

## МИГРАЦИЯ ВОДОРОДА В ТИТАНЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Чжу Ибо, Сюй Шупэн

Научный руководитель: профессор В.В. Ларионов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: 1456117095@qq.com

## MIGRATION OF HYDROGEN IN TITANIUM. STUDY ELECTRIC METHODS

Zhu Ibo, Xu Shupeng

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.V. Larionov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Lenin str., 30, 634050

E-mail: 1456117095@qq.com

**Abstract.** *A method for the determination of the hydrogen concentration in titanium, using thermal force electromotive is proposed. The procedure for using a standard sample and a measuring system for specific technical situations are described. The measurements of the thermal electromotive force for these samples saturated with a different amount of hydrogen*

**Введение.** В предыдущей работе [1, 2] было показано, что миграцию водорода в титане можно описать классическим уравнением диффузии, если использовать уравнение  $C_H = kU_{ec}$ , где  $U_{ec}$  напряжение на измерительной катушке вихретокового спектрометра ЗМА-II,  $k$  – коэффициент пропорциональности, который определяют экспериментально с использованием независимых способов определения концентрации водорода. В [3] для исследования диффузии использована мембрана. Однако этот метод не приспособлен для технологического контроля. В целом процесс миграции водорода является значимым при производстве и эксплуатации изделий из титановых сплавов [4]. Альтернативным методом анализа является метод измерения термоэдс [5]. Исследование чувствительности данного метода при его относительной простоте представляет актуальную задачу. Целью данной работы является разработка чувствительных и оперативных методов контроля процессов миграции водорода методом измерения термоэдс.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования служил сплав титана ВТ1-0. Сплав изначально содержал следующие компоненты [% wt.]: 0.18 Fe; 0.1 Si; 0.07 C; 0.12 O; 0.01 H; 0.04 N. Наводороживание осуществлялось по методу Сивертса [3] и электролитическим методом. После насыщения были проведены измерения концентрации водорода при помощи анализатора водорода RHEN602 фирмы LECO. Послойное измерение содержания водорода проведено на магнитном спектральном анализаторе (МСА) с применением методов чувствительности, предложенными авторами в работе [5-6]. Сопротивления образцов титана на постоянном токе измерено с использованием программно-измерительного комплекса «KEIHLEY INSTRUMENTS». Для сравнения результатов измерения абсолютного значения содержания водорода применяли данные послойного содержания водорода [7]. Измерение величины термоэдс проводили на установке [8] с электродом из золота. Для калибровки установки изучена температурная зависимость термоэдс Cu (1,8 мкВ/К), Pt (-5,3 мкВ/К)

относительно Ag (термоэдс 1,5 мкВ/К). Образцы представляли собой пластинки толщиной 1,0 мм и площадью 400 мм<sup>2</sup>. Полученные значения термоэдс совпадают с известными данными с погрешностью не превышающей 6 %.

**Результаты.** Температуру зонда изменяли в пределах от 20 до 70 °С. Данные измерений представлены графически на рисунках 1- 3 для изотермы 50 °С. Максимум значения термоэдс начинает смещаться вдоль пластины. При этом обращает внимание тот факт, что его величина остается постоянной (например, на рис 1 видно, что максимум сместился в смежную область с координатой 4 см от начального состояния. В то же время водород частично мигрировал за указанное время до точки с координатой 6 см ( $E = 0.13$  мВ). Одновременно измерение величины термоэдс осуществлялось для обратной стороны пластины, что позволяет контролировать миграцию водорода по двум координатам одновременно.

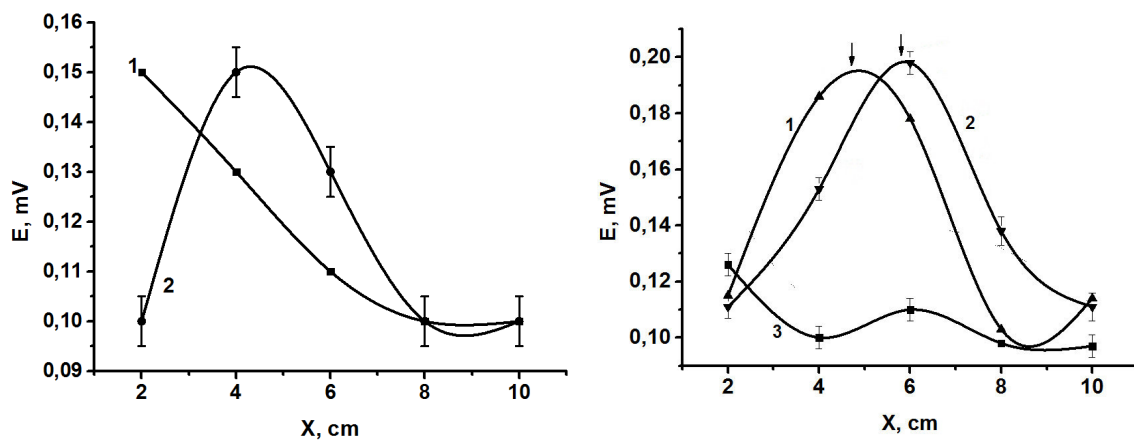


Рис. 1. Изменение зависимости величины термоэдс от координаты зонда по длине титановой пластины (1- начальное значение термоэдс наводороженной пластины, 2 – через 144 часа)

Рис. 2. Изменение профиля зависимость величины термоэдс от времени и координаты положения зонда на наводороженной пластине (1, 2 –  $t = 50$  °С, наводороженная сторона пластины (время анализа  $\Delta t =$  через 480 часов, стрелками показано смещение по координате пластины)). Кривая 3 для обратной стороны пластины  $t = 480$  час)

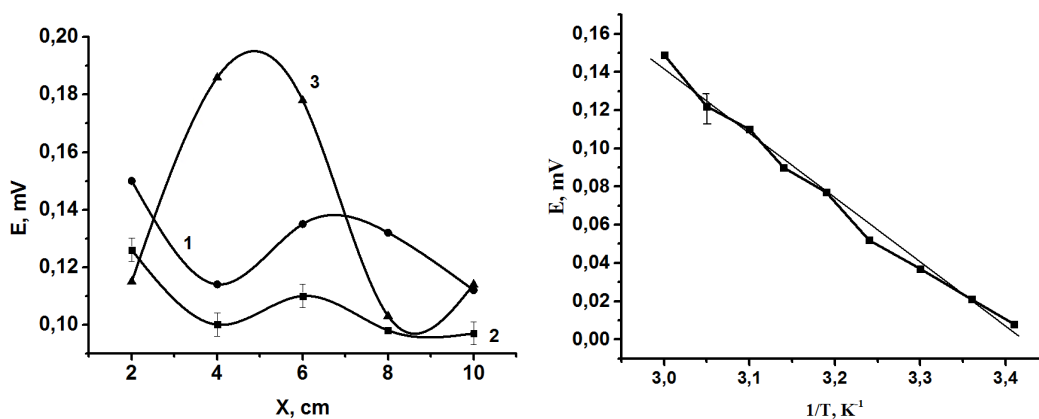


Рис. 3. Изменение профиля зависимость величины термоэдс от времени и координаты положения зонда на наводороженной пластине (1 –  $t = 50$  °С, 2 –  $t = 60$  °С, 3 –  $t = 50$  °С – наводороженная сторона пластины (время анализа через 240 часов)). Кривые 1 и 2 для обратной (не токовой части) стороны титановой пластины

Рис. 4 (справа). Зависимость термоэдс от  $1/T$  для координаты  $x = 2$  см

Анализ графиков зависимости термоэдс от величины обратной температуры  $1/T$  позволяет измерить величину энергии активации электронов наводороженного титана, что дает дополнительную информацию по наличию дефектности структуры материала. При этом угол наклона кривой  $E = f(1/T)$  зависит от координаты и времени миграции водорода вдоль пластины.

**Заключение. Выводы.** Исследован процесс миграции водорода в титановом сплаве методом измерения термоэдс. Значения термоэдс лежат в интервале от 0.008 мВ до 0.300 мВ при погрешности измерения  $\pm 0.005$  мВ. Показано, что по величине профиля изменения термоэдс по координате и во времени можно судить о миграционных процессах водорода в титановых сплавах. Ширина профиля изменения термоэдс зависит от температуры изотермы. Поэтому комплекс изотерм существенно расширяет информационную базу метода. Метод может быть легко распространен на другие металлы при наличии номограмм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чжу Ибо, Сюй Шупэн, Ларионов В.В. Исследование диффузии водорода в титане VT1-0 вихревыми токами // В сборнике: Перспективы развития фундаментальных наук. Сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 томах. – 2016. – С. 271–273.
2. Сюй Ш., Ши К., Ларионов В.В. Влияние водорода на электропроводность титана // В сборнике: Перспективы развития фундаментальных наук. Сборник научных трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2015. – С. 251–253.
3. Tyurin, Y.I., Larionov, V.V., Nikitenkov, N.N. A laboratory device for measuring the diffusion coefficient of hydrogen in metals during their simultaneous hydrogenation and electron irradiation 2016 Instruments and Experimental Techniques 59 (5), pp. 772-774.
4. Моисеев В.Н. Конструкционные титановые сплавы в современном машиностроении // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2004. – № 3. – С. 23–29.
5. Ши К., Сюй Ш., Ларионов В.В. Влияние водорода и кислорода на электропроводность меди // В сборнике: Перспективы развития фундаментальных наук Сборник научных трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2015. С. 314-316.
6. Сюй Шупэн, Ларионов В.В. Измерение наводороженного титана электрическими методами // В сборнике: Перспективы развития фундаментальных наук. Сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 томах. – 2016. – С. 268–270.
7. Larionov, V.V., Lider, A.M., Krasnov, D.N. Measurement Techniques Measurements of the Laminar Concentration of Hydrogen in Titanium Using Eddy Currents Of Different Frequency. (2014). Measurement Techniques 57 (5), pp. 564–568.
8. Lider, A., Larionov, V., Kroening, M., Kudiiarov, V. Thermo-Electromotive Force and Electrical Resistivity of Hydrogenated VT1-0 Titanium Alloy 2016 IOP Conference Series: Materials 012004.