

05.1;12

©1993

АНОМАЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ NaCl

Ю.С.Боярская, Р.П.Житару, Н.А.Палистрант

Концентрационные зависимости предела текучести (σ_y) для легированных щелочно-галогидных кристаллов (ШГК) изучены довольно хорошо [1-9]. Обычно они имеют вид, представленный на рис. 1. Вначале при введении примеси в ШГК происходит рост предела текучести (кривая 1, участок АВ кривой 2) вследствие увеличения количества стопоров, препятствующих движению дислокаций, или возрастания их мощности. Затем (в некоторых случаях) наблюдается уменьшение σ_y (участок ВС кривой 2) [1,10]. Появление этой стадии связано, по-видимому, с образованием довольно крупных преципитатов.

Однако нами при проведении детальных исследований на кристаллах NaCl:Pb (одноосное сжатие на машине Instron проводилось в широком интервале температур (77-673 К) и скоростей деформирования $\dot{\epsilon}$ ($8.3 \cdot 10^{-6} - 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$)) был обнаружен совершенно неожиданный вид кривых $\sigma_y(C)$ (рис. 2). На рис. 2 приведены результаты для $\dot{\epsilon} = 1.7 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$; для других $\dot{\epsilon}$ получены аналогичные закономерности. Из рисунка следует, что при низких температурах деформирования ($T < 293 \text{ К}$) зависимости $\sigma_y(C)$ являются вогнутыми кривыми с минимумом при $C = 2 \cdot 10^{-3}$ мол.%, особенно хорошо выраженным при $T = 77 \text{ К}$ (рис. 2, кривая 1). При более высоких температурах вогнутость менее заметна (рис. 2, кривые 4, 5), а при наибольшей из использованных температур (673 К) концентрационная зависимость предела текучести принимает обычный вид (рис. 2, кривая 6).

В работах [9,11] на зависимостях $\sigma_y(C)$, полученных для кристаллов NaCl:Pb при $T = 77 \text{ К}$, также имелись минимумы в области концентраций $\sim 10^{-3}$ мол.%. Однако авторы не анализировали этот факт, т.к. экстремумы были выражены не столь ярко, как в настоящей работе. Подобные минимумы наблюдались и на концентрационных зависимостях микротвердости [9,11]. Это показывает, что аномальное поведение кристаллов NaCl:Pb проявляется не только при однородном напряженном состоянии, но и при неоднородном, т.е. носит довольно универсальный характер.

Рассмотрим, чем может быть вызвано появление необычных концентрационных зависимостей предела текучести (рис. 2). Pb²⁺ является плохо растворимой примесью в кристаллах NaCl. Поэтому даже при самой небольшой из использованных нами концентра-

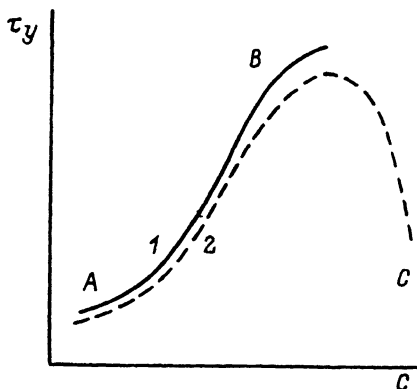


Рис. 1. Схематический вид концентрационных зависимостей предела текучести для ШГК. 1 — кривая, имеющая только восходящую ветвь; 2 — кривая с максимумом.

ций ($2 \cdot 10^{-4}$ мол.%) возможно образование примесных комплексов.* При увеличении концентрации Pb^{2+} происходит процесс преципитации, образование более крупных дефектов, которые являются менее эффективными стопорами для движения дислокаций, чем имевшиеся при $C = 2 \cdot 10^{-4}$ мол.%. Кроме того, процесс преципитации “очищает” матрицу кристалла от более мелких примесных комплексов. Все это приводит к понижению предела текучести, т.е. к участку DE на зависимости $\sigma_y(C)$ (рис. 1). Начиная с некоторой концентрации примеси (точка E , рис. 2) наряду со “старыми” преципитатами в матрице кристалла образуются и новые примесные комплексы, являющиеся дополнительными и, возможно, более эффективными препятствиями для движения дислокаций. Это приводит к росту предела текучести, т.е. к ветви EF на кривой $\sigma_y(C)$ (рис. 2). Таким образом, участок EF соответствует участку AB на обычной концентрационной зависимости σ_y (рис. 1). При повышении температуры деформирования увеличивается растворимость примеси и при $T = 673$ К аномальное поведение зависимостей $\sigma_y(C)$ отсутствует (рис. 2, кривая б).

Прямым подтверждением предложенному объяснению служат картины декорирования, полученные ранее на $NaCl:Pb$ при разных концентрациях примеси [12]. Действительно, при $C \sim 10^{-4}$ и $\sim 10^{-2}$ мол.% на поверхности кристалла наблюдалась гораздо большая концентрация декорирующих частиц, а значит, и примесных дефектов, чем при концентрации $\sim 10^{-3}$ мол.%, соответствующей минимуму предела текучести (рис. 2).

В пользу приведенной интерпретации свидетельствует и наличие экстремума при $C = 2 \cdot 10^{-3}$ мол.% примеси на концентрационной зависимости разности потенциалов, возникающей при микро-

* Нами были использованы кристаллы $NaCl:Pb$, не подвергавшиеся закалке или другой обработке перед деформированием.

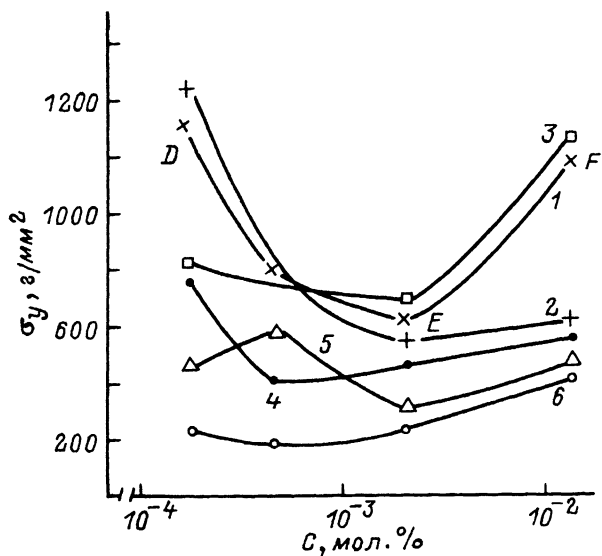


Рис. 2. Концентрационные зависимости предела текучести для кристаллов NaCl:Pb при разных температурах деформирования. Т, К: 1 — 77, 2 — 150, 3 — 220, 4 — 293, 5 — 373, 6 — 673.

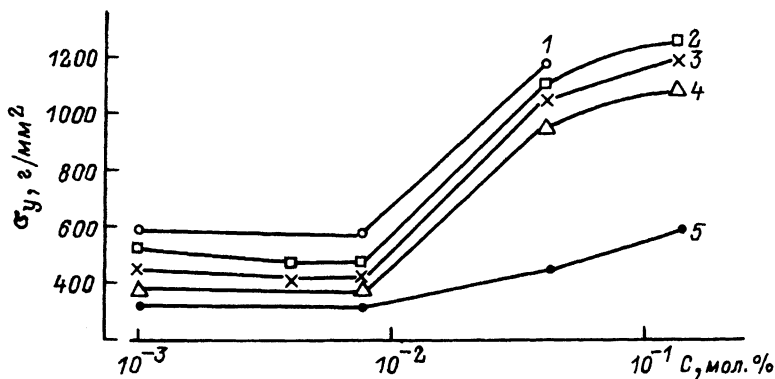


Рис. 3. Концентрационные зависимости предела текучести для кристаллов NaCl:Ca при разных температурах деформирования. Т, К: 1 — 77, 2 — 150, 3 — 220, 4 — 293, 5 — 373, 6 — 673. $\epsilon = 3.3 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$.

идентификации монокристаллов NaCl:Pb [13]. Предложенное объяснение подтверждается также фактом, что на кристаллах, содержащих хорошо растворимую в NaCl примесь Ca^{2+} , нами были получены вполне обычные зависимости $\sigma_y(C)$ (рис. 3).

Список литературы

- [1] *Сойфер Л.М.* В сб.: Физика конденсированного состояния. Харьков: ФТИИТ. 1973. Вып. 2. С. 45-64.
- [2] *Блистанов А.А., Тагиева М.М., Шаскольская М.П.* В сб.: Дефекты в оптических монокристаллах. М.: Металлургия. 1976. N 88. С. 4-10.
- [3] *Флейшер Р., Хиббард У.* В кн.: Структура и механические свойства металлов. М., 1967. С. 85-127.
- [4] *Андреев Т.А., Смирнов Б.И.* // Проблемы прочности. 1971. N 10. С. 122-124.
- [5] *Mitchell T.E., Heuer A.H.* // Mat. Sci. Eng. 1977. V. 28. P. 81-97.
- [6] *Frohlich F., Grau P., Suszynska M.* // Phys. Stat. Sol. (a). 1976. V. 34. P. 165-173.
- [7] *Шаркези И., Предводителев А.А.* // Вестник МГУ, сер. 3. Физика и астрономия. 1981. Т. 22. С. 101-104.
- [8] *Urusovskaya A.A., Darinskaya E.V., Vozzka R., Jansky J.* // Cryst. Res. and Tech. 1981. V. 16. P. 597-601.
- [9] *Боярская Ю.С., Житару Р.П., Линте М.А.* Связь между различными параметрами пластической деформации легированных кристаллов NaCl в интервале температур 77-773 К. Препринт ИПФ АН РМ. Кишинев, 1983.
- [10] *Боярская Ю.С., Житару Р.П., Мурашовский И.Е.* Закономерности разупрочнения легированных кристаллов NaCl в интервале температур 4.2-293 К. Депонирована в ВИНИТИ. N 3151-B91. 1991.
- [11] *Boyarckaya Yu.S., Zhitaru R.P., Linte M.A.* // Cryst. Res. and Tech. 1984. V. 19. P. 101-109.
- [12] *Линте М.А.* Влияние точечных дефектов на микротвердость и другие параметры пластической деформации монокристаллов NaCl. Кандидатская диссертация. Кишинев. 1985. 240 с.
- [13] *Боярская Ю.С., Кац М.С., Тюрин А.И., Палистрант Н.А.* В сб.: Влияние дислокационной структуры на свойства металлов и сплавов. Тула, 1991. С. 25-31.

Институт прикладной физики
АН Республики Молдова,
Кишинев

Поступило в Редакцию
18 мая 1993 г.