

УДК 548.73;546.3

## РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ АЛЮМИНИЯ, ПОДВЕРГНУТОГО УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Л. А. АЗИЗБЕКЯН

Ереванский зоотехническо-ветеринарный институт

(Поступила в редакцию 5 января 1984 г.)

В работе изучено влияние мощных хаотически отраженных ультразвуковых волн на изменение тонкой кристаллической структуры поликристаллического алюминия. Установлено благоприятное влияние температуры на формирование дефектной структуры металлов при их термоультразвуковой обработке.

Ультразвуковые методы интенсификации технологических процессов все больше внедряются в различные отрасли промышленности: металлургическую, машиностроительную, химическую, а также в другие отрасли народного хозяйства [1]. Первые исследования по изучению влияния ультразвуковых колебаний на механические свойства металлов были проведены в пятидесятых годах при растяжении монокристаллов цинка [2]. В последующем в работе [3] исследовалось влияние ультразвуковых колебаний на процесс пластической деформации при растяжении поликристаллов.

Широкие исследования по влиянию ультразвуковых колебаний на прочностные и пластические свойства ряда металлов и сплавов проводятся в Физико-техническом институте АН БССР [1]. Однако физический механизм воздействия ультразвуковых волн на тонкую кристаллическую структуру металлов и сплавов изучен недостаточно хорошо. Поэтому целью настоящей работы было изучение влияния мощных ультразвуковых волн на кристаллическую структуру алюминия. При этом ставились следующие задачи.

1. Вскрыть субструктурный механизм ультразвукового деформационного объемного упрочнения поликристаллического алюминия.
2. Изучить влияние временного и температурного факторов воздействия ультразвуковых волн на формирование субструктуры алюминия.
3. Установить оптимальный режим ультразвуковой обработки (УЗО) алюминия, обеспечивающий высокие прочностные характеристики.

### Результаты физических исследований

Алюминиевые образцы предварительно отжигались при температуре  $450^{\circ}\text{C}$  в течение 2,5 часов. После такой термической обработки возникала ненапряженная, неискаженная структура с размером зерна около 30 мкм.

До УЗО производилась оценка структурно-чувствительного параметра (полуширины интерференционных линий) методом рентгеновской дифрактометрии. При этом регистрировались интерференционные линии с индексами  $(200)_\alpha$  и  $(400)_\alpha$  алюминия на медном характеристическом излучении. Кроме того, при помощи прибора ПМТ-3 измерялась микротвердость исходной структуры алюминия. Относительная погрешность при экспериментальной оценке полуширины ( $B$ ) и микротвердости ( $H_\mu$ ) составляла 5—7%.

После рентгенографического и микротвердостного исследований исходной структуры образцы подвергались УЗО в поле хаотически отраженных бегущих ультразвуковых волн по схеме, описанной в работе [4]. При этом температура обработки изменялась в пределах от комнатной до  $400^\circ\text{C}$ , а продолжительность — от 3 до 30 минут.

Экспериментально было установлено, что наиболее эффективной УЗО, обеспечивающей максимальное развитие структурно-механических характеристик в алюминии, является ультразвуковое озвучивание с частотой 20 кГц и амплитудой 25 мкм.

Для разделения эффектов второго рода (микроискажений и размеров кристаллических блоков мозаики) анализировались профили зарегистрированных интерференционных линий, которые с достаточной степенью точности описывались функцией Гаусса

$$J = e^{-kx^2}.$$

При таком профиле экспериментальных кривых вклад геометрического уширения, а также поправки на дублет  $K_{\alpha_1}$  и  $K_{\alpha_2}$  рассчитывались по методике, описанной в работе [5].

Для разделения эффектов микроискажений ( $\varepsilon$ ) и размеров кристаллических блоков ( $D$ ) получены следующие выражения:

$$\varepsilon^2 = \frac{\beta_2^2 \cos^2 \theta_2 - \beta_1^2 \cos^2 \theta_1}{16 (\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1)}, \quad (1)$$

$$D^2 = \frac{\lambda^2 (\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1)}{\beta_1^2 \sin^2 \theta_2 \cos^2 \theta_1 - \beta_2^2 \cos^2 \theta_2 \sin^2 \theta_1}, \quad (2)$$

где  $\beta_1$  и  $\beta_2$  — истинные физические уширения интерференционных линий  $(200)_\alpha$  и  $(400)_\alpha$  соответственно,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  — углы отражения Вульфа—Брэгга для этих линий.

При помощи формул (1) и (2) оценивались субструктурные параметры ( $\varepsilon$ ,  $D$ ) кристаллической решетки алюминия, подвергнутого термо-ультразвуковой обработке. На основе полученных значений  $\varepsilon$  и  $D$  построены графические зависимости (рис. 1). Как следует из графиков, при высоких температурах ( $400^\circ\text{C}$ ) термоволновой обработки поликристаллического алюминия с последующим резким охлаждением в воде образуется субструктура с более сильно развитыми микроискажениями кристаллической решетки и мелкодисперсными блоками мозаики, чем в случае обработки в условиях комнатной температуры. Реализованная структура характеризуется также более высоким значением микротвердости (рис. 2).

Полученные результаты можно объяснить тем, что при УЗО алюминия в условиях комнатной температуры энергия ультразвуковых волн недостаточна для создания в объеме металла различных дефектов кристаллической решетки, присутствием которых обусловлен эффект упрочнения.

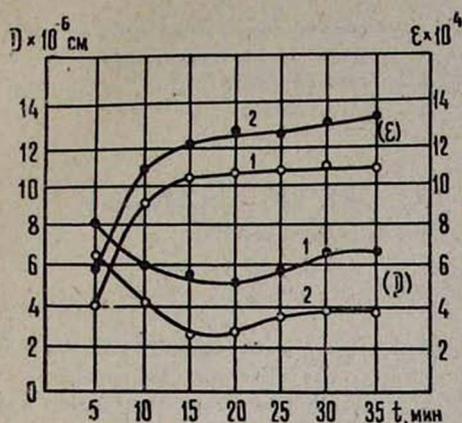


Рис. 1. Развитие эффектов второго рода ( $D$ ,  $\epsilon$ ) в структуре алюминия при УЗО в условиях комнатной температуры (1) и  $400^\circ\text{C}$  (2).

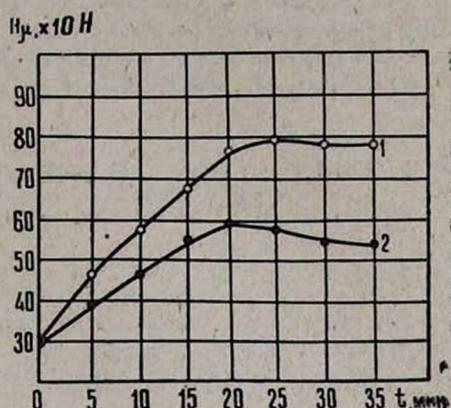


Рис. 2. Результаты измерения микротвердости алюминия, подвергнутого УЗО при различных термических режимах: 1—УЗО при комнатной температуре; 2—УЗО при  $T=400^\circ\text{C}$ .

С повышением температуры УЗО уменьшается энергия образования дефектов, облегчаются микросдвиговые процессы в структурных единицах. Указанная дефектная структура фиксируется при помощи резкого охлаждения образцов в струе холодной воды, что исключает возможность их релаксации в случае медленного охлаждения.

Экспериментальные исследования показали, что эффективность УЗО при температурах выше  $400^\circ\text{C}$  низка, так как часть ультразвуковой энергии при этом расходуется на интенсификацию начинающегося процесса первичной рекристаллизации в алюминии.

Таким образом, при помощи термоультразвуковой обработки поликристаллического алюминия в поле хаотически отраженных ультразвуковых волн за счет образования и фиксации субструктуры достигается эффект объемного упрочнения. Наиболее эффективным режимом обработки является ультразвуковое озвучивание в режиме  $\nu = 20$  кГц,  $A = 20$  мкм,  $t = 20$  мин,  $T = 400^\circ\text{C}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- Севереденко В. П., Клубович В. В., Степаненко А. В. Ультразвук и пластичность. Изд. Наука и техника, Минск, 1976, с. 446.
- Blacha F., Longenecker B. Z. Naturwis, 20, 365 (1955).
- Nevill G. F., Brotzen F. R. Proc. Amer. Soc. for Testing Materials, 57, 741 (1957).
- Азизбеян Л. А., Нерсисян Э. Ц. Способ обработки металлов. Авторское свидетельство № 945225, опубл. 23.07.1982 г., бюллетень № 27.
- Горелик С. С., Расгорюев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. Изд. Металлургия, М., 1970, с. 366.

ՈՒՆՏՐԱՉԱՅՆԱՅԻՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԵՆԹԱՐԿՎԱՄ ԱՆՅՈՒՄԻՆԻ ՍՏՐՈՒԿՏՈՒՐԱՅԻ  
ՌԵՆՏԳԵՆԱԳՐԱՑԻԿ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Լ. Հ. ԱԶԻԶԵԿԻԱՆ

*Ուսումնասիրված է հզոր, քառսային ձևով անդրադարձող ուլտրաձայնային ալիքների ազդեցությունը բազմաբյուրեղային ալյումինի նուրբ բյուրեղային կառուցվածքի վրա: Հայտնաբերված է շերմաստիճանի դրական ազդեցությունը մետաղի բյուրեղական ցանցի թերի կառուցվածքի կազմավորման վրա:*

X-RAY STUDY OF THE STRUCTURE OF ALUMINIUM  
SAMPLES AT ULTRASONIC TRAINING

L. A. AZIZBEKIAN

An influence of intense randomly reflected ultrasonic waves on the fine structure of polycrystalline *Al* samples has been studied. The effect of temperature on the formation of defects inside the metal structure at thermoultrasonic training was examined.