

УДК 539.67:548.4

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА НЕУПРУГИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ KCl

© Н.А. Тяпунина, В.Л. Красников, Э.П. Белозёрова

Россия, Москва, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, Кострома, Костромской государственный технологический университет

Tyapunina N.A., Krassnikov V.L., Belozero E.P. Influence of magnetic field on anelastic properties of KCl crystals. In the given work influence of weak magnetic field $B = 0,2$ T on amplitude dependence of internal friction and Young's modulus defect of KCl crystals has been researched. It is stated, that internal friction grows under the influence of magnetic field and modulus of rupture decreases. It is evidence, that plasticity of specimens grows under the action of magnetic field.

В настоящее время стал общепризнанным тот факт, что слабое магнитное поле (МП) оказывает влияние на поведение дислокаций в щёлочно-галогенидных кристаллах (ЩГК) [1]. Наиболее интенсивно влияние МП на движение дислокаций в ЩГК изучается в ИК РАН и Тамбовском государственном университете.

В большинстве исследований, посвящённых этой проблеме, использовались режимы ползучести [2] или активного нагружения [3].

Влияние МП на неупругое поведение ЩГК обнаружено в [4, 5].

Показано, что МП существенно влияет на дислокационную структуру ЩГК, облучаемых ультразвуком (УЗ). При совместном действии МП и УЗ облегчается выход заряженных краевых дислокаций за пределы зарядовых облаков и отрыв колеблющихся краевых дислокаций от парамагнитных примесных центров. Наблюдалось также влияние МП на состояние границ блоков и на размножение дислокаций.

Целью данной работы явилось исследование влияния слабого МП на неупругие свойства кристаллов KCl при знакопеременной нагрузке в килгерцевом диапазоне частот. Неупругость кристаллов в этом частотном диапазоне контролируется дислокационными механизмами, так что исследование действия МП осуществлялось в условиях, когда сегменты дислокаций совершают вынужденные колебания под действием УЗ.

1. ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ИССЛЕДОВАННЫЕ ОБРАЗЦЫ

Исследования неупругих свойств KCl осуществляли методом двухкомпонентного резонансного осциллятора [6] на частоте 75 кГц, при амплитудах относительной деформации ϵ_0 - от 10^{-6} до 10^{-3} . Измерения внутреннего трения δ (ВТ) и дефекта модуля Юнга $\Delta M/M$ (ДМЮ) проводили при комнатной температуре в вакууме при остаточном давлении воздуха 0,13 Па. Ошибка измерения не превышала 2%.

МП создавалось с помощью постоянного магнита, индукция поля B составляла 0,2 Тл.

За состоянием образца следили по данным избирательного травления и вольт-амперным характеристикам

составного осциллятора (ВАХ) [7]. ВАХ $I(V)$ двухкомпонентного осциллятора представляет собой зависимость силы тока I в цепи вибратора при последовательном резонансе от напряжения V , подаваемого на обкладки кварца. С помощью кривой $I(V)$ можно с большой точностью определить амплитуды ϵ_0 , при которых происходят изменения в поведении дислокаций, а по относительному расположению ВАХ различных образцов сравнить их пластичность. Анализ ВАХ позволяет получать и некоторые количественные характеристики дислокационной структуры кристалла [7].

Исследованные образцы KCl имели предел текучести $7 \cdot 10^5$ Па и исходную плотность дислокаций $5 \cdot 10^8$ м⁻². Рассчитанное по данным температурной зависимости электропроводности общее количество двухвалентных примесей в них составило $3,2 \cdot 10^{-7}$ мольных долей. По данным спектрального анализа, основной двухвалентной примесью являлся Са. Результаты испытаний в МП сравнивались с данными, полученными для контрольного образца, не подвергавшегося воздействию МП. Испытуемые в МП и контрольные образцы имели зеркальные сколы.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1. Влияние магнитного поля на вольт-амперные характеристики осциллятора с кристаллами KCl. На рис. 1 представлены типичные примеры ВАХ для осциллятора с образцами KCl, полученные при совместном воздействии МП и УЗ (кривая 1), и в отсутствие МП (кривая 2). Для каждой ВАХ рис. 1 характерно присутствие трёх участков: линейных участков ОВ и ОВ' при малых значениях входного напряжения V , нелинейных участков ВС и В'С' и имеющих асимптоты участков CD и C'D'. Из рис. 1 видно, что ВАХ, полученная при совместном действии МП и УЗ, располагается ниже, чем для контрольного образца ($B = 0$). Это показывает, что под влиянием МП образец становится более пластичным. Используя методику, предложенную в [7], можно по точке пересечения асимптоты с осью токов I оценить напряжение τ^{st} , которое необходимо преодолевать дислокационным сегментам на данном этапе УЗ воздействия. Результаты оценки τ^{st}

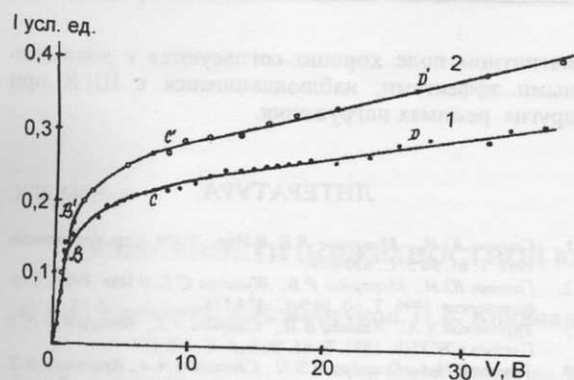


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики составного осциллятора $I(V)$ с образцами KCl, находящимися в магнитном поле в процессе измерений (1) и в исходном состоянии (2).

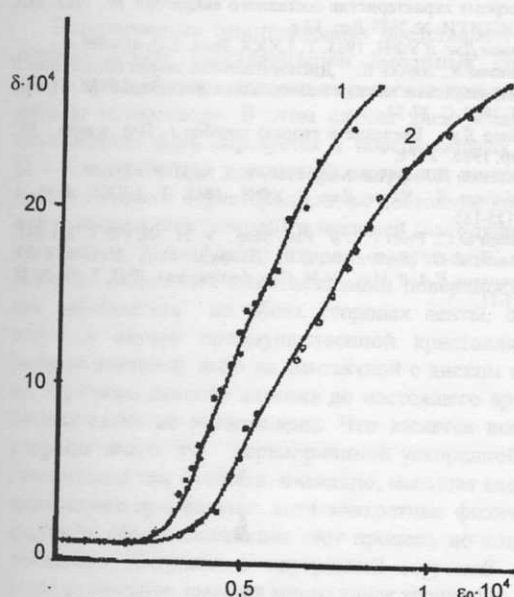


Рис. 2. Влияние магнитного поля на амплитудные зависимости внутреннего трения тех же образцов KCl, что и на рис. 1.

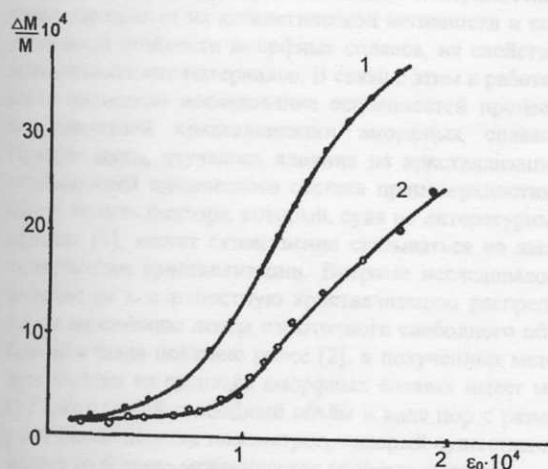


Рис. 3. Влияние магнитного поля на амплитудные зависимости дефекта модуля Юнга тех же образцов KCl, что и на рис. 1.

приведены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, в присутствии МП τ^{st} становится меньше. Поскольку τ^{st} пропорционально пределу текучести [8], можно утверждать, что величина последнего уменьшается под влиянием МП.

2.2. Влияние магнитного поля на амплитудную зависимость внутреннего трения KCl. На рис. 2 представлены типичные амплитудные зависимости $\delta(\epsilon_0)$ образцов KCl, при испытаниях в МП $B = 0,2$ Тл (кривая 1) и в отсутствии МП (кривая 2).

Как было показано выше, при одновременном действии МП и УЗ образец становится более пластичным. Это подтверждают и данные ВТ. Действительно, из рис. 2 видно, что начало амплитудной зависимости ВТ образца, испытанного в МП, сдвигается в область меньших значений ϵ_0 , а его амплитуднозависимое ВТ существенно превосходит значения для контрольного образца.

В таблице 1 приведены ϵ_0 — амплитуды относительной деформации, начиная с которых в образцах KCl обнаруживается амплитудная зависимость ВТ.

Кривые $\delta(\epsilon_0)$ спрямляются в координатах Гранато-Люкке [9]. Соответствующие модули линейных коэффициентов корреляции и критерии значимости P [10] составили $|r| = 0,98$, $P < 0,05\%$ (высокозначимая корреляция) при испытаниях в МП $B = 0,2$ Тл и $|r| = 0,99$ и $P < 0,05\%$ для контрольного образца. Это указывает на то, что ВТ контролируется взаимодействием дислокаций с центрами закрепления. Обработка данных по методу линейной регрессии с использованием теории [9] позволяет по наклону прямых регрессии определить величину $\Gamma \sim F_m / l_c$, где F_m — максимальная сила взаимодействия дислокации и закрепляющего её центра, а l_c — средняя длина колеблющегося сегмента. Результаты оценки Γ приведены в таблице 1. Видно, что в присутствии МП величина Γ становится более чем в 2 раза меньше, чем для контрольного образца. По этим данным, однако, нельзя однозначно сказать, уменьшается ли значение максимальной силы взаимодействия F_m , или возрастает длина колеблющегося дислокационного сегмента l_c . По всей вероятности, изменяются обе эти величины.

Таблица 1.

Стартовые напряжения τ^{st} , амплитуды ϵ_0 для начала амплитудной зависимости внутреннего трения, «характерные деформации отрыва» Γ и средние смещения колеблющихся дислокационных сегментов $\langle u \rangle$ при различных условиях испытания

Условия опыта	$B = 0,2$ Тл	$B = 0$
Параметры		
τ^{st} , Г/мм ²	75	89
ϵ_0 , 10^{-4}	2,5	3,5
Γ , 10^{-4}	3,31	7,33
$\langle u \rangle$, мкм	0,43	0,20

2.3. Влияние магнитного поля на дефект модуля Юнга KCI. Результаты измерений ДМЮ в зависимости от ϵ_0 для описанных выше образцов представлены на рис. 3. Видно, что амплитудная зависимость ДМЮ образца при испытаниях в МП начинается при меньших ϵ_0 , а его величина оказывается больше, чем для контрольного образца.

По данным ДМЮ оценивали средние смещения дислокационных сегментов $\langle u \rangle$ в процессе колебаний [11]. Результаты оценки $\langle u \rangle$ для амплитуды $\epsilon_0 = 1,3 \cdot 10^{-4}$ даны в табл. 1. Видно, что среднее смещение $\langle u \rangle$ в присутствии МП более чем в 2 раза превосходит соответствующее значение для контрольного образца. При одной и той же амплитуде ϵ_0 смещение колеблющегося дислокационного сегмента пропорционально $\langle I_c^2 \rangle$ [12]. Отсюда следует, что при испытаниях в МП величина $\langle I_c^2 \rangle$ возрастает, то есть большее количество сегментов отрывается от стопоров. Закрепляющими дислокацию стопорами в ЩГК являются ионы двухвалентных примесей и комплексы, состоящие из этих ионов и катионных вакансий [13]. Полученные в настоящей работе результаты согласуются с выводами о том, что МП способствует откреплению дислокаций от парамагнитных центров [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаруженные в работе эффекты разупрочнения KCI при ультразвуковых испытаниях в слабом

магнитном поле хорошо согласуются с аналогичными эффектами, наблюдавшимися в ЩГК при других режимах нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. // Изв. РАН. Сер. физическая. 1997. Т. 61. № 5. С. 850-859.
2. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б., Жуликов С.Е. // Изв. РАН. Сер. физическая. 1996. Т. 60. № 9. С. 174-178.
3. Урусовская А.А., Алыш В.И., Смирнов А.Е., Беккауер Н.Н. // Письма в ЖЭТФ. 1997. Т. 65. Вып. 6. С. 470-474.
4. Тяпунина Н.А., Белозёрова Э.П., Светашов А.А., Красников В.Л. // Тезисы докл. на IX международной конференции «Взаимодействие дефектов и неупругие явления в твёрдых телах». Тула, 1997. С. 64.
5. Белозёрова Э.П., Светашов А.А., Красников В.Л. // Изв. РАН. Сер. физическая. 1997. Т. 61. № 2. С. 291-297.
6. Marx J. // Rev. Scient. Instrum. 1951. V. 22. № 7. Р. 03-509.
7. Наими Е.К. Измерения внутреннего трения, дефекта модуля Юнга и стартовых напряжений дислокаций методом вольтамперных характеристик составного вибратора. М., 1985. Деп. в ВИНТИ. № 2589. Деп. 17 с.
8. Гилман Дж. // УФН. 1963. Т. LXXX. Вып. 3. С. 455-499.
9. Гранато А., Люкке К. Дислокационная теория поглощения // Ультразвуковые методы исследования дислокаций. М.: Изд-во ИЛ, 1963. С. 27-57.
10. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок / Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 272 с.
11. Whitworth R.V. // Phil. Mag. 1960. V. 5. № 53. Р. 425-440.
12. Ниблем Д., Уилкс Дж. // УФН. 1963. Т. LXXX. Вып. 1. С. 125-185.
13. Phillips D.C., Pratt P.L. // Phil. Mag. V. 21. № 170. Р. 217-243.
14. Алыш В.И., Даринская Е.В., Казакова О.Л., Михина Е.Ю., Петровский Е.А. // Изв. РАН. Сер. физическая. 1993. Т. 57. № 11. С. 2-11.