

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СПЛАВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПРИ  
ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ НАВОДОРАЖИВАНИИ.**

Ю Цзиньян

Научный руководитель: ассистент кафедры общей физики В.Н. Кудияров

Томский политехнический университет,

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

E-mail: [youjingyang0309@gmail.com](mailto:youjingyang0309@gmail.com)

**THE STUDY OF HYDROGEN ACCUMULATION IN THE NiTi ALLOY AT THE ELECTROLYTIC  
HYDROGENATION**<mailto:youjingyang0309@gmail.com>

You Jingyang

Scientific supervisor: assistant of General Physics department V.N. Kudiiarov

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

E-mail: [youjingyang0309@gmail.com](mailto:youjingyang0309@gmail.com)

<mailto:youjingyang0309@gmail.com>

***Abstract.** The effects of solution temperature, current density, grain size and charging time on the hydrogen absorption of Ni-Ti superelastic alloy immersed in 0.9% NaCl solution have been investigated systematically by hydrogen analyzer RHEN602. For hydrogen cathodic charging under constant current density, upon increasing solution temperature and charging time, the hydrogen concentration increased. As current density increases, the hydrogen concentration initially increases rapidly, then slightly changes. The grain size of materials also has an influence on the hydrogen absorption.*

Ni-Ti сплав широко используется в промышленных и биомедицинских приложениях, потому что он обладает способностью памяти формы и сверхэластичностью [1]. Например, в ортодонтических клиниках повсеместно применяют Ni-Ti проволоку. Существует проблема водородного охрупчивания, так как адсорбция водорода приводит к разрушению и перелому Ni-Ti проволоки [2]. К примеру, при использовании зубной пасты ортодонтическая проволока поглощает значительные количества водорода, что вызывает ее охрупчивание. В слюне, содержащей хлористоводородную кислоту, водородное охрупчивание сплава также происходит [3]. Чтобы избежать такую водородную хрупкость и повысить надежность сплава в дальнейших применениях, критические условия для поглощения водорода должны быть исследованы в различных средах. NaCl водный раствор в качестве физиологического раствора, в котором Ni-Ti сплав мало поглощает водород, используется для исследований зависимости концентрации водорода, содержащего в Ni-Ti проволоке, от времени и плотности тока электролитического наводороживания при различных температурах. Тем не менее, размер зерна тоже влияет на сорбцию водорода [4].

**Материалы и методика исследований.** Для исследований использовались образцы никелида титана Ni-Ti размером  $d=1$ ,  $l=30$  мм. Для проведения электролитического насыщения образцов металла, разработана [5] специальная ячейка, состоящая из электролитической ячейки с блоком крепления образцов, анодом, выполненным из платины и источника тока GPS-1830D, которая позволяет

контролировать такие параметры, как положение образца, объем и температуру электролита.

Для измерения концентрации водорода, содержащегося в образцах, использовался анализаторе RHEN602 фирмы LECO.

**Результаты исследований.** На рисунке 1 представлены график зависимости концентрации водорода в образцах (улитромелкозернистых, УМЗ) от плотности тока электролитического наводороживания по 60 минут при комнатной температуре (25 °С), температуры тела (37 °С) и более высоких температурах (50 °С и 60 °С) и график зависимости концентрации водорода от времени насыщения в NaCl растворе.

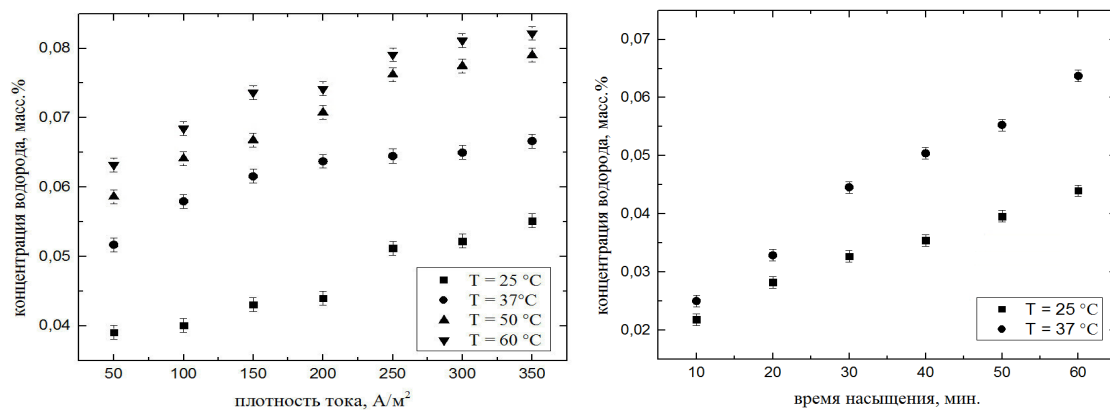


Рис. 1. Зависимость концентрации водорода от плотности тока и времени при разных температурах для УМЗ

Зависимость содержания водорода в образцах (УМЗ) от плотности имеет сложный характер. Так, при плотностях тока меньше 300 А/м² происходит быстрое увеличение содержания водорода при увеличении плотности тока, благодаря проникновению и накоплению водорода в пустотах кристаллической решетки, в вакансиях и в других дефектах. При дальнейшем увеличении плотностей концентрация водорода медленно увеличивается. Данное поведение характеризуется образованием гидридной фазы, препятствующей дальнейшему процессу наводороживания, благодаря чему концентрация водорода увеличивается незначительно и чем выше температура и тем быстрее образуется гидридная фаза.

В течение 60 минут концентрация водорода прямо пропорциональна времени насыщения.

Чтобы изучать влияния размера зерно на наводороживание, крупнокристаллические (К.К.) материалы были насыщены водородом при разных плотностях тока и времени (рисунок 2).

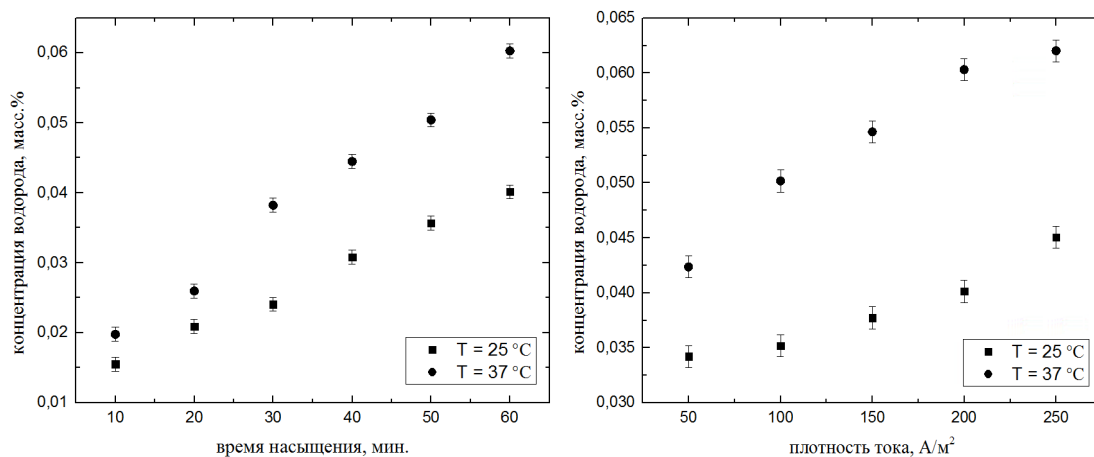


Рис. 2. Зависимость концентрации водорода от плотности тока и времени для К.К.

В интервале плотности тока от 50 А/м<sup>2</sup> до 250 А/м<sup>2</sup> наблюдается линейная зависимость содержания водорода в материале от плотности тока. Эффективность наводороживания растет с увеличением плотности тока, так как это является ключевым параметром, определяющим интенсивность миграции ионов водорода к катоду. Концентрация водорода в образцах тоже увеличивается по времени насыщения.

Сравнение КК и УМЗ представлено на рисунке 3.

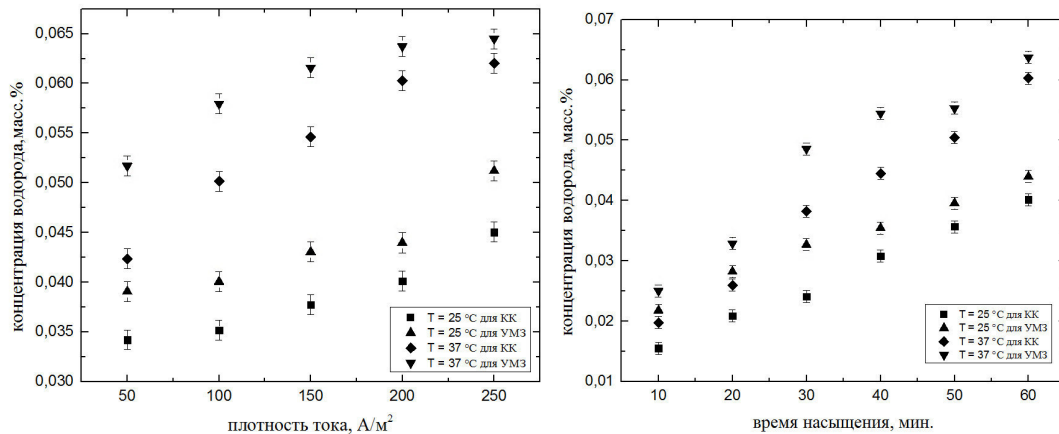


Рис. 3. Сравнение КК и УМЗ

По сравнению с образцами УМЗ в данном случае крупнокристаллические (К.К.) материалы Ni-Ti поглотили менее водород. Отличие КК от УМЗ объясняется тем, что УМЗ материалы имеют большую протяженность дефектов кристаллической решётки (дислокаций и вакансий) в объёме зерен, которые являются ловушками для водорода.

**Заключение.** В настоящей работе разработана установка для поддержания постоянной температуры электролита при электролитическом наводороживании. Проведено наводороживание образцов никелида титана при температурах 25°C, 37°C и 60°C. Установлены зависимости концентрации водорода от плотности тока и времени наводороживания. Рассмотрено влияние размера зерно материала на наводороживание.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Humbeeck JV, Stalmans R, Besselink PA. Shape memory alloys. In: Helsen JA, Breme HJ, editors. Metals as biomaterials. Chichester:Wiley, 1988. p. 73}100.
2. N. Wade, Y. Adachi, Z. Hosoi, Scr. Metall. Mater. 24 (6) (1990) 1051–1055.
3. K. Yokoyama, K. Kaneko, T. Ogawa, K. Moriyama, K. Asaoka, J. Sakai, Biomaterials 26 (2005) 101–108.
4. Гельд П.В. Водород в металлах и сплавах. - М.: Металлургия, 2007. - 272 с.
5. Цыбенко А. О., Кудияров В. Н. Ячейка для электрохимического насыщения водородом [Электронный ресурс] // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов IX Международной конференции студентов и молодых учёных, Томск, 24-27 Апреля 2012. - Томск: ТПУ, 2012 - С. 264-266 - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).