

05.1;08;12

## СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА И СТАДИЙНОСТЬ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ Al

© Л.Б.Зуев, Б.С.Семутин, К.И.Бушмелева

Начиная с классической работы Зегера [1] деформационные кривые моно- [2] и поликристаллов [3] принято представлять в виде совокупности последовательно переходящих друг в друга стадий, каждой из которых отвечает тот или иной механизм пластической деформации. Выяснение природы каждой из стадий, в особенности в случае поликристаллов, оказывается сложной задачей, поскольку детальные микроскопические исследования локальных объемов материала нередко указывают лишь на слабые различия в распределениях структурных дефектов [4]. В некоторых случаях для понимания проблемы ценными могут оказаться сведения об интегральных свойствах деформированных металлов, таких как намагниченность [5] или электросопротивление [6].

В настоящей работе приведены сведения об изменении скорости распространения ультразвука (СУ) при деформации поликристаллического алюминия чистотой 99.99% с величиной зерна 300–900 мкм непосредственно в процессе растяжения. Испытания проведены на плоских образцах в форме двойной лопатки, вырезанных из листа толщиной 5 мм. Предварительно образцы отжигались при 873 К. Скорость растяжения на испытательной машине "Instron-1185" составляла 0.1 мм/мин. Измерения СУ производились на растягиваемом образце одновременно с записью диаграммы деформации  $\sigma$ – $\epsilon$  методом автоциркуляции ультразвуковых импульсов с помощью прибора ИСП-12 [7]. Ранее [7] было установлено, что СУ является структурночувствительной величиной и изменяется, например, при изменениях структуры сплавов в результате их термической обработки.

Типичная зависимость СУ от величины деформации приведена на рис. 1 вместе с кривой пластического течения Al. Отчетливо выделяется сложный N-образный вид зависимости  $v_s(\epsilon)$ , причем, поскольку кривая пластического течения ГЦК поликристаллов лишь с большим трудом

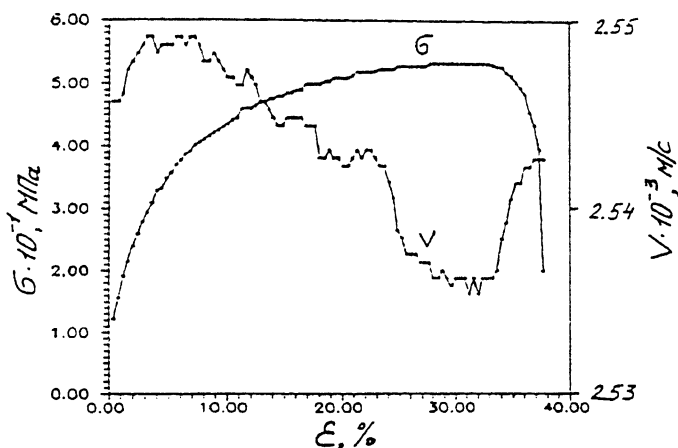


Рис. 1. Деформирующее напряжение и прирост СУ в зависимости от  $\epsilon$ .

может быть разбита на отдельные стадии, приведенные зависимости трудно логически связать друг с другом. В то же время известно [3], что стадийность кривых пластического течения поликристаллов часто может быть выявлена при представлении кривых пластического течения в координатах  $S - e^{1/2}$ , где  $S$  — истинное деформирующее напряжение, а  $e = \ln(1 + \epsilon)$ . Это соответствует уравнению [3]

$$S = S_0 + \Theta e^{1/2}, \quad (1)$$

в котором  $S_0$  — предел текучести, а  $\Theta$  — коэффициент деформационного упрочнения. В результате перехода к указанным координатам (рис. 2) можно видеть, что экстремумы кривой  $v_s(\epsilon)$  соответствуют переломам зависимости  $S(e)$ . Последние же в свою очередь отвечают изменениям механизмов пластического исследуемого материала [3].

Можно полагать, что принципиальное изменение характера поведения зависимости  $v_s(\epsilon)$  на разных стадиях пластического течения указывает на кардинальное отличие соответствующих им механизмов деформации. Как было показано нами ранее [7,8], СУ возрастает при уменьшении уровня внутренних напряжений в материалах и падает при их росте. Возможные причины этого явления связываются в [9] с возникновением двойного акустического преломления в областях со сложным напряженным состоянием. В этом случае участки с разным знаком  $dv_s/d\epsilon$  отвечают, очевидно, различиям в накоплении уровня внутренних напряжений

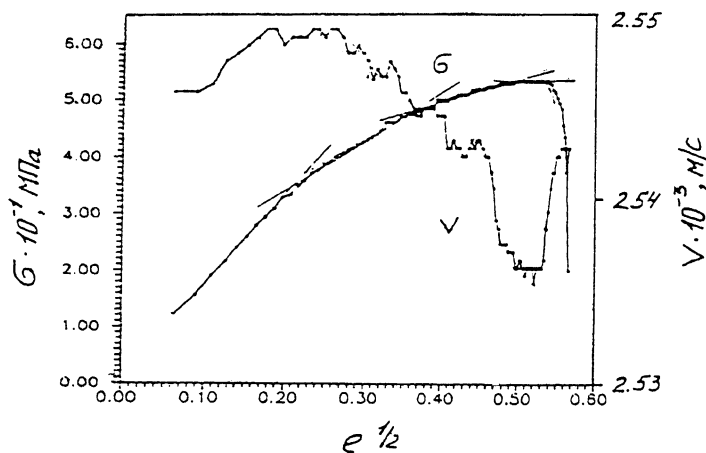


Рис. 2. Деформирующее напряжение и прирост СУ в зависимости от  $e^{1/2}$ .

в деформируемом поликристалле, причем рост СУ соответствует снижению уровня внутренних напряжений от формирующихся ансамблей дефектов, а падение этой величины — их возрастанию. Это общее представление может быть в случае пластического течения поликристаллического алюминия интерпретировано следующим образом, при малых степенях деформации возможна релаксация напряжений за счет локальных разворотов отдельных объемов материала. Подобные развороты при таких степенях деформации наблюдались нами ранее методом рентгеновской топографии [10,11]. Аналогичный рост  $v_s$  в правой части рис. 1 и 2 может быть связан с релаксацией за счет образования микротрещин и пор в формирующейся к этому моменту шейке. На ее появление указывает спад напряжений, начало которого соответствует минимуму на кривой  $v_s(\epsilon)$ . Промежуточная ситуация, когда  $dv_s/d\epsilon < 0$ , может отвечать постепенному формированию все более сложной дислокационной структуры и ее фрагментации [12], сопровождающейся ростом внутренних напряжений.

На наш взгляд, измерение скорости распространения ультразвука непосредственно в ходе пластического деформирования металлов позволяет существенно расширить получаемую в таких экспериментах информацию. Возможно более четкое разделение стадий пластического течения, причем обнаруживается, что даже последовательные стадии этого процесса могут быть принципиально отличны

друг от друга.. Сравнительная простота методики измерения СУ позволяет рекомендовать ее для использования при исследованиях поведения материалов нагрузкой.

### Список литературы

- [1] Зегер А. // Дислокации и механические свойства кристаллов: Сб. статей / Под ред. М.В. Классен-Неклюдовой и В.Л. Инденбома. М.: ИИЛ, 1960. С. 179-268.
- [2] Набарро Ф.Р.Н., Бадинский Э.С., Холт Д.Б. Пластичность чистых монокристаллов. М.: Металлургия, 1967. 214 с.
- [3] Трефилов В.И., Моисеев В.Ф., Печковский Э.П. Деформационное упрочнение и разрушение поликристаллических металлов. Киев: Наук. думка, 1987. 245 с.
- [4] Конева Н.А., Козлов Э.В. // Изв. вузов. Физика. 1990. № 2. С. 89-106.
- [5] Бернер Э., Кронмюллер Г. Пластическая деформация монокристаллов. М.: Мир, 1969. 272 с.
- [6] Yoshida S., Kino T., Kiritani M. // J. Phys. Soc. Japan. 1963. V. 18. Suppl. 2. P. 98-102.
- [7] Муравьев В.В., Зуев Л.Б., Комаров К.Л. Скорость звука и структура сталей и сплавов. Новосибирск: Наука, 1996. 215 с.
- [8] Муравьев В.В., Зуев Л.Б., Комаров К.Л. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 4. С. 103-107.
- [9] Tokioka T., Iwashimizu Yu. // Int. J. Solids Structures. 1968. V. 4. N 3. P. 383-389.
- [10] Зуев Л.Б., Полетика Т.М., Семухин Б.С. // Кристаллография. 1995. Т. 40. № 6. С. 1071-1073.
- [11] Семухин Б.С., Зуев Л.Б. // Завод. лаб. 1995. № 11. С. 43-44.
- [12] Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М.: Металлургия, 1986. 224 с.

Институт физики прочности  
и материаловедения СО РАН  
Томск

Поступило в Редакцию  
12 апреля 1996 г.