

КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ
В СПЛАВАХ Pd-H, Pd-D

М.Я. Кац, Л.В. Спивак

Эффект памяти формы (ЭПФ) и связанный с ним эффект пластичности превращения наблюдается при фазовых переходах и металлах и сплавах постоянного состава при изменении температуры и поля напряжений [1, 2]. Диффузионные характеристики водорода и дейтерия в палладии, простота их введения в металлы и дегазации из сплавов Pd-H, Pd-D позволяет поставить задачу исследования эффектов памяти формы в открытых термодинамических системах палладий - водород, палладий - дейтерий в изотермических условиях при фазовых переходах, индуцированных только изменением концентрации водорода или дейтерия в сплавах.

Экспериментальные исследования были проведены на проволочных образцах (диаметр 0.5 мм) поликристаллического палладия (99.99% Pd) в установке типа обратного крутильного маятника при максимальном касательном напряжении на поверхности образца $\tau = 15$ МПа. Наводороживание металла произволили в установке. Электролит - 1н H_2SO_4 + 100 мг/л As_2O_3 или 1н D_2SO_4 . Электроды - платиновая проволока. Деформацию измеряли с точностью $5 \cdot 10^{-7}$.

Приложение нагрузки много меньшей макроскопического предела текучести ($\tau_T = 67$ МПа) вызывает практически только упругую деформацию образца (рис. 1). В анодном режиме (образец анод) включение тока поляризации не приводит к дополнительной деформации. При наводороживании (образец катод) активируется деформация металла, обусловленная зарождением и ростом гидридной фазы в поле напряжений, что позволяет классифицировать этот эффект как концентрационный эффект пластичности превращения. После разгрузки образца и выключения тока поляризации в металле идут слабо выраженные релаксационные процессы, скорее всего связанные с перераспределением водорода между поверхностями и внутренними объемами образца.

Изотермическая экстракция водорода, происходящая при смене полярности (образец анод), сопровождается деформацией металла, противоположной по знаку деформации образца при его наводороживании и соизмеримой с ней по величине (рис. 1). Рентгеновскими и другими методами показано, что наблюдаемые при дегазации металла деформации связаны с фазовым переходом $\alpha + \beta \rightarrow \alpha$. Самопроизвольное восстановление формы образца при фазовом переходе, индуцированном экстракцией водорода из сплава, есть проявление эффекта памяти формы, который можно определить как концентра-

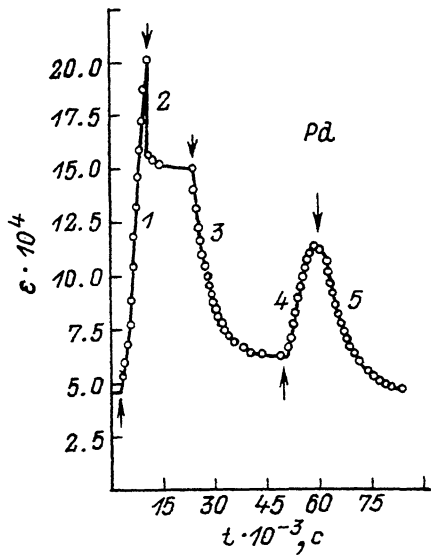
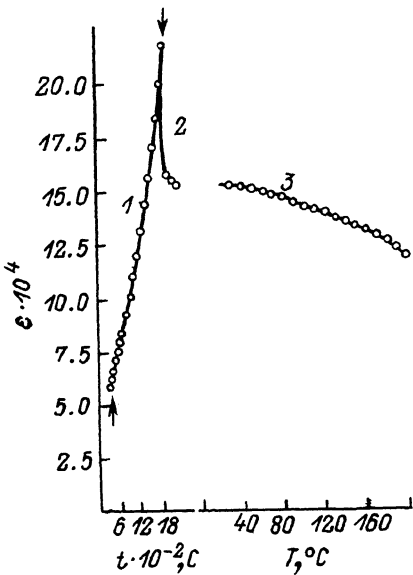


Рис. 1. Поведение образца палладия под нагрузкой при наводороживании (1), после разгрузки (2) и циклов дегазации (3, 5) и наводороживания (4). \uparrow - наводороживание, \downarrow - выключение тока поляризации, \downarrow - дегазация, $\tau = 15$ ПМа, $i = 750$ А/м².

Рис. 2. Поведение образца палладия под нагрузкой при наводороживании (1), разгрузке (2) и последующем нагреве (3) после кадмирования поверхности.

ционный эффект памяти формы. Дальнейшее увеличение или уменьшение концентрации водорода вызывает деформацию металла в соответствующем направлении (рис. 1).

Установлено, что возраст деформации наблюдается и при нагреве наводороженного в поле напряжений металла при термической дегазации сплава, а также тогда, когда выход водорода из сплава заблокирован нанесенным на образец кадмиевым покрытием (рис. 2). Совокупность приведенных результаты указывает на существование ЭПФ в сплавах Pd-H. В данном случае ЭПФ наблюдается в условиях, принципиально отличных от традиционных условий наблюдения ЭПФ. Во-первых, здесь ЭПФ реализуется в открытой термодинамической системе в изотермических условиях за счет фазового перехода, обусловленного изменением концентрации водорода в сплаве, тогда как в классической постановке ЭПФ проявляется в возврате деформации при нагреве сплава постоянного состава. В большинстве случаев механизм такой обратимой деформации связан с обратимым мартенситным превращением, структурной анизотропией мартенситных

кристаллов, что находит свое отражение в хорошо выраженной тетрагональности кристаллической решетки низкотемпературной фазы [3].

В палладии гидридная фаза изоморфна кристаллической решетке матрицы и собственной анизотропией не обладает. В этом состоит другая особенность проявления ЭПФ в сплавах $Pd-H$. Следовательно, ЭПФ в открытой термодинамической системе $Pd-H$ связан не с собственной анизотропией гидридных выделений, а организуется тензорными свойствами среды, обусловленными, с одной стороны, анизотропией схемы нагружения (кручением), а с другой – высокой чувствительностью растворимости и локализации водорода к неоднородности поля напряжений. Таким образом, при слабо выраженной тетрагональности гидридной фазы существенной становится анизотропия поля напряжений, его тензорный характер. Как в том, так и в другом случаях в системах металл – водород конечный результат один – наличие деформации ЭПФ. Анизотропия деформационного поля закрепляется пространственной анизотропией в расположении дислокаций, возникающих при разряде структурно-фазовых напряжений. Роль таких дислокаций в обратимости деформационных эффектов при наводороживании и дегазации палладия подобна роли дислокаций несоответствия в организации многократнообратимых деформаций при термоциклировании классических с мартенситным типом фазовых превращений сплавов с ЭПФ. Аналогичные эффекты были обнаружены в системе $Pd-D$.

Таким образом, показано существование в термодинамически открытых системах $Pd-H$, $Pd-D$ концентрационных, обусловленных только изотермическим изменением концентрации водорода или дейтерия, эффектов пластичности превращения и памяти формы, в том числе и многократнообратимых. В рассматриваемых системах $Pd-H$, $Pd-D$ эти эффекты обусловлены в первую очередь анизотропией поля напряжений, анизотропией гидридных выделений и сопутствующими гидридному превращению процессами.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В и н т а й к и н Е.З. В кн.: Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка. М.: ВИНТИ, 1983. Т. 17. С. 3–63.
- [2] Л и х а ч е в В.А., К у з ь м и н С.Л., К а м е н ц е в а З.П. Эффект памяти формы. Л.: ЛГУ, 1987. С. 216.
- [3] К о i v a М., У о s h i n a r i О. // Acta metall. 1983. V. 31. N 12. P. 2073–2081.

Поступило в Редакцию
28 сентября 1989 г.