

- [1] Григорьев В.П., Диденко А.Н. – Сб. Генераторы и усилители на электронных потоках. МГУ, 1987, с. 96–102
- [2] Григорьев В.П., Жерлицын А.Г., Кузнецов С.И., Мельников Г.В. – Физика плазмы, 1988, т. 14, в. 2, с. 210–217.
- [3] Найфе А. Введение в методы возмущений. М.: Мир, 1984. 536 с.

Поступило в Редакцию  
29 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 23

26 декабря 1988 г.

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ПИК ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ  
ПРИ ПЕРИТЕКТИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ  $\alpha + \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$   
В СИСТЕМЕ Nb-H

М.Я. Кац, Л.В. Спивак

В килогерцевом диапазоне частот в сплавах Nb-H ( $H/Nb < 0.09$ ) в интервале температур 180–300 К был обнаружен размытый пик внутреннего трения (ВТ) [1]. Температура и высота пика ( $Q_m^{-1}$ ) зависели от концентрации водорода в сплаве, что позволило интерпретировать его как пик осаждения, обусловленный выделением гидрида ниобия ( $\beta$ -фаза) из твердого раствора ( $\alpha$ -фаза). При исследовании низкочастотных пиков осаждения ( $f \sim 1$  Гц) в сплавах с меньшим содержанием водорода ( $H/Nb < 0.04$ ) авторы работ [2–4] пришли к заключению, что природа таких пиков ВТ связана с переориентировкой кристаллов  $\beta$ -фазы в знакопеременном поле напряжений. При прочих равных условиях высота пика ВТ уменьшалась с уменьшением скорости нагрева, и уже при  $T = 0.16$  К/мин пик ВТ практически исчезал. В моно и полидоменном  $\beta$ -гидриде ниобия наблюдались на частотах 10 мГц аномалии упругих констант и пик ВТ при фазовом переходе  $\alpha' \rightleftharpoons \beta$  ( $T = 383$  К) [5]. По сделанному в [5] предположению, природа пика ВТ связана с релаксацией Зинера (переориентировка водородной гантели в поле напряжений), на которую, возможно, накладывается релаксация Ландау–Халатникова или  $\lambda$ -переход. Результаты исследования ВТ в сплавах Nb-H ( $0.1 \leq H/Nb \leq 0.5$ ) неизвестны, что скорее всего связано с определенной ограниченностью в применении высокочастотных методик для исследования превращений в двухфазных и многофазных системах.

При охлаждении из однородной  $\alpha$ -области сплавы Nb-H (10–50 ат. % Н) претерпевают спинодальный распад  $\alpha \rightleftharpoons \alpha + \alpha'$ , и при достижении тройной точки ( $T_p = 363$  К) происходит перитек-

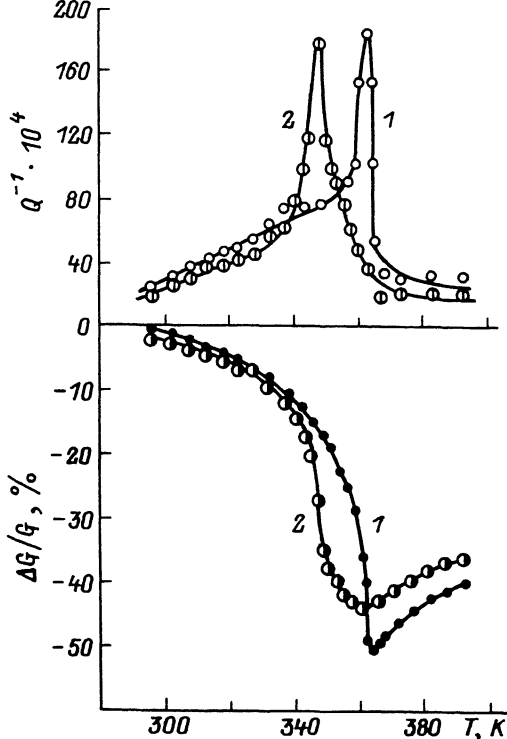
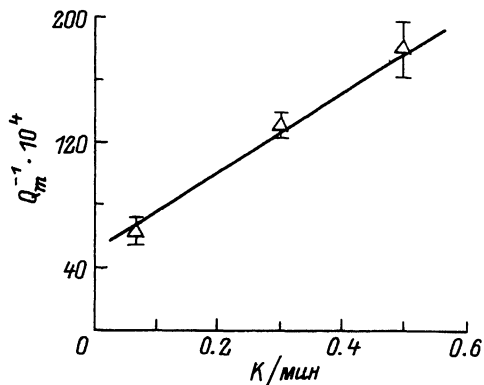


Рис. 1. Температурные зависимости внутреннего трения и модуля сдвига при нагреве (1) и охлаждении (2) сплава  $NbH_{0.4}$   $\dot{T} = 0.5$  K/мин.

тическая реакция  $\alpha + \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$  [6]. На политермах ВТ, полученных с помощью обратного крутильного маятника на частоте порядка 1 Гц, в отожженных поликристаллических проволочных (диаметр 0.5 мм) образцах сплавов  $Nb-H$  (10–45 ат. % H) в районе  $T_p$  обнаружен пик ВТ и аномалия модуля сдвига (рис. 1). Отмечено наличие температурного гистерезиса в положении таких пиков при нагреве и охлаждении. Характер изменения модуля сдвига и температуры максимума пика ВТ не зависят в данном интервале концентраций от содержания водорода в сплаве, что находится в полном соответствии с диаграммой состояния  $Nb-H$ . Изменение частоты измерения (0.5–3 Гц) не сказывается на положении пика ВТ. Высота пика определяется количеством водорода в сплаве и скоростью нагрева. В отличие от [2–4], обнаруженный пик ВТ не исчезает при остановке и выдержке в течение нескольких часов в области температуры  $Q_m^{-1}$  и при  $\dot{T} \rightarrow 0$   $Q_m^{-1}$  стремится к некоторой конечной величине (рис. 2). На частотах измерения порядка 1 Гц прак-

Рис. 2. Влияние скорости нагрева на высоту пика внутреннего трения при нагреве сплава  $NbH_{0.4}$ .



тически сводится на нет вклад релаксации Зинера в измеряемую величину ВТ. Следовательно, обнаруженный пик ВТ должен быть обусловлен иными, чем в [5], механизмами.

Согласно диаграмме состояния  $Nb-H$ , при температуре тройной точки сосуществуют  $\alpha$ ,  $\alpha'$  и  $\beta$ -фазы. Поэтому естественно допустить, что пик ВТ обусловлен наличием межфазной границы  $\alpha'/\beta$ , т.к. при сосуществовании только  $\alpha$  и  $\beta$  фаз или  $\alpha$  и  $\alpha'$  фаз равновесная составляющая пика ВТ отсутствует. Данное предположение тем более вероятно, что имеются доказательства кластеризации  $\alpha'$ -фазы и ее переориентации под действием внешних или внутренних полей напряжений. Существование границы  $\alpha'/\beta$  должно стать причиной ограничения такой подвижности. Уникальность рассматриваемой ситуации заключается в относительно легкой подстройке такой системы к новому состоянию равновесия, что обеспечивается аномально высокой диффузионной подвижностью водорода при температуре перитектической реакции. Тем самым впервые удалось наблюдать пик ВТ при фазовом переходе  $\alpha + \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$  в системе  $Nb-H$ . Пики ВТ при перитектических реакциях в других сплавах неизвестны.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Buck O., Thompson D.O., Wert C.A. - J. Phys. Chem. Solids, 1971, v. 32, N 12, p. 2331-2344.
- [2] Yoshinari O., Koiwa M. - Acta metall., 1982, v. 30, N 11, p. 1979-1986.
- [3] Yoshinari O., Koiwa M. - Acta metall., 1982, v. 30, N 11, p. 1987-1991.
- [4] Koiwa M., Yoshinari O. - Res Mechanica, 1984, v. 11, N 1, p. 27-45.
- [5] Amano M., Mazzolai F.M., Birnbaum H.K. - Acta metall., 1983, v. 31, N 10, p. 1549-1557.
- [6] Водород в металлах / Под ред. Г. Алефельда и И. Фелькля. М.: Мир, 1981, т. 2. 430 с.

Поступило в Редакцию  
15 июля 1988 г.