

Деформационное поведение и дислокационная структура интерметаллидов

Гринберг Б.А., Антонова О.В., Пацелов А.М., Плотников А.В., Казанцева Н.В., Волков А.Ю., Кругликов Н.А., Иванов М.А., Кадникова Ю.П.



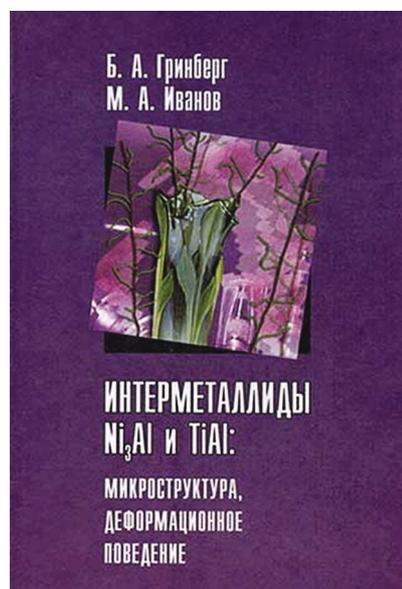
Развит подход к описанию процесса пластической деформации как эволюции дислокационной популяции. С учетом термоактивированной блокировки дислокаций и дислокационных источников получены уравнения пластической деформации, которые дают возможность описать необычное деформационное поведение интерметаллидов. В рамках развиваемого подхода удастся также описать разные стадии ползучести и переходы между ними. Предложена новая концепция о возможности термоактивированной блокировки сверхдислокаций в отсутствие внешних напряжений. По своей природе процесс автоблокировки представляет собой переброс дислокации из мелкой долины потенциального рельефа в глубокую, приводящий к вытягиванию дислокаций вдоль выделенного направления. Эффект автоблокировки сверхдислокаций в интерметаллидах, действительно, обнаружен в результате проведенных экспериментов по нагреву без нагрузки после предварительной деформации.

Предложен достаточно общий подход к описанию процесса пластической деформации как эволюции дислокационной популяции. Поведение дислокационной популяции определяется как размножением дислокаций, так и их превращениями. Полная система уравнений включает в себя уравнения детального баланса для плотностей дислокаций различных типов и уравнение роста популяции, подобное используемому для других популяций, в частности, биологических. Уравнение размножения дислокаций можно записать в виде:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\rho}{\tau} - A\rho^2$$

Здесь τ – характерное время работы дислокационных источников. В рамках предложенного подхода оказалось возможным описать необычное деформационное поведение интерметаллидов и, в первую очередь, температурную аномалию предела текучести $\sigma_y(T)$. Сравнение кривых $\sigma_y(T)$ в TiAl с типичными кривыми для других материалов позволило реконструировать форму потенциального рельефа для дислокации в TiAl. Высказано предположение о возможном изменении формы потенциального рельефа для дислокации в зоне влияния микротрещины. Инициированная концентрацией напряжений блокировка дислокационных источников вблизи микротрещины

является возможной причиной хрупкости TiAl. Кроме динамического нагружения, этот подход применен для анализа ползучести.



Удается описать в целом весь ход временной зависимости деформации, включая разные стадии ползучести и переходы между ними. Проанализировано, как влияет на вид кривых ползучести изменение параметров, характеризующих дислокационные превращения и работу дислокационных источников.

Предложена новая концепция о возможно-

сти термоактивированной блокировки сверхдислокаций в отсутствие внешних напряжений, называемой далее автоблокировкой. Выявлен достаточно общий термоактивированный процесс, который приводит к вытягиванию дислокации вдоль выделенного направления и составляет необходимый этап дислокационных превращений, вызывающих блокировку.

По своей природе этот процесс представляет собой переборс (flip) дислокации из мелкой долины потенциального рельефа в глубокую. Рассмотрены последовательные стадии флип-процесса, включая образование двойного перегиба и последующую его переориентацию вдоль выделенного направления (рис.1). Вычислена движущая сила флип-процесса, которая определяется разностью в глубине долин. Сформулированы условия автоблокировки для дислокаций различных типов. Предложено объяснение особенностей флип-процесса для частичных дислокаций в простых полупроводниках.

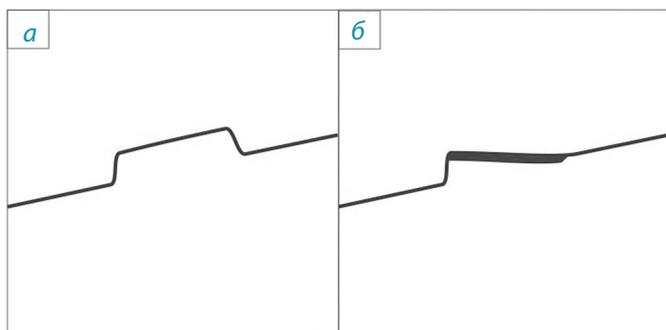


Рис.1

Последовательные стадии перестройки дислокации:

а - симметричный перегиб в плоскости куба

б - асимметричный перегиб, вытянутый вдоль линии пересечения плоскостей куба и октаэдра

Обнаружен эффект автоблокировки сверхдислокаций в интерметаллидах (рис. 2,3), предсказанный ранее теоретически. Проведены эксперименты по нагреву без нагрузки предварительно деформированных интерметаллидов. Использовались монокристаллы $Ni_3(Al,Nb)$ с ориентировкой [251]. Нагрев без нагрузки проводился при различных температурах, как ниже, так и выше температуры пика предела текучести. Электронно-микроскопически наблюдается превращение скользящих сверхдислокаций в дислокационные барьеры.

Суперпозиция различных видов упрочнения исследована для упорядоченного сплава FePd. Мы полагаем, что наблюдаемая в FePd форма кривой $\sigma_y(T)$ является результатом суперпозиции напряжения течения $\sigma_0(T)$, имеющего темпера-

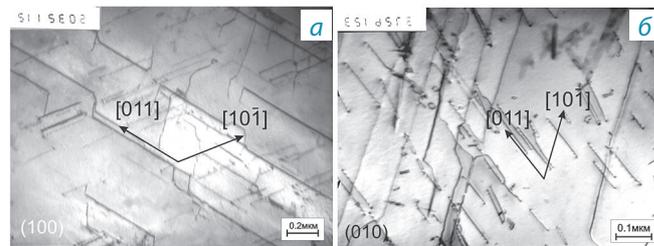


Рис.2

Дислокационная структура в $Ni_3(Al,Nb)$ после деформации при $800^\circ C$ и нагрева при $200^\circ C$, 1 час.

а - светлопольное изображение, плоскость фольги параллельна плоскости (100)

б - светлопольное изображение, плоскость фольги параллельна плоскости (010)

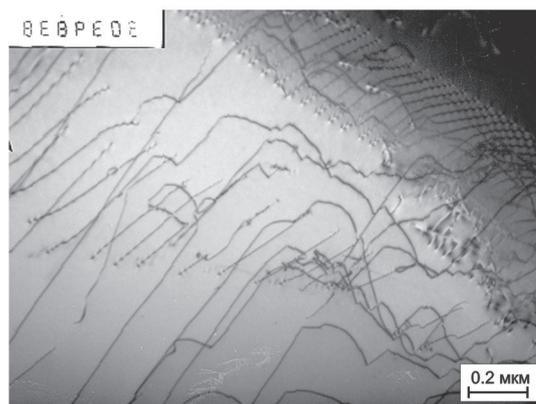


Рис.3

Начальные стадии блокировки одиночных дислокаций в TiAl

турный максимум, и напряжения $\sigma_b(T)$ прорыва дислокаций через доменные границы. Интерес к деформационному поведению сплава FePd связан с тем, что аналогично упорядоченному сплаву FePt, сплав FePd может быть использован в качестве магнитной среды для повышения плотности записи информации.

Исследовано влияние экстремального деформационного воздействия на структуру, фазовый состав и механические свойства интерметаллидов. Обнаружено, что в интерметаллидных сплавах системы Ti-Al-Nb большая пластическая деформация приводит в конечном счете к превращению типа порядок-беспорядок. Обнаружены новые метастабильные фазы со структурным типом: A20 и B19. После ударно-волнового нагружения никелевого суперсплава обнаружен фазовый переход сверхструктуры $L1_2$ в модулированную тетрагональную ($c/a=2.022$) сверхструктуру DO_{22} . Период модуляции π/k_0 , где рассчитанный волновой вектор $k_0=0.247$. Появление этой модулированной фазы сопровождается изменением магнитных свойств: значение магнитной восприимчивости возрастает на два порядка по сравнению с исходным состоянием.