

Пластификация кристаллов NaCl при комбинированном воздействии коротких механических и магнитных импульсов

© В.А. Морозов

Санкт-Петербургский государственный университет,
198504 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vaa@math.spbu.ru

(Поступила в Редакцию 24 января 2003 г.
В окончательной редакции 11 февраля 2003 г.)

Обнаружен эффект понижения динамического предела текучести в кристаллах NaCl в условиях нагружения механическим импульсом субмикросекундной длительности посредством электронного пучка, которому предшествовал импульс вихревого электромагнитного поля с задержкой во времени 10^{-6} с. С увеличением интенсивности воздействия эффект проявляется сильнее.

Первоначально обнаруженный магнитоэластический эффект (МПЭ) как движение индивидуальных дислокаций в щелочно-галогенидных кристаллах в магнитном поле в отсутствие внешней нагрузки [1], как было установлено в дальнейшем в [2–7], может проявляться также на макроскопическом уровне. Последнее связывается с понижением предела текучести [5], уменьшением микротвердости [2], изменением внутреннего трения [4], увеличением скорости пластической деформации [3,7]. В работе [3] обнаружен макроскопический эффект разупрочнения кристаллов NaCl в условиях одновременного действия постоянного и скрещенного с ним высокочастотного магнитного поля. Установлено, что до предела текучести включение СВЧ поля не приводило к изменению диаграммы деформация–напряжение. После достижения предела текучести СВЧ поле изменяло наклон кривой деформирования.

Все перечисленные выше эффекты макроскопического проявления МПЭ относятся либо к статическим, либо квазистатическим условиям магнитного и механического воздействия на немагнитные кристаллы. Представлялось интересным посмотреть, проявляется ли этот эффект при коротких временных воздействиях. На уровне движения индивидуальных дислокаций в кристаллах NaCl при комбинированном воздействии механических и электромагнитных импульсов, создаваемых электронным пучком, это было проделано в [8].

При динамических экспериментах, как известно, трудной задачей является построение динамической диаграммы напряжение–деформация или выбор критерия отклонения этой диаграммы от линейной зависимости. В исследовании [9] в качестве такого критерия принимается изменение формы волны напряжения (формы импульса), прошедшей через образец. В этой работе уплощение вершины импульса напряжения связывается с нелинейной зависимостью напряжение–деформация, которая в свою очередь определяется изменением внутренней структуры материала, в том числе дислокационной структуры. Эксперименты проводились в микросекундном диапазоне нагружений алюминиевых образцов.

В настоящей работе в качестве объекта исследования выбраны кристаллы NaCl, подобные тем, которые использовались нами при изучении подвижности индивидуальных дислокаций [8]. Размер образцов составлял $7 \times 7 \times 1.5$ мм. Импульсное нагружение образцов осуществлялось на электронно-пучковой установке [8]. Схема проведения эксперимента представлена на рис. 1. Была предусмотрена возможность воздействия на образец как одного механического импульса, так и в комбинации с электромагнитным импульсом. Для этого в первом случае исследуемый образец помещался в камеру из ферромагнитного материала, а во втором — из диамагнитного материала (Al). Механический импульс возбуждался электронным пучком либо в алюминиевой, либо в стальной мишени в виде короткого стержня диаметром 8 мм, вмонтированного в переднюю стенку камеры, служившую анодом электронного ускорителя, и далее передавался в образец. Акустический контакт образца с мишенью осуществлялся за счет тонкого слоя силиконового масла. Механический импульс напряжения контролировался как на входе в образец, так и на его выходе с помощью пьезодатчика из иодата лития. Длительность импульса составляла порядка 10^{-7} с.

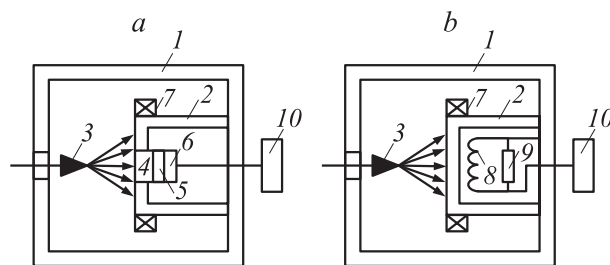


Рис. 1. Схема проведения экспериментов: *a* — при воздействии механического и магнитного импульсов на кристалл, *b* — при измерении индукции электромагнитного поля. 1 — вакуумная камера ускорителя электронов, 2 — камера для помещения образца, 3 — источник электронного пучка, 4 — мишень, 5 — образец, 6 — пьезодатчик, 7 — измеритель тока пучка, 8 — измерительная катушка, 9 — сопротивление нагрузки, 10 — осциллограф.

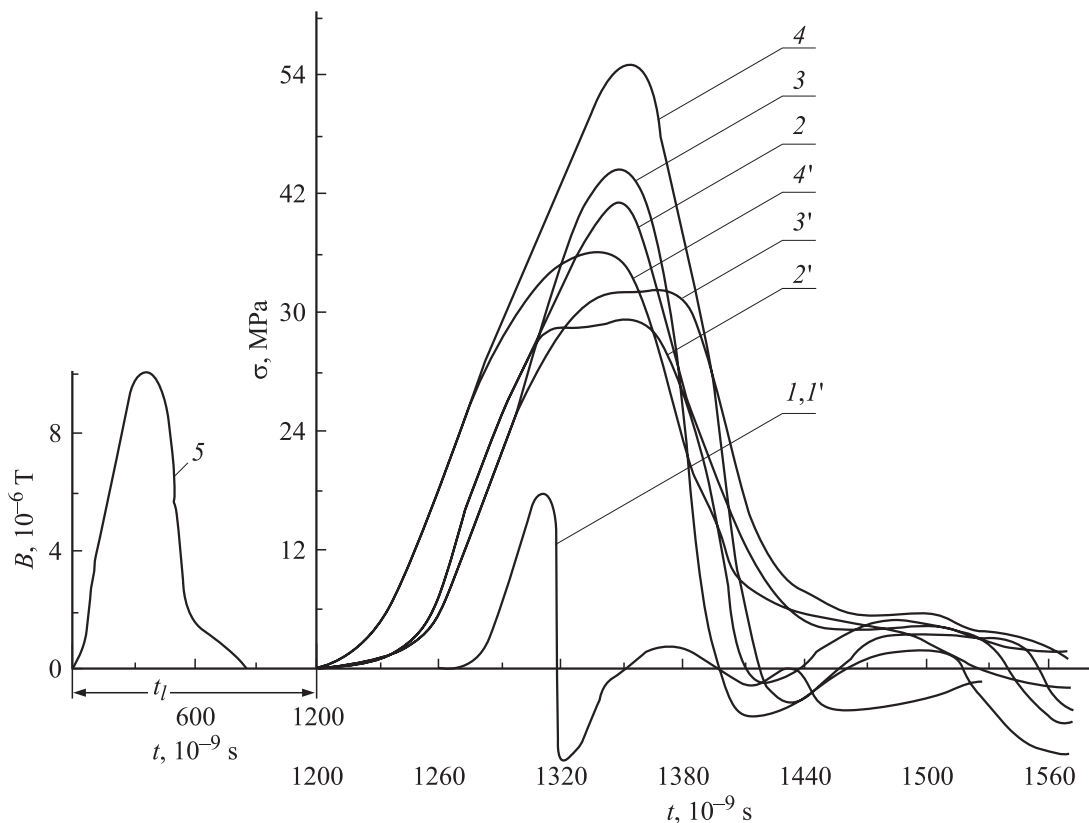


Рис. 2. Осциллограммы импульсов механического нагружения ($I-4$, $I'-4'$) и электромагнитного поля (5) в кристалле NaCl. $I-4$ — импульсное магнитное поле отсутствует, $I'-4'$ — приложено, t_l — время задержки начала механического импульса напряжения относительно магнитного импульса.

Амплитуда импульса в процессе проведения могла регулироваться в пределах (15–50) МПа либо за счет изменения тока пучка, либо при помощи материала мишени (Al, Fe). Импульс магнитного поля создавался током электронного пучка в момент облучения мишени. Его амплитуда варьировалась в пределах $(3.5-10) \cdot 10^{-6}$ Т за счет изменения тока, а длительность составляла $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ с. В случае малых амплитуд механического импульса (далеких от предела текучести образца NaCl), инициированного в алюминиевой мишени, величина индукции магнитного поля была порядка $3.5 \cdot 10^{-6}$ Т. При возбуждении механического импульса таких же малых амплитуд в стальной мишени требовался уже ток пучка большей величины, и значение индукции магнитного поля составляло порядка 10^{-5} Т. Магнитный импульс измерялся с помощью катушки, помещенной в камеру, где ранее располагался образец из NaCl (рис. 1). Катушка была нагружена на волновое сопротивление 50 Ω . Сигнал с нее подавался на высокочастотный осциллограф С1-75 и далее фотографировался. Для определения величины индукции поля производилась калибровка катушки.

За счет времени прохождения импульса механического напряжения по мишени происходила задержка его начала относительно магнитного импульса. Время задержки (t_l) могло регулироваться изменением тол-

щины мишени. В наших экспериментах оно составляло порядка $1.2 \cdot 10^{-6}$ с (рис. 2). На рис. 2 приведены осциллограммы импульсов механического напряжения в кристалле NaCl при различных значениях их амплитуды как при воздействии импульса магнитного поля (кривые $I'-4'$), так и без него (кривые $I-4$). Форма магнитного импульса (кривая 5) также представлена на этом рисунке. Когда амплитуда механического импульса в образце достаточно далека от его динамического предела текучести (кривая I на рис. 2), включение магнитного поля не влияет на форму сигнала при варьировании амплитуды индукции магнитного поля в пределах $(3.5-10) \cdot 10^{-6}$ Т. Движение же индивидуальных дислокаций, как это следует из наших предыдущих опытов [8], при этом наблюдается. В данном случае, а также без приложения магнитного поля, зависимость амплитуды импульса механического напряжения от тока электронного пучка (или вкладываемой в мишень энергии пучка), представленная на рис. 3, носит линейный характер. До динамического предела текучести образцов только при механическом воздействии (как это видно из рис. 2,3) мы не доходим. В условиях наших экспериментов он по крайней мере был выше 70 МПа и по оценкам составлял порядка 80 МПа. При приближении амплитуды механического импульса к динамиче-

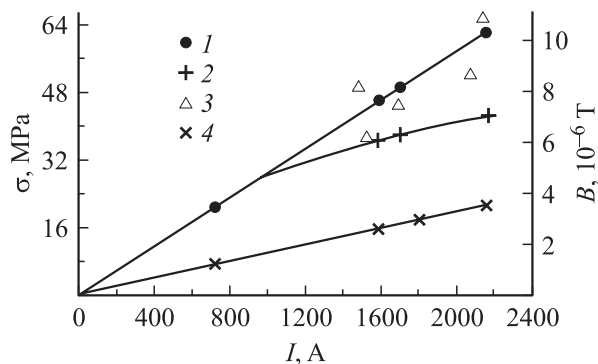


Рис. 3. Зависимость амплитуд импульсов механического напряжения $\sigma(I)$ и индукции магнитного поля $B(I)$ в кристалле NaCl от тока пучка. 1 — $\sigma(I)$ при возбуждении механического импульса в Al мишени без магнитного поля, 2 — то же с магнитным полем, 3 — $B(I)$, 4 — $\sigma(I)$ при возбуждении механического импульса в стальной мишени.

скому пределу текучести образца, включение вихревого высокочастотного магнитного поля создает условия для его понижения, что проявляется в уплощении формы импульса (кривые 2'–4' на рис. 2) и отклонении от линейной зависимости $\sigma(I)$ (кривая 2 на рис. 3).

По мере повышения интенсивности сигнала, как видно из рис. 2, 3 разность амплитуд импульсов при воздействии магнитного поля и без него увеличивается. Полученные данные согласуются с результатами работы [9], однако в этой работе изменение формы сигнала механического импульса и насыщение амплитуды сигнала связывается с изменением внутренней структуры образцов за счет их отжига, а в наших экспериментах — за счет воздействия магнитного поля.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующий вывод. Поскольку электромагнитный импульс предваряет действие на кристалл механического импульса, к моменту начала воздействия последнего произошло открепление дислокаций от примесных парамагнитных центров и это время составляет не более 10^{-6} s, что на два порядка меньше, чем в работе [10]. Кроме того, нами выявлен факт влияния слабого импульсного магнитного поля на понижение предела текучести образцов NaCl в условиях их высокоскоростного нагружения.

Автор благодарен Б.И. Смирнову за ценные замечания и полезные обсуждения результатов работы.

Список литературы

- [1] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, Т.М. Перекалина, А.А. Урусовская. ФТТ **29**, 2, 467 (1987).
- [2] Yu.I. Golovin, R.B. Morgunov, D.V. Lopatin, A.A. Baskakov. Phys. Stat. Sol (a) **160**, 2, R3 (1997).
- [3] Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов, В.Е. Иванов, С.Е. Жуликов, А.А. Дмитриевский. Письма в ЖЭТФ **68**, 5, 400 (1998).

- [4] Н.А. Тяпунина, В.Л. Красников, Е.П. Белозерова. ФТТ **41**, 6, 1035 (1999).
- [5] В.И. Альшиц, А.А. Урусовская, А.Е. Смирнов, Н.Н. Беккавер. ФТТ **42**, 2, 270 (2000).
- [6] Б.И. Смирнов, Н.Н. Песчанская, В.И. Николаев. ФТТ **43**, 12, 2154 (2001).
- [7] Ю.А. Осипьян, Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов, Р.К. Николаев, И.А. Пушкин, С.З. Шмурак. ФТТ **43**, 7, 1333 (2001).
- [8] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, М.А. Легеньков, В.А. Морозов. ФТТ **41**, 11, 2004 (1999).
- [9] Y. Yasumoto, A. Nakamura, R. Takeuchi. Acustica **30**, 5, 260 (1974).
- [10] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, О.Л. Казакова. ЖЭТФ **111**, 2, 615 (1997).