

06

Метод ультразвукового определения водорода в материалах и изделиях на основе титана

© А.М. Лидер, В.В. Ларионов, Г.В. Гаранин, М.Х. Кренинг

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050 Томск, Россия
e-mail: lider@tpu.ru

(Поступило в Редакцию 30 ноября 2012 г.)

Исследован процесс распространения ультразвуковых (УЗ) волн в наводороженном сплаве на основе титана ВТ1-0. Установлены две характерные области влияния водорода на скорость распространения УЗ-волн V_R . Обнаруженный характерный максимум зависимости скорости распространения УЗ-волн от концентрации водорода позволил установить концентрацию водорода в титане, при которой начинается процесс водородного охрупчивания.

Введение. Постановка задачи

Одним из распространенных методов определения водородного влияния на металлы легких сплавов является метод прямого воздействия на материал [1,2]. Материал растягивают на испытательной машине, определяют предельную прочность и относительное удлинение до разрыва детали. Водородное охрупчивание металлов определяют измерением величин микротвердости, термо-ЭДС, вихревых токов высокой частоты [3]. Физической основой ультразвукового метода является зависимость скорости распространения акустических волн от физических свойств металлов [4], в частности от степени наводороженности металла. Применение ультразвуковых (рэлеевских) волн в металлах обусловлено особенностями данных волн: 1) возможностью „вывести“ акустический сигнал из любой точки поверхности образца, по которому распространяется волна, 2) относительно большой концентрацией энергии в волне вследствие малости слоя локализации волны. Наиболее эффективным методом измерения скорости распространения ультразвуковой (рэлеевской) волны (УЗ) в образцах является метод автоциркуляции. Исследование распространения УЗ-волн в наводороженных металлах для применения в технологических процессах наводороживания материалов на основе титана является целью настоящей работы.

Экспериментальная часть

В экспериментах использовали образцы из титана ВТ1-0 вдоль различных направлений проката исходного листа в виде прямоугольных пластинок с размером рабочей части 90×40 mm. Исходные образцы подвергали отжигу в вакууме в течение 1 h при температуре 750°C с последующим охлаждением в печи, после чего насыщали водородом на установке PCI „GasReactionController“ по методу Сиверта. Интегральное содержание водорода в образцах титана контролировали плавлением на установке фирмы RHEN 602 LECO [5]. Изготавливали несколько партий идентичных образцов титана. Затем

их насыщали водородом до различных концентраций. После насыщения измеряли скорость распространения УЗ-волн. Затем каждый образец, насыщенный водородом до необходимой концентрации, подвергали растяжению до разрыва. В ряде экспериментов насыщение водородом и измерение скорости УЗ-волн проводили последовательно на одном и том же образце. Измерения скорости УЗ-волн в образцах проводили на созданной лабораторной установке (рис. 1). Установка включает электронно-счетный частотомер ЧЗ-85/3, генератор импульсов Tabor 8500, цифровой запоминающий осциллограф Tektronix TDS 2024B, пьезопреобразователи с резонансной частотой 5 MHz. Измерения осуществляются следующим образом: генератор формирует импульс, который через излучатель создает УЗ-волну в образце. Импульс возбуждения распространяется по образцу и регистрируется приемником. Контроль параметров импульса осуществляется цифровым осциллографом. Частота автоциркуляции измеряется в зависимости от расстояния между датчиками и их положения по длине образца. Для автоматизации системы измерения и сбора данных используется программное обеспечение, разработанное в инженерной среде LabView. Растяжение об-

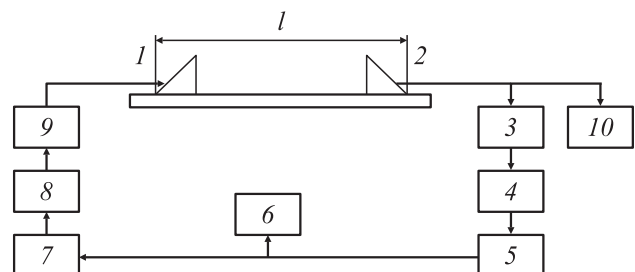


Рис. 1. Схема лабораторного устройства для измерения скорости распространения УЗ-волн в металле: l — расстояние между излучателем и приемником, 1 — излучатель, 2 — приемник, 3 — широкополосный усилитель, 4 — компаратор, 5 — одновибратор, 6 — частотомер, 7 — блок синхронизации, 8 — блок задержки, 9 — импульсный генератор, 10 — цифровой запоминающий осциллограф.

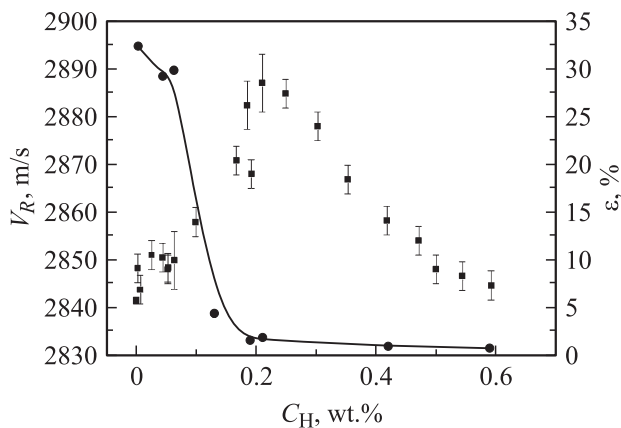


Рис. 2. Зависимость скорости распространения УЗ-волны V_r (■) в наводороженном титане и относительного удлинения образцов ε (●) до разрыва от концентрации водорода в титане.

разцов до разрыва проводили на испытательной машине ComTen-95.

Для определения скорости распространения УЗ-волны в металле V_r необходимо измерить частоту автоциркуляции. Частота автоциркуляции f_c зависит от времени распространения сигнала по образцу и по цепям обратной связи и равна

$$f_c = \frac{1}{t_{\text{del}} + t_{\text{ap}} + t_{\text{samp}}}, \quad (1)$$

где t_{del} — время задержки возбуждающего импульса относительно запускающего импульса, t_{ap} — время задержки сигнала, определяемое используемой аппаратурой, t_{samp} — время распространения волны в образце. Расчетная формула для V_r имеет вид

$$V_r = \frac{l_1 - l_2}{T_{C1} - T_{C2}}. \quad (2)$$

В формуле (2) числитель — разность двух последовательных расстояний между датчиками, в знаменателе T_{C1} и T_{C2} — периоды автоциркуляции для данных расстояний между датчиками, где $T_C = 1/f_c$. График зависимости скорости УЗ-волны от концентрации водорода в образцах показан на рис. 2. Здесь же для сравнения представлен график изменения относительного удлинения образцов до разрыва (правая шкала). С увеличением концентрации водорода в испытуемом образце в диапазоне концентраций от 0.0 до 0.20 wt% скорость УЗ-волны линейно возрастает. Наводороживание титанового сплава ВТ1-0 в данном интервале концентраций приводит к росту внутренних напряжений, к росту модуля упругости (соответственно увеличению скорости распространения УЗ-волн). Уменьшение скорости УЗ-волны в диапазоне концентраций водорода в образце от 0.20 до 0.60 wt% объясняется образованием множественных дефектов и значительным ухудшением прочностных характеристик материала, что отражается

графиком относительного удлинения образца (рис. 2, правая шкала). Неоднородность наводороживания образца сплава ВТ1-0 фиксируется по изменению скорости УЗ-волны по его длине с точностью до 2 мм.

Таким образом, зависимость скорости УЗ-волн от концентрации водорода имеет ярко выраженный максимум и состоит из двух ветвей. Восходящая ветвь имеет вид, характерный для различных марок наводороженных сталей и циркония [6,7], нисходящая аналогична наводороженному палладию [7]. Это может свидетельствовать об уникальных свойствах наводороженных легких сплавов на основе титана. Также наблюдается корреляция между максимумом скорости ультразвуковой волны и потерей пластичности образца.

Заключение

Разработана лабораторная установка, позволяющая проводить измерения содержания водорода в легких сплавах титана по скорости распространения УЗ-волн. В ходе исследования процесса распространения УЗ-волн в наводороженном сплаве на основе титана ВТ1-0 установлены две характерные области влияния водорода на скорость распространения УЗ-волн. При небольших концентрациях водорода в титановом сплаве ее величина линейно растет с увеличением концентрации водорода и типична для стали и циркония. Начиная с концентрации водорода в 0.2 wt%, характер изменения скорости УЗ-волн соответствует наводороженному палладию и носит ниспадающий характер. Обнаруженный характерный максимум зависимости V_r от C_H позволяет установить концентрацию водорода в титане, при которой начинается процесс деструктивного изменения свойств металла в виде водородного охрупчивания.

Список литературы

- [1] *Коттерилл П.В.* Водородная хрупкость металлов. М.: Металлургиздат, 1963. 245 с.
- [2] *Ткачев В.И., Витвицкий В.И., Холодный В.И.* // Материаловедение. 2006. № 1. С. 54–56.
- [3] *Чернов И.П., Черданцев Ю.П., Мамонтов А.П., Панин А.В., Никитенков Н.Н., Лидер А.М., Гаранин Г.В.* и др. // Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 2. С. 15–22.
- [4] *Викторов И. А.* Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981. 288 с.
- [5] *Тюрин Ю.И., Ларионов В.В., Чернов И.П.* и др. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 1. С. 35–41.
- [6] *Gomez M.P., Domizzi G., Lopez P.G., Ruzzante J.E.* // J. Nucl. Mater. 2006. Vol. 353. N 3. P. 167–176.
- [7] Водород в металлах. Т. 1, 2. / Под ред. Г. Алефельда, И. Фекля (Пер. с англ. Под ред. Ю.М. Когана). М.: Мир, 1981. 432 с.