

## ЛИТЕРАТУРА

1. Либерсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии: в 2 т.: учебник для вузов. Т. 2: Формование и спекание. М.: МИСИС, 2001. 320 с.
2. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса; пер. с англ. М.: Мир, 2002. 292 с.

Поступила в редакцию 20 ноября 2009 г.

Popov V.F., Popov A.V. Measurement of microhardness of the composite samples strengthened by carbon nano-fibres.

In the given work attempt of creation of the new composite material received by a method of powder metallurgy from a copper powder and reinforced with carbon nano-fibers in the form of conglomerates is undertaken. It is shown that presence of inclusions of nano-fibers increases strengths characteristics in the local sites directly adjoining the conglomerate, approximately by 40 % in comparison with matrix sites. The given effect is explained from the positions of dislocation theory. In the work the wide spectrum of the modern experimental equipment is used.

*Key words:* micromechanical tests; composite material; conglomerates of carbon nano-fibers; strength characteristics; dislocations.

УДК 620.162

## ОСОБЕННОСТИ ДВОЙНИКОВАНИЯ В ЗЕРНАХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА Fe + 3,25 % Si

© А.М. Кириллов, Т.Н. Плужникова, Д.Е. Долгих, В.А. Федоров

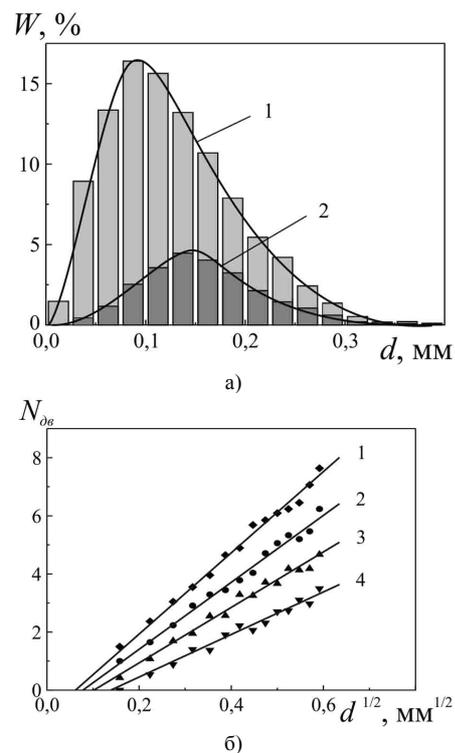
*Ключевые слова:* двойникование; поликристалл; деформация и разрушение.

Исследованы количественные характеристики двойникования в зависимости от скорости деформирования, температуры и размера зерна поликристаллического сплава Fe + 3,25 % Si.

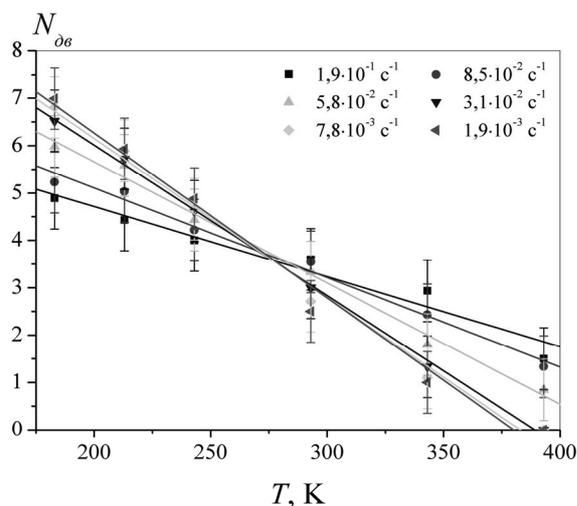
Механическое двойникование является одним из распространенных видов пластической деформации металлов с различными типами кристаллических решеток, а при ударном нагружении оно выступает в качестве основного деформационного механизма. Информация о влиянии различных факторов на двойникование и о влиянии последнего на процесс разрушения крайне интересна и полезна. До настоящего времени одни исследователи считают двойникование ответственным за инициирование микроразрушений, тогда как другие склонны приписывать ему свойство пластифицировать материал при определенных условиях. Работ, посвященных исследованиям двойникования, относительно мало, и в количественном отношении они практически не рассматриваются.

Испытания на растяжение поликристаллического ОЦК сплава Fe + 3,25 % Si проводили на механической машине Instron-5565 со скоростями относительной деформации  $\dot{\epsilon} \approx 0,002 \div 0,66 \text{ с}^{-1}$  при температурах 183–393 К. В образцах порядка 80 % всех зерен лежат в интервале  $0,025 \div 0,175 \text{ мм}$ , а среднестатистический размер зерна:  $d_{cp} = 0,12 \text{ мм}$ .

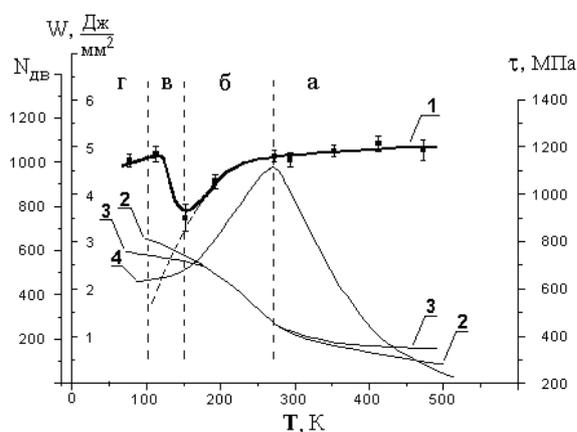
Выявлено, что максимум распределения сдвойникованных зерен смещается в сторону более крупного зерна, относительно общего распределения зерен поликристалла по размерам (рис. 1а). Среднестатистический размер сдвойникованных зерен смещен в сторону более крупных размеров относительно среднестатистического размера зерна поликристалла. Это позволило сделать вывод о том, что крупное зерно в отличие от мелкого больше подвержено не только деформации скольжением, но и двойникованием.



**Рис. 1.** а) Гистограммы распределения частоты зерен по размерам: 1 – общего числа зерен в рабочей зоне образца, 2 – числа сдвойникованных зерен при заданной температуре и скорости деформирования; б) зависимость среднего числа двойников в зерне от размера зерна при  $\dot{\epsilon} = 0,211 \text{ с}^{-1}$  и различных температурах: 1 – 183 К; 2 – 243 К; 3 – 293 К; 4 – 343 К



а)



б)

**Рис. 2.** а) Зависимость среднего числа двойников в зерне поликристалла от температуры испытаний при различных скоростях деформирования; б) график зависимостей: 1 – энергоемкости разрушения; 2, 3 – касательных напряжений скольжения и двойникового соответственно; 4 – общего числа двойников в поликристалле

Установлено, что зависимость среднего числа двойников в зерне от квадратного корня из размера зерна для одной и той же температуры хорошо описы-

вается прямой зависимостью (рис. 1б). Показано, что для всех скоростей деформирования можно выделить «характерный» минимальный размер зерна, в котором двойникование отсутствует. В этом случае в соответствии с законом Холла-Петча следует ожидать затрудненности проявления двойникования при уменьшении размера зерна.

Отсутствие двойникования при малых скоростях деформации связано с динамической устойчивостью зародышей двойникования, формирующихся по механизму Пристнера-Лесли. При малых скоростях деформирования зародыши диссоциируют на скользящие дислокации, тогда как при больших скоростях релаксация напряженного состояния происходит преимущественно двойникованием, т. к. длительность деформирования меньше инкубационного периода активации диссоциации зародыша двойника.

Исследования показали, что в изучаемом интервале температур при различных скоростях деформирования количество двойников в сдвойникованных зернах возрастает с уменьшением температуры испытаний по линейному закону (рис. 2а), что ранее было установлено для монокристаллов. С ростом температуры понижаются стартовые напряжения скольжения, в связи с чем для диссоциации зародыша двойника потребуется меньшее время, что проявляется в росте скорости деформирования. Из графика видно, что при некоторой характеристической температуре зависимость числа двойников от скорости деформирования меняет характер. Данное изменение при схожей температуре наблюдалось ранее в работах с общим числом двойников в крупных поликристаллах Fe + 3,25 % Si (рис. 2б) и объяснялось конкурирующим действием касательных напряжений скольжения и двойникования.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 09-01-00454-а).

Поступила в редакцию 20 ноября 2009 г.

Kirillov A.M., Pluzhnikova T.N., Dolgih D.E., Feodorov V.A. Features twinning in grains of polycrystalline alloy Fe + 3,25 % Si.

Quantitative characteristics twinning depending on speed of deformation, temperature and the size of grain of polycrystalline alloy Fe + 3,25 % Si are investigated.

*Key words:* twinning; polycrystal; deformation and destruction.