

**ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V**

Лю Цан

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Н. Степанова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: gang.liu@mail.ru

**EFFECT OF HYDROGEN ON THE STRUCTURAL AND PHASE STATE AND MECHANICAL
PROPERTIES OF TITANIUM Ti-6Al-4V ALLOY**

Liu Gang

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. E.N. Stepanova

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

E-mail: gang.liu@mail.ru

***Abstract.** Effect of hydrogen and electron beam exposure on the structural and phase state of the fine- and ultrafine-grained structure of two-phase ($\alpha + \beta$) titanium Ti-6Al-4V alloy was investigated by the methods of electron microscopy and X-ray diffraction analysis. Structural and phase state and mechanical behavior (microhardness) of the fine- and ultrafine-grained titanium Ti-6Al-4V alloy was shown to be affected after hydrogenation.*

Двухфазные титановые сплавы составляют около 90 % используемых в настоящее время в промышленности сплавов титана. Например, сплавы титана являются очень важными материалами в области медицины и аэрокосмической промышленности [1]. Одним из ценных свойств титана также является его биологическая совместимость с живой тканью, поэтому титан и его сплавы (например, ВТ6 и ВТ14) считаются идеальными материалами для протезирования. Сочетание высокой удельной прочности и практически идеальной совместимости титана и его сплавов с тканями человеческого организма делает их наиболее перспективным материалом для изготовления протезов (замена костей), имплантатов.

Механические свойства этих сплавов существенно зависят от микроструктуры и фазового состава. Эффективным способом повышения механических свойств титановых сплавов указанного типа, в том числе и сверхпластичных, является измельчение зерна [2]. Кроме того, известно [2], что формирование в титановых сплавах методами интенсивной пластической деформации (ИПД) ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры приводит к повышению их механических свойств при комнатной температуре и снижению температурного и повышению скоростного интервалов проявления сверхпластичности.

Материал и методы исследования. В качестве материала исследования в данной работе был использован двухфазный ($\alpha + \beta$) титановый сплав Ti-6Al-4V марки ВТ6. Образцы сплава в исходном мелкозернистом состоянии были предварительно подвергнуты часовому отжигу при температуре 1023 К. В исходном мелкозернистом (МЗ) состоянии сплав Ti-6Al-4V имеет неомогенную структуру,

состоящую из однофазных α и двухфазных $\alpha + \beta$ областей. Однофазные α области размерами 10–40 мкм, как правило, окружены двухфазными областями. В однофазных областях наблюдается зеренная структура размерами $d = 3\text{--}5$ и $7\text{--}10$ мкм в продольном и поперечном направлении, соответственно.

УМЗ зеренно-субзеренная структура со средним размером элементов зеренно-субзеренной структуры 0,29 мкм была получена методом прессования со сменой оси деформации и постепенным понижением температуры в интервале температур 873–853 К в ИФПМ СО РАН [3].

Образцы сплава были наводорожены до концентрации 0,05 % (здесь и далее, концентрация водорода указана в массовых процентах) (при 823 К и 2 атм) с использованием автоматического комплекса Gas Reaction Controller. Полученная концентрация водорода в образцах была измерена с помощью анализатора водорода RHEN 602. Дегазацию водорода проводили путем облучения электронным пучком (энергия 30кэВ, ток на образце 113 мкА, температура на образце ~ 550 °С).

Объемные доли и параметры решетки определяли с точностью $\pm 1\%$ и 0.0001 нм, соответственно, методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре Shimadzu XRD-7000 в излучении Cu-K α . Микротвердость полученных образцов измеряли с помощью микротвердомера HV1000 методом Виккерса.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Рентгеноструктурные исследования показали, что в сплаве Ti-6Al-4V в исходном МЗ состоянии наблюдается текстура в направлении [002] с коэффициентом Марча-Долласа 0,6741 (рис. 1). Параметры решетки и объемная доля фаз МЗ сплава приведены в табл. 1.

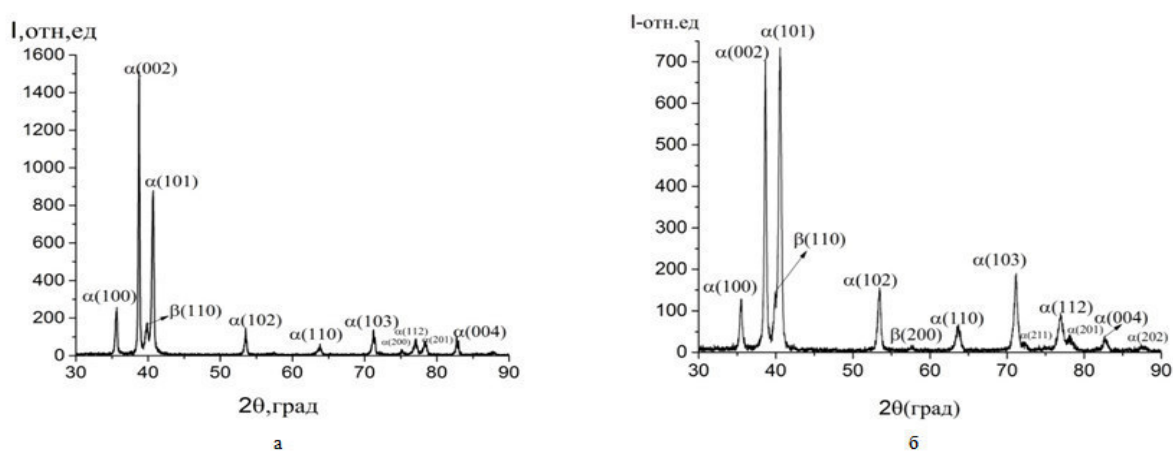


Рис. 1. Участок дифрактограммы образца сплава Ti-6Al-4V: а – в исходном МЗ состоянии; б – в исходном УМЗ состоянии

Формирование УМЗ структуры приводит к изменению объемных долей α и β фаз, уменьшению параметров решетки α фазы и перераспределению интенсивности рефлексов (101) и (002) α фазы (табл. 1). Это свидетельствует о том, что в результате прессования текстура в направлении [002] исчезает.

Согласно данным рентгеноструктурного анализа при наводороживании МЗ сплава Ti-6Al-4V до концентраций 0,0215 и 1,25 % текстура в направлении [002] сохраняется. При этом при наводороживании до концентрации ~ 1 % в образцах сплава в обоих состояниях наблюдаются выделения гидридов. Например, в УМЗ сплаве Ti-6Al-4V обнаруживаются гидриды TiH_{1.5}, рефлексы которых (111), (200) и (311) накладываются на рефлексы (100), (101) и (103) α фазы титана, соответственно (табл. 1). В то же время

часть водорода находится в твердом растворе в β фазе титана. На это указывает увеличение параметра решетки β фазы в сплаве Ti-6Al-4V-1,72H после прессования по сравнению с исходным УМЗ состоянием (табл. 1).

Таблица 1

Фазовый состав и параметры решетки сплава Ti-6Al-4V в МЗ и УМЗ состояниях

Состояние	Фазовый состав	Параметры решетки		
		a_α , нм	c_α , нм	a_β , нм
МЗ	97,8 об.% α + 2,2 об.% β	0,29263	0,46833	0,31516
УМЗ	95 об.% α + 5 об.% β	0,29207	0,46555	0,31836
МЗ +0,0215H	98 об.% α + 2 об.% β	0,28786	0,46891	0,31558
УМЗ +0,035H	93 об.% α + 7 об.% β	0,29223	0,46601	0,32527
УМЗ +1,72H	49,4 об.% α + 50,6 об.% TiH _{1,5}	0,29144	0,46633	—

Измерения микротвердости образцов сплава в различных состояниях показали, что микротвердость сплава Ti-6Al-4V в МЗ состоянии после отжига меньше, чем образца сплава Ti-6Al-4V в исходном МЗ состоянии. Облучение и наводороживание до низкой (0,0215 мас. %) концентрации приводит к уменьшению микротвердости, в то время как после наводороживания до высокой концентрации (1,25 мас. %) микротвердость увеличивается. Это может быть связано с изменением соотношения объемных долей α и β фаз при наводороживании до различных концентраций, а также выделением гидридов.

Наводороживания сплава Ti-6Al-4V в УМЗ состоянии до низкой (0,035 мас.%) и высокой концентрации (1,72 мас.%) приводит к увеличению микротвердости по сравнению со сплавом Ti-6Al-4V в исходном УМЗ состоянии. Однако после облучения микротвердость УМЗ сплава Ti-6Al-4V уменьшается. Это может быть обусловлено уменьшением в процессе облучения концентрации водорода до значений, близких к техническим стандартам для данного сплава, и изменением объемных долей α и β фаз состояний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П. и др. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. - Новосибирск: Наука, 2001. - 232 с.
2. Salishchev G.A., Galeev R.M., Malysheva S.P., Zherebtsov S.V., Mironov S.Yu., Valiakhmetov O.R., and Ivanisenko E.I. Formation of submicrocrystalline structure in titanium and titanium alloys and their mechanical properties // Metal Sci. Heat Treat., 2006, vol. 608, pp. 63–69.
3. Лю Цан. Исследование влияния водорода на структурно-фазовое состояние титанового сплава Ti-6Al-4V // Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный ресурс]: сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. - С. 169-171.