

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАМАГНИЧИВАНИЯ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ NaCl:Ni

А. А. Урусовская, А. Е. Смирнов, Н. Н. Беккауер

*Институт кристаллографии РАН. Москва 117333, Ленинский пр., 59  
Российский университет дружбы народов, 117198, Москва, ул. М.Мая, 6  
e-mail: urusovsk@ns.crys.ras.ru*

Показано, что в случае кристаллов NaCl:Ni магнитное поле оказывает влияние на деформацию не только будучи приложенным в процессе механического испытания, но и в результате предварительного намагничивания. Исследована роль продолжительности намагничивания  $t_m$  в одном и том же магнитном поле и времени  $t_{ам}$ , прошедшего после намагничивания до начала деформации. Деформация производилась как в отсутствие магнитного поля, так и в магнитном поле. Обнаружено немонокотное изменение предела текучести с ростом как  $t_m$ , так и  $t_{ам}$ .

### Введение

Установлено [1-6], что прикладывание магнитного поля в процессе деформации кристаллов влечет за собой изменение их механических характеристик как в сторону упрочнения [1-2], так и разупрочнения [3-5] (макроскопический магнитоэластический эффект). Известны случаи и отсутствия влияния магнитного поля [6]. Помимо макрохарактеристик (предела текучести [4,5] и скорости пластического течения [7]), магнитное поле изменяет подвижность дислокаций [8] и неупругие свойства [9]. Проводились также опыты с разделением во времени магнитного и механического воздействия [10,11]. В [10] наблюдалось увеличение подвижности дислокаций и снижение микротвердости в результате предварительного намагничивания, свидетельствуя о разупрочняющем эффекте. При изучении неупругих свойств (внутреннего трения, измерения стартового напряжения дислокаций по вольт-амперным характеристикам) выявлен противоположный результат – упрочнение, проявляющееся в уменьшении внутреннего трения и росте стартового напряжения [11].

В настоящей работе изучено влияние предварительного намагничивания в слабых магнитных полях на предел текучести кристаллов NaCl, содержащих парамагнитную примесь  $Ni^{2+}$ .

### Методика эксперимента

Объектом исследования служили кристаллы NaCl, выращенные методом Киропулоса из сырья с добавлением в шихту 0.05 вес%  $NiCl_2$ . Суммарное содержание других непредусмотренных примесей не превышало  $10^{-3}$  вес.%. Выколотые по спайности образцы размером около  $2 \times 3 \times 8$  мм<sup>3</sup> подвергались предварительной магнитной обработке в поле постоян-

ного магнита с индукцией 0.45 Т. Были проведены две серии опытов. В первой серии деформацию проводили сразу после окончания намагничивания в течение времени от 3 часов до 7 суток. Во второй серии опытов предварительное намагничивание проводили одинаковое время (1 сутки), а деформацию производили, спустя разное время после намагничивания (от нескольких часов до 25 суток). Для деформирования использована та же установка, что и в [4,5]. В обеих сериях экспериментов деформацию производили как в отсутствие магнитного поля, так и в поле 0,45 Т.

### Результаты эксперимента

На рис.1 приведены зависимости предела текучести  $\sigma_T$  от длительности предварительного намагничивания  $t_m$  в случае деформации сразу после окончания намагничивания. При деформации без магнитного поля (рис.1,а) наблюдается рост предела текучести с увеличением времени намагничивания до 1 суток, а дальнейшее пребывание образцов в магнитном поле сопровождается спадом предела текучести, причем, если первоначальный его рост происходил довольно быстро, то спад предела текучести с дальнейшим увеличением длительности намагничивания происходит более медленно. Несколько отличная картина происходит при деформации в магнитном поле 0.45 Т (рис.1,б). Намагничивание в течение времени менее суток вызывает не упрочнение, а разупрочнение, и лишь при более длительном намагничивании наступает фаза упрочнения, которая продолжается до 3 суток с последующим замедленным спадом.

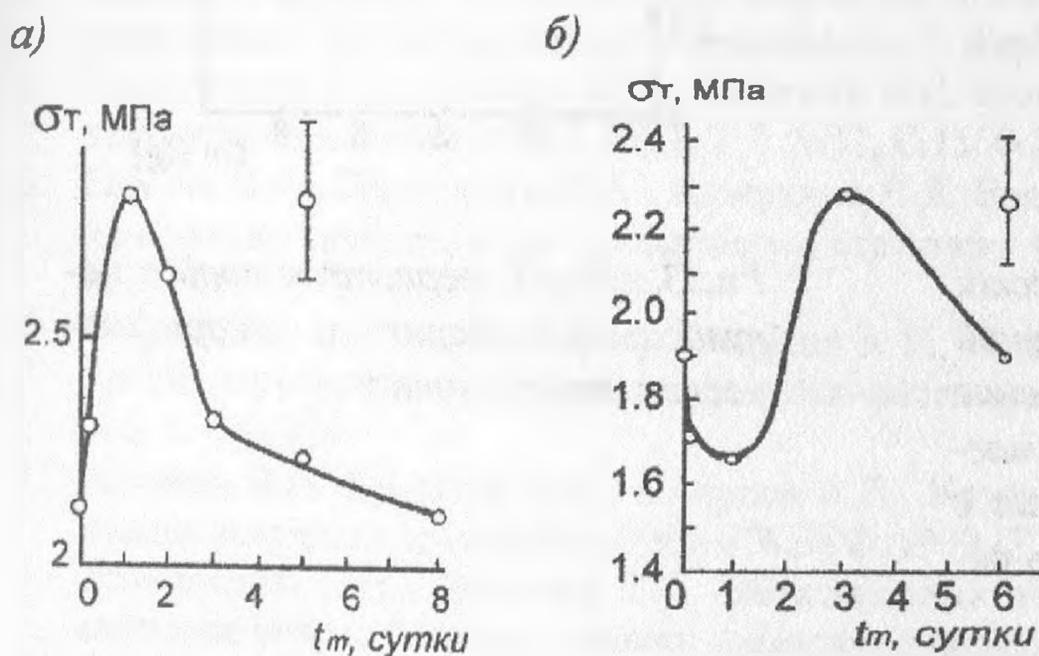


Рис.1. Зависимость предела текучести от времени предварительной магнитной обработки: а – механические испытания при  $B = 0$ ; б – деформация в поле  $B = 0.45$  Т. Скорость деформации  $2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ .

Рис.2 иллюстрирует влияние времени выдержки намагниченных образцов после окончания намагничивания  $t_{ам}$ . В этом случае зависимости  $\sigma_T(t_{ам})$  для деформации при  $B = 0$  и  $B = 0.45$  Т подобны друг другу: выдержка после 1-суточного намагничивания в течение времени до 1 суток вызывает упрочнение, а более длительная выдержка вызывает последующий более замедленный спад.

### Обсуждение

В первой нашей работе по изучению влияния магнитной обработки на механические свойства материалов [12] было установлено, что магнитное поле стимулирует протекание химических реакций в твердых и жидких телах. На примере растворения кристаллов NaCl в 70% этаноле было показано, что в результате магнитной обработки образца и спир-

та растворитель превращается в избирательный травитель из-за снижения растворимости кристалла, вызванного изменением состояний примесей в кристалле и спирте. Перестройки примесных центров происходят в две стадии: сначала происходит распад центров, а затем формирование новых центров за счет коагуляции продуктов распада исходных центров, в том числе на дислокациях. В работе [9] экспериментально установлено, что упрочнение, вызванное предварительным намагничиванием, обусловлено увеличением количества центров закрепления на дислокациях. Первая стадия характеризуется полулогарифмической зависимостью предела текучести от времени намагничивания  $\sigma_T \sim \lg t_m$ , а вторая – логарифмической зависимостью  $\lg \sigma_T \sim \lg t_m$ . На рис.3 приведен график, построенный по данным рис.1. Он подтверждает справедливость указанных выше закономерностей.

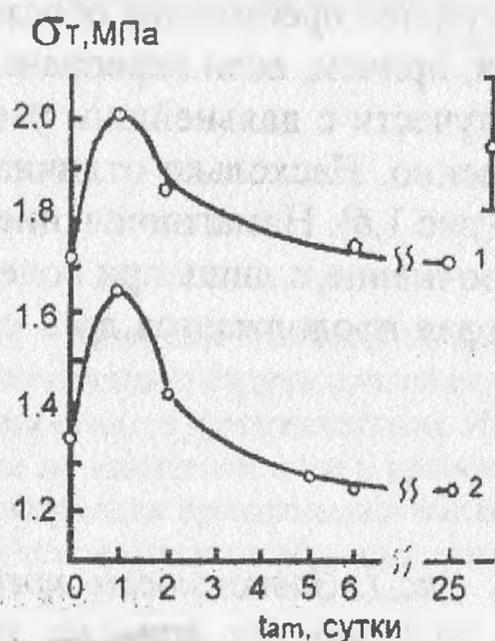


Рис.2. Зависимость предела текучести от времени, прошедшего после магнитной обработки в поле  $B = 0.45 \text{ Т}$  в течение 1 суток. Кривая 1 – деформация без магнитного поля; кривая 2 – деформация в магнитном поле  $B = 0.45 \text{ Т}$ . Скорость деформации та же.

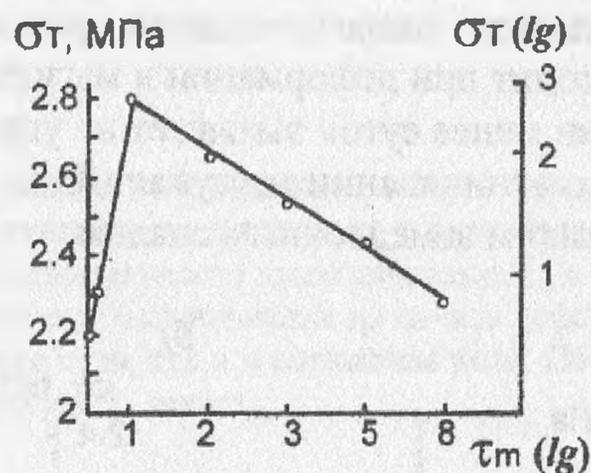


Рис.3. Рис.1, перестроенный в полулогарифмических и логарифмических координатах.

Приведенные в данной работе экспериментальные результаты (рис.2) свидетельствуют о том, что вызванные магнитной обработкой изменения состояния парамагнитной примеси и дислокаций сохраняются какое-то время (около недели) и после окончания обработки. Однако возврат к исходному состоянию происходит стадийно: в первые часы (до суток) идет скапливание центров и лишь позднее они рекомбинируют.

Особого внимания заслуживает случай первоначального спада предела текучести образцов, деформированных в магнитном поле непосредственно после кратковременного намагничивания (рис.1,б). Следует вспомнить, что аналогичный эффект наблюдали авторы работы [11], а в опытах Ю.И.Головина с сотр. [10] время намагничивания не превышало одних суток. Таким образом, наши результаты и данные работ предшественников [10,11] можно считать не противоречащими друг другу, тем более, что все эксперименты проводились разными методами.

### Выводы

1. Магнитное воздействие изменяет предел текучести, не только будучи приложенным в процессе деформации, но и в случае намагничивания до механического испытания.
2. В случае предварительного намагничивания играют роль как время пребывания кристалла в магнитном поле, так и период после окончания магнитного воздействия.
3. В обоих случаях предварительной магнитной обработки изменение предела текучести по мере роста времени намагничивания или времени релаксации после магнитной обработки происходит в две (подъем-спад) или три (спад-подъем-спад) стадии.
4. Найденные немонотонные зависимости находятся в согласии с существующими моделями процессов перестройки локальных центров в твердых телах под влиянием магнитного поля.

Авторы выражают глубокую признательность Ю.И.Головину за обсуждение данной работы.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 00-02-16233)*

### Список литературы

1. Galligan J.M., Pang C.S. The electron drag on the mobile dislocations in copper and aluminium at low temperatures, strain-rates and field dependence. // J. Appl. Phys. 1979. Vol.50, N 10 P.6253-6258.
2. Крыловский В.С., Лебедев В.П., Хоткевич В.И. Влияние магнитного поля до 67 кЭ на предел текучести алюминия. // ФНТ. 1981. Т.7. N 12. С.1550-1557.
3. Павлов В.А., Перетурина И.А., Печеркина И.Л. Влияние постоянного магнитного поля на механические свойства и дислокационную структуру ниобия и молибдена. // Физ. мет. и металловед. 1979. Т.47, N 11. С.171-179
4. Урусовская А.А., Альшиц В.И., Смирнов А.У., Беккауер Н.Н. О влиянии магнитного поля на предел текучести и кинетику макропластичности кристаллов LiF. // Письма в ЖЭТФ. 1997. Т.65, N 6. С.470-474
5. Альшиц В.И., Беккауер Н.Н., Смирнов А.Е., Урусовская А.А. Влияние магнитных полей на предел текучести кристаллов NaCl. // ЖЭТФ. 1999. Т.115, N 3. С. 951-958
6. Большуткин Д.Н., Десненко В.А. Об изменении деформирующего напряжения нормальных металлов при наложении и снятии магнитного поля. // ФНТ. 1981. Т.7, N 5. С.652-657
7. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. Влияние постоянного магнитного поля на скорость пластического течения монокристаллов NaCl:Ca. // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 61, N 7. С. 583-586
8. Альшиц В.И., Даринская Е.В., Перекалина Т.М., Урусовская А.А. О движении дислокаций в кристаллах NaCl под действием постоянного магнитного поля. // ФТТ. 1987. Т.20, N 2. С. 467-470
9. Тяпунина Н.А., Красников В.Л., Белозерова Э.П. Влияние магнитного поля на неупругие свойства кристаллов LiF. // ФТТ. 1999. Т.41, N 6. С. 1035-1040
10. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. Магнитная память дислокаций в монокристаллах NaCl. // Письма в ЖЭТФ 1993. Т.58, N 3. С. 189-192
11. Тяпунина Н.А., Красников В.Л., Белозерова Э.П. Влияние магнитного поля на неупругие свойства KBr. // Кристаллография. 2000. Т. 45, N 1. С. 156-159
12. Каневский В.М., Дистлер Г.И., Смирнов А.Е., Герасимов Ю.М., Кортукова Е.И., Урусовская А.А., Горюнов Е.С. Исследование влияния импульсного магнитного поля на растворимость кристаллов NaCl. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1984. Т.48, N 12. С. 2408-2413