

## ИЗМЕНЕНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СПЛАВА Д-16 И СТАЛИ 40Х, ДЕФОРМИРОВАННЫХ С РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТЬЮ НАГРУЖЕНИЯ

В.И.Беляев, В.Н.Ковалевский, П.И.Скоков

Пластическая деформация металлов приводит к значительным микроскажениям кристаллической решетки и дроблению блоков мозаики, что характеризуется уширением рентгеновских интерференционных линий. Рост скорости деформирования изменяет степень и характер распространения деформации, что, в свою очередь, оказывает воздействие на субмикроскопическое строение металла.

В работе исследовалась структура и тонкая структура испытанных с различной скоростью деформирования цилиндрических образцов. Исследование проводилось на образцах из сплава Д-16 и стали 40Х, которые перед деформированием подвергались отжигу, с тем чтобы исключить влияние микроскажений кристаллической решетки, вносимых термической обработкой.

Для съемки вырезались диски высотой  $h = 2$  мм из цилиндрических образцов, испытанных на растяжение с различной скоростью деформирования. Для снятия слоя металла, кристаллическая решетка которого искажена механической резкой, применялись шлифовальные шкурки различной зернистости (снимаемая толщина - 0,25 мм) и последующая электрополировка для стали 40Х (снимаемая толщина 0,1 мм) или химическое травление раствором  $MnOH$  для Д-16. Электрополировка осуществляется в фосфорнохромовом электролите ( $H_3PO_4$  - 507 см<sup>3</sup>;  $\gamma = 1,695$ ;  $H_2O$  - 30,7 гр;  $C_2O_3$  - 100 гр).

Рентгенографические исследования приготовленных дисков проводилось на установке УРС-50ИИ с импульсионной регистрацией дифракционных максимумов. Съемка образцов из сплава Д-16 велась в медном и стали 40Х - в железном монохроматическом характеристическом излучении от рентгеновских трубок БСВ-6 Cu и БСВ-6 Fe.

Определение остаточных напряжений II рода и величин блоков мозаики проводилось по методике, предложенной Куримовым и Лисаком /1,2/.

Защитались рентгеновские линии для стали 40Х  $110^\circ$  с углом Вульфа-Брэгга  $28^\circ 36'$  и  $22^\circ$  - с углом  $72^\circ 20'$ ; для сплава

Д-16 линии III<sub>α</sub> - с углом 19°13' и 400<sub>α</sub> - с углом 49°40'. Выбранные линии являются отражениями первого и второго порядка от одной плоскости, что исключает возможность внесения ошибки из-за анизотропии микроискажений.

Результаты рентгенографических исследований характеристик тонкой структуры сплава Д-16 и стали 40X сведены в графики на рис. 1-3.

Данные, представленные на рис. 1, 2, показывают, что остаточные напряжения в статически деформированных образцах мало изменяются по длине образца, уменьшаясь по мере удаления от места разрушения.

При скорости деформирования до 10 м/сек величины микроискажений, а следовательно, и остаточных напряжений II рода, значительно превосходят соответствующие микроискажения в статически деформированных образцах, хотя общий характер распределения остаточных напряжений нарушается незначительно. При скорости деформирования 80 м/сек остаточные напряжения II рода крайне неравномерно распределяются по длине образцов, резко возрастая у жестко закрепленного конца образца, что, вероятно, связано с наложением прямых и отраженных волн в образце у неподвижного захвата.

Дальнейшее увеличение скорости нагружения приводит к выравниванию и общему росту микронапряжений по всему объему образца.

Характер изменения величин блоков м.з.а.ки аномален изменением микроискажений кристаллической решетки (рис. 1).

Изменение плотности дислокаций (рис. 3) показывает, что увеличение скорости деформирования до 130 м/сек ведет к росту плотности дислокаций  $\rho_{nr}$  в зоне максимальной деформации. Дальнейшее увеличение скорости до 200 м/сек ведет к локализации деформации, локальному увеличению температуры в плоскости скольжения благодаря поглощению энергии на дефектах кристаллической решетки, что приводит к некоторой релаксации остаточных микроискажений кристаллической решетки, а следовательно, к снижению плотности дислокаций.

Высокие скорости деформирования приводят не только к увеличению микроискажений кристаллической решетки и повышению плотности дислокаций, но изменяют деформационный механизм.

Известно, что пластическая деформация при статическом и высокоскоростном нагружении характеризуется движением и взаимодействием

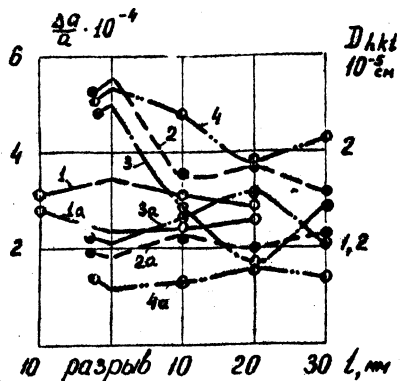


Рис.1. Изменение микроискажений ( $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ ) и дисперсности блоков мозаики ( $D_{hkl}$ ) в стали 40X:

- 1 - ( $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ ); 1а - ( $D_{hkl}$ ) при  $v = 400 \text{ м/сек}$ ;  
 2 - ( $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ ); 2а - ( $D_{hkl}$ ) при  $v = 12 \text{ м/сек}$ ;  
 3 - ( $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ ); 3а - ( $D_{hkl}$ ) при  $v = 80 \text{ м/сек}$ ;  
 4 - ( $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ ); 4а - ( $D_{hkl}$ ) при  $v = 130 \text{ м/сек}$ .

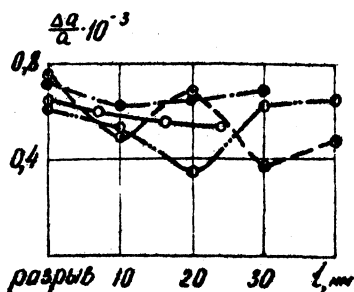


Рис.2. Изменение микроискажений ( $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ ) в сплаве Д-16, испытанном с различными скоростями растяжения. Обозначения те же, что и на рис.1.

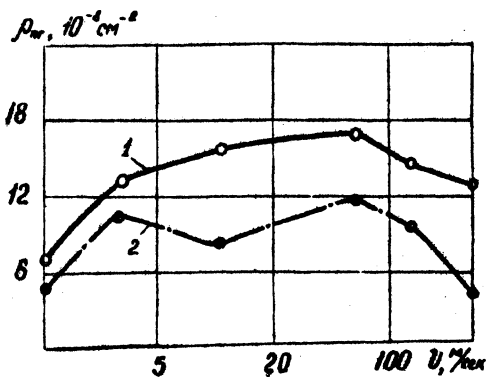


Рис.3. Изменение плотности дислокаций ( $\rho_m$ ) в стали 40X, подвергнутой различным скоростям растяжения ( $v$ ):

- 1 - в зоне шейки;  
 2 - у неподвижного захвата.



Рис.4. Микроструктура отожженной стали 40X ( $\times 1800$ ) после растяжения со скоростью 200 м/сек.

вию дислокации, а деформационный механизм для каждого материала определяется типом кристаллической решетки, размером зерна, величиной энергии дефекта упаковки и условиями испытаний /3/. Высокая скорость деформации не вызывает существенных изменений в величине зерна, однако внутри зерна наблюдается интенсивное дробление блоков мозаики. Динамическое нагружение характеризуется не только повышением плотности дислокаций, но и более равномерным их распределением по всему объему деформированного материала, что сказывается на повышении сопротивления деформации.

Вследствие быстрого воздействия фронта удара и очень короткого промежутка времени действия максимальных напряжений в металле происходят превращения сдвигового типа - двойникование. Проведенные микроструктурные исследования позволили установить, что при скорости деформирования 200м/сек на зернах феррита (сталь 40Х) наблюдается двойникование (рис. 4). Двойникование в Fe- $\alpha$  происходит по плоскости  $\{211\}$  в направлении /111/. При высокоскоростном нагружении основным деформационным механизмом следует считать двойниковое превращение, в то время как при статических испытаниях основным является процесс скольжения.

Переход к механизму двойникования объясняется тем /4/, что с увеличением скорости деформирования сопротивление двойникованию растет значительно медленнее, чем сопротивление скольжению. Поэтому, существует некоторая критическая скорость деформации, определяющая переход от скольжения к двойникованию.

#### Л и т е р а т у р а

1. М и р к и н Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. ФМ, М., 1963.
2. Рентгенография в физическом металловедении. Под редакцией Н.А.Бегаряцкого. Металлургиздат, М., 1961.
3. Ф р и д е л ь . Дислокации, "Мир", М., 1967.
4. Г у б к и н С.И. Пластическая деформация металлов. Металлургиздат, М., 1961.