

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОРОДА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ
ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V**

ЛюЦан

Научный руководитель: 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 OF TITANIUM Ti-6Al-4V ALLOY

Liu Gang

Scientific Supervisor: Ph.D.E.N. Stepanova

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

E-mail: gang.liu@mail.ru

***Annotation.** Effect of hydrogen 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. The defect structure of the fine- and ultrafine-grained samples before and after hydrogen treatment was studied by the implemented Positron lifetime technique. Hydrogenation is found to result in minor structural and phase changes both in fine- and ultrafine-grained samples.*

Двух фазные ($\alpha + \beta$ типа) титановые сплавы составляют около 90 % используемых в настоящее время в промышленности сплавов титана. Механические свойства этих сплавов существенно зависят от микроструктуры и фазового состава. Эффективным способом повышения механических свойств титановых сплавов $\alpha + \beta$ типа, в том числе и сверхпластичных является измельчение зерна. Так, формирование в титановых сплавах ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры приводит к повышению механических свойств титановых сплавов при комнатной температуре и снижению температурного и повышения скоростного интервалов проявления их сверхпластичных свойств [1–2]. В то же время, известно, что скорость поглощения водорода металлическими материалами увеличивается с уменьшением размера зерна. Таким образом, перспектива использования УМЗ поликристаллов в качестве конструкционных материалов в значительной степени будет определяться влиянием водорода на структурно-фазовое состояние сплава.

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.

УМЗ зеренно-субзеренная структура в сплаве Ti-6Al-4V была получена методом прессования со сменой оси деформации и постепенным понижением температуры в интервале температур 873–853 К в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН. Деформация прессованием осуществлялась

следующим образом: первое и второе прессования при температуре 873 К на 60 %; третье прессование при 853 К – на 75 %.

Образцы сплава были наводорожены до концентрации 0.05 % при температуре 823 К и давлении 2 атмс использованием автоматического комплекса GasReactionController. Полученная концентрация водорода в образцах была измерена с помощью анализатора водорода RHEN 602 с точностью $\pm 0.0001\%$.

Электронно-микроскопические исследования тонких фольг проводили в просвечивающем электронном микроскопе ЭМ-125К. Размеры структурных элементов измеряли на фотографиях микроструктуры методом секущей. 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 . Образцы в форме пластин размерами 10x10x1 мм³ вырезали из заготовок электроискровым способом. Поверхность образцов подвергали механической шлифовке и электролитической полировке.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. В исходном состоянии сплав Ti-6Al-4V имеет неоднородную структуру, состоящую из однофазных α и двухфазных $\alpha + \beta$ областей. Однофазные области размерами 10–40 мкм, как правило, окружены двухфазными областями. Согласно данным рентгеноструктурного анализа объемная доля β фазы составляет 3% (табл. 1). Кроме того, в образце сплава в исходном состоянии наблюдается текстура в направлении [002] с коэффициентом Марча-Долласа 0.6741.

Таблица 1

Фазовый состав и параметры решетки титанового сплава Ti-6Al-4V в различных состояниях

Состояние	Объемная доля α фазы ± 1 , %	Объемная доля β фазы ± 1 , %	Параметры решеток фаз		
			a_α , нм	c_α , нм	a_β , нм
МЗ	97	3	2.92632	4.68328	3.15162
УМЗ	95	5	2.92070	4.65550	3.18356
МЗ+0.05Н	98	2	2.87856	4.6891	3.15584
УМЗ+0.05Н	93	7	2.92234	4.66006	3.25269

Типичное электронно-микроскопическое изображение структуры сплавов Ti-6Al-4V после деформации прессованием со сменой оси деформации приведено на рис. 1. На светлопольном снимке (рис. 1, а) сложный деформационный контраст не позволяет выявить особенности микроструктуры. На темнопольном снимке (рис. 1, б) видны отдельные зерна и субзерна.

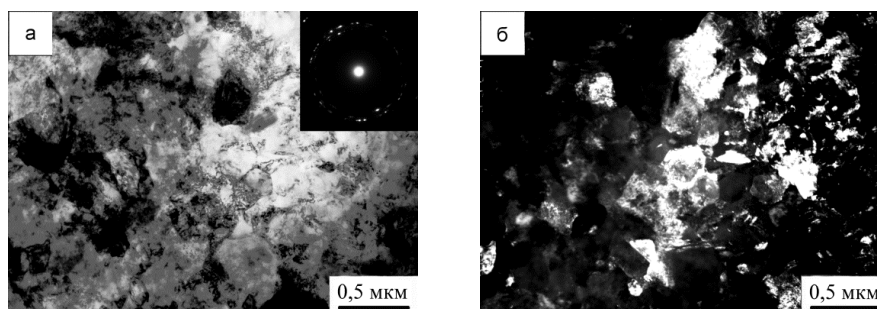


Рис. 1. Электронномикроскопическое изображение УМЗ сплава Ti-6Al-4V: (а) светлопольное изображение и картина микродифракции; (б) темнопольное изображение

Средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры составляет 0,29 мкм. На электроннограммах (рис. 1, а), снятых с площади 1,4 мкм², наблюдаются почти сплошные дифракционные кольца, образованные рефлексами от отдельных кристаллитов. При этом все рефлексы имеют азимутальное размытие. Такой вид электроннограмм характерен для неравновесных нанокристаллических материалов, имеющих большие разориентировки между элементами структуры и внутренние поля упругих напряжений.

Методом рентгеноструктурного анализа было установлено, что по аналогии с МЗ состоянием в УМЗ сплаве Ti-6Al-4V присутствуют только αβ-фазы. Объемная доля β фазы составляет около 5 %. Кроме того, в результате формирования УМЗ структуры, происходит перераспределение интенсивностей рефлексов (101) и (002) α фазы, что свидетельствует о том, что в процессе прессования со сменой оси деформации текстура в направлении [002] исчезает.

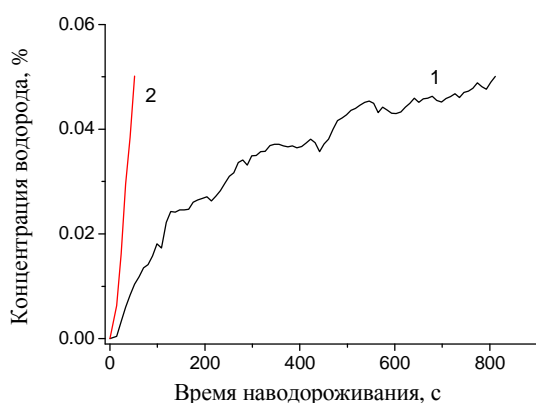


Рис. 2. Кривые наводороживания титанового сплава Ti-6Al-4V в мелкозернистом (1)

На рис. 2 представлены кривые сорбции водорода в образцах сплава Ti-6Al-4V в МЗ (1) и УМЗ (2) состояниях от времени наводороживания. Видно, что скорость сорбции водорода образцами сплавов УМЗ состояния существенно (~16 раз) выше, чем для МЗ образцов сплава.

Электронномикроскопические исследования показали, что наводороживание не значительно изменяет структурное состояние сплава в обоих состояниях. В тоже время, согласно данным рентгеноструктурного анализа (табл. 1) наводороживание МЗ сплава до концентрации

0,05 % приводит к увеличению параметра решетки β фазы. При этом текстура в направлении [002] сохраняется. В результате наводороживания УМЗ сплава до концентрации 0,05 % увеличивается объемная доля β фазы. Параметр решетки β фазы из-за наводороживания становится значительно больше соответствующего значения для исходного УМЗ сплава.

Заключение. Таким образом, прессование со сменой оси деформации и с постепенным понижением температуры приводит к формированию в сплаве Ti-6Al-4V неравновесной структуры со средним размером элементов зеренно-субзеренной структуры 0,29 мкм. Скорость сорбции водорода в УМЗ сплаве значительно (~16 раз) выше, чем в образцах МЗ сплава. После насыщения водородом в УМЗ сплаве наблюдается значительное увеличение параметра решетки β фазы.

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.