

УДК 539.5

Малашенко В.В., Малашенко Т.И.

**ДВИЖЕНИЕ КРАЕВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ В ГИДРОСТАТИЧЕСКИ  
СЖАТЫХ МЕТАЛЛАХ И ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ**

*Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина НАН Украины*

*Донецкий государственный технический университет*

*В данном докладе исследовано влияние высокого гидростатического давления на силу динамического торможения дислокаций дислокационными диполями и дислокационных пар закрепленными дислокациями.*

*Ключевые слова: дислокации, гидроэкструзия, деформация.*

Обработка высоким гидростатическим давлением (гидроэкструзия) является одним из перспективных методов создания материалов с заданными свойствами, в частности, металлов и сплавов, сочетающих высокую прочность с высокой пластичностью [1-4]. Как показано в работе [5], высокое гидростатическое давление не создает силу, действующую на дислокацию, однако изменяет величину взаимодействия дислокаций между собой. Как было показано в работах [6–11], вид спектра дислокационных колебаний в значительной степени определяет характер торможения дислокации другими структурными дефектами в области надбарьерного скольжения дислокаций.

Рассмотрим бесконечную краевую дислокацию, движущуюся под действием постоянного внешнего напряжения  $\sigma_0$  с постоянной скоростью  $v$  в гидростатически сжатом кристалле. Линия дислокаций параллельна оси  $OZ$ , их векторы Бюргерса параллельны оси  $OX$ , в положительном направлении которой происходит скольжение дислокаций. Линии краевых дислокаций, образующих диполь, также параллельны оси  $OZ$ , расстояние между ними обозначим  $a$ . Силу взаимодействия дислокаций в кристалле в отсутствие сжатия

$$F_{dis}^0 = b^2 M \frac{x(x^2 - y^2)}{r^4} \approx -\frac{b^2 M w}{a^2}, \quad M = \frac{\mu}{2\pi(1-\gamma)}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – коэффициент Пуассона,  $\mu$  – модуль сдвига. В условиях гидростатического сжатия, как показано авторами [5], сила притяжения дислокаций друг к другу увеличивается: появляется дополнительная сила  $\Delta F_{dis}(p)$ , пропорциональная величине давления

$$F(p) = F_{dis}^0 + \Delta F_{dis}(p) = F_{dis}^0(1 + \beta p) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{1}{\mu} \left( K_2 + \left( 2K_1 - \frac{K_2 \lambda}{\mu} \right) \frac{(1-2\gamma)^2}{2(1-\gamma)} \right) \geq 0, \quad (3)$$

$$K_1 = -\frac{\frac{1}{2}\lambda - \mu + 3l - m + \frac{1}{2}n + p}{3\lambda + 2\mu + p}; \quad K_2 = -\frac{3\lambda + 6\mu + 3m - \frac{1}{2}n - 2p}{3\lambda + 2\mu + p} \quad (4)$$

Здесь  $\lambda, \mu$  – коэффициенты Ламе,  $l, m, n$  – коэффициенты Мурнагана.

В отсутствие сжатия осциллятор имеет частоту колебаний  $\omega_0$

$$m\ddot{w}_K = -\frac{b^2 M}{a^2} w_K; \quad \ddot{w}_K + \omega_0^2 w_K = 0; \quad \omega_0 = \frac{b}{a} \sqrt{\frac{M}{m}} = \frac{c}{a} \sqrt{\frac{2}{\ln(D/L)}} \approx \frac{c}{a}, \quad (5)$$

где  $L$  – длина дислокации,  $D$  – величина порядка размеров кристалла,  $c$  – скорость распространения поперечных звуковых волн в кристалле. Для гидростатически сжатого кристалла увеличение силы взаимодействия дислокаций приводит к возрастанию собственной частоты колебаний осциллятора. В гидростатически сжатом кристалле эта частота возрастает

$$\omega(p) = \omega_0 \sqrt{1 + \beta p} \quad (6)$$

Возрастает и сила торможения дислокации диполями

$$F(p) = F(0)(1 + \beta p)^{\frac{3}{2}}; \quad F(0) = \frac{nb^4 \mu^2}{16m\omega_0(1-\gamma)^2 v} \approx n_0 \mu a \frac{c}{v} \quad (7)$$

где  $F(p)$  – сила динамического торможения дислокационной пары неподвижными дислокациями в кристалле, сжимаемом гидростатическим давлением  $p$ , а  $F(0)$  – эта же сила в кристалле, не подверженном гидростатическому сжатию. По оценкам авторов работы [5] при давлении  $10^9$  Па в кристаллах иодида калия сила взаимодействия между дислокациями

увеличивается на 65%. Тогда, согласно полученным выше формулам, сила динамического торможения дислокации дислокационными диполями возрастет на 112%, собственная частота колебаний диполя увеличится на 28%, а величина минимального значения стационарной скорости  $v_p$  возрастет на 46%. В кристаллах хлористого натрия, согласно данным тех же авторов, дислокационное взаимодействие в результате гидростатического сжатия давлением такой же величины ( $10^9$  Па) усиливается на 30%. Выполняя необходимые вычисления, приходим к выводу, что сила торможения дислокации диполями в этих кристаллах возрастает на 48%, собственная частота диполя – на 14%, а минимальная стационарная скорость – на 22%. Приведенные оценки показывают, что высокое гидростатическое давление может оказывать весьма существенное влияние на динамику дислокаций.

#### Литература:

1. Хирт Дж., И. Лоте. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972. – 600 с.
2. Белошенко В.А., Варюхин В.Н., Спусканюк В.З. Теория и практика гидроэкструзии. Киев: Наукова думка, 2007.– 247 с.
3. Valiev R.Z., Enikeev N.A., Murashkin M.Yu. // Scripta Materialia. 2010.- Vol. 63.
4. Валиев И.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000.– 272 с.
5. Токий В.В., Зайцев В.И.. // ФТТ.- 1973.- Т.15. № 8. С. 2460–2467.
6. Malashenko V.V. // Physica B: Phys. Cond. Mat.- 2009.-Vol. 404. No. 2.-P. 3890.
7. Malashenko V.V. // Modern Phys. Lett. B.- 2009.-Vol. 23, No. 16.- P. 2041–2047.
8. Малашенко В.В. // ФТТ.- 2009.- Т. 51. № 4.- С. 703–705.
9. Малашенко В.В. // ЖТФ.- 2009. - Т. 79. № 4. - С. 146–149.
10. Малашенко В.В. // Кристаллография.- 2009.- Т. 54. № 2.- С. 312–315.
11. Малашенко В. В. // ЖТФ.- 2011.- Т. 81. № 9.- С. 67–70.