

ОСЦИЛЛИРУЮЩИЙ ХАРАКТЕР ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМАХ

© 2008 г. А. В. Олейнич-Лысюк, Б. И. Гуцуляк

Черновицкий национальный университет, г. Черновцы, Украина

Поступила в редакцию: 5.11.07

Исследованы временные зависимости внутреннего трения (ВТ) и поведение модуля сдвига (G_{ef}) в бериллиевом конденсате и сплаве алюминия после дестабилизации их дефектной структуры термоциклированием и естественного старения. Показано, что осцилляции на временных зависимостях ВТ и G_{ef} появляются в этих материалах только в нестабильном состоянии при наличии определенной концентрации примеси в области залегания дислокации.

Первое сообщение об экспериментальном обнаружении осцилляций на временных зависимостях внутреннего трения появилось еще в 1982 году [1]. Стронгин Б.Г. и Яковишин П.А. сообщали, что в закаленных на вакансии сплавах алюминия с серебром после «накачки» на временных зависимостях ВТ наблюдались осцилляции поглощения упругой энергии. Под «накачкой» подразумевали циклическую деформацию образцов при определенных значениях деформации сдвигом γ_0 в течение времени t_0 . В отожженных образцах возбудить осцилляции не удавалось ни при каких значениях γ_0 . Этот экспериментальный факт, как нам показалось, свидетельствовал о важной роли нестабильности дефектной структуры материала в образовании периодического изменения ВТ со временем. И действительно, в облученном высокоэнергетическими электронами бериллиевом конденсате нам удалось зафиксировать интенсивные осцилляции ВТ [2]. Их амплитуда уменьшалась по мере старения образцов при комнатных температурах, и после естественного старения в течение 18 месяцев нам не удалось возбудить их ни при каких значениях γ_0 [3]. При этом было обнаружено также, что в процессе старения образцов значения γ_0 , при которых наблюдалось осциллирующее изменение ВТ со временем, были разными. Каждый «уровень структурной стабильности» образца характеризовался своим оптимальным значением γ_0 . Отклонение амплитуды «накачки» от оптимального приводило сначала к появлению асимметричных всплесков поглощения, а затем, по мере увеличения отклонения, к полному исчезновению осцилляций [2]. Все это позволило нам предположить, что кроме нестабильности дефектной структуры в целом

для появления осцилляций необходимы, по-видимому, и некоторые другие условия, в частности, оптимальная концентрация точечных дефектов в окрестности дислокации. Для проверки этого предположения мы и провели дополнительные исследования, результаты которых представлены в этой работе.

Исследовали образцы из магнитермического бериллиевое конденсата, полученного конденсацией из паровой фазы на подогреваемую подложку (подробнее смотрите [2, 4]), а также из сплава Al — 0,001 % Cu. Измерения внутреннего трения и модуля упругости, пропорционального, как известно, квадрату частоты собственных крутильных колебаний образца (f^2), проводили в синхронном режиме на полуавтоматическом релаксметре типа обратный крутильный маятник, в вакууме 10^{-3} Па. Для дестабилизации дефектной структуры образцы термоциклировали с различными скоростями «нагрева-охлаждения» в определенном интервале температур, а затем исследовали амплитудные и временные зависимости ВТ и f^2 при различных температурах. Температуры при этом поддерживали с точностью $\pm 1^\circ$ в течение всего времени измерения. Абсолютные погрешности при измерении ВТ и f^2 не превышали 1 и 0,1%, соответственно.

Анализ полученных результатов показал, что термоциклирование бериллиевое конденсата в интервале 20—400 °С действительно приводит к дестабилизации дислокационно-примесной структуры, по-видимому, за счет возникновения существенных термических напряжений [4]. Однако осцилляции мы наблюдали только после «накачек» при определенных, лежащих в довольно узком интервале амплитудах деформации γ_0 (рис. 1, 2). При этом

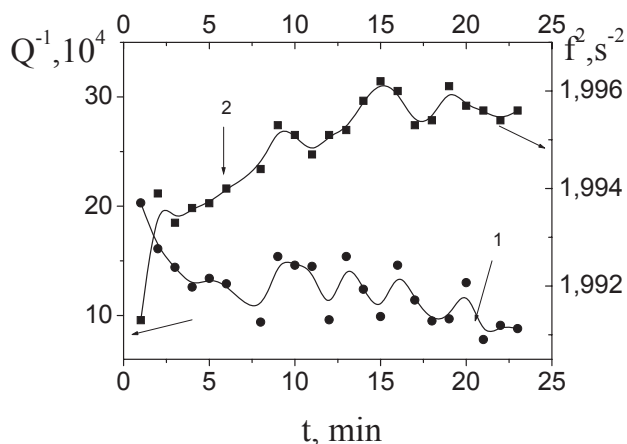


Рис. 1. Временные зависимости внутреннего трения (1) и квадрата частоты (2) в МТБК Ве при 260 °С после «накачки» при $\gamma_0 = 12 \cdot 10^{-5}$ в течение 5 минут.

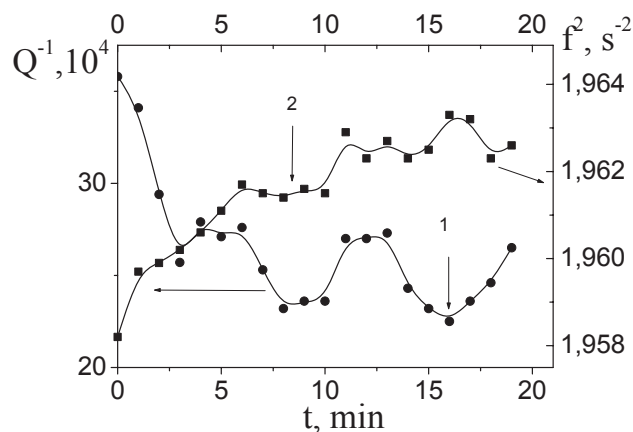


Рис. 2. Временные зависимости внутреннего трения (1) и квадрата частоты (2) МТБК Ве при 260 °С после «накачки» при $\gamma_0 = 10 \cdot 10^{-5}$ в течение 5 минут.

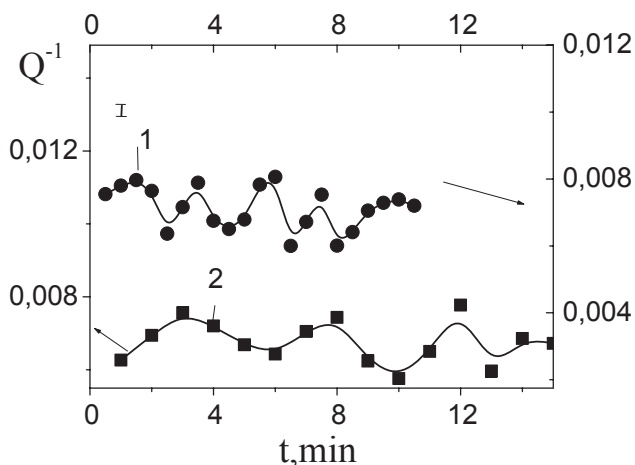


Рис. 3. Временные зависимости внутреннего трения в сплаве Al — 0,001 % Cu: 1 — после «накачки» при $\gamma_0 = 4,5 \cdot 10^{-5}$ в течение 3 минут; 2 — после естественного старения в течение 2 месяцев ($\gamma_0 = 3 \cdot 10^{-5}$; $t_0 = 3$ минуты).

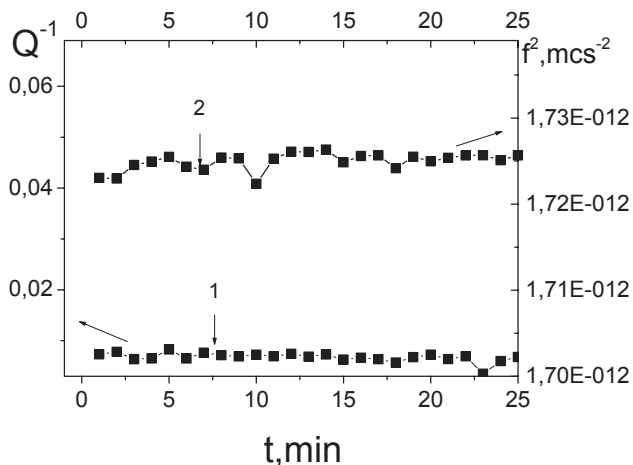


Рис. 4. Временная зависимость внутреннего трения (1) и квадрата частоты (2) в сплаве Al — 0,001 % Cu после дополнительного старения при 20 °С в течение 3 месяцев.

осцилляции появлялись как на кривых ВЗВТ, так и на временных зависимостях модуля упругости, в отличие от облученного электронами материала. Периодическое изменение модуля упругости со временем при постоянных температуре и амплитуде деформации может происходить, как нам кажется, только за счет изменений в дислокационной податливости. Это еще раз подтверждает важную роль состояния дислокационно-примесной структуры в образовании осцилляций. Однако в бериллии этой марки, несмотря на довольно высокую чистоту (99,93 % Be) имеется не менее шести различных примесей с содержанием $\sim 0,001$ атомных процента, что значительно затрудняет проведение даже качес-

твенных оценок. Поэтому дальнейшие исследования мы проводили на материале с контролируемым количеством примесных атомов.

В качестве объекта исследований был выбран сплав Al — 0,001 % Cu, приготовленный из высокочистого алюминия марки АВ000 (99,999 % Al) и высокочистой безкислородной меди (99,99 % Cu). Дестабилизацию дислокационно-примесной структуры в сплаве Al проводили также путем термоциклирования в окрестности температуры образования насыщенной дислокационной атмосферы T_k .

На рис. 3, 4 представлены временные зависимости ВТ и f^2 , полученные на алюминиевом спла-

ве при температуре 20 °С после 7 циклов в интервале 20—150 °С. Термоциклирование в окрестности T_k вывело дефектную структуру образца из состояния равновесия: на температурных зависимостях ВТ и f^2 появился существенный температурный гистерезис, а на временных зависимостях ВТ-осцилляции (после «накачки» при $\gamma_0 = 4,5 \cdot 10^{-5}$, $t_0 = 3$ минуты). После стабилизации дислокационно-примесной структуры в течение двух месяцев при комнатных температурах γ_0 понизилось до $3 \cdot 10^{-5}$ и увеличился период осцилляций. Дополнительное старение сплава при $T_{ком.}$ в течение еще трех месяцев привело к полному исчезновению осцилляций.

Расчет параметров дислокационной структуры, проведенный по амплитудным зависимостям внутреннего трения в рамках модели Келлера-Гранато-Люкке показал, что в процессе термоциклирования нам удалось сорвать дислокационную атмосферу так, что даже при понижении температуры ниже температуры образования насыщенной дислокационной атмосферы Коттрелла примесные атомы не полностью возвращались на дислокации (L_c составили $9,92 \cdot 10^{-7}$ м). Старение при $T_{ком.}$ постепенно возвратило часть атомов к дислокациям, (L_c умень-

шились до $1,4 \cdot 10^{-7}$ м). При этом осцилляции стали более четкими, их период увеличился практически вдвое (рис. 3, кр. 2). Дальнейшее старение привело к образованию насыщенной дислокационной атмосферы (L_c уменьшились до $0,35 \cdot 10^{-7}$ м) и осцилляции в таком состоянии не возбуждались ни при каких значениях γ_0 (рис. 4).

Следовательно, осцилляции проявляются в нестабильных, выведенных из состояния равновесия, системах только при достижении оптимальной концентрации примеси в области залегания дислокаций. Все это указывает на возможный синергетический характер наблюдаемых явлений [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковичин П.А., Стронгин Б.Г. // ФХОМ. 1982. № 4. С. 123.
2. Олейнич А.В., Стронгин Б.Г., Раранский Н.Д., Лисюк В.В., Маслюк В.Т. // Металлофизика и новейшие технологии. 1997. Т. 19. № 1. С. 62.
3. Олейнич-Лысюк А.В. // ФТТ. 2002. Т. 44. № 6. С. 1053.
4. Олейнич А.В., Стронгин Б.Г., Ткаченко В.Г. // Изв. РАН. 1993. Т. 57. № 11. С. 74.
5. Г.А. Малыгин // Успехи физических наук. 1999. Т. 169. № 9. С. 979.