

$\sim 10^{-3}$ Ом $^{-1}$.см $^{-1}$. (рис. 2). Характерно, что проводимость расплава лишь незначительно выше проводимости суперионной фазы IV (рис. 2). В этой фазе предэкспонента $A=0.8 \cdot 10^3$ Ом $^{-1}$.см $^{-1}$ · К и энтальпия активации $H_a=0.26 \pm 0.05$ эВ имеют значения, типичные для суперионных фаз других кристаллов группы MeHAO $_4$ [6].

Таким образом, гидростатическое давление $P \geq 0.29$ ГПа индуцирует в RHS суперионную фазу IV, температурная область стабильности которой расширяется при повышении давления.

Незначительное различие проводимости расплава и суперионной фазы IV указывает на то, что транспортные характеристики протонов существенно не зависят от наличия дальнего трансляционного порядка в системе тяжелых ионов. С другой стороны, из анализа фазовой P — T -диаграммы RHS следует, что объем расплава вблизи тройной точки на 10—20 % больше объема фазы I, а объем суперионной фазы на 2 % меньше объема фазы I. Следовательно, можно предполагать, что динамическая сетка водородных связей принципиально не меняется при переходе из расплава в фазу IV, т. е. расплав является «квазикристаллическим». Этот вывод согласуется с обсуждаемой выше аномальной зависимостью $T_s(P)$ для этого кристалла.

Л и т е р а т у р а

- [1] *Pepinsky R., Vedau K.* Phys. Rev., 1960, vol. 117, N 6, p. 1502—1504.
- [2] *Ashmore J. P., Petch H. E.* Can. J. Phys., 1975, vol. 53, p. 2694—2702.
- [3] *Gesi K., Ozawa K. J.* Phys. Soc. Japan, 1973, v. 35, N 4, p. 1268—1269.
- [4] *Баранов А. И., Шувалов Л. А., Щагина Н. М.* Письма в ЖЭТФ, 1982, т. 36, № 11, с. 381—383.
- [5] *Москвич Ю. Н., Суховский А. А., Розанов О. В.* ФТТ, 1984, т. 26, № 1, с. 38—43.
- [6] *Baranov A. I., Fedosyk R. M., Schagina N. M., Shivalova L. A.* Ferroelectric Lett., 1984, vol. 2, p. 25—28.
- [7] *Понятовский Е. Г., Ращупкин В. И., Сеницын В. В.* и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 41, № 3, с. 114—116.
- [8] *Баранов А. И., Понятовский Е. Г., Сеницын В. В.* и др. Кристаллография, 1985, т. 30, № 6, с. 1121—1123.
- [9] *Баранов А. И., Сеницын В. В., Понятовский Е. Г., Шувалов Л. А.* Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 44, № 4, с. 186—189.
- [10] *Ubbelohde A. R.* Melting and Crystal Structure. Clarendon Press, Oxford, 1965.
- [11] *Baranowski B., Friesel M., Lunden A. Z.* Naturforsch., 1986, vol. 41a, p. 981—982.
- [12] *Classer L.* Chem. Rev., 1975, vol. 75, p. 21—33.

Институт физики твердого тела АН СССР
Черноголовка
Московская область

Поступило в Редакцию
18 февраля 1988 г.

УДК 539.213.1 : 548.4

Физика твердого тела, том 30, в. 9, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 9, 1988

ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛОС СДВИГА ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ АМОРФНОЙ СРЕДЫ

В. С. Бойко, Л. Ф. Кривенко, О. В. Черный, А. М. Бовда

Характерной особенностью пластической деформации аморфных тел в области низких (по сравнению с температурой кристаллизации) температур является образование полос сдвига (см., например, [1⁻⁵]). Их появление существенно изменяет свойства материала. Полосы сдвига обычно формируются при сжатии, изгибе, прокатке. Стандартные механические испытания аморфных материалов сопряжены с определенными трудностями (подробнее см. [5]). Метод локального нагружения кажется весьма перспективным и позволяет надеяться на продвижение в области понима-

ния физической природы пластической деформации аморфных тел. В [6] при локальном нагружении методом избирательного травления выявлены розетки фигур травления вокруг отпечатка индентора. Целью данной работы являлось исследование характера формирования полос сдвига при локальном нагружении аморфной среды.

Объектом исследования являлась лента из аморфного сверхпроводящего сплава $\text{Cu}_{57}\text{Ti}_{43}$ с 10 % Nb. Толщина ленты 0.02—0.09, ширина 2 мм. Локальное нагружение производилось путем микроиндентирования на приборе ПМТ-3 с помощью алмазной пирамиды при комнатной температуре. Примерно в 20 % случаев вокруг отпечатка возникает веер полос сдвига (рис. 1). При локальном нагружении кристаллов [7] число лучей,

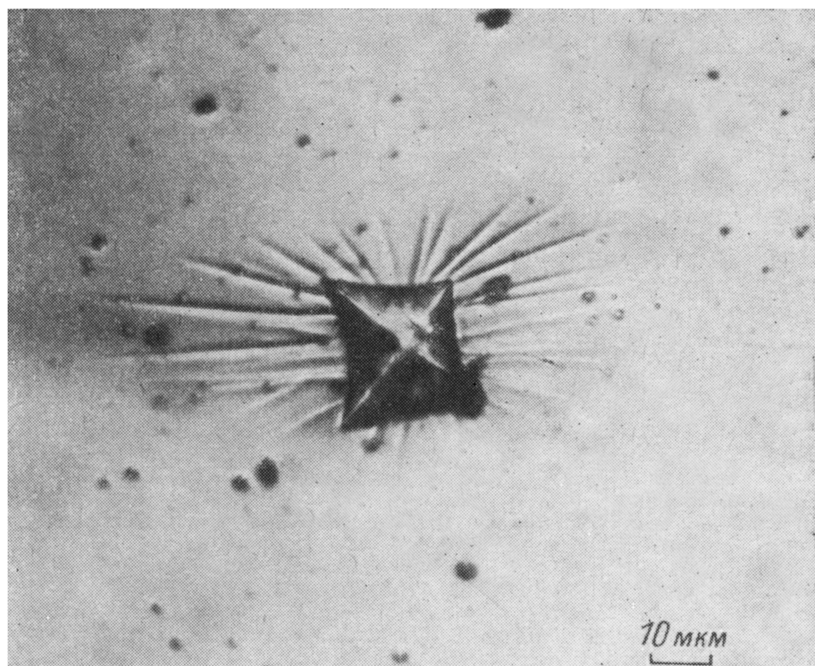


Рис. 1. Веер полос сдвига вокруг отпечатка алмазной пирамиды при микроиндентировании сплава $\text{Cu}_{57}\text{Ti}_{43}$ с 10 % Nb.

возникающих в дислокационных решетках, невелико и определяется кристаллографией скольжения. В аморфном материале полная изотропия приводит к одновременному образованию большого числа лучей. Поскольку дислокационный механизм пластической деформации аморфных тел рассматривается как один из вероятных (подробнее см [4, 5]), попытаемся описать поведение полос сдвига в дислокационных терминах. В кристалле по зависимости длины дислокационной розетки L от нагрузки P можно оценить стартовые напряжения движения дислокаций σ_{cr} [7]. Рассматривают либо изолированную дислокацию в поле сосредоточенной нагрузки, либо (более последовательный подход) равновесие в этом поле плоского скопления дислокаций. В нашем случае мы сталкиваемся с новой ситуацией — полосы сдвига расположены столь близко друг к другу, что возникает необходимость учета взаимодействия не только между дислокациями в скоплении, но и между самими скоплениями. В [8] рассмотрено равновесие во внешних полях стенки взаимодействующих упругих доменов в виде плоских скоплений дислокаций. Розетку полос сдвига в нашем случае можно качественно рассматривать как участок такой стенки, «свернутый» в кольцо. Тогда, согласно [8], $L \sim \sigma^2(0) \cdot R / \sigma_{cr}$, где $\sigma^e(0)$ — напряжения, локализованные вблизи начала координат; R — область лока-

лизации нагрузки. Оценивая $\sigma^e(0) \sim P/d^2$, $R \sim d$ (d — диагональ отпечатка), получаем $L \sim P$, $\sigma_{cr} \sim P/(dL)$.

На рис. 2 представлена полученная экспериментально зависимость $L(P)$, которая близка к линейной. Подстановка экспериментальных значений дает $\sigma_{cr} \sim 10^2 \div 10^3$ МПа. Под σ_{cr} аналогично [1] следует, по-видимому, понимать предел текучести аморфного тела при наличии в нем полос сдвига. С помощью микроинтерферометра МИИ-4 определялась форма ступеньки, создаваемой индивидуальной полосой сдвига на поверхности. Высота ступеньки у основания полосы $h(0) \sim 0.1$ мкм; $h(x)$ плавно убывает по мере удаления от отпечатка аналогично микродвойникам в Zr [9] и двойникам в кальците [10]. С помощью методики регистрации акустической эмиссии (АЭ) [9, 11] проводилось изучение АЭ в процессе локального нагружения аморфной среды. Каких-либо заметных сигналов эмиссии обнаружить не удалось.¹ При микроиндентировании исследуемого материала после его перевода в кристаллическое состояние наблюдается интенсивная АЭ. В углах отпечатка наблюдаются трещины. Их отсутствие в аморфном состоянии неудивительно, поскольку вязкость разрушения в этом случае в несколько раз больше [2]. Поверхностная энергия границы полосы сдвига невелика [1]. Поэтому, согласно [11], «вход» такой поверхности в кристалл не должен вызывать заметной АЭ.

Таким образом, возникающие в процессе локального нагружения аморфной среды полосы сдвига ведут себя как скопления объектов, обладающих дальнедействующими упругими полями, и допускают описание в терминах плоских скоплений дислокаций.²

Пользуемся случаем выразить признательность А. С. Бакаю, В. З. Бенгусу за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

- [1] Бакай А. С. Поликластерные аморфные тела. М.: Энергоатомиздат, 1987. 192 с.
- [2] Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. М.: Металлургия, 1987. 328 с.
- [3] Donovan P. E., Stobbs W. M. Acta Met., 1981, vol. 29, N 8, p. 1419—1436.
- [4] Золотухин И. В., Беляевский В. И., Хоник В. А. ФТТ, 1985, т. 27, № 6, с. 1788—1794.
- [5] Глезер А. М., Молотилов Б. В., Утевская О. Л. Металлофизика, 1983, т. 5, № 1, с. 29—45.
- [6] Скаков Ю. А., Финкель М. В. Изв. вузов. Черная металлургия, 1986, № 9, с. 84—88.
- [7] Боярская Ю. С., Грабко Д. З., Кац М. С. Физика процессов микроиндентирования. Кишинев: Штиинца, 1986. 294 с.
- [8] Бойко В. С., Косевич А. М., Фельдман Э. П. ФТТ, 1987, т. 29, № 1, с. 170—177.
- [9] Бойко В. С., Иванченко Л. Г., Кривенко Л. Ф. ФТТ, 1984, т. 26, № 6, с. 2207—2209; 1985, т. 27, № 1, с. 300.
- [10] Бойко В. С., Гарбер Р. И., Кривенко Л. Ф. и др. ФТТ, 1972, т. 14, № 6, с. 1632—1638.
- [11] Бойко В. С., Кривенко Л. Ф. ФТТ, 1988, т. 30, № 3, с. 716—723.
- [12] Лексовский А. М., Виноградов А. Ю., Смирнов В. В. Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, № 11, с. 641—645.

Харьковский физико-технический институт АН УССР
Харьков

Поступило в Редакцию
1 марта 1988 г.

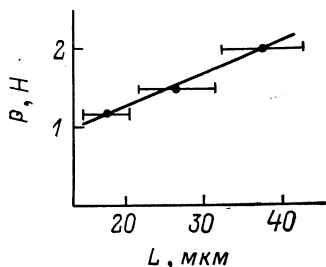


Рис. 2. Экспериментальная зависимость длины полос сдвига L от нагрузки на индентор P .

¹ Сигналы АЭ при образовании макроскопических полос сдвига в процессе активного растяжения образцов аморфных сплавов наблюдались в [12].

² Поскольку вводимые в полосу сдвига дислокации реальны в континуальном приближении, но не имеют четкой локализации ядер [1], то использование модели плоского скопления дислокаций с непрерывной плотностью распределения в этом случае, вообще говоря, даже более оправдано, чем в кристаллической среде.