

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ И ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кочанов А.Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем комплексного освоения недр РАН
г. Москва, Россия, kochanov@mail.ru*

Ультразвуковые методы получили широкое применение при решении задач, связанных с оценкой свойств и изменений состояния материалов [1–3]. В проведенных нами исследованиях с помощью метода ультразвукового прозвучивания с использованием скорости продольных волн в качестве информативного параметра изучался процесс эволюции структуры образцов природных материалов (горных пород) с течением времени после динамического воздействия. Методика этих результатов исследований отражены в ранее опубликованных работах [4–6]. Определение скорости продольных волн в образцах горных пород осуществлялось по схеме, когда датчики с собственной частотой 100 кГц располагались на противоположных гранях образца. Использовалась серийная ультразвуковая аппаратура УК–14П, а измерения осуществлялись по двум взаимно перпендикулярным направлениям с шагом 3 см. Ультразвуковой контроль проводился до, непосредственно после и в течение длительного времени после неразрушающего динамического воздействия. При проведении экспериментов использовались образцы песчаника и мрамора размером 50(30)х 25(20)х15(12,5) см. Практически все образцы песчаника и мрамора были неоднородны и имели области, которые отличались разными значениями скорости, что обусловлено локальными внутренними напряжениями и их микроструктурными особенностями, например, в центральной части и по краям образцов. Максимальное значение скорости продольных волн соответственно для песчаника и мрамора составляло 5200 м/с и 5800 м/с. Коэффициент анизотропии K_a как отношение скоростей продольных волн по двум взаимно перпендикулярным направлениям для образцов песчаника составляли 1,2–1,3. После динамического (взрывного) воздействия в образцах песчаника и мрамора наблюдается значительное снижение скорости продольных волн с характерной тенденцией роста значений с увеличением расстояния от заряда. Снижение скорости непосредственно после воздействия, очевидно, обусловлено развитием микротрещинок и изменением первоначальной структуры образцов, что является ожидаемым результатом. Однако после воздействия по данным ультразвуковых наблюдений имеет место устойчивой рост значений скорости, особенно активно в первые 2–3 месяца, далее ее значения стабилизируются при последующем незначительном увеличении. При этом на достаточно удаленных расстояниях от заряда на краевых участках образцов значения скорости продольных волн превышают ее значения до взрывного воздействия. Непосредственно после воздействия величина коэффициента анизотропии K_a может возрастать до значений 1,3, а с течением времени после воздействия уменьшаться до 1,05. При физической интерпретации этих полученных результатов необходимо ответить на вопрос, чем они вызваны: или непосредственной реакцией горных пород на динамическое воздействие или влиянием ультразвуковых колебаний при проведении длительных измерений?

С этой целью проведены ультразвуковые исследования в течение длительного времени до 400 суток эталонных образцов песчаника и мрамора аналогичных размеров, которые находились при комнатной температуре в лаборатории и были изготовлены примерно год назад. Следует отметить, что экспериментальная ошибка при многократных измерениях скорости распространения продольных волн в одних и тех же точках образцов в течение суток не превышала 3–5%. Более длительные наблюдения, например в течение одного или двух и более месяцев, фиксировали во всех точках N образцов песчаника и мрамора рост скорости (рис.1). Как следует из графиков, изменения скорости при длительном ультразвуковом контроле образцов могли составлять до 50%. Очевидно, что этот эффект связан с реакцией среды на

ультразвуковую обработку при проведении измерений. В работе [7] отмечается, что при длительном ультразвуковом воздействии в среде возможно благодаря релаксационным свойствам материала залечивание очагов микроразрушения. По окончании ультразвуковой обработки наблюдается длительная перестройка поля напряжений и изменение структуры микродефектов. Этот процесс возможен с одной стороны, благодаря различному роду дефектов – пор, пластических зон, а с другой – благодаря существующим в образцах внутренним напряжениям. В однородных образцах с малой пористостью и значениями скорости продольных волн максимально возможными для данной породы он практически не наблюдается.

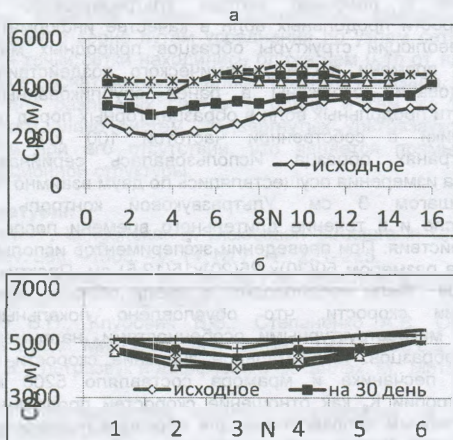


Рисунок 1 – Динамика изменения скорости продольной волны в образцах песчаника (а) и мрамора (б) с течением времени по данным ультразвуковых наблюдений

В тоже время имеется целый ряд данных, свидетельствующих о склонности горных пород и материалов к релаксации после действия различных физических полей [8–9]. Так, например, при исследовании процессов свободной разгрузки образцов после снятия высоких естественных напряжений установлено, что в этом случае в образцах происходят деформации, которые приводят к изменению упругих и прочностных свойств за счет роста или смыкания дефектов [9]. Важным является то обстоятельство, что большая часть энергии может сохраняться и после снятия всех внешних нагрузок и при определенных условиях возможно проявление этой скрытой энергии. Известны также данные, когда горные породы «откликаются» на механическое воздействие в течение длительного времени. В качестве примера на рисунке 2 представлено динамика изменений скорости продольной волны в образце гранита размерами 25х25х 25 см непосредственно после его изготовления.

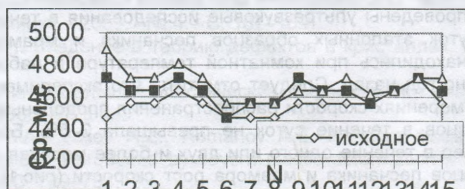


Рисунок 2 – Динамика изменения скорости продольных волн в образце гранита с течением времени после его изготовления

Таким образом, с течением времени после динамического воздействия наблюдается эволюция дефектной структуры горных пород. Уменьшение акустического коэффициента анизотропии свидетельствует о том, что изменение микроструктуры образцов имеют тенденцию к ее упорядочиванию, и наблюдается повышение степени однородности материала. Динамика процесса зависит от уровня поврежденности локального объема образца. Тенденция роста скорости продольных волн имеет место без динамического воздействия в образцах мрамора и песчаника, характеризующимися изначально низкими значениями скорости продольных волн, при проведении измерений в течение длительного периода. Это обстоятельство позволяет предположить о наличии двух независимых процессов, первый из которых связан с непосредственной реакцией горных пород на динамическое воздействие, а второй может быть вызван длительными ультразвуковыми наблюдениями, которые могут в какой-то степени инициировать эволюцию дефектной структуры материала и усилить его кинетику.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Проект 14-05-00446).

Список литературы:

1. Труэлл, Р. Ультразвуковые методы в физике твердого тела / Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. М. Чик. – М.: Мир, 1972. – 306 с.
2. Шамина, О.Г., Понятовская В.И. Модельные исследования неоднородных и трещиноватых сред/ О.Г. Шамина, В.И. Понятовская. – М.: ИФЗ РАН, 1993. – 178 с.
3. Воронина, И.Ю. Акустические исследования структурных изменений гранита при осевом сжатии /И.Ю. Воронина, В.П. Епифанов// Акустический журнал. – 1980. – Том XXVI – вып.3. – С.371–376.
4. Викторов, С.Д. Динамика упорядочивания микроструктуры и свойств образцов горных пород в результате взрывного воздействия/ С. Д. Викторов, А.Н. Кочанов// Известия РАН. Серия физическая. –2014. – Т. 78, №4. – С. 388–391.
5. Кочанов, А.Н. Влияние на механические свойства горных пород неразрушающего взрывного воздействия/ А.Н. Кочанов// Актуальные проблемы прочности. Сб. трудов 54 Межд. конференции. Екатеринбург: ФГБУН ИФМ УроРАН, 2011. – С.239.
6. Ватолин, Е.С. Оценка изменений скорости продольных волн в горных породах при неразрушающих воздействиях/ Е.С. Ватолин, А.Н. Кочанов // Проблемы геоакустики: методы и средства Сб. трудов V сессии Российского акустического общества. – М.: МГГУ, 1996. – С.221–224.
7. Шамина, О.Г. Влияние ультразвуковых вибраций на физико-механические свойства пород/О.Г. Шамина, А.М. Паленов., З. И. Стопинский, В.С. Ткаченко, Н.А. Якушина // Изв. АН СССР Физика Земли. 1990. – .№8. – С.93–101.
8. Муравин, Г.Б. Исследование акустической эмиссии при деформировании железобетонных изгибаемых элементов/ Г.Б. Муравин, А.В. Гурьев// Сб. Физические аспекты прогнозирования разрушения и деформирования гетерогенных материалов. – Ленинград, 1987. – С.120–133.
9. Шаумян Л.В. Природа физико-механических свойств массивов горных пород/Л.В.Шаумян. – М.: МГУ, 1988. –192 с.