

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакуумный отжиг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gk-drawing.ru/module/thermic/vacuum-annealing.php>

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Сюй Шупэн, Ши Кунь

Научный руководитель: профессор–доктор В.В. Ларионов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: lvv@tpu.ru

EFFECT OF HYDROGEN ON CONDUCTIVITY OF METALS

Shupeng Xu, Kun Shi

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

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

E-mail: lvv@tpu.ru

Magnetic spectrometer analyzer (MSA) is used to analyze the processes of hydrogenation metals (for example, titanium and copper). Sensitivity magnetic spectrometer analyzer is determined by the depth of penetration of high frequency currents in metals, the space of the sample, and the phase shift between its resistance and reactance. Sensitivity is the ratio of $(\Delta\epsilon/\epsilon)/(\Delta d/d)$, where $\Delta\epsilon/\epsilon$ relative increase signal of MSA. The increment signal arises due to a change $\Delta\delta/\delta$ penetration depth of the eddy current in the metal. Parameter $\Delta d/d$ is the relative change in the thickness of the samples. To study the sensitivity of the spectrometer used for S parameter $(\Delta\epsilon/\epsilon)/(\Delta S/S)$. These options allow you to eliminate or reduce the error in determining the conductivity. Further developed the technique of determining the sensitivity of the spectrometer to the parameter ξ that is the ratio of the thickness d of the sample to its area S . Parameter ξ permed accurately the dimensions of the metal layers. Layers are located at different depths depending and associated with the electrical part of the metal layer. Parameter β , equal to the product of the area of the sample by the reciprocal of the penetration depth of the eddy current in the sample. If the product of these parameters β equals 1, the eddy current penetration depth in the sample is equal to the thickness of the test sample. Relationship between the number of implanted hydrogen atoms per atom of metal and its electrical conductivity is expressed by equation. Depending on this established technique for determining the composition of titanium hydride phase at different depths of penetration as a function of eddy currents in the metal. Operating modes of the (MSA) determined by the accuracy of approximation of the size of the metal layer, located at different depths of the sample.

Различные технологические операции, связанные с производством титановых заготовок и проката, сопровождаются неравномерным насыщением титана водородом [1]. Во многих случаях в процессе эксплуатации при наводороживании в поверхностном слое и в целом в металле наблюдаются сложные

структурные изменения. Образуются насыщенные слои, характеризующиеся на разной глубине металла наличием фаз внедрения водорода и изменением параметров кристаллической решетки металла. В результате появляются дефекты структуры [1]. Несмотря на наличие диффузионных эффектов, которые характерны для титана, образование гидридов, снижающих подвижность водорода, существует распределение водорода по глубине титанового листа. Важное значение имеет анализ бескислородной меди. В частности при изготовлении электровакуумных приборов используется бескислородная медь с процентным содержанием кислорода не более 0,0005%. При превышении кислорода в меди начинается «водородная болезнь», вызванная наличием водорода в меди. По госту качество меди определяют путем перегибов медных полосок, предварительно отожженных в среде водорода. Этот процесс не является технологичным. Таким образом, из проведенного анализа следует актуальность поиска альтернативных методов определения концентрации водорода в металлах. В частности для разнообразных измерений свойств и контроля деталей и материалов используются вихретоковые преобразователи. Однако на этом пути возникает проблема, которая состоит в том, что если контролируемые образцы достаточно тонкие, измеряемый вихретоковым преобразователем сигнал зависит не только от свойств материала образца, но также и от его толщины. В связи с тем, что электропроводность является функцией концентрации водорода в металлах, метод вихревых токов можно использовать для измерения содержания водорода в металлах [2,3]. Однако во всех случаях актуальной проблемой является точность и чувствительность измерений. Целью настоящей статьи является исследование чувствительности вихретокового определения электропроводности немагнитных металлов на примере меди и титана для применения метода в водородной энергетике.

Исследовались следующие параметры. Параметром чувствительности выбрано отношение $(\Delta\epsilon/\epsilon)/(\Delta d/d)$, где $\Delta\epsilon/\epsilon$ относительное приращение (изменение) сигнала магнитного спектрометра (МС), возникающее вследствие изменения $\Delta\delta/\delta$ глубины проникновения вихревого тока в металл, $\Delta d/d$ – относительное изменение толщины образцов, подвергаемых измерению (таблица). Кроме того, измеренный магнитным спектрометром сигнал зависит, в ряде случаев от площади образца, на который устанавливают датчик спектрометра (рис.1). Поэтому исследована чувствительность спектрометра по площади в виде соотношения $(\Delta\epsilon/\epsilon)/(\Delta S/S)$, где $\Delta S/S$ – относительное изменение площади образца. Результаты измерений активной и реактивной составляющей вихретоков для меди приведены на рис. 1. Из рисунка следует, что величина активной и реактивной составляющей вихревого тока линейно зависит от площади образца до $S=100 \text{ мм}^2$. Дальнейшее увеличение площади измеряемого образца не приводит к изменению показаний вихретокового датчика в пределах погрешности измерений [5]. Зависимость проводимости титана от содержания водорода в металле по данным [4] (X – отношение числа атомов водорода, приходящихся на один атом титана) можно выразить следующим регрессионным уравнением:

$$\sigma = -6620x + 20731 \quad 1)$$

Подставляя полученной выражение для электропроводности металла σ в формулу для глубины проникновения вихревого тока в металл δ (формула 2), получаем расчетное выражение вида:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\omega\mu\mu_0\sigma/2}} \quad 3)$$

Таким образом имеем возможность определить распределение концентрации водорода на различной глубине титанового образца.

Таблица 1. Зависимость параметров чувствительности спектрометра от частоты вихревого тока (медь)

Частота, кГц	U, mag	$\beta=d/S$	$\chi = S \cdot \delta^{-1}$	$(\Delta\epsilon/\epsilon)/(\Delta d/d)$
10	0,145	1,735	4,230	0,645
20	0,134	2,454	5,982	0,646
30	0,109	3,006	7,327	0,574
40	0,093	3,471	8,460	0,523
50	0,081	3,881	9,459	0,487
60	0,073	4,251	10,362	0,455
70	0,066	4,592	11,192	0,421
110	0,037	5,756	14,030	0,271
150	0,036	6,721	16,383	0,301

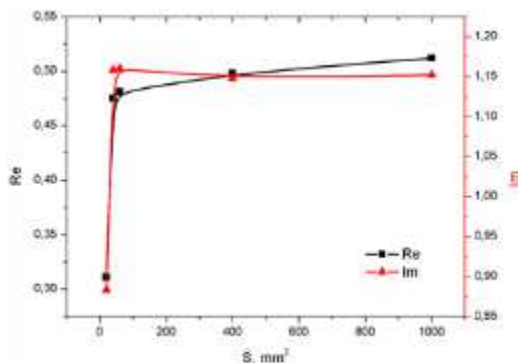


Рис. 1. Зависимость активной и реактивной составляющей вихревого тока (мА) от площади образца из меди (частота 400 кГц)

Данные таблицы позволяют оценить эффективность определения концентрации водорода магнитным спектрометром в зависимости от частоты, глубины расположения выбранного слоя и размера образца.

Отметим, что уравнение (3) устанавливает связь между измеренным значением электропроводности от содержания водорода в титане, что дает возможность использовать метод для исследования диффузии водорода в металлах [6]. Таким образом, разработанная методика определения чувствительности измерения электропроводности

металлов увеличивает эффективность вихретокового метода измерения содержания водорода в немагнитных металлах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов И.П., Лидер А.М., Черданцев Ю.П. Дефекты в титане инициированные водородом // Физическая мезомеханика. – 2000. – Т.3. – № 6. – С. 97–100.
2. Ларионов В.В., Лидер А.М., Березнеева Е.В., Кренинг М.Х. Особенности электромагнитных методов контроля послойного содержания водорода в конструкционных материалах // Прикладная физика. – 2012. – № 5. – С.20–24.
3. Патент № 2498282 С1, МПК G01N 27/02 – (2006.1). Способ определения содержания водорода в титане / Лидер А.М, Ларионов В.В., Гаранин Г.В. Заявлено 16.06.2012; Оpubл. 12.12. 2013. Бюл. № 31 от 10.11.2013. – С. 557–558.
4. Сарин В.А., Азизов Э.А., Глушков И.С., и др. Структура дейтеридов и гидридов титана, образуемых в титановых фольгах // Тезисы докладов III междунар. конф. «Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. IHISM–07. Санкт-Петербург», Саров. – 2007.– С. 230–232.
5. Larionov V.V., Kun Shi, Shupeng Xu. Study of internal structure of hydrogenated metals of different frequency eddy current method // Vedecky Prumysl Evropskeho Kontinentu 2013: Materially VIII Mezinarodni Vedecko-Prakticka Konferenc. Praha: Education and Science, 2013 - V. 23. Matematika.– P. 73–75.
6. Tyurin Yu.I., Nikitenkov N.N., Larionov V.V. Ionizing Radiation– Stimulated Diffusion and Desorption of Hydrogen from Metals // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2011 Vol. 85, № 6, pp. 1047–1053.