УДК622.235

В.Н.АНИСИМОВ, В.Н.МОРОЗОВ
Московский государственный горный университет, Россия

МАГНИТОКИНЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ДЕСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Приведены результаты исследования деструкции образцов железистых кварцитов КМА в сильных высокоградиентных импульсных магнитных полях с величиной магнитной индукции до 1 Тл и длительностью импульса 240 мкс. Обнаружен эффект образования микро- и макротрещин, падения электрического сопротивления в 3-4 раза и увеличения поглощения ультразвуковых волн от 0,3 до 5 МГц.

Известные эффекты (магнитострикция, пьезоэффект) не объясняют полученные результаты. Сделано предположение о реализации магнитокинетического эффекта перемещения зерен магнетита в немагнитной кварцевой матрице под действием сильного высокоградиентного импульсного магнитного поля с последующим процессом деструкции и деспергации, сопровождающегося развитием микротрещин по границам зерен минералов.

Results of research деструкции samples ferruterous quartzite KMA in strong high gradien pulse magnetic fields with size of a magnetic induction up to 1 Тл and duration of a pulse 240 mks are resulted. The effect of formation(education) micron-and macrocracks, falling of electric resistance on 3-4 order and increase in absorption of ultrasonic waves in a range from 0,3 up to 5 MHz is found out.

Known effects do not give an explanation to the received results. The assumption of realization magnetic kinetic effect of moving of grains magnetita in not magnetic quartz matrix under action strong high gradien a pulse magnetic field with the subsequent process destruczie and dicpergazee, accompanying with development of microcracks on borders of grains of minerals is made.

Возможность использования электромагнитных полей для разрушения горных пород, в частности железистых кварцитов, неоднократно обсуждалась в литературе [1, 3]. Высокое содержание кварца (до 70 %) в железистых кварцитах и включений магнетита (до 30 %) определяют их пьезоэлектрические и магнитострикционные свойства, т.е. способность преобразовывать энергию электромагнитного поля в поле упругих напряжений. Вместе с тем теоретические расчеты показывают, что эффект такого преобразования незначителен. Коэффициент электромеханической связи для кварца менее 0,01 %. Это касается и магнитострикционных эффектов [4].

Результаты экспериментальных исследований деструкции железистых кварцитов в сильных высокоградиентных импульсных магнитных полях дают основание считать, что основной вклад в механизм микроразрушения кварцитов привносит магнитокинетический эффект ударного взаимодействия включений магнетита с немагнитной кварцевой матрицей.

Эксперимент заключался в следующем: образцы железистых кварцитов (фазовый состав: кварц ~60-70 %, Fe_3O_4 ~28 %, с ма-

лым количеством амфибола) в виде цилиндров (диаметр и высота 40 мм), изготовленные из кернов, помещались в поле витка токопровода (рис.1), коммутированного с генератором импульсного тока. Образцы закреплялись с помощью струбцины во внутренней полости диполя, создавалась пригрузка порядка $0{,}5\sigma_{сж}$, где $\sigma_{сж}$ – предельное сжимающее напряжение. Предварительно в образцах измерялось электрическое сопротивление постоянному току и поглощение упругих волн на частоте 0,3-6 МГц. В шине токопровода витка создавался импульс тока порядка 170 кА. В результате генерировался магнитный импульс с величиной магнитной индукции 0,5-1 Тл и длительностью импульса 240 мкс (форма импульса – полусинусоида, выход на максимум поля 98 мкс).

После трехкратного импульсного воздействия на каждый из образцов были обнаружены внешние признаки механической деструкции образцов в виде трещин, мелких сколов и мелкодисперсных продуктов шелушения поверхности образцов.

Для объемного изучения эффекта деструкции образцов железистых кварцитов были использованы методы измерения электрического сопротивления образцов и поглощения упругих волн (лазерно-акустический метод) до и после импульсного магнитного воздействия. Измерение электрического сопротивления образцов (в килоомах) проводилось мегомметром Е-6-16 при зондирующем напряжении 500 В. Были получены следующие результаты:

Номер образца	1	2	3	4
До испытаний	30000	540	280	14
После испытаний	190	0,1	0,23	0,035
Спустя 4 мес.	900	3,5	2,7	0,2

Можно видеть, что после электромагнитного воздействия сопротивление падает более чем на 1-3 порядка. Устойчивый эффект падения электрического сопротивления характерен и для образцов иной формы (пластин и параллелепипедов) с различным содержанием кварца, магнетита, амфибола.

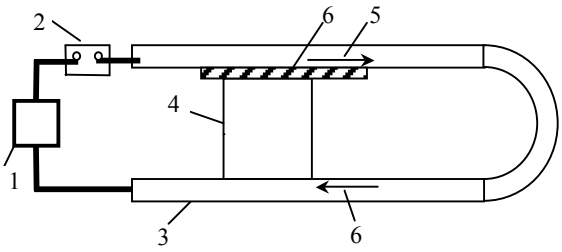


Рис.1. Схема эксперимента

1 – накопитель энергии емкостного типа;
2 – коммутатор тока (разрядник); 3 – токопровод;
4 – образец; 5 – направление тока в токопроводе;
6 – диэлектрическая прокладка

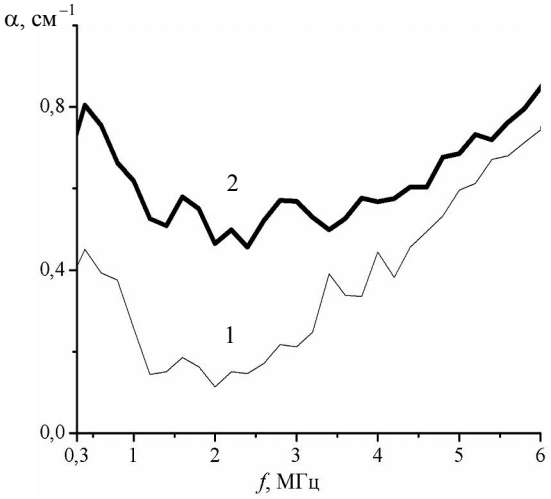


Рис.2. Поглощение ультразвука в образцах железистого кварцита до (1) и после (2) воздействия импульсного магнитного поля

Одновременно исследовалось поглощение упругих волн в диапазоне частот до 6 МГц (лазерно-акустический метод) [2]. На рис.2 приведена частотная зависимость коэффициента затухания продольных волн в железистых кварцитах до и после воздействия магнитного поля. Видим, что коэффициент затухания в том же частотном диапазоне (от 300 кГц до 6 МГц) в среднем увеличился в 2-2,5 раза. Так, например, значение коэффициента затухания на частоте 2 МГц до воздействия 0,2 см$^{-1}$, а после воздействия 0,5 см$^{-1}$:

$$\alpha \approx \frac{1}{L} \ln \frac{[S(f)]}{[S_0(f)]},$$

где $S(f)$ – амплитуда спектральной составляющей на частоте опорного сигнала;

$S_0(f)$ – амплитуда спектральной составляющей на частоте сигнала, прошедшего через образец; L – толщина образца, см.

Проведено сканирование по поверхности образцов в режиме эхоскопии. Оказалось, что уровень структурного шума, наблюдаемого в акустическом треке, возрос в 2-3 раза для образцов, подвергнутых воздействию магнитного поля, что свидетельствовало об изменении внутренней структуры образцов. Дальнейшее сканирование по поверхности образца позволило выявить наличие микротрещин, их локализацию и протяженность.

Таким образом, результаты эксперимента показали, что образцы железистого кварцита под действием сильных высокоградиентных импульсных магнитных полей претерпели значительные изменения по сравнению с первоначальным состоянием, отразившиеся в уменьшении скорости звука и увеличении коэффициента затухания во всем частотном диапазоне измерений, а также в появлении системы микротрещин

Величина дефекта микротрещин (в миллиметрах)

$$\ddot{A}_{\max} \approx \frac{V_R}{2\pi f} \approx 2 \cdot 10^{-1},$$

где V_R – скорость упругих волн Рэлея, $V_R = 2 \cdot 10^6$ мм/с; f – частота, $f = 2$ МГц.

Величина дефекта микротрещин в среднем составляет 0,2 мм и соответствует реальной деструкции кристаллической структуры железистых кварцитов, так как максимум поглощения упругих волн не смещается в частотном диапазоне. Предполагается, что эффект поглощения упругих волн связан с появлением новых дефектов, сопоставимых по размерам с имеющимися.

Теоретические оценки преобразования электромагнитного импульса в механическую энергию деформации кварцевой матрицы и включений магнетита (за счет пьезоэлектрического эффекта и магнитострикции) не дают объяснения ни механической деструкции, ни изменению электрического сопротивления исследуемых образцов железистого кварцита. Есть основания полагать, что под действием мощного высокоградиентного магнитного импульса зерна магнетита смещаются и их свободному перемещению препятствует кварцевая матрица. В результате зерна магнетита деформируются и частично разрушают кварцевую матрицу и межзерновые границы, заполненные акцессорными минералами. Образуется система новых микротрещин, на это указывает эффект поглощения ультразвука в диапазоне 0,5-5 МГц (рис.2).

Частично диспергированный магнетит заполняет часть микротрещин, образуя новые пути прохождения постоянного электрического тока. В результате резко падает электрическое сопротивление за счет объемной сетки напыленного магнетита на поверхность существующих и вновь образованных микротрещин. По-видимому, основным фактором является смещение зерен магнетита под воздействием мощного магнитного импульса и последующим процессом деструкции и распылением (ионным) хорошо проводящего магнетита по поверхности старых и новых микротрещин. Следует обратить внимание на тот факт, что электрическое сопротивление магнетита составляет 10-2 Ом, в то время как сопротивление кварца на девятнадцать порядков выше и составляет 1017 Ом [5].

Обнаруженный магнитокинетический эффект в железистых кварцитах требует дальнейших исследований. Вместе с тем возможно практическое использование магнитокинетического эффекта в кварцитах. Эффект деструкции межзерновой матрицы в кварцитах, содержащей зерна магнетита, способствует раскрытию межзерновых границ и, соответственно, нарушению генетического контакта включений Fe_2O_3 в матрице. Этот эффект можно направленно использовать в технологическом извлечении магнетита из кварцитов в процессе рудоподготовки и других процессах, связанных с разрушением массивов при их предварительном ослаблении перед бурением скважин, при проходке горных выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анисимов В.Н.* Концепция малооперационной ресурсосберегающей технологии взрывной рудоподготовки железистых кварцитов с применением дополнительных импульсных волновых воздействий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 7, 11.

2. *Иньков В.Н.* Исследование результатов воздействия магнитным полем на образцы железистых кварцитов лазерным ультразвуковым методом / В.Н.Иньков, С.А.Коваленко, В.Н.Анисимов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 6.

3. *Ревнивцев В.И.* О рациональной организации процесса раскрытия минералов в соответствии с современными представлениями физики твердого тела // Труды «Механобра». 1975.

4. *Соболев Г.А.* Механоэлектрические явления в земле / Г.А.Соболев, В.М.Демин. М.: Наука, 1980.

5. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород М.: Недра, 1975.