

ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ ПРИМЕСНЫХ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Малашенко^{1,2}, Т.И. Малашенко²

¹Донецкий физико-технический институт НАН Украины им. А.А. Галкина,
Донецк, Украина, malashenko@fti.dn.ua

²Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Важная роль в решении проблемы создания перспективных функциональных нанокристаллических материалов, сочетающих высокую прочность с высокой пластичностью, принадлежит методу гидроэкструзии [1]. Довольно часто в нанокристаллах содержатся примеси, попавшие в них в процессе получения либо специально добавленные для повышения термостабильности исходного структурного состояния. Примесные добавки позволяют не только стабилизировать ультрамелкое зерно, но и сохранить высокий уровень предела текучести ультрамелкозернистых материалов [2]. При дальнейшем использовании эти заготовки могут быть подвергнуты высокоскоростному нагружению, в частности, при высокоскоростной обработке, ковке, формовке. При этом для многих металлов зависимость напряжения течения от скорости деформирования резко усиливается, что обусловлено их переходом в динамический режим преодоления барьеров, создаваемых структурными несовершенствами кристалла [3]. Присутствие примеси в этом случае может оказать влияние на величину динамического предела текучести. Хотя в ультрамелкозернистых материалах содержится обычно не более одной дислокации, тем не менее дислокационная плотность в процессе пластической деформации может быть довольно высокой: $\rho \approx d^{-2}$, где d – размер зерна. Так, для $d = 1\mu\text{m}$ плотность дислокаций $\rho = 10^{12}\text{m}^{-2}$, а если $d = 10\text{nm}$, получим значение $\rho = 10^{16}\text{m}^{-2}$. Воспользовавшись подходом, развитым в работах [4-6], получим следующее выражение, описывающее вклад примесей в величину динамического предела текучести нанокристаллических материалов

$$\sigma_d = \frac{\pi n_0^{1/3} \mu^2 \chi^{2/3} b^2 \dot{\epsilon}}{3mc^3 R \rho} \quad (1)$$

где R – радиус примеси, χ – параметр ее несоответствия, μ – модуль сдвига, m – масса единицы длины дислокации, c – скорость распространения поперечных звуковых волн в кристалле, n_0 – безразмерная концентрация примесей, ρ – средняя плотность дислокаций в материале, b – модуль вектора Бюргера дислокации, $\dot{\epsilon}$ – скорость пластической деформации. Численные оценки для нанокристаллической меди ($d=100\text{ nm}$, $n_0 = 3 \cdot 10^{-3}$, $\rho = 10^{11}\text{ m}^{-2}$, $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^3\text{ s}^{-1}$) показали, что вклад примесей в предел текучести может составлять 10% и более.

1. V. Varyukhin, Y. Beygelzimer, R. Kulagin, O. Prokof'eva, A. Reshetov, *Materials Science Forum*, 667 (2011).
2. A.B. Lebedev, S.A. Pulnev, V.I. Kopylov, Yu.A. Burenkov, V.V. Vetrov, O.V. Vylegzhanin, *Scripta Mater.*, **35**, 1033 (1996).
3. В.С.Красников, А.Ю.Куксин, А.Е.Майер, А.В.Янилкин, *ФТТ*, **52**, 1295 (2010).
4. V.V. Malashenko, *Physica B: Phys. Cond. Mat.*, **404**, 3890 (2009).
5. В.В. Малашенко, *ФТТ*, **53**, 2204 (2011).
6. В.В. Малашенко, *ЖТФ*, 2011, **9**, 67 (2011).