

**ЗАВИСИМОСТЬ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ ДИСЛОКАЦИОННОЙ
ПЕТЛИ В ФОРМЕ ОКРУЖНОСТИ ОТ РЕШЕТОЧНОГО И ПРИМЕСНОГО ТРЕНИЯ**

А.С. Елисеев

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.Е. Петелин
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: eliseev-97@yandex.ru

**DEPENDENCE OF THE KINETIC ENERGY PER UNIT LENGTH OF THE SHAPE
DISLOCATION LOOP FROM THE LATTICE AND IMPURITY SLIDING FRICTION**

A.S. Eliseev

Scientific Supervisor: assistant professor, PhD. A.E. Petelin
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenina str., 36, 634050
E-mail: eliseev-97@yandex.ru

Abstract. *The paper presents the study on dependence of the kinetic energy per unit length of the dislocation at various values of the lattice and impurity sliding friction in copper and aluminum. The research is conducted with use of mathematical model of dynamics of a dislocation loop in the shape of a circle.*

Введение. Кристаллографическое скольжение – это сложное физическое явление, изучение которого затруднено из-за сильной зависимости процесса от внешних условий и большого количества сил различного характера и происхождения, препятствующих движению дислокаций [1]. В данной работе проведено исследование закономерности изменения кинетической энергии единицы длины дислокационной петли в меди и алюминии.

Методы исследования. Исследование проведено методом математического моделирования с использованием модели расширения дислокационной петли в форме окружности [2]. В [2] учитывается сила Пича-Кёллера и силы сопротивления дислокационному движению, обусловленные решеточным, примесным и дислокационным трением, линейным натяжением, генерацией точечных дефектов за порогами на дислокации, обратными полями напряжений со стороны скопления ранее испущенных дислокаций и вязким торможением. В модели [2] использовано предположение о том, что зона кристаллографического сдвига формируется в однородной изотропной среде; что линейное натяжение одинаково по всей длине петли; что напряжение, связанное с генерацией точечных дефектов на винтовых составляющих дислокационной петли, равномерно распределено по всей длине петли.

Для проведения вычислительных экспериментов использована программа DDCS [3] и её мобильная версия MDDCS [4]. В расчётах использованы следующие значения параметров математической модели [2]: действующее на дислокационный источник напряжение 23 МПа, плотность дислокаций 10^{12} м^{-2} , вязкое трение $0,49 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}$ для алюминия и $2,1 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}$ для меди, коэффициент Пуассона 0,34 (алюминий) и 0,35 (медь), модуль сдвига $2,6 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ (алюминий) и $5,6 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ (медь), модуль вектора Бюргерса $2,86 \cdot 10^{10} \text{ м}$ (алюминий) и $2,56 \cdot 10^{10} \text{ м}$ (медь), плотность материала 2700 кг/м^3 (алюминий) и 8935 кг/м^3 (медь).

Результаты. На начальном пробеге дислокационной петли её кинетическая энергия резко возрастает и при напряжении решеточного и примесного трения 2 МПа достигает своего максимального значения на отметке 6–9 мкм (рис. 1). Затем кинетическая энергия петли монотонно убывает до момента остановки дислокации. С увеличением номера дислокации начальный пробег уменьшается, но не столь значительно, как полный пробег дислокации.

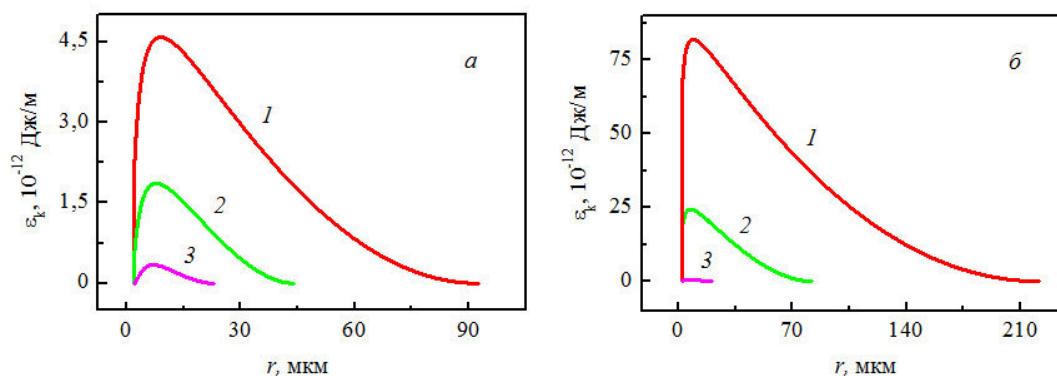


Рис. 1. Зависимость кинетической энергии единицы длины дислокации от текущего пробега для 1-й (кривая 1), средней (2) и последней (3) испущенной дислокационным источником дислокации в меди (а) и алюминии (б). Напряжение решеточного и примесного трения 2 МПа.

В результате проведённых расчётов было показано, что зависимость максимального и среднего значения кинетической энергии единицы длины дислокации от номера дислокации в дислокационном скоплении имеет слабовыраженный гиперболический вид (рис. 2). Для первой дислокационной петли максимальное значение кинетической энергии в алюминии примерно в 17 раз больше, чем в меди. Для последних дислокаций в меди и в алюминии максимальные значения кинетической энергии равны соответственно $4 \cdot 10^{-13}$ Дж/м и $6 \cdot 10^{-13}$ Дж/м. Похожая закономерность наблюдается для среднего значения кинетической энергии единицы длины дислокационной петли.

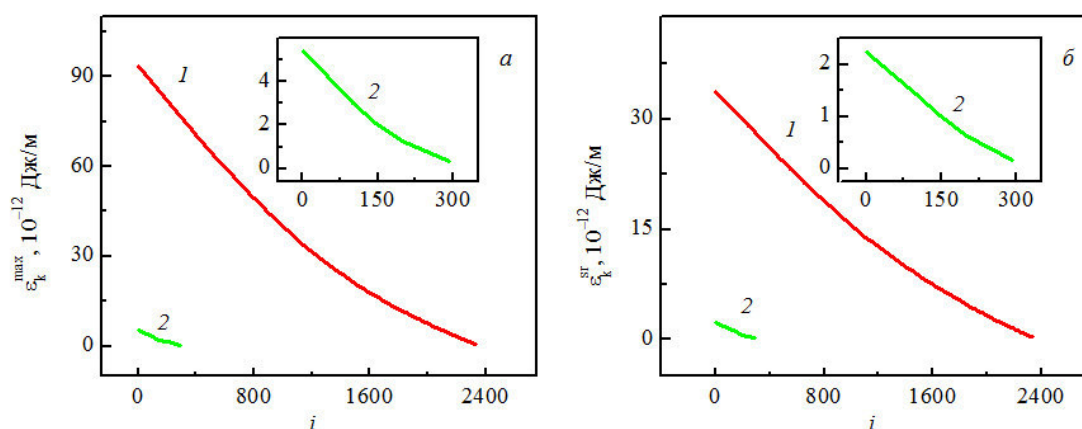


Рис. 2. Зависимость максимального (а) и среднего (б) значения кинетической энергии единицы длины дислокации от номера испущенной дислокационной петли в алюминии (1) и меди (2)

Показано, что в алюминии и меди зависимость максимального и среднего значения кинетической энергии единицы длины дислокационной петли от решеточного и примесного трения линейная обратно

пропорциональная (рис. 3). При увеличении решеточного и примесного трения с 0,1 МПа до 2 МПа максимальная кинетическая энергия уменьшается на 28 % в меди и на 37 % в алюминии, а среднее значение кинетической энергии – примерно на 25 % и 34 % соответственно.

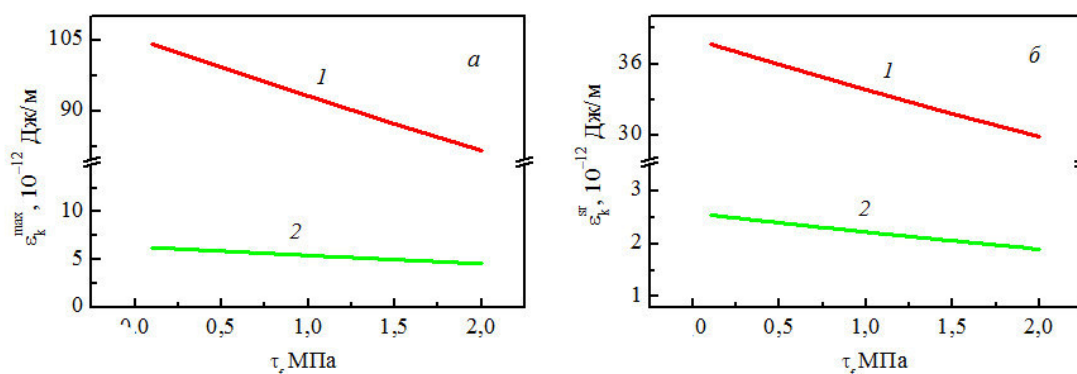


Рис. 3. Зависимость максимального (а) и среднего (б) значения кинетической энергии единицы длины дислокации от решеточного примесного трения в алюминии (1) и меди (2)

Выводы. Таким образом, в результате проведенного исследования показано, что для дислокационной петли, представленной в форме окружности, зависимость ее кинетической энергии от решеточного и примесного трения обратно пропорциональная линейная. При этом изменение значения решеточного и примесного трения на одну и ту же величину приводит примерно к одинаковому изменению максимального и среднего значения кинетической энергии единицы длины дислокации и в меди и в алюминии.

При одинаковом значении решеточного и примесного трения максимальное значение кинетической энергии первой дислокационной петли в алюминии более чем на порядок больше, чем в меди. Для последних дислокаций в меди и в алюминии максимальные значения кинетической энергии отличаются незначительно и близки к нулю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слободской М.И. Попов Л.Е. Исследование явления скольжения в кристаллах методами имитационного моделирования – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та. – 2004. – 450 с.
2. Петелин А.Е., Колупаева С.Н. Математическое моделирование формирования зоны кристаллографического сдвига в алюминии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 3. – С. 175–181.
3. Самохина С.И., Петелин А.Е. Разработка программного комплекса для моделирования зоны сдвига в ГЦК-металлах // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: доклады VI Всероссийской конференции с международным участием. Сер. «Вестник Томского государственного университета». – 2006. – С. 141–145.
4. Петелин А.Е., Кирилук В.А., Куклин Е.В., Заводовский Н.А. Разработка мобильного приложения для моделирования динамики дислокационной петли в ГЦК-металлах // Научный альманах. – 2016. – № 6-2 (19). – С. 276-278.