

## АТЕРМИЧЕСКАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ДИСЛОКАЦИЙ В КСІ ПРИ НИЗКИХ НАПРЯЖЕНИЯХ

Г. Н. Ермолаев, С. И. Ниненко, А. А. Урусовская

При изучении пробегов краевых дислокаций в кристаллах КСІ в зависимости от формы и величины импульса нагрузки обнаружено [1], что при напряжениях ниже предела текучести  $\tau_T$  движение дислокаций носит различный характер на разных этапах импульсного нагружения. На фронте нарастания нагрузки движение дислокаций безактивационное, а в области плато импульса — термоактивированное. Такой вывод основан на большей длине пробега дислокаций на фронте нарастания напряжений при температуре 77 К по сравнению с пробегом при комнатной температуре. Поскольку приложенные напряжения довольно низкие от 0.4 до 1.5  $\tau_T$ , безактивационное движение дислокаций нельзя трактовать как результат вязкого торможения.

В настоящей работе поставлена задача выяснить, какие факторы определяют движение дислокаций на фронте нарастания нагрузки. С этой целью расширен интервал приложенных напряжений в сторону еще более низких значений  $\tau$  и более детально изучена роль скорости нагружения. Объектом исследования служили те же кристаллы КСІ, что и в [1]. Режим термообработки и методика приготовления образцов описаны в [1, 2]. Дислокации вводились в кристалл при раскалывании. После этого кристаллы отжигали и полировали наклепанный поверхностный слой. Пробеги замеряли после первого, второго и третьего нагружения на чистый изгиб при различных нагрузках. При этом оказалось, что дислокации пробегают одинаковые расстояния после каждого нагружения при прочих равных условиях. Нагружение осуществлялось по следующим схемам: 1) при фиксированных временах нарастания нагрузки  $t_\phi \sim 5$  и 150 мс варьировали скорость нагружения от 3.5 до 1000 МПа/с и напряжение  $\tau$  от 0.3 до 3.6 МПа; 2) при фиксированных скоростях роста нагрузки  $\dot{\tau} \approx 100$  и 15 МПа/с варьировали  $t_\phi$  до 150 мс и  $\tau$  до 2.4 МПа. Эксперименты проводили при температурах 295 и 77 К. Предел текучести составлял при этих температурах 2.5 и 5.2 МПа соответственно.

Результаты измерений пробегов краевых дислокаций в зависимости от сдвиговых напряжений  $\tau$  при различных условиях нагружения приведены на рис. 1. Рассмотрим сначала результаты, полученные при комнатной температуре. Кривая 1 (рис. 1) получена при фиксированном  $t_\phi = 150$  мс. При этом напряжение  $\tau$  менялось за счет изменения крутизны фронта, т. е. скорости нагружения от 3.5 до 15.2 МПа/с, что также может приводить к наблюдаемому росту пробега  $l$  от 20 до 40 мкм. Действительно, если зафиксировать  $\dot{\tau} = 15$  МПа/с и менять напряжение  $\tau$  за счет изменения времени нагружения  $t_\phi$  на фронте нарастания нагрузки, то картина резко меняется (рис. 1, кривая 2):  $l(\tau)$  растет только в диапазоне напряжений 0.2–0.63 МПа, а выше этого напряжения пробег остается постоянным, т. е. движение дислокаций прекращается. Это свидетельствует о том, что увеличение пробега  $l(\tau)$  (кривая 1) при  $\tau > 0.63$  МПа вызвано ростом не  $\tau$ , а  $\dot{\tau}$ . Кривая 3 получена при  $t_\phi \approx 5$  мс и скоростях нагружения от 100 до 1000 МПа/с. На кривой отдельно отмечены точки, для которых  $t_\phi = 3.5 \div 6$  мс, а  $\dot{\tau} \approx 100$  МПа/с, и, таким образом, можно считать, что она получена при  $t_\phi = \text{const}$  и  $\dot{\tau} \approx \text{const}$ .

Характер кривой 3 и диапазон напряжений  $\tau$ , в котором наблюдается рост  $l(\tau)$ , аналогичен наблюдаемому при  $\dot{\tau} = 15$  МПа/с (кривая 2). Отсутствие зависимости  $l(\tau)$  при  $\tau > 0.63$  МПа и  $t_\phi = 5$  мс (несмотря на рост  $\tau$  и  $\dot{\tau}$ ) связано с отсутствием зависимости  $l(\dot{\tau})$  в этой области значений  $\dot{\tau}$  [1]. Таким образом, зависимости 2, 3, построенные при фиксированных  $\dot{\tau} = 15$

и 100 МПа/с (рис. 1), показывают, что дислокации движутся только в области напряжений  $0.2 \leq \tau \leq 0.63$  МПа, т. е. при напряжениях  $\tau < 0.25\tau_r$  и при дальнейшем росте напряжений, по крайней мере до  $1.5\tau_r$ , они остаются неподвижными. Измерения пробегов дислокаций при 77 К при скоростях нагружения  $\dot{\tau}=15$  МПа/с и  $\dot{\tau} \geq 100$  МПа/с (кривые 4, 5) показали, что область линейного роста  $l(\tau)$  смещена в сторону больших  $\tau$ . Наклон прямолинейного участка, т. е. величина  $dl/d\tau$  при соответствующих  $\dot{\tau}$ , идентичен при обеих температурах. Это обстоятельство позволяет предположить, что скорости дислокаций являются функцией  $\dot{\tau}$ , а не температуры.

По пробегам и параметрам использованных импульсов с учетом того, что дислокации движутся только в диапазоне напряжений, где наблю-

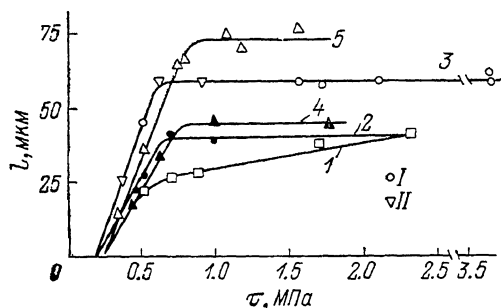


Рис. 1. Зависимость пробегов  $l$  краевых дислокаций от сдвигового напряжения  $\tau$ .

1 —  $t_{\phi}=150$  мс, 295 К; 2 —  $\dot{\tau}=15$  МПа/с, 295 К; 3 — I и II,  $t_{\phi} \approx 5$  мс; II —  $\dot{\tau} \approx 100$  МПа/с, 295 К; 4 —  $\dot{\tau}=15$  МПа/с, 77 К; 5 —  $\dot{\tau} > 100$  МПа/с,  $t_{\phi} \approx 5$  мс, 77 К.

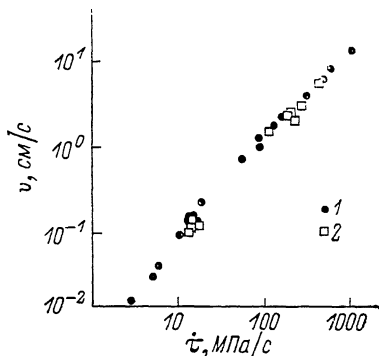


Рис. 2. Зависимость скорости дислокаций  $v$  от скорости нагружения  $\dot{\tau}$ .

Т, К: 1 — 295, 2 — 77.

дается линейная зависимость  $l(\tau)$ , были рассчитаны скорости дислокаций. На рис. 2 дана зависимость скорости дислокаций  $v$  от скорости нагружения  $\dot{\tau}$ . Видно, что данные для обеих температур и для всех  $\tau$  легли на одну прямую линию, что дает основание рассматривать изучаемое движение дислокаций как атермический процесс.

Из макроскопических экспериментов [3] следует, что в этом случае выполняется зависимость  $\dot{\epsilon} \sim \epsilon \dot{\tau}$ . Учитывая, что  $\dot{\epsilon} = \rho_m b v$ ,  $\epsilon = \rho_m b l$ , где  $\rho_m$  — плотность подвижных дислокаций,  $b$  — вектор Бюргерса, получим  $v \sim \dot{\tau} l$ , которое хорошо выполняется в данных экспериментах при 295 и 77 К (при больших  $\dot{\tau}$ ). Этот результат можно рассматривать как микроскопическое подтверждение деформационной теории пластичности Рейса.

Таким образом, движение дислокаций в КС1 на фронте нагружающего импульса при  $\tau < \tau_r$  является атермическим процессом, при котором скорость дислокаций является функцией  $\dot{\tau}$ , а длина их пробегов —  $\tau$  и  $\dot{\tau}$ .

#### Список литературы

- [1] Ермолаев Г. Н., Ниненко С. И., Урусовская А. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 2. С. 242—244.
- [2] Ермолаев Г. Н., Ниненко С. И. // ПТЭ. 1985. № 1. С. 178—180.
- [3] Aïden T. H. // Metal. Trans. A. 1985. V. 16. N 3. P. 375—392.

Институт физики высоких давлений  
им. Л. Ф. Верещагина АН СССР  
Троицк  
Московская область

Поступило в Редакцию  
16 августа 1988 г.  
В окончательной редакции  
14 ноября 1988 г.