

Влияние порогов на расширение октаэдрической дислокационной петли и генерацию точечных дефектов в пластически деформируемых ГЦК-кристаллах*

Д.Н. Черепанов^{1,2}, И.Г. Вовнова¹, Ю.В. Соловьева¹, В.А. Старенченко¹

¹ Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

Исследуется влияние порогов, образующихся на винтовых сегментах дислокационной петли при пересечении дислокаций некомпланарных систем скольжения, на динамику расширения дислокационных петель, испускаемых источниками Франка – Рида, и генерацию точечных дефектов при волочении этих порогов в ГЦК-кристалле. Модель движения сегментов расширяющейся дислокационной петли, учитывающая влияние порогов на сопротивление движению дислокационных сегментов винтовой ориентации, представлена в виде трех дифференциальных уравнений, два из которых описывают динамику движения петли, а третью – кинетику порогов. Уравнение кинетики порогов содержит постоянную среднюю плотность порогов в качестве параметра. Показано, что степень разориентированности дислокационной структуры приводит к различию в динамике накопления порогов, в значениях средней плотности порогов на винтовых сегментах и скорости движения винтовых и краевых сегментов на различных стадиях деформации.

Ключевые слова: монокристаллы, ГЦК-решетка, металлы, сдвиговая пластическая деформация, октаэдрическое скольжение, сдвиговое напряжение, математическое моделирование, точечные дефекты, дислокации, плотность порогов, дислокационный источник.

Введение

Ступеньки на дислокациях, возникающие при пересечении отталкивающихся дислокаций некомпланарных систем скольжения, были описаны в классических работах дислокационной физики [1], и в настоящее время вызывают большой интерес [2, 3]. Прежде всего это связано с известным механизмом генерации точечных дефектов [4, 5] вследствие неконсервативного движения (волочения) ступенек на винтовых сегментах, называемых в этом случае порогами.

Гипотеза о том, что при испытаниях на растяжение, сжатие и сдвиг большинство образующихся ступенек пересечения должны порождать межузлия [6], была проверена для ГЦК-кристаллов на ранней стадии деформирования [7, 8]. Однако оказалось, что с ростом плотности дислокаций количество порогов, порождающих межузлия, приближается к числу порогов, порождающих вакансии [8].

Кинетику порогов в случае термически активируемого движения дислокации с постоянной скоростью исследовали Nicholas J.F. [9], Mott N.F. [10], Hirsch P.B. [11], Инденбом В.Л. [12], Orlov A.N. [13]. Основным результатом исследований был вывод о том, что на винтовой дислокации образуется стационарная плотность порогов [14]. Интенсивность накопления порогов зависит от их способности двигаться вдоль линии дислокации, взаимодействовать и аннигилировать друг с другом, а также от интенсивности взаимодействия порогов с другими дефектами на линии дислокации [13].

Выражение для стационарной плотности порогов [14, 15] было использовано для исследования генерации и накопления точечных дефектов в условиях термически активируемой сдвиговой деформации ГЦК-металлов с использованием математической модели [16], основанной на концепции упрочнения и динамического возврата, которая связывает упрочнение с образованием дефектов кристаллического строения, а отдых – с их исчезновением в результате взаимодействий или с самоорганизацией скоплений дефектов в низкоэнергетические субструктуры.

Несмотря на имеющиеся экспериментальные данные [17, 18] по концентрации точечных дефектов, их сравнение с данными математического моделирования [16, 19, 20] по-прежнему затруднено, поскольку моделирование проводится в условиях, отличных от условий эксперимента. В частности, для эксперимента используются образцы с субструктурой, далекой от задаваемой на-

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEMN-2023-0003).