

# ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОТЖИГОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛОРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ И ФОРМИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НА ИХ ОСНОВЕ В ТИТАНЕ МАРКИ ВТ1-0

*Нечаенко Д.А., Манохин С.С., Иванов М.Б.*

*Руководитель – с.н.с., к.ф.-м.н. Иванов М.Б.*

Белгородский государственный университет, Белгород

nechaenko@bsu.edu.ru

Титан и его сплавы являются наиболее широко распространенными материалами медицинского назначения [1, 2]. Высокопрочный наноструктурный нелегированный титан, стабилизированный дисперсными фазами, позволяет использовать его в качестве материала медицинских имплантатов вместо легированных сплавов, содержащих вредные для живого организма легирующие элементы.

Было обнаружено [3], что субмикроструктурный (СМК) и наноструктурный (НС) технически чистый титан обладает достаточно высокой термостабильностью, превышающей таковую для металлов с близкой температурой плавления, например, никеля. Высокая термостабильность позволяет провести отжиг для снятия напряжений первого рода (макронапряжений) в прутках и профилях из титана, предназначенных для изготовления имплантатов, обеспечивает стабильность структуры металла имплантатов к климатическим воздействиям, гарантирует высокий уровень свойств изделий на протяжении длительного функционирования в живом организме.

Предполагается, что именно наличие малорастворимых примесей, более конкретно – углерода, является причиной выше обозначенных положительных свойств СМК и НС титана.

Таким образом, целью данной работы явилось исследование влияния режима закалки и последующего низкотемпературного отжига титанового сплава ВТ1-0 на распределение малорастворимых примесей по объему материала и формирование дисперсных частиц на их основе.

В качестве материала для исследований использовался титан марки ВТ1-0 удовлетворяющий требованиям ОСТ1 90013-81, ОСТ1 90173-75.

Таблица 1. Химический состав титана ВТ1-0, % мас. (Ti – основа)

Требование	Al	C	N <sub>2</sub>	Fe	Si	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
ОСТ1 90013-81	≤0,70	≤0,07	≤0,04	≤0,25	≤0,10	≤0,006	≤0,20
Факт.	0,010	0,004	0,003	0,12	0,002	0,0008	0,143

Материал подвергали часовым низкотемпературным отжигам в диапазоне температур 300...550 °С после различных режимов закалки в воду: закалка с температур 870, 900 °С и закалка с температуры 870 °С после ступенчатого отжига 920 → 870 °С (выдержка 10 минут при температуре 920 °С и последующее охлаждение до температуры 870 °С в течение 30 мин.).

В результате термообработки при закалке с температуры 900 °С ( $\alpha+\beta$ )-область с примерно равными долями  $\alpha$  и  $\beta$  фазы) на всем сечении образца наблюдается структура со средним размером зерна порядка 10 мкм представленная как глобулярными зернами первичной  $\alpha$ -фазы, так и зернами с  $\beta$ -превращенной структурой, имеющими пластинчатую морфологию (рис. 1,а). При исследовании методом ПЭМ состояния после отжига при температуре 900 °С с последующей закалкой в воду, в зернах первичной  $\alpha$ -фазы наблюдаются ориентированные в одном направлении частицы пластинчатой формы (рис. 2,а). Данные спектроскопии характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ) свидетельствуют о том, что частицы являются карбидами титана. На это указывают интенсивные пики поглощения на К-линии углерода. Другие элементы, кроме углерода и титана в состав частиц не входят.

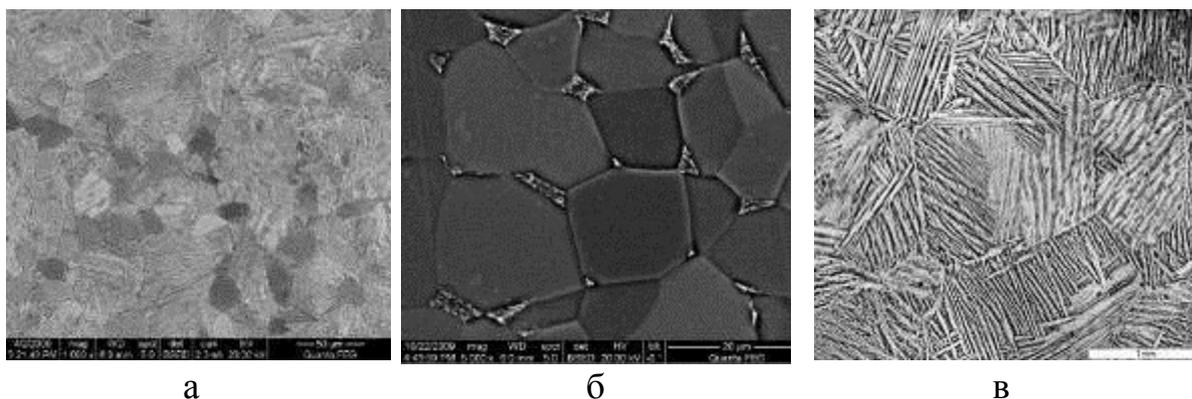


Рисунок 1. Микроструктуры титанового сплава ВТ1-0 после :  
а) закалки с температуры 900 °С; б) закалки с температуры 870 °С;  
в) ступенчатого отжига 920 → 870 и закалки с температуры 870 °С

После закалки с температуры 870 °С в материале сформировалась структура представленная в основном зернами  $\alpha$ -фазы со средним размером порядка 18 мкм. (рис. 1,б). Методами РЭМ выявлено наличие пластинчатой  $\beta$ -превращенной структуры в тройных стыках. С помощью энерго-дисперсионного микроанализа установлено, что в тройных стыках концентрация железа составляет порядка 2,7 % (по массе), в то время как в зернах  $\alpha$ -фазы концентрация железа  $\ll 0,1$  %.

Исследование микроструктуры титанового сплава ВТ1-0 после ступенчатого отжига 920 → 870 °С и закалки с температуры 870 °С

показало, что в материале сформировалась пластинчатая крупнозернистая структура (рис. 1,в) В данном состоянии также обнаружена повышенная концентрация железа порядка 1,8 % (по массе) между пластинами  $\alpha$ -фазы. Электронно-микроскопические исследования показали, что в данном состоянии материала объем пластин  $\alpha$ -фазы свободен от выделений карбидов. Таким образом, обнаруженные в  $\alpha$ -фазе после термообработки при 900 °С карбиды титана активно растворяются в ОЦК решетке  $\beta$ -титана при 920 °С. Обратное охлаждение до температуры ниже полиморфной не приводит к их выделению, формируется пересыщенный твердый раствор углерода в ГПУ решетке титана.

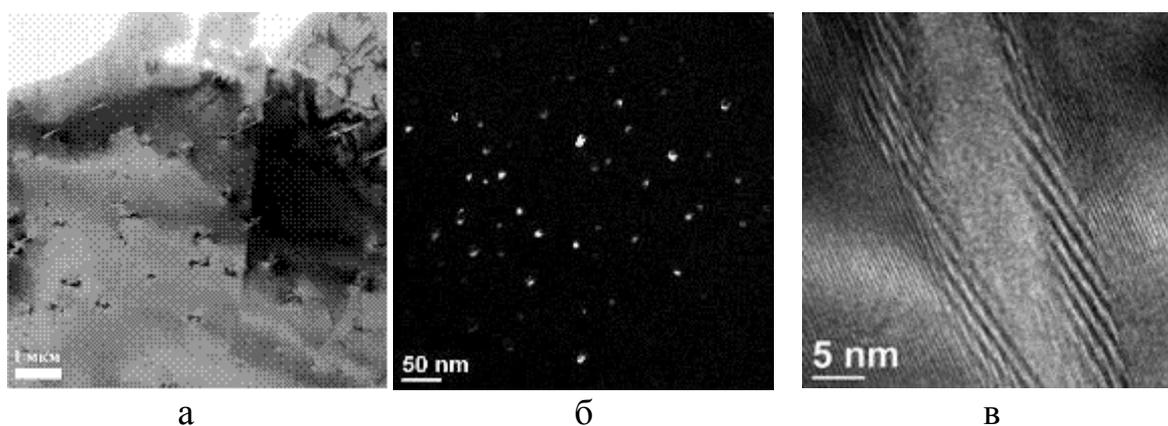


Рисунок 2. а) светлопольное изображение микроструктуры титана ВТ1-0 после закалки в воду с температуры 900 °. Зерно первичной  $\alpha$ -фазы; б) темнопольное изображение частиц карбида титана после старения при температуре 300 °С в течение 3 часов пересыщенного твердого раствора углерода в ГПУ титане; в) частица карбида титана после старения при температуре 550 °С в течение 3 часов пересыщенного твердого раствора углерода в ГПУ титане.  
Ось зоны ГПУ матрицы [2-1-10]

После отжига пересыщенного твердого раствора углерода в ГПУ титане при 300 °С в течение 3 часов выделяется большое число частиц (рис. 2,б), средний размер которых составляет порядка 25 нм. Повышение температуры отжига до 550 °С приводит к увеличению среднего размера частиц до 45 нм (рис. 2,в). Данные СХПЭЭ свидетельствуют о том, что частицы представляют собой карбиды титана.

Таким образом, установлено, что в результате диффузионного распада пересыщенного твердого раствора углерода в ГПУ матрице титана выделяются дисперсные частицы с ГЦК решеткой, которые являются карбидом титана нестехиометрического состава ( $\delta$ -фаза).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках государственных контрактов № 02.740.11.0137, П329 с использованием оборудования ЦКП БелГУ.

Список используемых источников:

1. Ильин А.А. Применение материалов на основе титана и его сплавов для изготовления медицинских имплантатов./А.А. Ильин, С.В. Скворцова, А.М. Мамонов и др. Металлы, 2002, №3, С. 97-104.
2. Колобов Ю.Р. Структура, механические и электрохимические свойства ультрамелкозернистого титана. Ю.Р. Колобов, О.А. Кашин, Е.Е. Сагымбаев и др.// Изв. вузов. Физика. –2000.– № 1.– С. 77-85.
3. Колобов Ю.Р. Технологии формирования структуры и свойств титановых сплавов для медицинских имплантатов с биоактивными покрытиями // Российские нанотехнологии - 2009. - №11-12 – С.19-31.