

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ВОДОРОДНОЙ СТОЙКОСТИ ТИТАНОВОГО  
СПЛАВА VT6**

Дин Цзыи, В.Н. Кудияров

Научный руководитель: доцент к.ф.-м.н. Пушилина Н.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

**STAND FOR TESTING ELECTROCHEMICAL PERMEATION OF HYDROGEN THROUGH  
METAL FOILS**

Ding Ziyi, V.N. Kudiyarov

Scientific Supervisor: Pushilina N.S.

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

***Abstract.** This work describes the permeability method which was used to study the sorption of hydrogen of metal. With the help of the Gas Reaction Controller (GRC), the adsorbed amounts of hydrogen can be recorded as a function of time, temperature and pressure. In this paper, the working principle is described, Wetting of VT6 samples to obtain a 100 $\mu$ m thick metal foil; carrying out experiments on the permeability of hydrogen with different coatings; Using the software for processing experimental data; The effect of various coatings on the permeability of hydrogen is compared.*

Титановые сплавы широко используются в медицине, автомобильной, аэрокосмической и химической отраслях промышленности благодаря сочетанию таких свойств как высокая прочность, малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость, хорошая биосовместимость[1, 2]. Растворяясь в титановых сплавах, водород вызывает существенные изменения их физико-химических и механических свойств. Поэтому исследование предотвращения водородного повреждения кристаллической решетки титана и проницаемость водорода очень важно.

В качестве материала для исследований в данной работе использовался титановый сплав VT6. Образец представляли собой прямоугольные пластины размером 20x20x1 мм и шлифовался на шлифовальной бумаге до толщины 100 мкм. По завершению шлифования проводилась полировка образцов алмазными пастами. В качестве покрытия на титановый сплав в настоящей работе был выбран нитрид алюминия. Известно, что нитрид алюминия устойчив в атмосферах водорода и углекислого газа до 980 °С. Нанесение покрытий AlN производилось вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом на ионно-плазменной установке «ТРИО-М». Образцы были промыты в ультразвуковой ванне в бензине и спирте, в каждом в течение 10 мин. Откачка рабочей камеры проводилась до давления ~10<sup>-3</sup> Па. Перед напылением покрытий поверхность образцов очищалась ионами аргона с энергией до 1 кэВ от оксидных пленок и адсорбированных газов. Скорость роста покрытий составила 6 мкм/ч. Насыщение образцов водородом проводилось на комплексе Gas Reaction Controller, при давлении водорода 2 атмосферы и температуре 600 °С. Элементный анализ образцов проводился методом энергодисперсионного анализа, структурно-фазовое состояние исследовалось методом рентгеноструктурного анализа. Структура поверхности образцов после нанесения покрытий изучалась

методом сканирующей электронной микроскопии. В настоящей работе был использован метод Виккерса. Метод виккерса (HV) был разработан в Англии в 1925 году и был официально известен как тест на твердость алмазной пирамиды (DPH). Тест Виккерс имеет два различных диапазона усилий, микро (от 10 г до 1000 г) и макро (от 1 кг до 100 кг), чтобы покрыть все требования к тестированию. Индентор одинаков для обоих диапазонов, поэтому значения твердости по Виккерсу являются непрерывными во всем диапазоне твердости для металлов (обычно от HV100 до HV1000). Для вычисления твердости по Виккерсу использовалась следующая формула:

$$HV = \frac{2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1.8544 \frac{F}{d^2} \text{ (кг/мм}^2\text{)} \quad (1)$$

где HV - Твердость по методу Виккерса (кг/мм<sup>2</sup>),  $\alpha$  – наклон алмазного индентера пирамидальной формы, F – испытательное усилие, d – средняя длина диагонали отпечатка (мм).

Результаты энергодисперсионного анализа образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Энергодисперсионный микроанализ сплава ВТ6 после нанесения покрытия

Образцы	Элемент wt%	Параметр a	Параметр z
ВТ6+покрытие AlN	Al 84.54	0.8477	0.9940
	N 8.72	0.1465	1.0685
	Ti 2.90	0.8850	0.9138
	O 2.73	0.1705	1.0613
	Fe 1.11	0.9740	0.9199

На рисунке 1 представлена структура поверхности образцов после нанесения покрытий.

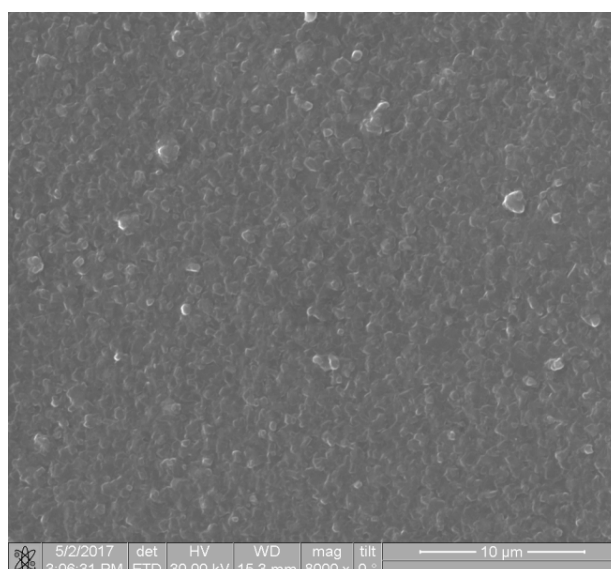


Рис. 1. Структура поверхности образцов сплава ВТ6 после нанесения покрытий

На рисунках 2 приведены изотермы поглощения водорода сплавом ВТ6 после нанесения покрытия и

без покрытия соответственно. Установлено, что нанесение покрытия AlN приводит к снижению скорости поглощения водорода сплавом ВТ6.

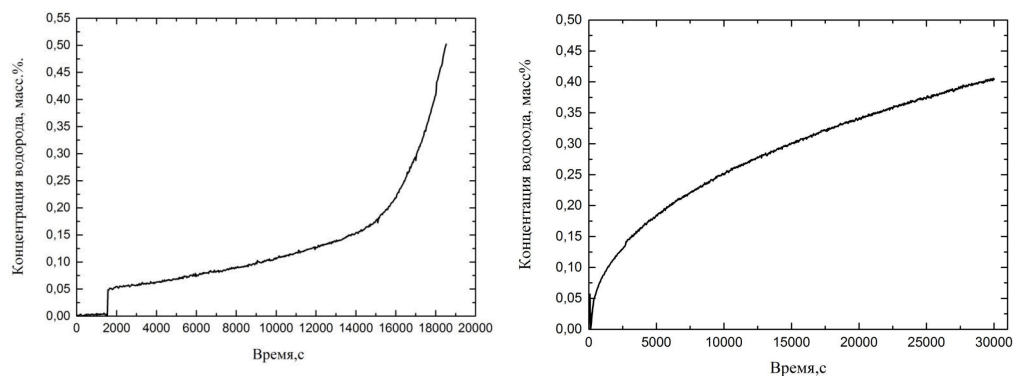


Рис. 2. График зависимости концентрации водорода от времени для фольги титанового сплава ВТ6 толщиной 100 мкм: а – с покрытием AlN; б – без покрытия AlN

Результаты исследования твердости образцов в зависимости от вида обработки поверхности приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры твердости сплава ВТ6 до и после нанесения покрытий и наводороживания

Образцы	Нагрузка, кг	Диагональ d, мм	HV
Исходный	0.3	2.064	210±30
После нанесения AlN	0.3	1.281	543±41
После нанесения AlN и насыщения водородом (1.6 масс%)	0.3	1.584	354±35

Установлено, что нанесение покрытий приводит к увеличению микротвердости поверхности титанового сплава. При этом твердость наводороженных образцов ниже на ~ 40 % твердости исходных образцов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gurrappa I. Characterization of titanium alloy Ti-6Al-4V for chemical, marine and industrial applications // Materials Characterization. – 2003. – V. 51, Issues 2-3. – P. 131-139.
2. Brewer W. D., Bird R. K., Wallace T. A. Titanium alloys and processing for high speed aircraft // Materials Science and Engineering: A. – 1998. – Volume 243, Issues 1-2. – P. 299-304.
3. Максимов Е Г, Панкратов О А. Водород в металлах[J] // Успехи физических наук. – 1975. – V. 116(7) . – P. 385-412.
4. Kudiiarov V. N, Gulidova L. V, Pushilina N. S, et al. Application of automated complex Gas Reaction Controller for hydrogen storage materials investigation[C]//Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, 2013, 740: 690-693.