we can observe minimum temperature, and in conditions of uniaxial compression the temperature is increasing.

Keywords: main fracture, stress condition, temperature, rocks

В любом материале, в том числе и в горных породах, содержатся дефекты. При нагружении тела вокруг дефекта возникает концентрация напряжений, которая вызывает рост и распространение трещин. Этот процесс приводит к формированию магистральной трещины разрушения горных пород [1, 12].

В работе [12] выдвинута гипотеза, что разрушение горных пород протекает в два этапа: первоначально формируется магистральная трещина разрыва, затем происходит сдвиг горной породы по этой трещине. В результате этих процессов в зоне магистральной трещины разрыва формируется песок трения, материал изменяет свое фазовое состояние (из твердого переходит в жидкое состояние), меняется минеральный состав материнской породы, появляются новые минералы. С физической точки зрения внешние напряжения (нагрузки) на горную породу должны реализоваться в ней в виде акустической эмиссии [2] и тепла [7]. В настоящее время недостаточное внимание уделялось экспериментальным исследованиям, направленным на оценку проч-

ности горных пород посредством критерия «температура».

Поэтому целью данной работы является изучение изменения температуры горной породы в зоне магистральной трещины разрушения при ее сжатии и растяжении.

Методика. Объектами исследования являлись гипс и цемент марок М100 и М400. Из данного материала изготавливались образцы путем формовки гипсовой и цементной паст с последующей сушкой.

Полученные образцы испытывались на одноосное сжатие (s_c) растяжение (s_r) до полного разрушения по методике [9, 10].

Для регистрации температуры пород при их сжатии и растяжении использовался прибор Testo 882. Обработка термограмм выполняется с помощью программы IRSoft. Файл тепловизора сохраняет два изображения: саму термограмму и фотографию разрушения образца породы (рис. 2). В программе проводится детальный анализ объекта съемки с указанием места разрушения и определением температур материала до приложения нагрузки (t_1) и после

(во время) разрушения материалов (t_2) в зоне магистральной трещины разрушения. После чего рассчитывалась температура в зоне разрушения (Δt) путем вычитания t_1 из t_2 . Точность измерений температуры образцов составляла $0,1^\circ\text{C}$.

Схема опытов по определению температуры материалов представлена на рис. 1.

На рис. 2, 3 показаны примеры термографических обследований образцов цемента и гипса при их сжатии и растяжении.

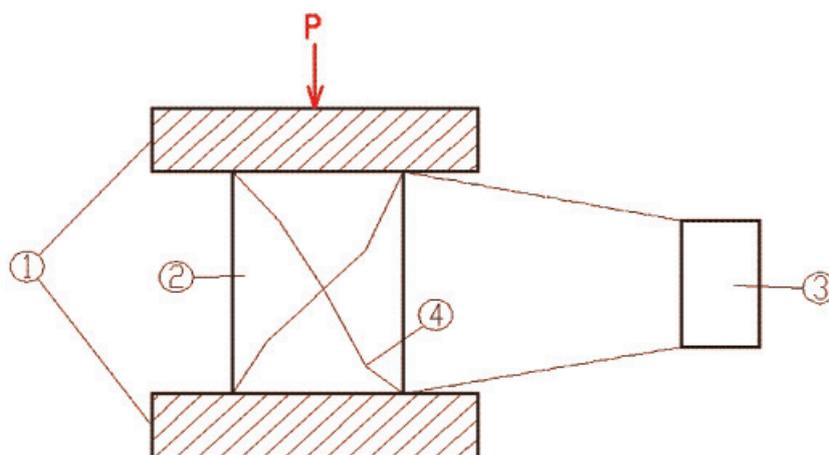


Рис. 1. Схема установки для регистрации температуры горной породы при ее сжатии:
1 – верхний и нижний пуассоны пресса; 2 – образец горной породы; 3 – тепловизор;
4 – трещины разрушения образца горной породы

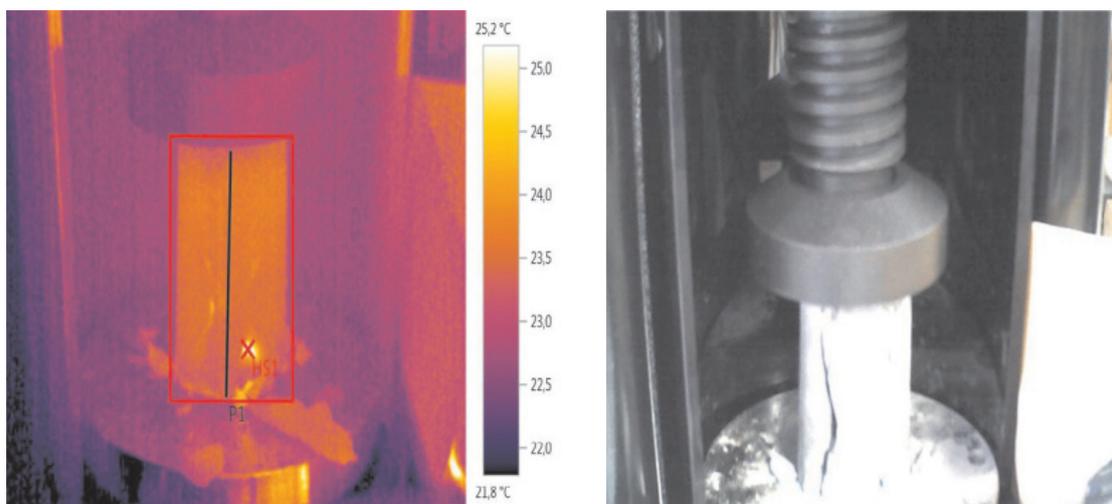


Рис. 2. Термографическое обследование образца № 10 цемента М-400 при сжатии

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что для всех исследуемых материалов значение Δt максимально при одноосном сжатии, а при растяжении Δt принимает меньшие значения. Следует отметить, что разброс экспериментальных данных достаточно большой, поэтому проведен расчет средних и стандартных от-

клонений. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что с увеличением прочности на сжатие образцов температура материалов в зоне разрушения возрастает. Так, в образцах, сложенных цементом марки 100, при средней прочности на сжатие (s_c) 4,52 МПа температура материала (Δt) в зоне разрушения составляет 0,88 градусов. При увеличении же прочности образцов до 34,38 МПа (цемент М400) температура увеличива-

ется в 5,8 раза и составляет $\Delta t = 5,06^\circ\text{C}$. Подобная же закономерность характерна и для материалов, находящихся в условиях одноосного растяжения. Так, при средней прочности на растяжение (s_p) образцов

цемента М100 $s_p = 0,081$ МПа температура материала составляет $\Delta t = 0,16^\circ\text{C}$ при увеличении прочности до 0,520 МПа (цемент М400) температура увеличивается в 1,4 раза и составляет $\Delta t = 1,22^\circ\text{C}$.

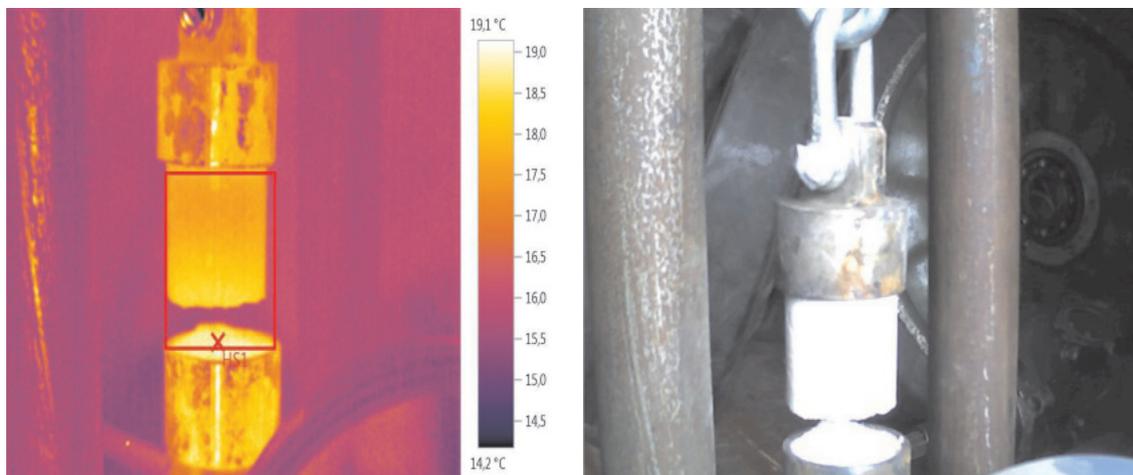


Рис. 3. Термографическое обследование образца № 12 гипса при растяжении

Таблица 1

Номер образца	Наименование материала	Одноосное сжатие		Одноосное растяжение	
		Прочность на сжатие, МПа	Превышение температур в зоне разрушения, Δt , град.	Прочность на растяжение, МПа	Превышение температур в зоне разрушения, Δt , град.
1	Цемент М100	4,804	0,60	0,101	0,1
2	Цемент М100	4,428	0,60	0,104	0,1
3	Цемент М100	4,614	2,00	0,075	0,4
4	Цемент М100	4,258	0,70	0,059	0,1
5	Цемент М100	4,545	0,50	0,061	0,1
6	Цемент М400	47,901	4,50	0,63	1,1
7	Цемент М400	29,809	2,50	0,49	0,8
8	Цемент М400	29,954	8,70	0,58	2,1
9	Цемент М400	30,450	3,70	0,48	0,9
10	Цемент М400	33,817	5,90	0,45	1,2
11	Гипс	11,811	0,40	0,140	1,5
12	Гипс	18,212	1,10	0,143	0,9
13	Гипс	11,495	2,90	0,146	0,9
14	Гипс	10,973	1,70	0,150	0,4
15	Гипс	13,366	1,40	0,141	0,6

Из приведенного следует, что показатель Δt следует использовать в качестве классификационного признака, по которому можно оценить предельные (разрушающие) напряжения материалов.

На основании полученной закономерности, с увеличением главных нормальных напряжений, температура материала в зоне разрушения возрастает. Поэтому можно предположить, что при нормальных напряжениях в зонах разрушения материалов

больше 250 МПа, температурный фактор во многом определяет физико-химические процессы, протекающие в зоне разрушения. Так, по данным [1, 5] в зоне магистральной трещины разрушения происходит изменение структуры материнской породы, протекают твердофазные химические реакции [6] и образуются новые минералы (вещества) [15]. Н.С. Ениколопяном [3] установлено, что при сжатии до 750 МПа пятияводного кристаллогидрата сульфата меди происходят

твердофазные химические реакции, которые реализуются в виде взрыва и образования нового вещества – металлической меди. Экспериментальные исследования Б.М. Чикова и др. [15] показали, что при нагружении ортопироксена (σ_2 равно σ_3 равно 1000 МПа и σ_1

равно 2700 МПа) наблюдалось его преобразование – в зоне разрушения из ортопироксена образовались новые минералы: тальк, в меньшей мере карбонаты, плагиоклаз и другие минералы давления. Подобные же результаты получены В.И. Молчановым и др. [6].

Таблица 2

Номер образца	Наименование материала	Одноосное сжатие				Одноосное растяжение			
		Прочность, МПа		Превышение температур в зоне разрушения, Δt , град.		Прочность, МПа		Превышение температур в зоне разрушения, Δt , град.	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1	Цемент М100	4,52	0,19	0,88	0,63	0,081	0,02	0,16	0,13
2	Цемент М400	34,38	7,73	5,06	2,38	0,520	0,08	1,22	0,52
3	Гипс	13,17	2,95	1,50	0,91	0,144	0,004	0,86	0,42

Примечание. s – стандартное отклонение; \bar{x} – среднее.

Заключение

Экспериментально установлено, что температура материала (Δt) в зоне магистральной трещины разрушения контролируется типом материала и видом напряженного состояния (сжатие-растяжение) через физико-химико-геологические процессы, протекающие в зоне сдвига (разрушения). С увеличением прочности пород температура материалов в зоне разрушения возрастает. В условиях одноосного растяжения наблюдаются минимальные значения температуры (Δt), а в условиях одноосного сжатия она (температура) закономерно увеличивается.

Список литературы

1. Бобряков А.П. О механизме прерывистого скольжения в сыпучей среде // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск, 2010. – № 6. – С. 11–16.
2. Вознесенский А.С., Устинов К.Б., Шкуратник В.Л. Теоретическая модель акустической эмиссии при механическом нагружении горных пород в области максимального уплотнения // Прикладная механика и техническая физика. – 2006. – Т. 47, № 4, – С. 145–152.
3. Ениколопан Н.С., Мхитарян А.А., Карагезян А.С. Сверхбыстрые реакции разложения в твердых телах под давлением // Доклады АН СССР. – 1986. – Т. 288, № 3. – С. 657–660.
4. Каченов В.И., Середин В.В., Карманов С.В. К вопросу о влиянии нефтяных загрязнений на свойства грунтов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2011. – № 11. – С. 164–165.
5. Куксенко В.С., Махмудов Х.В., Мансуров В.А., Султанов У., Рустамова М.З. Структурные изменения при деформации природных гетерогенных материалов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: 2009, – № 4. – С. 55–59.

6. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Осипов С.Л. Механоактивизация минерального вещества как предпосылка стресс-преобразований в линейных зонах // Структура линейных зон стресс-метаморфизма. – Новосибирск: Наука. СО, 1990. – С. 89–97.

7. Опарин В.Н., Киряева Т.А., Гаврилов В.Ю., Шутлов Р.А., Ковчавцев А.П., Танайно А.С., Ефремов В.П., Астраханцев И.Е., Грнев И.В. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбаса. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск, 2014. – № 2. – С. 64–89.

8. Пушкарева М.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Бахарев А.О. Корректировка границ зон санитарной охраны (ЗСО) питьевого водозабора // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – № 10. – С. 46.

9. Середин В.В. К вопросу о прочности засоленных глинистых грунтов // Инженерная геология. – 2014. – № 1. – С. 66–69.

10. Середин В.В. Способ построения паспортов прочности горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1985. – № 5. – С. 110.

11. Середин В.В., Андрианов А.В. К вопросу о методике определения прочностных характеристик грунтов. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 946.

12. Середин В.В., Каченов В.И., Ситева О.С., Паглазова Д.Н. Изучение закономерностей коагуляции глинистых частиц // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–14. – С. 3189–3193.

13. Середин В.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В., Копылов И.С., Хрулев А.С. К вопросу о формировании морфологии поверхности трещины разрушения горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 3. – С. 85–90.

14. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Закономерности изменений прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных нефтепродуктами // Инженерная геология. – 2014. – № 2. – С. 26–32.

15. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Исследование механизма агрегации частиц в глинистых грунтах при загрязнении их углеводородами // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–6. – С. 1408–1412.

16. Чиков Б.М., Каргаполов С.А., Ушаков Г.Д. Экспериментальное стресс-преобразование пироксенита // Геология и геофизика. – 1989. – № 6. – С. 75–79.

References

1. Bobryakov A.P. O mekhanizme preryvistogo skolzheniya v vypuchey srede. Journal of Mining Science. Novosibirsk: 2010. no. 6. pp. 11–16.
2. Voznesenskiy A.S., Ustinov K.B., Shkuratnik V.L. Teoreticheskaya model akusticheskoy emissii pri mekhanicheskom nagruzhении gornyykh porod v oblasti maksimalnogo uplotneniya. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2006. Band 47, no. 4. pp. 145–152.
3. Enikolopyan N.S., Mkhitarjan A.A., Karagezyan A.S. Sverkhbystrye reaktsii razlozheniya v tverdykh telakh pod davleniem. Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]. 1986. Band 288, no. 3. pp. 657–660.
4. Kachenov V.I., Seredin V.V., Karmanov S.V. K voprosu o vliyaniy neftyanyykh zagryazneniy na svoystva gruntov. Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala [Geology and Mineral Resources of Western Ural]. 2011. no. 4. pp. 164–165.
5. Kuksenko V.S., Makhmudov Kh.V., Mansurov V.A., Sultanov U., Rustamova M.Z. Strukturnye izmeneniya pri deformatsii prirodnykh heterogennykh materialov. Journal of Mining Science. Novosibirsk: 2009. no. 4. pp. 55–59.
6. Molchanov V.I., Selezneva O.G., Osipov S.L. Mekhanoaktivizatsiya mineralnogo veshchestva kak predposylka stress-preobrazovaniy v lineamentnykh zonakh // Struktura lineamentnykh zon stress-metamorfizma. Novosibirsk: Nauka. SO, 1990. pp. 89–97.
7. Oparin V.N., Kiryaeva T.A., Gavrilov V.Yu., Shutilov R.A., Kovchavtsev A.P., Tanayno A.S., Efremov V.P., Astrakhantsev I.E., Grenev I.V. O nekotorykh osobennostyakh vzaimodeystviya mezhdru geomekhanicheskimi i fiziko-khimicheskimi protsessami v ugol'nykh plastakh Kuzbassa. Journal of Mining Science. Novosibirsk: 2014. no. 2. pp. 64–89.
8. Pushkareva M.V., Seredin V.V., Leybovich L.O., Chirkova A.A., Bakharev A.O. Korrektsiya granits zon sanitarnoy okhrany (ZSO) pitevogo vodozabора. Zdorovje naseleniya i sreda obitaniya [Population health and environment]. 2011. no. 10. pp. 46.

9. Seredin V.V. K voprosu o prochnosti zasolennykh glinistykh gruntov. Inzhenernaya geologiya. 2014. no. 1. pp. 66–69.

10. Seredin V.V. Sposob postroeniya pasportov prochnosti gornyykh porod. Journal of Mining Science. Novosibirsk: 1985. no. 4. pp. 110–111.

11. Seredin V.V., Andrianov A.V. K voprosu o metodike opredeleniya prochnostnykh kharakteristik gruntov // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Actual problems of science and education]. 2013. no. 6. pp. 946.

12. Seredin V.V., Kachenov V.I., Siteva O.S., Paglazova D.N. Izuchenie zakonomernostey koagulyatsii glinistykh chastits // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. no. 10–14. pp. 3189–3193.

13. Seredin V.V., Leybovich L.O., Pushkareva M.V., Kopylov I.S., Khrulev A.S. K voprosu o formirovaniy morfologii poverkhnosti treshchiny razrusheniya gornyykh porod // Journal of Mining Science. Novosibirsk: 2013. no. 3. pp. 85–90.

14. Seredin V.V., Yadzinskaya M.R. Zakonomernosti izmeneniy prochnostnykh svoystv glini-stykh gruntov, zagryaznenyykh nefteproduktami. Inzhenernaya geologiya [Engineering Geology]. 2014. no. 2. pp. 26–32.

15. Seredin V.V., Yadzinskaya M.R. Issledovanie mekhanizma agregatsii chastits v glinistykh gruntakh pri zagryaznenii ikh uglevodorodami. Fundamental Research. 2014. no. 8 (Chast 6). pp. 1408–1412.

16. Chikov B.M., Kargapolov S.A., Ushakov G.D. Eksperimentalnoe stress-preobrazovanie piroksenita. Geologiya i geo-fizika [Geology and Geophysics]. 1989. no. 6. pp. 75–79.

Рецензенты:

Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., зав. кафедрой минералогии и петрографии, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь;

Гершанок В.А., д.т.н., профессор кафедры геофизики, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 23.09.2014.