

УДК 539.5

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Я. Д. ВИШНЯКОВ, С. А. ВЛАДИМИРОВ, П. И. ПОЛУХИН
**ЭФФЕКТ АТЕРМИЧЕСКОГО РАЗУПРОЧНЕНИЯ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
В ПРОЦЕССЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 20 I 1972)

Одной из основных особенностей холодной пластической деформации является уменьшение пластичности с ростом степени деформации. Вместе с тем в литературе имеются указания на эффекты, являющиеся «аномальными» с точки зрения общепринятых представлений о протекании процесса пластической деформации (¹⁻⁴).

В настоящей работе установлено и систематически исследовано явление повышения пластичности металлов в процессе холодной пластической деформации, происходящее в определенном для данного материала и данных

условий деформирования интервале степеней деформации и обусловленное спонтанной перестройкой дислокаций. Это явление названо нами эффектом атермического разупрочнения кристаллических материалов.

Эффект обнаружен при исследовании образцов никеля и его сплавов с 20, 30 и 60 ат. % кобальта, прокатанных при комнатной температуре со степенями суммарного обжатия от 40 до 90%. Средние размеры зерна d : в никеле 60 и 120 μ , в сплавах 60 μ .

В качестве методов исследования использованы рентгеноструктурный анализ, измерение микротвердости (H_{100}), электронная микроскопия тонких фольг на просвет и испытания плоских образцов на растяжение.

Зависимости структуры и свойств никеля ($d = 60 \mu$) от степени деформации имеют две «аномалии» при деформации 55—60 и 75—80% (рис. 1).

Аналогичное изменение свойств наблюдается и для никеля с размером зерна 120 μ . Испытания на растяжение показали увеличение пластичности при указанных степенях деформации, что хорошо согласуется с результатами исследований структуры.

Прокатка велась так, чтобы исключить возможность термической активации: температура образцов при деформировании не превышала 70° С. Параллельно проведенное исследование показало, что заметное изменение свойств деформированных образцов наблюдается при температурах >300° С.

Как показали наши эксперименты, наблюдаемое повышение пластичности носит характер атермического процесса и обусловлено радикальными изменениями дислокационной структуры в ходе деформации. Так, при электронной микроскопии тонких фольг на просвет наблюдалось увеличение среднего размера дислокационных ячеек $\bar{l}$ в зоне проявления эффекта

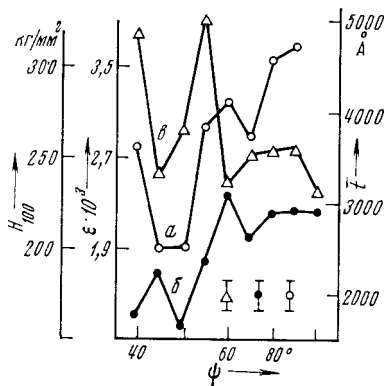


Рис. 1. Зависимость свойств никеля ($d = 60 \mu$) от степени деформации: а — относительная среднеквадратичная микродеформация решетки ϵ , б — микротвердость H_{100} , в — средний размер дислокационных ячеек $\bar{l}$

(рис. 1в). При этих же степенях деформации наблюдается появление дислокационных конфигураций (рис. 2, см. вкл. к стр. 564), вытянутых в направлениях типа $[111]$, $[110]$ и $[100]$.

Таким образом, с помощью электронной микроскопии показано, что релаксация внутренних напряжений в ходе холодной пластической деформации связана с существенной перестройкой дислокационной структуры. По нашему мнению, подобная перестройка дислокаций происходит по достижении вполне определенного для данного материала уровня внутренних искажений решетки кристалла, который определяет степень неустойчивости структуры. Введение в такой кристалл дополнительной энергии, в данном случае энергии деформации, превосходящей по величине энергию активации процессов релаксации в данной структуре, приводит к переходу системы в более стабильное состояние, в результате чего заметно изменяются структура и свойства материала.

Легирование никеля 20 и 30 ат. % кобальта не оказывает существенно-го влияния на процесс атермического разупрочнения, несмотря на то, что энергия дефектов упаковки меняется от 220 эрг/см^2 для чистого никеля до 120 эрг/см^2 для сплава с 30 ат. % кобальта ⁽⁵⁾. Известно, что легирование, при прочих равных условиях, приводит к увеличению уровня искажений в решетке, что благоприятствует протеканию релаксационных процессов и в то же время, увеличивая ширину расщепленных дислокаций, легирование снижает их склонность к перераспределению ⁽⁶⁾. По-видимому, в исследованном нами случае эти два основных фактора уравнивают друг друга.

Дальнейшее уменьшение энергии дефектов упаковки до 20 эрг/см^2 в сплаве никеля с 60 ат. % кобальта ⁽⁵⁾ оказывает существенное влияние на наблюдаемый эффект. В этом сплаве «аномальное» изменение свойств наблюдается лишь при 80—85 % деформации. Для объяснения этого факта необходимо учитывать высокую склонность данного сплава к механическому двойникованию ⁽⁷⁾. Как известно, при зарождении двойника уровень искажений в кристалле уменьшается, чем объясняется появление зубцов на кривой напряжение — деформация ⁽⁸⁾, а в процессе его роста уровень искажений увеличивается вследствие одновременного увеличения плотности дислокаций. Обычно суммарный процесс зарождения и роста двойников деформации приводит к увеличению микроискажений решетки. Однако для материалов с низкой энергией дефектов упаковки при больших степенях деформации, когда уровень искажений высок, зарождение двойников осуществляется легко, а их распространение затруднено, что может приводить к общему разупрочнению материала.

При электронной микроскопии на просвет образцов сплава никеля с 60 ат. % кобальта, деформированных на 75—80 %, наблюдались поля, сравнительно свободные от дислокаций и пересеченные тонкими двойниками деформации (рис. 3, см. вкл. к стр. 564). При всех остальных степенях деформации наблюдалось квазиравномерное распределение дислокаций.

Приведенные выше результаты исследования явления атермического разупрочнения кристаллических материалов позволяют уточнить сложившиеся представления об особенностях процесса пластической деформации.

Московский институт
стали и сплавов

Поступило
19 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. A. Wood, W. A. Ratchinger, J. Inst. Metals, **75**, 571 (1949). ² В. М. Голубков, В. А. Ильина и др., Проблемы металловедения и физики металлов, V сборн. тр., 1958, стр. 446. ³ И. Н. Фриндландер, Я. Д. Вишняков и др., Алюминиевые сплавы, в. 5, Металлургия, 1968, стр. 198. ⁴ П. В. Бриджмен, Исследование больших пластических деформаций и разрыва, ИЛ, 1958. ⁵ G. L. Dullamore, Met. Trans., **1**, 9, 2463 (1970). ⁶ Я. Д. Вишняков, Дефекты упаковки в кристаллической структуре, 1970. ⁷ Анджей Корбель, Станислав Горчица, Физ. мет. и металловед., **31**, 3, 606 (1971). ⁸ W. G. Tegart, Elements of Mechanical Metallurgy, 1966.