

## ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СКОРОСТЬ МАКРОПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Ю.И.Головин, Р.Б.Моргунов

Тамбовский государственный университет

392000 Тамбов, Россия

Поступила в редакцию 27 февраля 1995 г.

Сообщается об обнаружении эффекта увеличения скорости пластического течения ионных кристаллов (до 2 раз) в постоянном магнитном поле с индукцией  $B = 0,7$  Тл при комнатной температуре.

Изучение подвижности индивидуальных дислокаций в условиях действия постоянного магнитного поля (МП) с индукцией  $B \sim 1$  Тл в ионных кристаллах [1-3] позволяет предполагать, что МП приводит к откреплению дислокаций от некоторых типов стопоров примесного происхождения [1,4]. В процессе макропластической деформации спектр стопоров для скользящих дислокаций значительно расширяется, возрастают внутренние напряжения, движение дислокаций становится самосогласованным. Поэтому априори нельзя предсказать, насколько существенным в этих условиях окажется влияние МП. В работе представлены результаты исследования пластического течения ионных кристаллов NaCl, KCl, LiF с различным содержанием примесей Ca, Pb и Mn в МП  $B = 0,7$  Тл.

Одноосное сжатие предварительно закаленных от 800 К образцов размерами  $3 \times 3 \times 10$  мм осуществляли вдоль [001] в установке с кварцевыми штоками, которая обеспечивала режим линейно нарастающих со временем напряжений  $\sigma = kt$ . Деформацию образца  $\epsilon$  и ее скорость  $\dot{\epsilon}$  регистрировали самописцем с помощью индукционного датчика (разрешение по смещению составляло 0,2 мкм). Включение МП, перпендикулярного оси сжатия, производили на разных участках кривой  $\epsilon(\sigma)$ . Длительность переднего и заднего фронта импульса МП составляла около 2с, что исключало возможность влияния вихревого электрического поля на пластическое течение кристаллов. Особое внимание было уделено исключению артефактов [5] в условиях действия МП. Их отсутствие было надежно установлено несколькими независимыми способами.

В области упругой деформации (до предела текучести  $\sigma_y$ ) включение МП не приводило к изменению наклона диаграммы  $\epsilon(\sigma)$ , но вызывало понижение  $\sigma_y$ . При  $\sigma > \sigma_y$  включение МП приводило к росту скорости пластического течения  $\dot{\epsilon}_f$  по сравнению со скоростью перед включением поля  $\dot{\epsilon}_0$  (рис.1). В кристаллах NaCl и KCl, содержащих примесь Ca и LiF с примесью двухвалентных металлов (в основном Mg) эффект был значительно больше, чем в номинально чистых кристаллах. Увеличенное значение  $\dot{\epsilon}$  наблюдалось в течение всего периода деформирования в МП (до  $\sim 200$  с, что соответствовало приращению деформации образца  $\Delta\epsilon \approx 0,1\%$ ). Выключение МП приводило к уменьшению  $\dot{\epsilon}$ , то есть эффект разупрочнения в МП был обратимым. Скачкообразное подгружение образца во время деформирования механической нагрузкой  $\Delta\sigma = 30 - 40$  кПа вызывало увеличение  $\dot{\epsilon}$ , сопоставимое с ростом  $\dot{\epsilon}$  в МП, но лишь в первые 10с после подгружения. В дальнейшем устанавливался прежний наклон (рис.1). Таким образом, влияние МП не может быть сведено

к действию дополнительной механической нагрузки. Эффект разупрочнения обычно достигал максимума сразу за пределом текучести, а при  $\epsilon > 1 - 2\%$  затухал (рис.1). Иногда он проявлялся и при больших деформациях, но носил нерегулярный и невоспроизводимый характер.

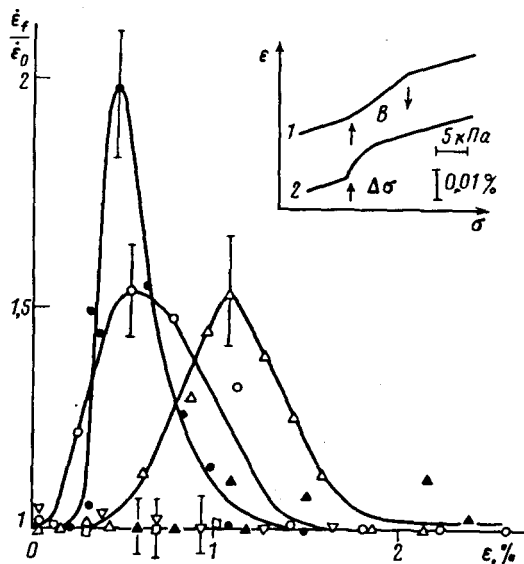


Рис.1. Зависимости скорости пластической деформации в постоянном магнитном поле  $B = 0,7 \text{ Тл}$   $\dot{\epsilon}_f$  (нормированной на скорость течения при выключенном поле  $\dot{\epsilon}_0$ ) от полной деформации  $\epsilon$  кристаллов:  $\bullet$  -  $\text{NaCl}:\text{Ca}^{2+}$  (0,1%);  $\circ$  -  $\text{KCl}:\text{Ca}^{2+}$  (0,03%);  $\Delta$  -  $\text{LiF}:\text{Mn}^{2+}$  ( $< 0,01\%$ ), линии скользящих дислокаций  $L \perp B$ ;  $\nabla$  -  $\text{KCl}:\text{Pb}^{2+}$  (0,03%);  $\square$  -  $\text{KCl}:\text{Mn}^{2+}$  (0,03%);  $\triangle$  -  $\text{LiF}:\text{Mn}^{2+}$  ( $< 0,01\%$ ),  $L \parallel B$ . (На врезке фрагменты диаграммы  $\epsilon(\sigma)$ : 1 - во время действия МП; 2 - во время скачкообразного добавления механической нагрузки)

В серии опытов, в которых преимущественное направление скольжения дислокаций по отношению к вектору  $B$  обеспечивали предварительным созданием концентраторов напряжения и контролировали травлением, обнаружилось, что разупрочнение было значительно сильнее в случае, когда направление линий скользящих дислокаций  $L$  перпендикулярно  $B$ , чем в случае, когда  $L \parallel B$  (рис.1). Следовательно, действие МП зависит от ориентации  $B$  по отношению к линии дислокации, а возможной причиной нерегулярной зависимости эффекта от степени деформации при  $\epsilon > 2\%$  является смена плоскостей скольжения. С ростом концентрации примеси  $\text{Ca}$  эффект разупрочнения увеличивался вплоть до  $C \approx 0,1$  мол.% (рис.2). Как и в [1-3], где наблюдалось повышение среднего пробега индивидуальных дислокаций в МП, в наших опытах зависимость величины эффекта от  $B$  оказалась близкой к квадратичной (рис.3). В кристаллах с примесью  $\text{Pb}$  или  $\text{Mn}$  разупрочнение не наблюдалось, что согласуется с результатами [1,2] относительно влияния МП на подвижность индивидуальных дислокаций.

Для интерпретации хорошо изученных эффектов влияния МП на макропластические характеристики металлов ( $\text{Al}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ag}$ ) обычно привлекают представления об изменении вязкости электронного газа в МП и его демпфирующих свойств для движущихся дислокаций [6-8]. Очевидно, такие механизмы не могут играть роли при движении дислокаций в ионных кристаллах. В то же время, причины, по которым МП влияет на подвижность дислокаций и пластичность неметаллических кристаллов, могут быть достаточно общими и действенными для широкого круга материалов.

Узкий интервал деформаций, в пределах которого эффект регулярно воспроизводился, свидетельствует о том, что МП облегчает преодоление лишь той

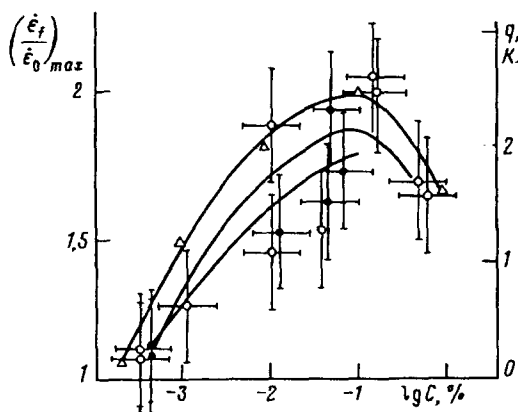


Рис.2

Рис.2. Зависимости величины эффекта разупорядчения в максимуме  $(\dot{\epsilon}_f/\dot{\epsilon}_0)_{max}$  и линейной плотности дислокационного заряда  $q$  от концентрации примесных ионов  $Ca^{2+}$  в кристаллах:  $\circ$  — NaCl;  $\bullet$  — KCl;  $\Delta$  —  $q$  в KCl

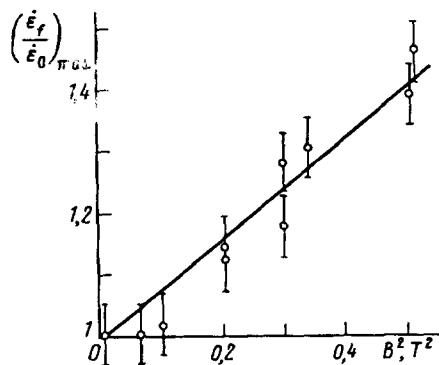


Рис.3

Рис.3. Зависимость эффекта разупорядчения  $(\dot{\epsilon}_f/\dot{\epsilon}_0)_{max}$  кристаллов KCl:Ca (0,03%) от индукции магнитного поля

части стопоров, которая существенна на начальном этапе пластического течения. Очевидно, этими стопорами являются точечные дефекты, главным образом примесного происхождения. Лес дислокаций, появляющийся при  $\epsilon \geq 1 - 2\%$ , и играющий более значительную роль в торможении скользящих дислокаций, чем примесные центры, по-видимому, малочувствителен к действию МП, как вытекает из рис.2. В тех кристаллах, где наблюдалось разупорядчение, его величина  $\dot{\epsilon}_f/\dot{\epsilon}_0$  коррелировала с линейной плотностью дислокационного заряда  $q$  (измеренной методом анализа дислокационной электрической поляризации [9]) (рис.2). Отсутствие эффекта в кристаллах с примесью Рь или Мп, обеспечивающей такой же заряд дислокаций, что и примесь Са, не означает отсутствия влияния МП на заряженные особенности дислокационного ядра. Преодоление дислокациями примесных центров разной химической природы (Рь, Са, Мп) может происходить существенно различающимися способами. Это в свою очередь может определять степень чувствительности пластических свойств к изменениям, происходящим с дислокационным ядром в МП. Кроме того, как вытекает из [10], для изменения состояния ядра в МП требуется значительно большее время его действия ( $\sim 10^3$  с при комнатной температуре), чем в настоящей работе ( $\sim 10^2$  с).

В [1,4] предложена возможность объяснения магнитоэластического эффекта в ионных кристаллах на основе представлений о магнитоэластических радикальных реакциях, неоднократно наблюдавшихся ранее [11,12]. По-видимому, они могут происходить как между дислокацией и примесью в процессе их взаимодействия, так и между элементами дислокационного ядра, подготавливая дислокацию к облегченному скольжению впоследствии. Обнаружение и исследование спин-зависимых реакций в твердых телах в присутствии МП может представлять интерес не только для физики прочности и пластичности, но и других дисциплин (химии, молекулярной биологии и т.д.).

- 
1. В.И.Альшиц, Е.В.Даринская, Е.А.Петржиц, ФТТ **33**, 3001 (1991).
  2. В.И.Альшиц, Е.В.Даринская, Т.М.Перекалина, А.А.Урусовская, ФТТ **29**, 467 (1987).
  3. Ю.И.Головин, О.Л.Казакова, Р.Б.Моргунов, ФТТ **35**, 1384 (1993).
  4. М.И.Молоцкий, ФТТ **33**, 3112 (1991).
  5. Д.Н.Большуткин, В.А.Десненко, Физика низких температур **7**, 652 (1981).
  6. В.П.Лебедев, В.С.Крыловский, ФТТ **27**, 1285 (1985).
  7. Yu.A.Osip'yan and V.S.Bobrov, Crystal Res. and Technol. **19**, 827 (1984).
  8. М.И.Каганов, В.Я.Кравченко, В.Д.Нащук, УФН **111**, 655 (1973).
  9. Ю.И.Головин, Т.П.Дьячек, В.М.Долгова, Кристаллография **32**, 1468 (1987).
  10. Ю.И.Головин, Р.Б.Моргунов, Письма в ЖЭТФ **58**, 189 (1993).
  11. И.А.Соколик, Е.Л.Франкевич, УФН **111**, 261 (1973).
  12. Р.З.Сагдеев, К.М.Салихов, Ю.Н.Молин, Успехи химии **46**, 569 (1977).