

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ Ti-6Al-4V ПРИ ГИДРИРОВАНИИ

Му Цаююань

Научный руководитель: Ассистент М.С. Сыртанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: 1225617092@qq.com

## INVESTIGATION OF STRUCTURE AND PHASE TRANSFORMATIONS IN TITANIUM Ti-6Al-4V ALLOY UNDER HYDROGENATION

Mu Caoyuan

Scientific Supervisor: Assistant Syrtanov M.S.

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30, 634050

Email: 1225617092@qq.com

**Abstract.** In this paper, the hydrogen effect on the structure and phase transformation of titanium Ti-6Al-4V alloy was investigated. X-ray analysis was used to identify phase composition and determine the parameters of titanium crystal structure. The phase transformation was investigated under gas phase hydrogenation at 500 °C and hydrogen pressure of 1 atm.

**Введение.** Титановые сплавы обладают высокой прочностью, малым весом, хорошей коррозионной стойкостью, высокой пластичностью, высоким сопротивлением ползучести и отличной свариваемостью. Поэтому титановый сплав имеет большую исследовательскую ценность. [1].

Титановые сплавы способны поглощать и накапливать водород в процессе эксплуатации в водородсодержащих средах. При достижении предела растворимости водорода в решетке титана образуются хрупкие гидридные фазы. Увеличение объемного содержания гидридов приводит к разрушению материала вследствие водородного охрупчивания. Для защиты титановых сплавов от водородного охрупчивания необходимо оценить влияние концентрации водорода на структурные и фазовые изменения в процессе наводороживания.

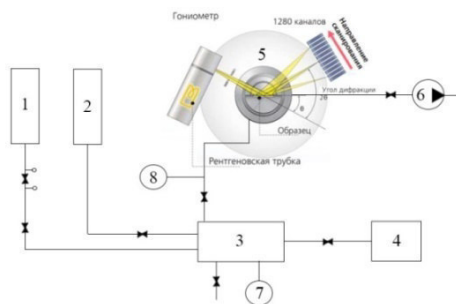


Рис.1 Принципиальная схема дифракционного комплекса: 1 – баллон инертного газа (аргон, гелий); 2 – генератор водорода; 3 – газовый смеситель; 4 – камера временного хранения газа; 5 – высокотемпературная камера; 6 – вакуумный пост; 7, 8 – датчики давления

**Приборы и методы исследования.** Для исследования были приготовлены плоские образцы титанового сплава марки Ti-6Al-4V, размер которых составлял  $10 \times 10 \times 1$  мм<sup>3</sup>. Образцы подвергались механической шлифовке для удаления поверхностных загрязнений. Затем образец помещался в дифракционный комплекс для контроля фазовых и структурных изменений в материалах при наводороживании из газовой фазы.

Дифракционный комплекс для исследования фазовых и структурных изменений в поликристаллических материалах в условиях повышенной температуры и газовой среде был разработан на базе лабораторного рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD 7000 [2]. Схема разработанного комплекса представлена на рисунке 1.

Высокотемпературные измерения обеспечиваются за счет использования высокотемпературной камеры НТК 2000N. Металлическая пластина из вольфрама или платины используется в качестве нагревателя. Пластина нагревается резистивным методом [3].

Проведение высокоскоростных измерений осуществлялось за счет использования матричного 1280 канального детектора OneSight, установленного на дифракционный комплекс.

**Результаты и их обсуждение.** Исследование фазовых изменений проводилось в два этапа. На первом этапе образцы подвергались нагреву от 25 до 500 °С в высокотемпературной камере НТК-2000N. На втором этапе осуществлялось наводороживание титанового сплава при температуре 500°С и давлении водорода 1 атмосфера.

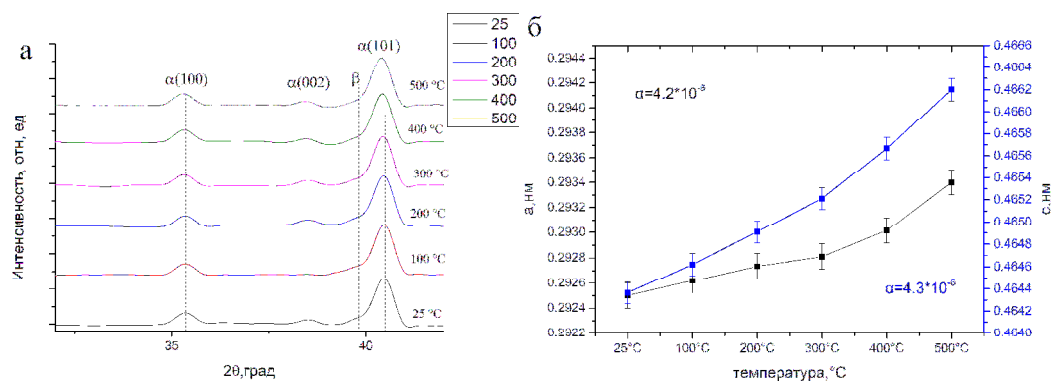


Рис. 2. Дифрактограммы титанового сплава Ti-6Al-4V при линейном нагреве от 25 до 500 °С (а) и изменения параметров решетки в процессе нагрева (б)

На первом этапе проводился линейный нагрев сплава Ti-6Al-4V от комнатной температуры до 500 °С со скоростью 5°/мин (рис. 2а). Предварительно реакционная камера откачивалась до давления  $2 \cdot 10^{-2}$  Па [3].

Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что исходный образец титанового сплава Ti-6Al-4V при 25 °С состоит из  $\alpha$  и  $\beta$  фаз титана с гексагональной плотноупакованной решеткой ( $a = 0,2925$  нм,  $c = 0,4643$  нм) и объемноцентрированной кубической решеткой, соответственно. На рис. 2б показано изменение параметров  $a$  (черная кривая, левая ось ординат) и  $c$  (синяя кривая, правая ось ординат) при увеличении температуры нагрева. В интервале температур (25-500) °С коэффициент термического расширения образца рассчитывается по линейному наклону кривой. Полученные из эксперимента значения попадают в интервал допустимых значений КТР, что свидетельствует о корректности работы прибора.

На втором этапе осуществлялось наводороживание титанового сплава Ti-6Al-4V, результаты которого представлены на рисунке 3.

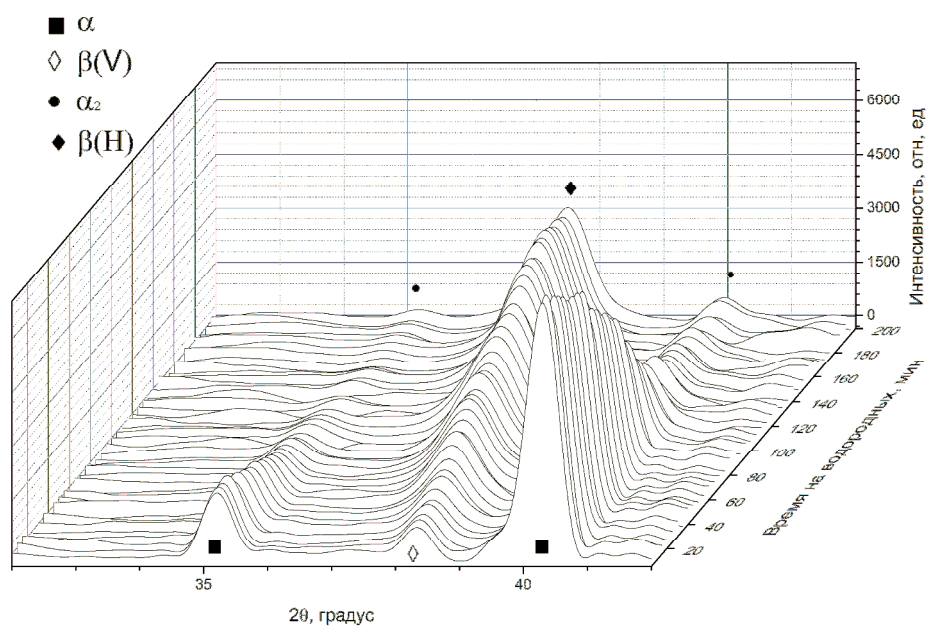


Рис.3 Фрагменты дифрактограмм титанового сплава Ti-6Al-4V в процессе газофазного наводороживания при температуре 500 °С

В первые 20 минут наводороживания положения рефлексов  $\alpha$  фазы титана существенно не изменяются, в то время как рефлексы принадлежащие  $\beta(V)$  фазе титана сдвигаются в сторону меньших углов. После 20 минут газофазного наводороживания наряду с активным ростом содержания  $\beta$  фазы в сплаве наблюдается фазовый переход  $\alpha$  фазы в фазу  $\alpha_2$ , которая представляет интерметаллид  $Ti_3Al$ . После 120 минут  $\alpha$  фаза полностью трансформируется в  $\alpha_2$  фазу. После 160 минут  $\beta(V)$  фаза практически полностью переходит в фазу  $\beta(H)$ , которая представляет собой  $\beta$  фазу стабилизированную водородом.

**Закключение.** Линейный нагрев титанового сплава Ti-6Al-4V в диапазоне температур 25-500°C приводит к термическому расширению решетки титана. Значение КТР в указанном диапазоне температур соответствуют табличным данным. Результаты *in situ* дифракционных измерений показывают формирование  $\beta$  фазы и  $\alpha_2$  фазыв в процессе гидрирования титанового сплава Ti-6Al-4V при температуре наводороживания 500 °С и давлении водорода в камере 1 атмосфера. Растворенный водород в основном аккумулируется в  $\beta$  фазе титана. Увеличение концентрации водорода сопровождается ростом объемной доли  $\beta$  фазы и фазовым переходом  $\alpha \rightarrow \alpha_2$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеев В.Н. Титан в России.//Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – Т.5., №8 - С. 18.
2. Илларионов А. Г., Попов А. А..Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов.-М.:Екатеринбург Издательство Уральского университета,2014. – 137 с
3. Сыртанов.М.С. Рентгенодифракционный комплекс для контроля структурно –фазовых изменений в материалах при динамических процессах в газовых средах: 212.269.09. канд. тех. наук. – Томск,2018, - 116с.