ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXXIX, № 5, 1986 Серия технических наук

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В. В. ЕСАЯН, Г. Г. КУРДЮМОВА, Ю. В. МИЛЬМАН, А. А. ДУРГАРЯН

ВЛИЯНИЕ ДИСЛОКАЦИЙ НА МИКРОПЛАСТИЧНОСТЬ В ОЦК МЕТАЛЛАХ

Проведено исследование температурной зависимости поглощения ультразвука и дефекта модуля в ОЦК металлах в *кГц* области частот [1, 2]. На кривой температурной зависимости поглощения ультразвука в деформированном экструдией малолигированном молибдене при 1200 К с обжатием $\varepsilon = 70\%$ на частоте 58 и 56 *кГц* обнаруживаются два пика поглощения P_1 и P_2 в области 421 и 477 К с энергиями активации 0,27 *эВ* и 0,43 *эВ* и частотными факторами $8{,}5\cdot10^{7}$ c^{-1}, $2\cdot10^{8}$ c^{-1} соответственно.

После пластической деформации (9%, при температуре 1170 К, в вакууме 10^{-3} *тор*) фон поглощения увеличивается почти на порядок и раннее обнаруженные максимумы не выявляются на этом фоне (рис. 1). Одновременно наблюдается выраженный узкий пик поглощения в области 373 К с энергией активации 0,43 *эВ* (P_3). До деформации кристалла дефект модуля в зависимости от температуры меняется почти монотонно со скоростью $\frac{d}{dT}\left(\frac{\Delta E}{E}\right) \sim 10^{-7}$ К$^{-1}$. После деформации ниже 423 К скорость роста аналогичная, а выше этой температуры наблюдается аномальный рост $\frac{d}{dT}\left(\frac{\Delta E}{E}\right) \sim 10^{-6}$ К$^{-1}$ (рис. 1).

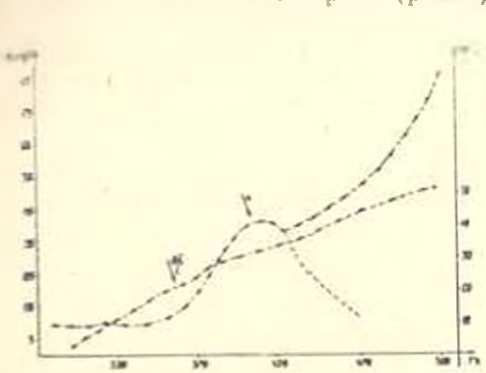

Рис. 1. Температурные зависимости поглощения ультразвука (о) и дефекта модуля (●) в кристаллах Mo после 9% деформации.

Поведение пиков P_1 и P_2 после отжига в вакууме при 1200 К и деформации показывает, что они имеют дислокационное происхождение. На частотной шкале спектра поглощения [3] эти пики попадают в область, где поглощение обусловлено взаимодействием дислокаций с точечными дефектами (5 пики в ОЦК кристаллах,

$f_0 \sim 10^5\ c^{-1}$). Учитывая, что пики P_2 и P_2' имеют почти одинаковые энергии активации (0,43 *эВ*) и на частотном спектре поглощения попадают в одну и ту же область ($\sim 10^5\ c^{-1}$), можно предположить, что P_2' является пиком P_2, смещенным после деформации.

Аналогичное исследование проведено на поликристаллическом хроме. На температурной шкале в наклепанных кристаллах хрома на частоте 64,5 *кГц* в области 438 К и 483 К также наблюдается два пика поглощения P_1 и P_2 с энергиями активации 0,4 *эВ* и 0,5 *эВ* (рис. 2). После трехточечной пластической деформации на 10% при 1100 К фон поглощения в области максимумов увеличивается на порядок, а максимумы поглощения подавляются. Одновременно обнаруживаются максимумы поглощения P_2' в области 403 К и $\sim$ 0,57 *эВ*, совпадающие с энергией активации пика P_2. В этих кристаллах до 380 К дефект модуля растет со скоростью $9 \cdot 10^{-8}\ c^{-1}$, а затем происходит уменьшение дефекта со скоростью $6 \cdot 10^{-8}\ c^{-1}$ (рис. 2). После деформации эти изменения имеют значения $1{,}8 \cdot 10^{-7}\ c^{-1}$ и $8{,}3 \cdot 10^{-8}\ c^{-1}$. Поведение пиков после отжига, наклепа и деформации (10%) показывает, что они имеют дислокационное происхождение. Механизм процессов, обусловливающих максимумы поглощения по энергиям активации и положению пиков на частотной шкале спектра поглощения ($10^5\ c^{-1}$) [3], соответствует движению дислокации в поле точечных дефектов. Аномальное изменение дефекта модуля в кристаллах обусловлено аналогичным поведением динамического модуля упругости, который до температуры 380 К увеличивается, а затем убывает (рис. 2)

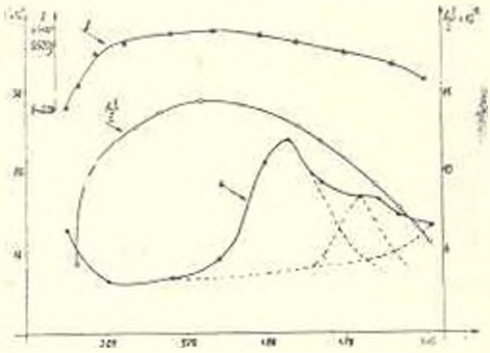

Рис. 2. Температурные зависимости поглощения ультразвука (●) и дефекта модуля (о) в кристаллах Cr и собственной частоты образца (▲).

В монокристаллах вольфрама на частоте 59 *кГц* после наклепа также обнаружены два пика поглощения дислокационного происхождения с энергиями активации 0,53 и 0,65 *эВ*, которые после 9% деформации полностью подавляются, а фон поглощения увеличивается в 2—3 раза. Скорость роста модуля до деформации составляет $\sim 8{,}8 \cdot 10^{-8}\ \text{К}^{-1}$, а после деформации $\sim 10^{-7}\ \text{К}^{-1}$. В кристаллах W до сих пор известны два α пика и β пик [4]. Обнаруженные в настоящей работе максимумы поглощения на частотном спектре попадают в область β пиков.

В отожженных и слегка наклепанных монокристаллах Nb не было обнаружено максимума поглощения, но дефект модуля как и в Cr имеет аномальное изменение: до 410 К он растет со скоростью $2 \cdot 10^{-8}\ \text{К}^{-1}$,

а выше этой температуры убывает со скоростью $1{,}25\cdot10^{-3}$ K^{-1}. В отличие от хрома, модуль упругости до температуры 420 К уменьшается, а затем увеличивается. После пластической деформации на 6% обнаружен пик поглощения с энергией активации 0,5 *эВ*, обусловленный взаимодействием дислокаций с точечными дефектами. По значению энергии активации и частотного фактора ($f_0 \sim 1{,}7\cdot10^{11}$ c^{-1}) обнаруженный пик является пиком β [4]. По-видимому, известные в литературе β₁ и γ пики остались под фоном, т. к. в этой области температур фон растет экспоненциально. В деформированных кристаллах Nb аномальное изменение дефекта модуля в зависимости от температуры не наблюдается, а $\frac{\Delta E}{E}$ растет со скоростью $(2-2{,}6)\cdot10^{-3}$ K^{-1}.

Из полученных результатов следует, что в кристаллах Mo, W, Cr, Nb обнаружена серия β пиков поглощения, обусловленных движением дислокации в поле точечных дефектов и примесей, причем, кроме Nb в остальных кристаллах они являются дублетами. В кристаллах Mo и Cr обнаружены также узкие смещенные пики поглощения после деформации, которые не являются частью расщепления широких пиков, как указывается в [4].

Из фона дислокационного поглощения ультразвука по теории Келера—Гранато—Люкке (КГЛ) рассчитана температурная зависимость коэффициентов торможения дислокаций в кристаллах W, Mo, Cr, Nb. Учитывая, что в теорию КГЛ входит плотность активных дислокаций, а методом избирательного травления определяется их общее число, правильным представляется вычисление отношения коэффициента торможения к плотности дислокаций $\frac{B}{N}$. При снижении температуры отношение $\frac{B}{N}$ резко возрастает в Cr и Nb, некоторый рост наблюдается и в Mo и W (рис. 3).

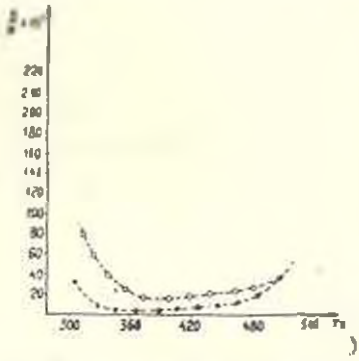

Рис. 3. Температурные зависимости $\frac{b}{N}$ в кристаллах Nb (o) и Cr (x).

В работе [5] было введено представление о характеристической температуре деформации t^*, ниже которой становится существенным напряжение Пайерлса—Нагарро и уменьшается подвижность дислокаций. Для ОЦК металлов $t^* \simeq 0{,}15-0{,}2$ и по гомологической шкале ниже этой температуры резко возрастает предел текучести кристаллов. Температуры начала резкого роста $\frac{B}{N}$ и дефекта модуля в кристаллах Mo примерно соответствуют t^*. При температуре выше t^* резко увеличивается плотность подвижных дислокаций, снижается сопротивление

их движению со стороны кристаллической решетки, а примесное торможение становится преобладающим над решеточным. Таким образом, характер изменений фона поглощения и дефекта модуля в отношении $\frac{B}{N}$ при температуре выше 450 К подтверждает представление о существенном изменении механизма пластической деформации в районе характеристической температуры деформации [5].

Выявленные пики дислокационного поглощения на температурной шкале обусловлены термоактивационным движением дислокаций с определенными частотными факторами и энергиями активации. В таком случае резкое увеличение амплитуды ультразвука в области пиков поглощения приводит к размножению дислокаций и возникновению текучества в кристаллах.

Многие детали машин и режущих инструментов содержат Mo, W и другие ОЦК металлы, причем, эксплуатационные частоты, температуры этих деталей колеблются в широких пределах. В целях повышения долговечности и надежности эксплуатации этих инструментов и деталей необходимо подобрать такой режим термообработки, при котором исключались бы релаксационные процессы, проявляющиеся при эксплуатации режущих инструментов и деталей машин.

ЕрПИ им. К. Маркса

15. VI. 1985

Վ. Վ. ՆԱԱՅԱՆ, Գ. Գ. ԿՈՒՐԳՅՈՒՄՈՎԱ, ՅՈՒ. Վ. ՄԻՄԱՆ, Ա. Ա. ԴՈՒՐԴԱՐՅԱՆ

ԴԻԼՈԿԱՑԻԱՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆԱՎԱԼԱԿԵՆՏՐՈՆԱՑՎԱԾ ԽՈՐԱՆԱՐԴԱՅԻՆ ԲՅՈՒՐԵՂԱՑԱՆՑՈՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՄԻԿՐՈՊԼԱՍՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել են ուլտրաձայնի կլանման ջերմաստիճանային կախումները և մոդուլի արատը Mo, Cr, W, Nb բյուրեղներում կիլոհերցային հաճախության տիրույթում, 300—550 K ջերմաստիճանի դեպքում։ Բացի Nb բյուրեղից, մյուս բյուրեղների համար հայտնաբերվել են կլանման երկու գագաթներ, որոնք պայմանավորված են դիսլոկացիաների և կետային արատների փոխազդեցությամբ (կլանման β-գագաթներ)։

Հաշվարկված են ակտիվացման էներգիան և այն պրոցեսների հաճախային գործոնները, որոնցով պայմանավորված են կլանման գագաթները, ինչպես նաև մոդուլի արատի փոփոխության արագությունները՝ կախված ջերմաստիճանից։ Բացահայտված են այդ բյուրեղների արգելակման գործակցի և դիսլոկացիաների խտության $\frac{B}{N}$ հարաբերության ջերմաստիճանային կախումները։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Швидковский Е. Г., Дургарян А. А.* Зависимость внутреннего трения и модуля Юнга от температуры для некоторых металлов.— Науч. докл. высш. шк. (Физ. мат. науки), 1958, 5, с. 211—216.
2. *Дургарян А. А., Есаян В. В., Егиазарян А. А.* Дискриминатор на микросхемах для измерения внутреннего трения.— ПТЭ, 1975, 4, с. 135—136.
3. *Дургарян А. А.* Спектр релаксации термоактивационного движения дислокаций в условиях ультразвукового нагружения.— ДАН АрмССР, сер. физ., 1983, вып. 4, с. 173—177.
4. *Чомберс Р.* Дислокационная релаксация в объемноцентрированных кубических переходных металлах.— В кн.: Физическая акустика /под ред. Р. Мезона.— М.: Мир, т. 3А, 1969, с. 578—621.
5. *Trefilov V. J., Milman Yu. V., Gridneva I. V.* Characteristic Temperature of Deformation of Crystalline Materials.— Crystal Res. de Technol, 1984, v. 19, 3, p. 413—421.

Фундаментальная библиотека