

05.1;12

©1995

О НАРУШЕНИИ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ МИКРОТВЕРДОСТЬЮ И ПРЕДЕЛОМ ТЕКУЧЕСТИ

*Ю.С.Боярская, Р.П.Житару, М.А.Линте,
И.Е.Мурашовский*

Хорошо известно, что изменение твердости материалов под влиянием каких-либо факторов коррелирует с изменением предела текучести [1-5]. Это мнение настолько общепринято, что даже в энциклопедии приведены сведения о том, что твердость (H) меняется в том же направлении, что и предел текучести ($\sigma_{\text{тек}}$) [6]. Для металлов была предложена формула, связывающая эти параметры [1,2]:

$$H = C\sigma_{\text{тек}}, \quad (1)$$

где C — константа, близкая к трем. Впоследствии подобные соотношения наблюдались и для других материалов [5,7-10].

Однако в настоящей работе на кристаллах $\text{NaCl}:\text{Mn}$ обнаружено четкое нарушение корреляции между концентрационными зависимостями микротвердости по Виккерсу и пределом текучести (рис. 1)*. Из рис. 1 следует, что зависимость $\sigma_{\text{тек}}(c)$ имеет вид кривой с минимумом (кривая 1), а $H(c)$ — кривой с максимумом (кривая 2). Причем при одной и той же концентрации (10^{-2} мол.%) наблюдается минимум предела текучести и максимум микротвердости (кривые 1, 2, рис. 1). Вследствие такого несогласованного изменения исследуемых параметров зависимость $\sigma_{\text{тек}}(H)$ имеет необычный вид (рис. 2) — при уменьшении $\sigma_{\text{тек}}$ имеет место рост микротвердости.

Из литературы известно, что для разных материалов наблюдается отклонение от формулы Тэбора (1) [3-5,10]. Однако в основном оно сводится к тому, что константа C принимает различные значения, часто заметно отличающиеся от трех. Кристаллы $\text{NaCl}:\text{Mn}$ являются первым примером, свидетельствующим, что $\sigma_{\text{тек}}$ и H под влиянием одних и тех же факторов могут изменяться в противоположных направлениях.

* Микротвердость измерялась с помощью прибора ПМТ-3 на плоскости скола (001) при нагрузке на индентор 10 г. Предел текучести определялся из опытов по одноосному сжатию вдоль оси [001] на машине Instron, скорость деформации $1.5 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Эксперименты проводились при комнатной температуре.

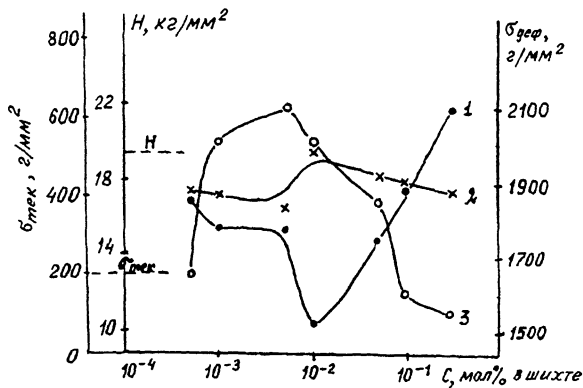


Рис. 1. Концентрационные зависимости предела текучести (1), микротвердости (2) и деформирующего напряжения $\sigma_{деф}$ при $\epsilon = 8.5\%$ (3) для кристаллов NaCl:Mn. Штриховые линии указывают значения $\sigma_{тек}$ и H для нелегированных кристаллов.

Одной из причин этого может явиться тот факт, что вдавливание индентора при измерении микротвердости производится в деформационно-упрочненный материал. В области отпечатка достигается пластическая деформация $\epsilon \sim 10\%$ [11]. Поэтому целесообразно сравнить поведение микротвердости и деформирующего напряжения $\sigma_{деф}$ при $\epsilon \sim 10\%$. Из рис. 1 следует, что зависимость $\sigma_{деф}(c)$, как и зависимость $H(c)$, характеризуется кривой с максимумом (кривая 3, рис. 1), т. е. действительно имеется лучшее соответствие между поведением H и $\sigma_{деф}$, чем H и $\sigma_{тек}$.

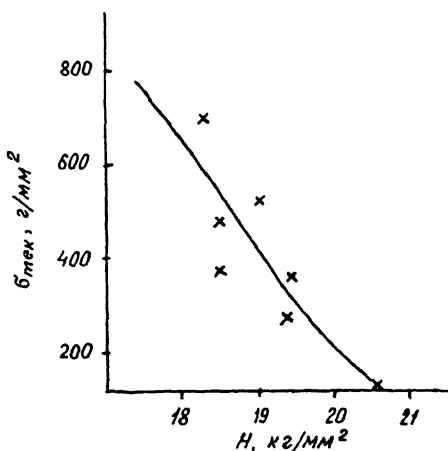


Рис. 2. Зависимость предела текучести от микротвердости для кристаллов NaCl:Mn.

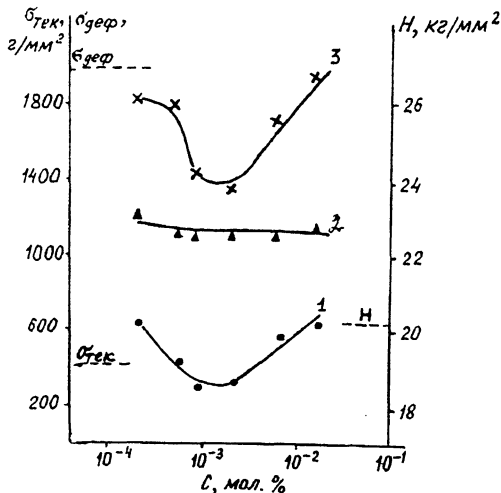


Рис. 3. Концентрационные зависимости предела текучести (1), микротвердости (2) и деформирующего напряжения при $\epsilon = 10\%$ (3) для кристаллов NaCl:Pb.

Можно предположить, что наблюдаемые во многих материалах согласованные изменения микротвердости и предела текучести имеют место тогда, когда поведение $\sigma_{\text{тек}}$ коррелирует с поведением $\sigma_{\text{деф}}$. В том же случае, когда такой корреляции нет, изменения микротвердости согласуются с изменениями деформирующего напряжения, а не предела текучести.

Однако эксперименты, проведенные на NaCl:Pb, показывают, что это предположение не оправдывается (рис. 3). Из рис. 3 следует, что для кристаллов NaCl:Pb изменение предела текучести при повышении концентрации примеси (кривая 1) хорошо согласуется с изменением деформирующего напряжения (кривая 3), поведение же микротвердости (кривая 2) не коррелирует ни с поведением $\sigma_{\text{тек}}$, ни с изменением $\sigma_{\text{деф}}$ *. Наличие таких ситуаций связано, по-видимому, со спецификой напряженного состояния при микроиндентировании, которое резко отличается от напряженного состояния при одноосном сжатии. При действии сосредоточенной нагрузки обычно оказываются активными все возможные системы скольжения, происходят взаимодействия дислокаций этих систем, в области около отпечатков индентора возникает высокая плотность дефектов и т. п. Для одноосной же деформации специфична другая картина деформирования. Однако в ряде случаев параметры пластической

* Причина появления необычной концентрационной зависимости $\sigma_{\text{тек}}(c)$ для кристаллов NaCl:Pb обсуждена ранее в [12].

деформации, характерные для обоих видов напряженного состояния ($\sigma_{\text{тек}}$, $\sigma_{\text{деф}}$, H), могут определяться одними и теми же основными факторами, тогда между ними наблюдается хорошая корреляция. Например, для кристаллов NaCl:Ca таким фактором является подвижность дислокаций [5,10]. В этих кристаллах имеется хорошая корреляция между пределом текучести, подвижностью дислокаций в поле сосредоточенной нагрузки и микротвердостью. Для них изменения H пропорциональны изменениям $\sigma_{\text{тек}}$, т. е. выполняется зависимость, аналогичная формуле Тabora (1).

Подводя итог изложенному, можно заключить следующее. Априори нельзя считать, что микротвердость и предел текучести меняются подобным образом под влиянием каких-либо факторов (например, при легировании). Их изменения могут различаться не только по величине, но и качественно (при увеличении одного параметра под воздействием каких-либо факторов происходит уменьшение другого). Наличие той или иной ситуации зависит от свойств исследуемого материала и специфики факторов, влияющих на изменения микротвердости и предела текучести.

Список литературы

- [1] *Tabor D.* The Hardness of Metals. Oxford, Clarendon Press, 1953.
- [2] *Tabor D.* // British Journ. Appl. Phys. 1956. V. 7. С. 159-166.
- [3] *Gerk A.P.* // Journ. Mat. Sci. 1977. V. 12. С. 735-738.
- [4] *Swain M.K., Lawn B.R.* // Phys. Stat. Sol. 1969. V. 35. P. 909-924.
- [5] *Боярская Ю.С., Грабко Д.З., Кац М.С.* Физика процессов микроиндентирования. Кишинев: Штиинца, 1986. с. 294.
- [6] *Энциклопедия неорганических материалов.* Киев, 1977. С. 500.
- [7] *Sargert P.M., Donovan P.E.* // Scr. Metal. 1982. V. 16. P. 1207-1212.
- [8] *Chin G.L., Van Uitert L.G., Green M.L., Zydzik G.* // Scr. Met. 1972. V. 6. P. 475-479.
- [9] *Боярская Ю.С., Житару Р.П., Кац М.С.* и др. // ФХОМ. 1981. № 6. С. 75-81.
- [10] *Boyaraska Yu.S., Zhitaru R.P., Linte M.A.* // Cryst. Res. Technol. 1984. V. 19. P. 101-109.
- [11] *Васаускас С.С.* // Исследования в области измерения твердости. М.; Л.: Изд-во стандартов, 1967. С. 33-38.
- [12] *Боярская Ю.С., Житару Р.П., Палистрант Н.А.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. С. 60-63.

Институт прикладной физики
АН Молдовы
Кишинев

Поступило в Редакцию
12 июля 1995 г.