

УДК 538.911

**ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ФОРМИРОВАНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ
В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ VT16**

А.О. Хованова

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Г.П. Грабовецкая

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: anastasia_khovanova@mail.ru

**INFLUENCE OF HYDROGEN ON FORMATION OF THE ULTRA-GRAIN STRUCTURE IN
THE TITANIUM ALLOY VT16**

A.O.Khovanova

Scientific Supervisor: Dr. G.P. Grabovetskaya

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

E-mail: anastasia_khovanova@mail.ru

***Abstract.** The electron microscopic methods were used to study the formation of an ultrafine-grained structure in VT16 titanium alloy by pressing using reversible doping with hydrogen. It is shown that the presence in the solid solution of 0.15 wt. % of hydrogen makes it possible to form an ultrafine-grained structure in VT16 alloy with a greater dispersion of elements and increased strength characteristics compared to an unalloyed hydrogen alloy.*

Введение. В настоящее время наиболее перспективными конструкционными материалами являются титановые сплавы. Вследствие высокой коррозионной стойкости, биосовместимости и низкой плотности эти сплавы широко используются в различных областях производства. Однако титановые сплавы имеют недостаточную прочность, поэтому вопрос об улучшении прочностных характеристик особенно важен. Одним из методов повышения механических свойств титановых сплавов является измельчение зерен до нано – и/или субмикронного размера с использованием интенсивной пластической деформации. Однако уменьшение размера зерен приводит к росту поглощения титаном и его сплавами водорода. Водород оказывает отрицательное влияние на пластичность титановых сплавов. При комнатной температуре это связано, прежде всего, с образованием гидридов. При повышенных температурах гидриды (выше 623 К) полностью растворяются в сплавах титана. Однако, свободный водород, обладая высокой диффузионной подвижностью в металлах, может перераспределяться в объеме под действием полей упругих напряжений, образуя в наиболее напряженных участках скопления и поры, повышая тем самым вероятность преждевременного разрушения металла. Целью данной работы является исследование влияния присутствия водорода в твердом растворе на механические свойства ультрамелкозернистого (УМЗ) титанового сплава системы Ti-Al-V-Mo (VT16) при температурах 293 и 973 К.

Экспериментальная часть. Для исследования был выбран двухфазный ($\alpha+\beta$) титановый сплав системы Ti-Al-V-Mo с содержанием основных легирующих элементов в мас.%. Al – 3.1, V – 4.5, Mo – 4.9. В исходном состоянии сплав является крупнозернистым и содержит 0,002 мас.% водорода. В

сплаве присутствует значительное количество β – стабилизаторов (Мо и V), поэтому объемная доля β -фазы в этом сплаве достигает 22%.

Для формирования УМЗ состояния в исследуемом сплаве использовали метод прессования со сменой оси деформации и постепенным понижением температуры. Перед прессованием часть заготовок сплава диаметром 20 мм и высотой 35 мм была наводорожена до 0,15 мас.% (далее сплав VT16-0,15H). Наводороживание проводили в аппарате типа Сиверста при температуре 873 К и давлении 1 атм. Прессование осуществляли на воздухе в изотермических условиях в 2 цикла при температурах 923 и 823К. Каждый цикл состоял из трех сжатий во взаимно перпендикулярных направлениях. Деформация заготовки за одно сжатие составляла 50%. Перед прессованием сплавы VT16 и VT16-0,15H были закалены от температур 1068 и 923 К соответственно. Структуру УМЗ сплава исследовали с помощью электронного микроскопа марки JEM-2100. Для исследования структуры были приготовлены фольги методом механического шлифования и последующей электролитической полировки. Размеры структурных элементов определяли по темнопольным изображениям микроструктуры стандартным методом секущей. Испытания на растяжение проводили в вакууме при температурах 293 и 873 К в установке ПВ-3012М с автоматической записью кривой растяжения в координатах нагрузка-время. Для исследования механических свойств были использованы образцы в виде двойной лопатки. Начальная скорость растяжения составляла $6,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

Результаты. После прессования по указанному выше режиму в сплавах VT16 и VT16-0,15H формируется двухфазная ($\alpha+\beta$) УМЗ зеренно-субзеренная структура. На рис. 1 и 2 представлено типичное электронно-микроскопическое изображение структуры УМЗ сплавов VT16 и VT16-0,15H. На светлопольном изображении УМЗ структуры (рис. 1, а и 2, а) виден сложный деформационный контраст, не позволяющий различить элементы структуры. На электронограммах такой структуры (площадь апертурной диафрагмы $\sim 1,6 \text{ мкм}^2$) наблюдается значительное количество рефлексов, расположенных по окружности, что свидетельствует о значительном количестве зерен в единице объема. На темнопольном изображении (рис.1, б и 2, б) достаточно хорошо видны отдельные элементы структуры. Средний размер элементов структуры сплавов VT16 и VT16-0,15H, определенный по темнопольному изображению, составляет 0,45 и 0,26 мкм соответственно.

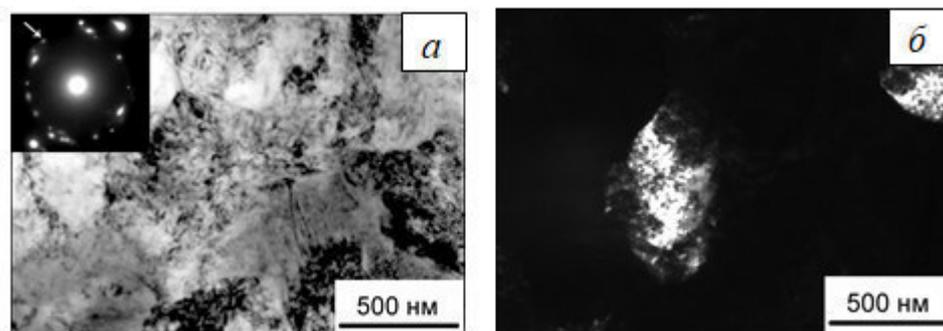


Рис. 1. Типичное электронно-микроскопическое изображение микроструктуры сплава VT16:
а – светлопольное изображение; б – темнопольное изображение

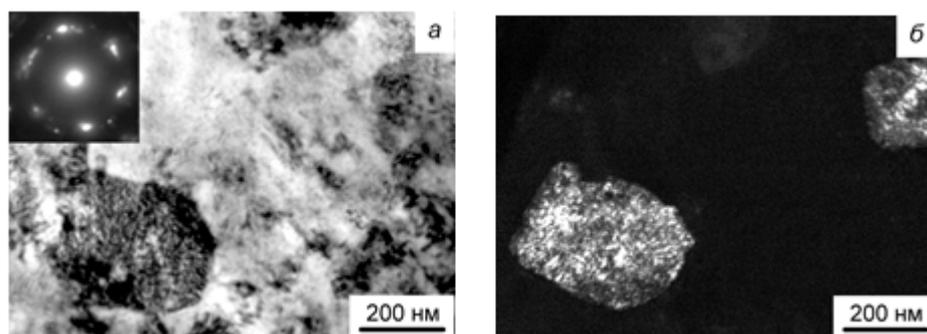


Рис. 2. Типичное электронно-микроскопическое изображение микроструктуры сплава VT16-0,15H:
а – светлопольное изображение; б – темнопольное изображение

Методами рентгеноструктурного анализа было установлено, что оба сплава после прессования являются двухфазными, содержащими α и β фазы титана. Объемная доля β -фазы в сплавах VT16 и VT16-0,15H составляет 35 и 42 об.% соответственно. Водород в обоих сплавах после прессования находится в твердом растворе.

Из данных таблицы 1 видно, что присутствие водорода в твердом растворе незначительно влияет на прочностные свойства сплава при комнатной температуре, но увеличивает значение однородной деформации и общей деформации до разрушения. При повышенной температуре в условиях сверхпластичности присутствие водорода повышает прочностные свойства сплава VT16-0,15H и уменьшает величину деформации до разрушения. Исследование деформационного рельефа поверхности образцов после растяжения при температуре 873 К показало, что присутствию водорода в твердом растворе препятствует развитию основного механизма сверхпластической деформации – зернограничного скольжения и способствует образованию трещин.

Таблица 1

Механические свойства титановых сплавов VT16 и VT16-H УМЗ состоянии
при температурах 293 и 873 К

Материал	T, К	$\sigma_{0,2} \pm 50$, МПа	$\sigma_B \pm 50$, МПа	ϵ_B , %	$\delta \pm 1$, %
УМЗ VT16-0,002H	293	1139	1209	1	11
УМЗ VT16-0,15H		1131	1234	2,8	14
УМЗ VT16-0,002H	873	127	137	21	710
УМЗ VT16-0,15H		149	175	12	450

Заключение. Проведенные исследования показывают, что присутствие водорода в твердом растворе в ультрамелкозернистом сплаве VT16 в количестве ~0,15 мас. % в процессе растяжения при температуре 293 К подавляет развитие локализации деформации на макроуровне, что приводит к повышению его однородной деформации и общей деформации до разрушения. В условиях сверхпластического течения присутствие водорода снижает устойчивость ультрамелкозернистого сплава VT16 к локализации деформации на макроуровне и величину деформации до разрушения.