

Коллективное взаимодействие точечных дефектов с движущейся винтовой дислокацией

© В.В. Малашенко

Донецкий физико-технический институт Академии наук Украины,
340114 Донецк, Украина

(Поступила в Редакцию 26 июля 1996 г.)

Взаимодействие движущейся дислокации с точечными дефектами в зависимости от ее скорости и концентрации дефектов может иметь либо характер независимых столкновений, либо коллективный характер. Область независимых столкновений краевой дислокации с дефектами исследовалась в [1–4]. В области коллективного взаимодействия дефектов с краевой дислокацией, согласно [5,6], в спектре дислокационных колебаний возникает активация, а сила торможения становится линейной функцией скорости. Сила торможения винтовой дислокации в области независимых столкновений, согласно [7], также линейно зависит от скорости. В настоящей работе исследовано коллективное торможение винтовой дислокации. Уравнение движения винтовой дислокации имеет вид

$$m \left[\frac{\partial^2 X(z, t)}{\partial t^2} + \delta \frac{\partial X(z, t)}{\partial t} - c^2 \frac{\partial^2 X(z, t)}{\partial z^2} \right] = b \left[\sigma_0 + \sum_{i=1}^N \sigma_{zy,1}^d(vt + w; z) \right], \quad (1)$$

где использованы те же обозначения, что и в работе [6]. Вектор Бюргерса параллелен оси OZ, дислокация движется вдоль оси OX. Далее с помощью метода, использованного в [5,6], разложим $\sigma_{zy,1}^d(vt + w; z)$ до второго порядка по w и заменим нелинейное взаимодействие дислокации с дефектами движением в усредненном поле. Наличие этого поля проявится в возникновении активации в спектре колебаний дислокации $E(p_z) = (\Delta^2 + c^2 p_z^2)^{1/2}$. Уравнение для определения активации в спектре колебаний винтовой дислокации имеет вид

$$\Delta^2 = \frac{nb^2}{(2\pi)^3 m^2} \int \frac{d^3 p p_x^2 |\sigma_{zy}(\mathbf{p})|^2}{c^2 p_z^2 + \Delta^2 - v^2 p_x^2}, \quad (2)$$

где n — концентрация дефектов. Уравнения (1), (2), а также и интеграл для силы торможения винтовой дислокации отличаются от соответствующих уравнений для краевой дислокации только лишь заменой компоненты тензора σ_{xy} на σ_{zy} , однако это отличие оказывается весьма существенным, особенно при вычислении силы торможения. Так, в случае краевой дислокации активация в спектре дислокационных колебаний существовала лишь в области коллективного взаимодействия $\{v < v_{ed} = c(n_0 \kappa^2)^{1/3} \approx cR/L_v\}$, где

$n_0 = nR^3$, активация по порядку величины равнялась $\Delta_{ed} \approx c/L_v$, т.е. и граница области существования, и величина щели определялись средним расстоянием между дефектами в объеме $L_v \approx n^{-1/3}$. В случае винтовой дислокации активация существует при любых скоростях скольжения, а ее величина определяется средним расстоянием между дефектами в плоскости скольжения $L_s \approx n^{-1/2}$.

$$\Delta_{scr} \approx cR^{-1} \kappa n_0^{1/2} \approx c/L_s. \quad (3)$$

Активация в спектре колебаний винтовой дислокации меньше активации в спектре краевой, $(\Delta_{scr}/\Delta_{ed}) \approx (n_0 \kappa^2)^{1/6}$. Для значений $n_0 \approx 10^{-4}$ и $\kappa \approx 10^{-1}$ получим, что Δ_{scr} на порядок меньше Δ_{ed} , а величина $\Delta_{scr} \approx 10^{10} \text{с}^{-1}$. Вычисление силы торможения произведем так же, как и в [5,6], заменив σ_{xy} на σ_{zy} . Получим, что в области независимых столкновений ($v > v_{scr} \approx c\kappa\sqrt{n_0} \approx cR/L_s$) сила торможения линейно зависит от скорости движения $F_{scr} = -B_d v$, где $B_d \approx n_0 \kappa^2 \mu b/c$, что согласуется с результатом [7], а в области коллективного взаимодействия ($v < v_{scr}$) эта зависимость имеет вид $F \approx \mu b v^3/c^3$, сила не зависит от концентрации дефектов. Сравним теперь силу торможения винтовой и краевой дислокации при различных скоростях.

1) $c(n_0 \kappa^2)^{1/3} < v \ll c$. В этой области дефекты взаимодействуют независимо друг от друга как с винтовой, так и с краевой дислокацией. Отношение сил торможения равно $F_{scr}/F_{ed} \approx v^2/c^2 \ll 1$.

2) $c\kappa n_0^{1/2} < v < c(n_0 \kappa^2)^{1/3}$. В этой области взаимодействие дефектов с краевой дислокацией носит коллективный характер, с винтовой — характер независимых столкновений. Отношение сил торможения $F_{scr}/F_{ed} \approx (n_0 \kappa^2)^{2/3} \approx \Delta_{ed}^2/\omega_D^2$, где $\omega_D = c/b$. Здесь также $F_{scr} \ll F_{ed}$, так как $n_0 \approx 10^{-2} - 10^{-7}$, $\kappa \approx 10^{-1}$.

3) $v < c\kappa\sqrt{n_0}$. Взаимодействие и с винтовой, и с краевой дислокацией является коллективным. Отношение сил торможения следующее:

$$F_{scr}/F_{ed} \approx (n_0 \kappa^2)^{-1/3} v^2/c^2 \approx (\Delta_{ed}^2/\Delta_{scr}^2) v^2/c^2 \ll 1. \quad (4)$$

Различное поведение краевых и винтовых дислокаций в данном случае объясняется, видимо, различной симметрией этих дислокаций, и как следствие различной симметрией действующих на них напряжений. В статическом случае это различие не

является существенным и не проявляется. В рассматриваемом здесь динамическом случае появляются два новых выделенных направления: направление движения дислокации (скорость скольжения v) и направление распространения возмущений дислокационной формы (вдоль дислокации со скоростью c). Напомним, что исследуемый механизм диссипации заключается в перекачке кинетической энергии поступательного движения дислокации в энергию ее поперечных колебаний. Отметим также, что красные и винтовые дислокации демонстрируют существенно различное динамическое поведение в постоянных электрических и магнитных полях. Так, краевые дислокации в отличие от винтовых могут перемещаться под действием постоянного магнитного [8] и электрического [9] полей.

Список литературы

- [1] В.И. Альшиц, В.Л. Индебром. УФН, **115**, 1, 3 (1975).
- [2] A. Ookawa, K.J. Jazu. Phys. Sos. Jap. **18**, Suppl 1, 36 (1963).
- [3] R.B. Swarz. Phys. Rev. **B21**, 12, 5617 (1980).
- [4] V.D. Natsik, K.A. Chishko. Crystal. Res. Technol. **19**, 6, 763 (1984).
- [5] V.V. Malashenko, V.L. Sobolev, B.I. Khudik. Phys. Stat. Sol. (b) **143**, 2, 425 (1987).
- [6] В.В. Малашенко, В.Л. Соболев, Б.И. Худик. ФТТ **29**, 5, 1614 (1987).
- [7] В.В. Малашенко. ФТТ **32**, 2, 645 (1990).
- [8] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, Е.А. Петржик. ФТТ **33**, 10, 3001 (1991).
- [9] Н.А. Тяпунина, Э.П. Белозерова. УФН **156**, 4, 683 (1988).