

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ДЕФЕКТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Комарь Е.В., Колупаева С.Н.

Томский промышленно-гуманитарный колледж, г.Томск

Ключевые слова: математическое моделирование, гетерофазные материалы с некогерентными частицами, дислокации, деформационная дефектная подсистема

Аннотация. В работе представлены результаты качественного исследования математической модели пластической деформации гетерофазных сплавов с некогерентными частицами. Построены фазовые портреты дефектной подсистемы.

INVESTIGATION OF THE DEFECT SUBSYSTEM EVOLUTION OF DISPERSION-STRENGTHENED MATERIALS

Komar E.V., Kolupaeva S.N.

Tomsk industrial and humanitarian college, Tomsk

Keywords: mathematical modeling, heterophase materials with incoherent particles, dislocations, deformation defect subsystem.

Abstract. The paper presents the results of a qualitative study for the mathematical model of plastic deformation of heterophase alloys with incoherent particles. Phase portraits of the defective subsystem are constructed.

Для исследования возможных путей эволюции дислокационной подсистемы в дисперсно-упрочненных материалах с некогерентной недеформируемой второй фазой использована математическая модель дислокационной подсистемы в деформируемых гетерофазных сплавах, которая включает три уравнения баланса: 1) сдвигообразующих дислокаций; 2) вакансионных призматических дислокационных петель; 3) межузельных призматических дислокационных петель [1].

Проведем качественное исследование редуцированной двумерной модели при условии, что в ходе деформации накапливаются только два типа дефектов. Расчеты проведем в двух предположении, что плотность третьей составляющей равна нулю, то есть в ходе деформации дефекты третьего типа отсутствуют.

1. Рассмотрим систему, учитывающую накопление сдвигообразующих дислокаций и призматических вакансионных петель.

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_m}{da} &= \frac{FP_j \xi < \Delta E_k >}{8\tau_{dyn} b^3} \rho - \frac{16}{3} \frac{2}{\pi} \rho^{\frac{1}{2}} \frac{\rho_m}{\rho} \frac{\tau_{dyn} q}{Gb}, \\ \frac{d\rho_p^v}{da} &= \frac{< \chi > \delta}{2\Lambda_p^2 b} - \frac{128}{3 < \chi > \delta b} \frac{\rho_p^v}{\rho} \frac{\tau_{dyn} q}{G}, \\ \rho_p^i &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь a – деформация сдвига; ρ – суммарная плотность дислокаций; ρ_m – плотность сдвигообразующих дислокаций; ρ_p^v и ρ_p^i – плотности дислокаций, образующих вакансионные и межузельные петли; F – безразмерный параметр, определяемый геометрией зоны сдвига; b – модуль вектора Бюргерса; G – модуль

сдвига; τ_{dyn} – напряжение, избыточное над статическим сопротивлением движению дислокаций; $\xi \approx 0,5$ – фактор Смоллмена; $\langle \chi \rangle$ – параметр, характеризующий геометрию дислокаций на частицах; L_p – расстояние между частицами; δ – диаметр частицы; P_j – доля порообразующих дислокаций леса.

Система (1) имеет одно стационарное решение. Значения стационарных плотностей дислокаций для системы (1) представлены на рис. 1, а и 1, в. Проведено исследование типа стационарного решения системы (1) в широком спектре значений параметров модели. Расчеты показали, что в пределах изменения значений параметров, соответствующих физически возможным значениям, характеристические корни соответствующие стационарному состоянию действительные и различные (один – положительный, второй – отрицательный), следовательно, стационарное состояние является неустойчивым типа «седло». На рисунке 2 приведен фазовый портрет в окрестности стационарного состояния типа «седло» при наборе значений параметров, характерных для сплава на основе никеля.

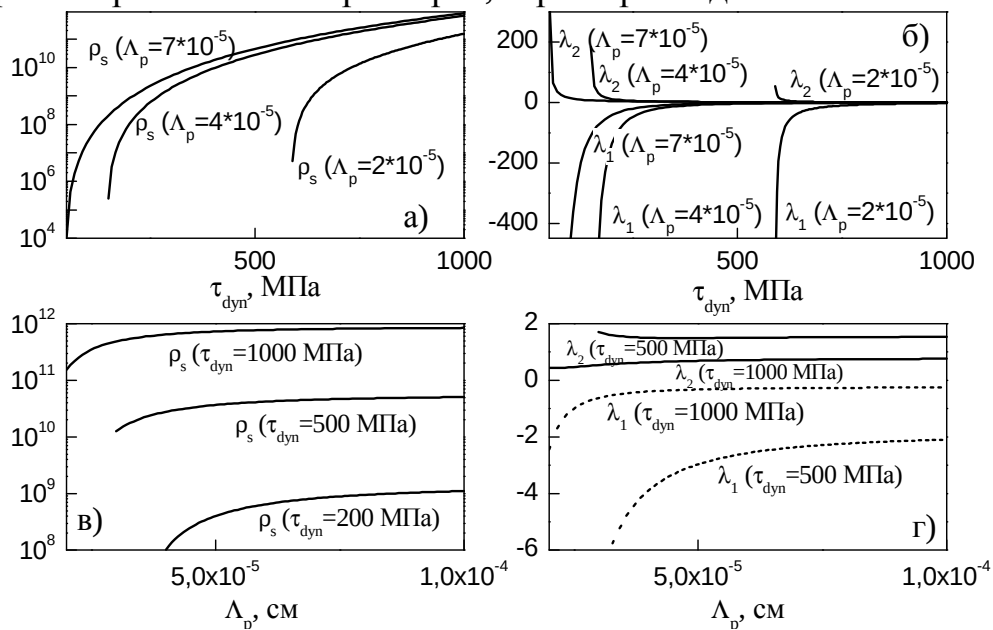


Рис. 1. Стационарные значения плотностей дислокаций (а, в) и соответствующие значения характеристических корней (б, г) при $G=10^5$ МПа, $\delta=5 \cdot 10^{-6}$ см, $\tau_{dyn}=1000$

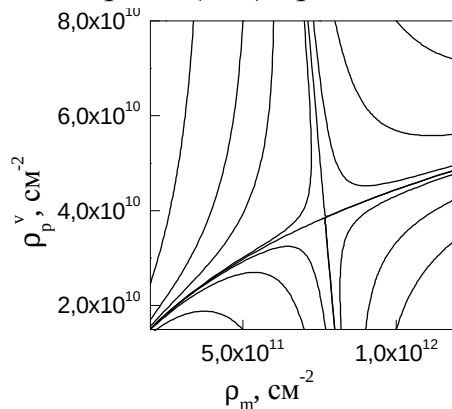


Рис. 2. Фазовое пространство (ρ_m, ρ_p) при $G=10^5$ МПа, $\delta=5 \cdot 10^{-6}$ см, $\tau_{dyn}=1000$ МПа, $L_p=7 \cdot 10^{-5}$ см (Ni)

2. Рассмотрим систему дифференциальных уравнений баланса, предполагающую накопление сдвигообразующих дислокаций и призматических межузельных петель.

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_m}{da} &= \frac{FP_j \xi < \Delta E_k >}{8\tau_{dyn} b^3} \rho - \frac{16}{3} \frac{2}{\pi} \rho^{\frac{1}{2}} \frac{\rho_m}{\rho} \frac{\tau_{dyn} Q}{Gb}, \\ \frac{d\rho_p^i}{da} &= \frac{< \chi > \delta}{2b\Lambda_p^2} + \frac{128}{3 < \chi > \delta b} \frac{\rho_p^i}{\rho} \frac{\tau_{dyn} Q}{G} - \frac{16}{3} \rho^{\frac{1}{2}} \frac{\rho_p^i}{\rho} \frac{\tau_{dyn} Q}{Gb}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\rho_p^v = 0.$$

Система уравнений (2) имеет два стационарных решения. Анализ типа устойчивости стационарных решений показал, что при изменении значений параметров (в соответствии с их физическим смыслом) характеристические корни одного стационарного состояния комплексно-сопряженные и стационарное состояние является устойчивым «фокусом», характеристические корни соответствующие другому стационарному состоянию действительные и различные (один – положительный, второй – отрицательный), следовательно, второе стационарное состояние является неустойчивым типа «седло» [1]. Фазовый портрет представлен на рисунке 3.

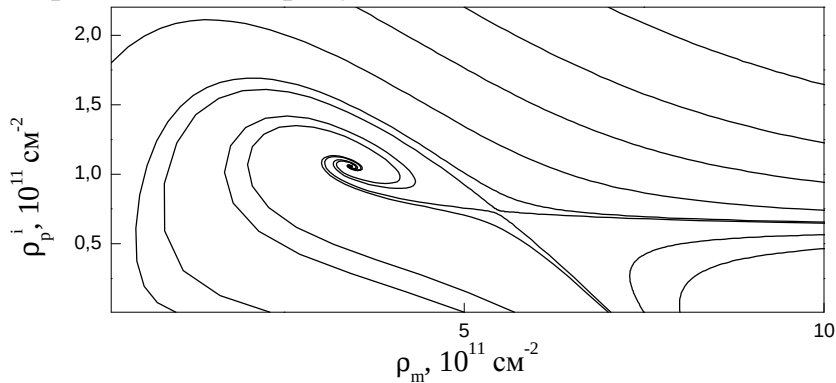


Рис. 3. Фазовое пространство (ρ_m, ρ_p^i) при $\rho_p^v = 2/25 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, $G = 10^5 \text{ МПа}$, $\delta = 5 \cdot 10^{-6} \text{ см}$, $\tau_{dyn} = 1000 \text{ МПа}$, $\Lambda_p = 7 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ (Ni)

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что при рассмотрении эволюции дислокационной подсистемы, включающей два типа дефектов сохраняется качественный характер поведения системы, а именно, наблюдаются два стационарных состояния - устойчивое (узел или фокус) и неустойчивое типа седло. Таким образом, в пространстве начальных плотностей дислокаций можно выделить области с различным поведением дислокационной подсистемы: область, в которой плотность дислокаций возрастает с деформацией, и область, в которой плотность дислокаций уменьшается с деформацией (область деформационного разупрочнения).

Список литературы

1. Колупаева С.Н., Ерыгина Е.В., Ковалевская Т.А., Попов Л.Е. Качественное исследование эволюции дефектной подсистемы гетерофазных сплавов с некогерентной упрочняющей фазой при интенсивных воздействиях // Физическая мезомеханика. – 2000. – Т. 3. – Вып. 2. – С. 63-79.

Сведения об авторах:

Комарь Елена Васильевна – к.ф.-м.н., доцент, преподаватель ТПГК, г.Томск.

Колупаева Светлана Николаевна – д.ф.-м.н., профессор, ТПГК, г.Томск.