

О ДЕФОРМАЦИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ВАНАДИЯ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Г.Н.Малик, А.В.Мац, В.И.Соколенко

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»
г. Харьков, Украина, E-mail: vsokol@kipt.kharkov.ua

Исследовано влияние совместного воздействия растягивающей нагрузки и ультразвуковых колебаний на деформационное поведение и структурное состояние поликристаллического ванадия. Обнаруженные нестационарные деформации на площадке текучести диаграмм растяжения объясняются локальными изменениями структуры, зависящими от амплитуды ультразвукового напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

Структурные изменения в моно- и поликристаллах под воздействием ультразвуковых колебаний (УЗК), как показано, например, в работе [1], характеризуются возникающими зонами пластической деформации с высокой плотностью дислокаций и повышенной концентрацией точечных дефектов. Формируемое в таких условиях структурное состояние должно быть связано, естественно, с исходным типом дислокационной структуры и оказывать влияние на закономерности пластического течения при статическом нагружении. В работе [2] было показано, что ультразвуковое воздействие, осуществляемое в процессе деформирования монокристаллов меди (ГЦК-решетка) заметно меняет все параметры кривой деформации. Представляло интерес провести изучение особенностей деформационного поведения в ультразвуковом поле и изменений структурного состояния металла с другим типом кристаллической решетки, в частности с ОЦК-решеткой, при заданном исходном распределении дефектов кристаллической решетки. Исследования в данном направлении расширяют представления о природе физических процессов, лежащих в основе упрочнения кристаллов в сложных условиях испытаний.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследований являлся ванадий – представитель ОЦК переходных металлов пятой группы. Исходные заготовки вырезались из листового ванадия технической чистоты (марки ВНПП). Затем заготовки деформировались прокаткой при комнатной температуре на 20% и отжигались в вакууме ($P = 10^{-5}$ Торр) в течение 2 ч. В результате в образцах для исследований была создана полигональная дислокационная структура с текстурными ориентировками прокатки $\{100\}\langle 110\rangle$ и $\{111\}\langle 110\rangle$ и следующими параметрами: размер полигонов ≈ 1 мкм, плотность дислокаций в теле полигонов $\rho \sim 10^9$ см $^{-2}$.

Механические испытания путем одноосного растяжения при комнатной температуре со скоростью $2 \cdot 10^{-3}$ с $^{-1}$ с наложением ультразвука и без ультразвука проводились на установке, подробно описанной в [3]. Ультразвуковое воздействие на частоте 18,5 кГц

с амплитудами смещения $A = 6, 8$ и 12 мкм начинали одновременно с нагружением образцов. Дислокационная структура контролировалась методом просвечивающей электронной микроскопии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис.1 приведены деформационные кривые ванадия, соответствующие различным условиям испытания. Из рисунка следует, что общий характер зависимостей деформирующего напряжения σ от степени относительной деформации ε в случае совместного воздействия растягивающей нагрузки и УЗК не изменился по сравнению с зависимостью σ (ε), соответствующей только одноосному растяжению. На всех кривых $\sigma(\varepsilon)$ можно выделить: область немонотонной зависимости ($0 < \varepsilon < 0,7\%$), стадию слабой зависимости (площадка текучести) и далее – типичный для ОЦК-металлов участок параболического упрочнения. Влияние ультразвукового воздействия проявляется в том, что с ростом амплитуды смещения происходит снижение уровня деформирующих напряжений на всех стадиях; увеличение протяженности площадки текучести, а также появление на ней осцилляций.

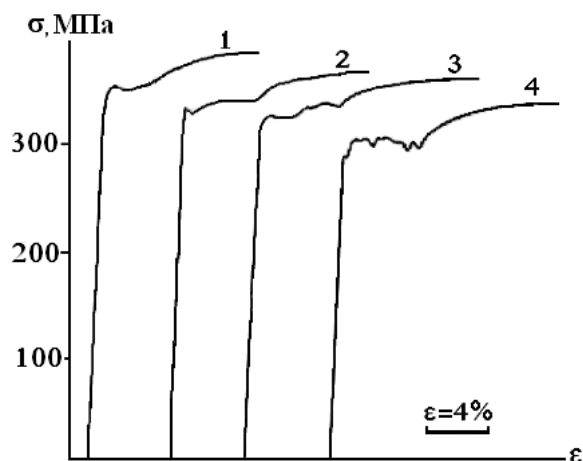


Рис. 1. Кривые нагружения образцов ванадия в области равномерной деформации в координатах $\sigma - \varepsilon$ без приложения УЗК (1) и с приложением УЗК с амплитудой смещения 6 мкм (2), 8 мкм (3) и 12 мкм

Немонотонность кривых деформации свидетельствует о возникновении пластических неустойчивостей в процессе испытаний. Как известно [4], появление "зуба" текучести обусловлено отрывом подвижных дислокаций от атмосфер точечных дефектов и их комплексов. Образовавшаяся затем площадка текучести, как показали авторы [5], является "подготовительной" стадией деформации, определяемой локальным скольжением дислокации в местах концентрации напряжений. В нашем случае такими местами могут быть полигональные границы. При статических режимах нагружения (см.рис.1, кривая 1) протяженность площадки текучести не превышает 1%. Далее следует равномерная деформация с упрочнением, достигающим максимального значения при $\epsilon = 10\%$. К этому моменту исходная полигональная структура оказывается разрушенной, и сопротивление пластическому течению определяется уровнем полей дальнедействующих напряжений дислокационных скоплений (рис. 2,а). Характер наблюдаемого распределения дислокации, в частности возникновение дислокационных стенок, свидетельствует о протекании процессов зарождения ячеистой структуры.

Эффект разупрочнения кристаллических материалов в результате ультразвукового воздействия обнаружен достаточно давно и объяснен суперпозицией полей напряжений, создаваемых статическим усилием и ультразвуковой волной, нагревом образца, селективным поглощением энергии УЗК структурными дефектами [1]. Диссипация энергии, в частности на дислокациях, реализуется вследствие совершения ими вынужденных колебаний под влиянием внешнего знакопеременного напряжения, что наряду с уменьшением жесткости закрепления и увеличением эффективной длины дислокационной петли стимулирует поперечное скольжение. Рост интенсивности протекания такого термоактивационного процесса, как поперечное скольжение, наблюдается при деформировании поликристаллического ванадия при повышенных температурах [4], что приводит к уменьшению протяженности стадии легкого скольжения. Однако из рис. 1, кривые 2-4 видно, что наложение ультразвука на процесс растяжения приводит к смещению критической точки перехода к параболическому упрочнению в область больших деформаций. При $A = 12$ мкм протяженность площадки текучести достигает 4%. Кроме того, в этой области пластической деформации наблюдаются периодические микропластические неустойчивости, свидетельствующие о протекании процессов локализации пластической деформации и очаговом изменении дефектной структуры.

Электронно-микроскопические исследования показали, что для структуры на данном этапе деформации характерна резкая неоднородность в распределении дислокации (см.рис. 2,б). Отмечается одновременное присутствие нескольких структурных элементов, обладающих различным сопротивлением пластическому течению. Такими элементами являются микрообъемы с высокой плотностью равномерно распределенных дислокаций ($\rho \approx 9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$);

дислокационные границы, разделяющие области с

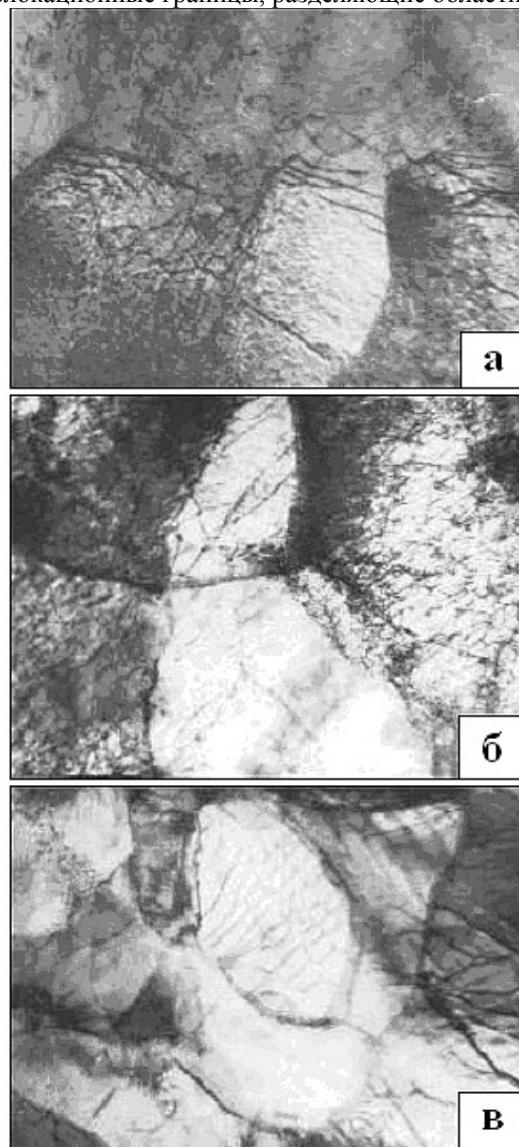


Рис. 2. Структура ванадия: после деформации растяжением ($\epsilon=10\%$) (а); после деформации растяжением ($\epsilon=3,7\%$) совместно с наложением ультразвука ($A=12\text{мкм}$) (б), после деформации растяжением ($\epsilon=10\%$) совместно с наложением ультразвука ($A=12\text{мкм}$) (в). $\times 45000$

плотностью дислокаций, не превышающей $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$; высокоугловые границы. Представляется, что локальный переход от одного структурного состояния к другому (от ансамбля равномерно распределенных дислокаций высокой плотности к дислокационным границам) приводит к разупрочнению. Микропластическая деформация, сопровождающаяся локальным накоплением дислокаций, соответствует новому подъему деформирующего напряжения. Подвижными дислокациями, помимо освободившихся от центров закрепления и образовавшихся по механизму регенеративного размножения, становятся дислокации, испускаемые первичными малоугловыми границами. Такие границы более интенсивно "рассыпаются" с повышением уровня термической активации [5]. По мере увеличения ампли-

туды смещения при ультразвуковом воздействии в большей степени активизируются как процессы поперечного скольжения, зависящие в данном случае от амплитуды вынужденных колебаний дислокаций, так и процессы переползания дислокаций вследствие повышения концентрации генерируемых вакансий [6]. Развитием этих процессов определяется интенсивность перераспределения дислокации и образования малоугловых границ и, следовательно, формирование дефектной структуры одного типа во всем объеме образца. Такая трансформация субструктуры приводит к понижению уровня внутренних напряжений и увеличению степени деформации, необходимой для перехода к стадии с более высоким коэффициентом деформационного упрочнения.

После стадии слабой зависимости $\sigma(\varepsilon)$ дальнейшая деформация сопровождается монотонным упрочнением, обусловленным развитием областей с перестроенной субструктурой. Это происходит в результате активизации движения дислокаций из объема на границы образовавшихся фрагментов, переползания дислокаций в самих границах, являющихся активными стоками для точечных дефектов. В результате (рис. 2,в) доминирующим элементом структуры в области однородной деформации становятся границы различной мощности, в том числе межзеренного типа, а дислокации зачастую образуют устойчивые конфигурации в виде сеток.

Фрагментированная структура, сформированная в ванадии в условиях совместного воздействия ультразвуковых колебаний и внешних статических напряжений, обладает меньшим сопротивлением пластическому течению и определяет больший запас равномерной пластичности материала (см. рис. 1), чем дислокационные ансамбли, образовавшиеся в процессе обычной деформации растяжением на ту же степень. Подобные закономерности изменения дефектной структуры и параметров кривой упрочнения в сложных условиях испытания по сравнению с испытаниями в условиях одноосного нагружения, установленные в настоящей работе для ванадия (металл с ОЦК-решеткой), соответствуют данным для меди (металл с ГЦК-решеткой) [2].

ВЫВОДЫ

1. Изучено влияние совместного воздействия

ультразвуковых колебаний и одноосного растяжения на сопротивление пластической деформации и эволюцию исходной полигональной дислокационной структуры поликристаллического ванадия.

2. Показано, что немонотонное изменение деформирующего напряжения на участке площадки текучести связано с локальным перераспределением дислокаций и, как следствие, наличием в структуре дефектов различных типов. Локализация пластического течения в данных условиях деформирования обусловлена активизацией процессов поперечного скольжения и переползания дислокаций.

3. Увеличение амплитуды ультразвуковых колебаний приводит к усилению полноты структурных преобразований на стадии слабой зависимости $\sigma(\varepsilon)$, определяющей параметры последующего пластического течения.

4. Структура, формирующаяся при совместном воздействии растягивающей нагрузки и ультразвуковых колебаний, позволяет реализовать большую величину равномерной деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А. Тяпунина, В.В. Благовещенский, Г.М. Зиненкова, Ю.А. Ивашкин. Особенности пластической деформации под действием ультразвука // *Изв. вузов. Физика*. 1982, т.25, № 6, с.118-128.
2. И.А. Гиндин, Г.Н. Малик, И.М. Неклюдов, О.Т. Розумный. Влияние ультразвуковых колебаний на параметры кривой упрочнения монокристаллов меди // *Изв. вузов. Физика*. 1972, № 2, с.51-56.
3. И.А. Гиндин, И.М. Неклюдов. *Физика программного упрочнения*. Киев: «Наукова думка», 1979, 146 с.
4. Ван Бюрен. *Дефекты в кристаллах*. М.: «Иностр. Лит.», 1962, 548 с.
5. О.И. Баньковский, И.Д. Горная, В.Ф. Моисеев. Особенности деформационного упрочнения монокристаллического ванадия // *УФЖ*. 1985, т.30, № 3, с.406-410.
6. Е.Э. Засимчук, С.И. Селицер. Механическая неустойчивость дислокационной ячеистой структуры // *Металлофизика*. 1982, т.4, № 6, с.75-80.
7. А.В. Кулемин А.В. *Ультразвук и диффузия в металлах*. М.: Металлургия, 1978, 198с.

ПРО ДЕФОРМАЦІЮ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОГО ВАНАДІЮ В УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ПОЛІ

Г.М.Малік, О.В.Мац, В.І.Соколенко

Досліджено вплив спільної дії навантаження, що розтягує, і ультразвукових коливань на деформаційне поводження і структурний стан полікристалічного ванадію. Виявлені нестабільності деформації на площадці текучості діаграм розтягу пояснюються локальними змінами структури, що залежать від амплітуди ультразвукової напруги.

ABOUT DEFORMATION OF POLYCRYSTALLINE VANADIUM IN THE ULTRASONIC FIELD

G.N. Malik, A.V. Mats, V.I. Sokolenko

The influence of conjoined action of tensile loading and ultrasonic oscillations on deformation behaviour and

structural state of the polycrystalline vanadium is investigated. The instability of deformation on the yield plateau of the stress-strain curves is due to local structure changes dependent on amplitude of an ultrasonic stress.