

**СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА 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

**STRUCTURAL AND PHASE STATES AND MECHANICAL PROPERTIES
OF ULTRAFINE-GRAINED VT16 ALLOY**

A.O.Khovanova

Scientific Supervisor: Dr. G.P. Grabovetskaya

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

E-mail: grabg@ispms.tsc.ru

***Abstract.** The influence of preliminary hydrogenation on the formation of the ultrafine-grained structure in titanium alloy of the Ti-Al-V-Mo system under severe plastic deformation was investigated. The effect of hydrogen presence on the mechanical properties of ultrafine-grained structure was also studied.*

Введение. Титановые сплавы вследствие их высокой коррозионной стойкости, биосовместимости и низкой плотности широко используются в судостроении, аэрокосмической промышленности, а также в медицине. Поэтому вопрос о повышении их прочностных и эксплуатационных характеристик особенно важен. Эффективным способом повышения прочностных свойств титановых сплавов является измельчение зерен до нано – и/или субмикронного размера методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [1]. Однако титановые сплавы являются труднодеформируемыми материалами. Известно [2], что повысить пластичность и снизить энергетические затраты при деформировании титановых сплавов можно путем временного введения в их объем водорода.

Целью работы является исследование влияния водорода на формирование ультрамелкозернистой структуры и ее свойств в сплаве системы Ti-Al-V-Mo (марка VT16).

Материалы и методы исследования. Для исследования использовали промышленный двухфазный ($\alpha+\beta$) титановый сплав системы Ti-Al-V-Mo с содержанием водорода 0,002-0,9 мас.%. (далее VT16-H).

Наводороживание сплава осуществляли путем отжига заготовок в среде водорода в высоковакуумной установке типа Сиверста (марка РС1М) при температуре 873 К. Ультрамелкозернистое состояние в исследуемом сплаве было получено методом прессования со сменой оси деформации при температурах 923 и 823 К. Было проведено 2 цикла прессования, каждый из которых состоял из трех сжатий. Деформация заготовки за одно сжатие составляла 50%.

Структуру сплавов VT16-H исследовали с помощью оптического (марка AXIOVERT-200MAT) и просвечивающего электронного (марки JEM-2100) микроскопов. Фольги для исследования структуры были приготовлены методом механического шлифования и последующей электролитической

полировкой с использованием прибора «МИКРОН». Размеры структурных элементов определяли стандартным методом секущей по темнопольным изображениям.

Измерение микротвердости (H_{μ}) проводили стандартным методом на микротвердомере ПМТ-3 с помощью алмазной пирамиды Виккерса с нагрузкой 0,1 кг. Время нагружения составляло 15 секунд.

Результаты. Металлографические исследования микроструктуры показали, что наводороженный до концентраций 0,14-0,9 мас.% сплав ВТ16 (далее ВТ16-Н) имеет крупнозернистую пластинчатую структуру, состоящую из смеси α , α'' , β фаз (рис.1).

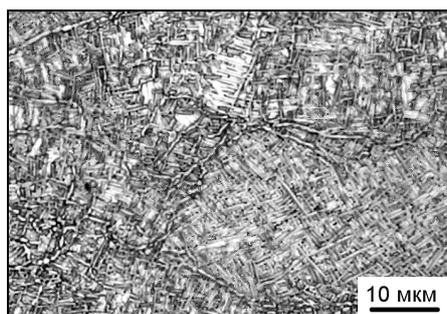


Рис.1. Оптическое изображение микроструктуры сплава ВТ16-Н

После прессования по указанному режиму в сплаве ВТ16-Н с содержанием водорода 0,14-0,27 мас.% формируется двухфазная ($\alpha+\beta$) однородная ультрамелкозернистая структура. Типичное электронно-микроскопическое изображение такой УМЗ структуры представлено на рис.2.

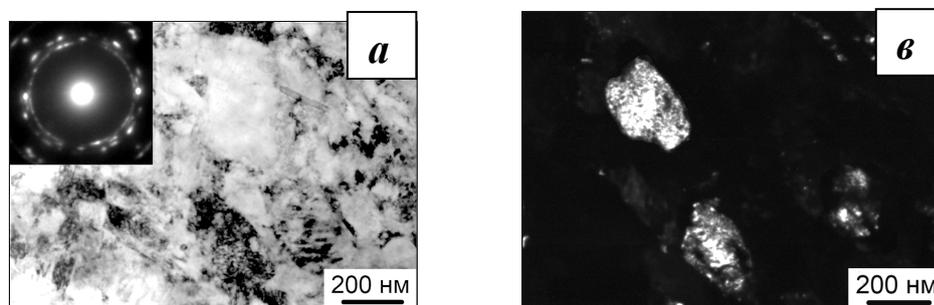


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение микроструктуры ультрамелкозернистого сплава ВТ16-0,27 Н

На светлопольном изображении ультрамелкозернистой структуры сплава ВТ16-0,27 Н (рис. 2, а) виден сложный деформационный контраст, не позволяющий различить элементы структуры. На электроннограммах такой структуры (рис. 2, а) наблюдаются дифракционные кольца, образованные рефлексами от отдельных зерен. При этом некоторые рефлексы имеют азимутальное размытие, что свидетельствует о присутствии внутренних напряжений в зернах. На темнопольном изображении (рис.2, б) достаточно хорошо видны отдельные элементы структуры, средний размер которых составляет $\sim 0,26$ мкм. Следует отметить, что подобная ультрамелкозернистая структура в сплаве ВТ16-0,002 формируется в результате 5 циклов прессования с постепенным понижением температуры в интервале 1023-823 К [3].

На рис. 3. представлена зависимость величины H_{μ} от концентрации водорода в сплавах ВТ16 после прессования. Видно, что формирование ультрамелкозернистой структуры в сплаве с

концентрацией водорода 0,002 мас.% по указанному выше режиму приводит к увеличению H_{μ} примерно в 1,3 раза. Присутствие водорода в сплаве в количестве 0,15 мас.% приводит к дальнейшему увеличению H_{μ} . Это может быть связано с твердорастворным упрочнением сплава. При повышении концентрации водорода в сплаве до 0,48 масс.% наблюдается снижение значений H_{μ} . Водород в титановых сплавах является стабилизатором β -фазы, поэтому повышении его концентрации в сплаве может приводить к увеличению объемной доли β -фазы, прочностные характеристики которой ниже по сравнению с α -фазой. Поэтому можно предположить, что уменьшение величины H_{μ} ультрамелкозернистого сплава ВТ16 с увеличением концентрации водорода связано с ростом в сплаве объемной доли β -фазы. Это предположение требует более подробного исследования.

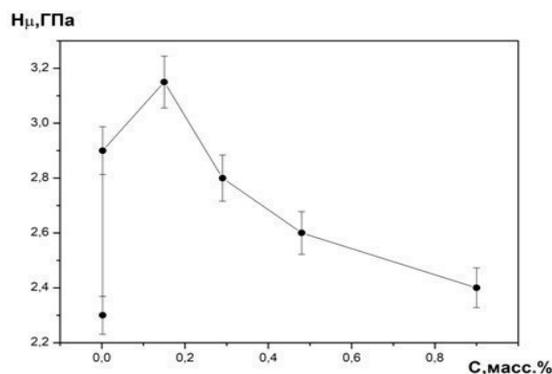


Рис.3. График зависимости микротвердости от концентрации водорода ультрамелкозернистого сплава ВТ16-Н

Заключение. Использование метода, сочетающего предварительное наводороживание и интенсивную пластическую деформацию прессованием, позволяет снизить температуру прессования с 1023 до 923 К и уменьшить число циклов прессования с 5 до 2 при формировании в сплаве ВТ16-Н ультрамелкозернистой структуры. Формирование ультрамелкозернистой структуры и присутствие водорода в твердом растворе приводит к повышению микротвердости ВТ16.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жилиев А.П., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Кашин М.Б., Найденкин Е.В. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов, Новосибирск. Наука, 2001. – 232 с.
2. Ильин А.А., Мамонтов А.М., Коллеров М.Ю. Научные основы и принципы построения технологических процессов термоводородной обработки титановых сплавов // Мет. – 1994. – №4. – С. 57–167.
3. Грабовецкая Г.П., Раточка И.В., Мишин И.П., Забудченко О.В., Лыкова О.Н. Эволюция структурно-фазового состояния титанового сплава системы Ti-Al-V-Mo в процессе интенсивной пластической деформации и последующих отжигов // Изв. Выс. Учеб. Зав. Физика.– 2016.– Т.59, №1.– С. 92–97.