

- [6] Hirabayashi M., Yamaguchi S., Asano H., Hiraga K. // *Reine und Angew. Metall. Einzeldr.* 1974. V. 24. P. 266—302.
- [7] Белушкин А. В., Морозов С. И., Натканец И., Сумин В. В. // *Сообщения ОИЯИ*, P14-86-41. Дубна. 1986. 8 с.
- [8] Сумин В. В., Фадеева Н. В., Морозов С. И. // *Кристаллография*. 1987. Т. 32. № 5. С. 1275—1277.
- [9] Крзчун К. Н., Морозов С. И., Натканец И., Сумин В. В. // *Препринт ОИЯИ* P14-86-857. Дубна. 1986. 14 с.
- [10] Теплинский В. М., Башкин И. О., Малышев В. Ю., Понятовский Е. Г. // *ФТТ*. 1989. Т. 31. № 2.
- [11] Жариков О. В., Кокотин А. М., Пальниченко А. В. // *Препринт ИФТТ*. Черно-головка, 1988. 8 с.
- [12] Башкин И. О., Малышев В. Ю., Ращупкин В. И., Понятовский Е. Г. // *ФТТ*. 1988. Т. 30. № 7. С. 2003—2009.
- [13] Штрицкер Б., Вюль Х. // *Водород в металлах*. Т. 2. М., 1981. С. 290—326.
- [14] Антонов В. Е., Белаш И. Т., Жариков О. В. и др. // *ФТТ*. 1988. Т. 30. № 2. С. 598—600.
- [15] Doyle N. J., Hulm J. K., Jones C. K. et al. // *Phys. Lett.* 1968. V. 26. N 12. P. 604—605.
- [16] Rahman A., Skold K., Pellizari C., Sinha S. K. // *Phys. Rev. B*. 1976. V. 14. N 8. P. 3630—3634.
- [17] Морозов С. И., Данилкин С. А., Сумин В. В. // *ФТТ*. 1984. Т. 26. № 3. С. 909—911.
- [18] Данилкин С. А., Сумин В. В., Минаев В. П. // *ФТТ*. 1986. Т. 28. № 9. С. 2843—2845.

Институт физики твердого тела
АН СССР
Черноголовка
Московская область

Поступило в Редакцию
3 августа 1988 г.

УДК 539.634

Физика твердого тела, том 31, в. 2, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 2, 1989

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ В КСИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИМПУЛЬСНОГО НАГРУЖЕНИЯ

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

При изучении подвижности индивидуальных дислокаций под действием импульсного напряжения $\tau < \tau_r$ в щелочно-галлоидных кристаллах (ЩГК) все авторы, например [1], пришли к единодушному мнению о термоактивированном характере движения дислокаций. Безактивационное движение дислокаций в этих кристаллах наблюдается при напряжениях, существенно превышающих предел текучести τ_r [2]. Однако в работах [3-5] получены результаты, свидетельствующие о возможности наличия безактивационного движения дислокаций при низких напряжениях. Это обстоятельство вызвало интерес к исследованию подвижности индивидуальных дислокаций в ЩГК в зависимости от формы и величины нагружающего импульса с целью выяснения и изучения относительного вклада термоактивированной и безактивационной составляющих в пробеги дислокаций при $\tau < \tau_r$. К сожалению, до сих пор не проведено детального изучения движения дислокаций в ЩГК с варьированием крутизны фронта нарастания импульса и использованием треугольных импульсов.

В данной работе исследованы длины пробегов дислокаций в одном из щелочно-галлоидных кристаллов КС1 с целью разделения термоактивированной и безактивационной составляющих пробега и выявления относительных вкладов в пробег дислокаций различных этапов нагружения на фронте нарастания нагрузки и в области плато импульса.

Образцы КС1 (суммарное содержание примеси 530 ppm) размером $2.5 \times 4 \times 15$ мм выкалывались из предварительно облученной монокристаллической були (доза 10^6 Р) и отжигались при температуре 600°C

в течение 100 ч с последующим охлаждением ~ 5 град/ч до 400°C и 10 град/ч до комнатной температуры. Отожженные кристаллы имели плотность дислокаций 10^4 см^{-2} , а предел текучести τ_r на сжатие составлял 2.5 МПа . Образцы подвергались чистому изгибу по методике [6]. Для данных исследований была модифицирована схема питания электромагнита, что позволило получать импульсы нагружения треугольной и трапециевидальной формы. В экспериментах варьировалась амплитуда нагружения τ от $0.4\tau_r$ до $1.5\tau_r$, время нарастания нагрузки t_ϕ от 2.5 до 250 мс и длительность плато t_n от 0 до 1.5 с . Для точной регистрации импульса нагрузки на осциллографе или самописце был изготовлен специальный блок электронной памяти, который позволил запоминать и воспроизводить до 500 мгновенных значений действующей нагрузки.

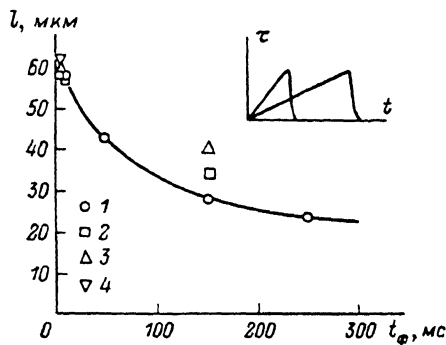


Рис. 1. Зависимость длин пробегов краевых дислокаций от времени нарастания фронта импульса при 295 К и $\tau = 1$ (1), 1.5 (2), 2 (3) и 3.7 МПа (4).

На вставке — характерный вид треугольных импульсов нагрузки.

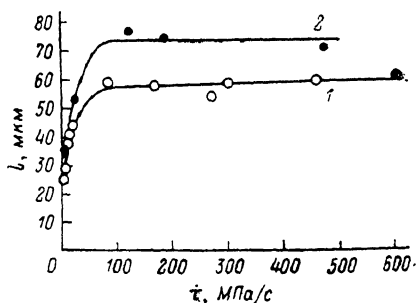


Рис. 2. Зависимость длин пробегов краевых дислокаций от скорости нагружения $\dot{\tau}$. $T = 295$ (1) и 77 К (2).

Большая часть экспериментов проведена при комнатной температуре. Для уточнения характера движения дислокаций на фронте нарастания нагрузки проведены контрольные опыты при температуре жидкого азота. Охлаждение до 77 К и последующий нагрев производились достаточно медленно в течение $40\text{--}60$ мин, и эта процедура не вызывала заметного смещения дислокаций.

За пробегом дислокаций следили методом избирательного травления по положению остроконечных ямок до и после нагружения.

Исследование пробегов краевых дислокаций под действием импульса показало, что пробег дислокаций за время роста нагрузки составляет настолько значительную величину, что должен быть принят во внимание и пренебрегать им нельзя. Тем самым подтвержден результат, полученный ранее на кристаллах NaCl [3]. Это обстоятельство побудило провести более детальное изучение движения дислокаций на стадии нарастания импульсной нагрузки. Нагружение при $\tau = 1 \text{ МПа}$ ($0.4\tau_r$) в зависимости от времени нарастания t_ϕ показало, что с ростом t_ϕ величина l падает (рис. 1) от 58.0 мкм при $t_\phi = 5 \text{ мс}$ до 24 мкм при $t_\phi = 250 \text{ мс}$. Зависимость l от τ при постоянном времени нарастания была исследована при $t = 5$ и 150 мс . При «быстром» нагружении $t_\phi = 5 \text{ мс}$ зависимость $l(\tau)$ не проявляется даже при увеличении нагрузки до $1.5\tau_r$. При «медленном» нагружении $t_\phi = 150 \text{ мс}$ l монотонно увеличивается с ростом τ . Пробеги дислокаций l при нагружении до $\tau = 1 \text{ МПа}$ при температуре 77 К на $20\text{--}25\%$ выше значений, полученных при комнатной температуре за то же время t_ϕ . Эти результаты свидетельствуют о том, что движение дислокаций на фронте нарастания нагрузки является безактивационным.

Из макроскопических экспериментов следует [7, 8], что при безактивационном процессе пластической деформации наблюдается зависимость

скорости деформации от скорости нагружения $\tau = d\tau/dt$. Данные настоящей работы показывают, что в таких процессах не только скорость деформации, но и деформация, а в данном случае длина пробегов дислокаций является функцией τ .

Действительно, независимо от напряжений τ и времен нарастания импульсов t_ϕ все точки $l=f(\dot{\tau})$ ложатся на одну кривую (рис. 2, 1). Величина l очень возрастает с увеличением $\dot{\tau}$ до ~ 100 МПа/с и практически остается постоянной при дальнейшем увеличении скорости нагружения. Характер кривой $lf(\dot{\tau})$ сохраняется и при температуре 77 К (рис. 2, 2). Эта зависимость может быть представлена в виде $l \sim (1 - \exp(-\dot{\tau}/20 \text{ МПа/с}))$.

Перейдем к рассмотрению зависимости пробега дислокаций от длительности плато $t_{\text{п}}$ при постоянном $t_\phi = 150$ мс. Пробег дислокаций l линейно возрастал с ростом $t_{\text{п}}$. Наклон зависимости $l(t_{\text{п}})$ монотонно увеличивался с ростом τ от 0.6 до $0.77\tau_x$. При этом средняя скорость дислокаций соответственно изменялась от 10^{-4} до $2 \cdot 10^{-2}$ см/с. Если построить зависимость $v(\tau)$, то получим $v \sim \tau^{2.0 \pm 0.2}$, что свидетельствует о термоактивированном характере движения дислокаций в области плато. Скорость термоактивируемого движения дислокаций при $\tau = 0.77\tau_x$ и $t_\phi = 5$ мс также оказалось равной $2 \cdot 10^{-2}$ см/с.

Таким образом, экспериментально удалось показать, что при импульсном нагружении КС1 при низких напряжениях реализуются и термоактивированное, и безактивационное движение дислокаций, и найти условия преимущественной реализации каждого из этих процессов. Увеличение пробегов дислокаций с понижением температуры и относительно высокие скорости безактивационного движения можно было бы трактовать как указания на вязкий характер движения дислокаций. Однако, учитывая малую величину действующих напряжений, этот вывод нам представляется сомнительным.

Л и т е р а т у р а

- [1] Лубенец С. В. Физические процессы пластической деформации при низких температурах. Киев, 1974. С. 220—252.
- [2] Альшиц В. П., Индибюм В. П. Динамика дислокаций. Киев. 1975. С. 232—275.
- [3] Шикифоров А. В., Швецова В. А., Клявин О. В., Лихачев В. А. // ФТТ. 1976. Т. 18. № 10. С. 3152—3153.
- [4] Макара В. А., Новиков Н. Н., Руденко О. В. Динамика дислокаций. Киев. 1975. С. 190—195.
- [5] Предводителев А. А., Ракова Н. К., Нан Хун-бин // ФТТ. 1967. Т. 9. № 1. С. 300—308.
- [6] Ермолаев Г. Н., Нищенко С. П. // ПТЭ. 1985. № 1. С. 178—180.
- [7] Alden T. // Metal Trans. A. 1985. V. 16. N 3. P. 375—392.
- [8] Клявин О. В. Физика пластичности кристаллов при гелиевых температурах. М., 1987. 255 с.

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

Поступило в Редакцию
19 апреля 1988 г.
В окончательной редакции
9 августа 1988 г.