

УДК 539.25:539.26:539.382.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО
СПЛАВЛЕНИЯ**

М.А. Кругляков

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: Kruglyakov97@tpu.ru

**STUDY OF STRUCTURAL-PHASE STATE AND MECHANICAL PROPERTIES OF TITANIUM
Ti-6Al-4V ALLOY, OBTAINED BY ELECTRON-BEAM MELTING**

M.A. Kruglyakov

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

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

Email: Kruglyakov97@tpu.ru

***Abstract.** Titanium Ti-6Al-4V alloy is analyzed. The alloy has increased strength characteristics due to the prevailing volume fraction of the α -phase. Values of yield strength and ultimate strength of the EBM sample are 1.8 and 1.14 times higher than that of the sample obtained by the traditional method. The value of deformation to failure of the EBM sample is 2.4 times lower than that of the sample obtained by the traditional method.*

Введение. Титановые сплавы – металлические соединения, содержащие кроме титана другие металлы и прочие химические элементы. Преимуществами сплавов на основе титана являются: повышенная коррозионная стойкость, удельная прочность, а также высокая жаропрочность при эксплуатации деталей. Следует отметить, что титану и его сплавам характерен ряд не менее полезных свойств: долговечность, гибкость и пластичность. Необходимость производства сплавов на основе титана привела к стремительному развитию промышленности по изготовлению данных материалов. Кроме того, начали появляться новые методы производства сложных конструкционных материалов, позволяющие снизить стоимость получения необходимых соединений. Аддитивное производство – один из таких методов, включающий в себя несколько методик, одной из которых является электронно-лучевое сплавление (ЭЛС). Широкая область применения метода обусловлена возможностью создания изделий с градиентными свойствами. ЭЛС предоставляет возможность изготовления деталей с высокой точностью, сложными внутренней структурой и внешней формой с возможностью внесения коррективов в процессе печати [1]. Целью данной работы являлось исследование структурно-фазового состояния и механических свойств сплава Ti-6Al-4V, полученного методом ЭЛС.

Материал и методы исследования. В качестве исходного материала был использован сплав Ti-6Al-4V, предварительно полученный методом ЭЛС. Подготовка образца к исследованиям производилась путем шлифования при использовании наждачной бумаги с различным размером зерна. Микроструктуру сплава анализировали с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515. Рентгеноструктурный анализ (РСА) был произведен с помощью дифрактометра Shimadzu XRD 7000.

Испытания на растяжение производилось на растяжной машине ПВ-2013М.

Результаты и их обсуждение. По результатам сканирующей электронной микроскопии структура образцов, изготовленных методом ЭЛС, характеризуется наличием относительно крупных исходных β -зерен (размер которых варьируется от 40 до 100 мкм), внутренний объем которых представлен α -пластинами с толщиной 0,5 мкм, объединенными в колонии.

Согласно данным рентгеноструктурного анализа, в исходном состоянии сплав Ti-6Al-4V является двухфазным и содержит α и β фазы титана. На рис. 1 представлен фрагмент дифрактограммы исходного образца сплава Ti-6Al-4V.

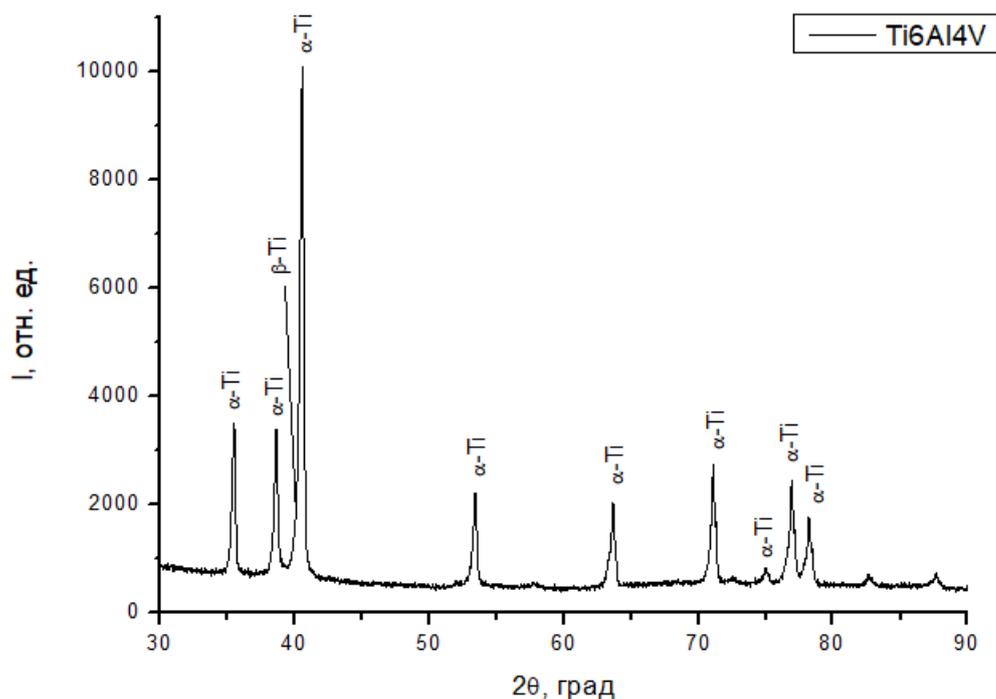


Рис. 1. Участок дифрактограммы исходного образца из сплава Ti-6Al-4V

Рассчитанные значения параметров решетки и объемных долей фаз сплава Ti-6Al-4V представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения параметров решетки и фазовый состав сплава Ti-6Al-4V

Значения параметров решетки исходного сплава Ti-6Al-4V			Фазовый состав, об. %
a_{α}	c_{α}	a_{β}	91,22 об.% α + 8,78 об. % β
2,9231	4,6627	3,1938	

Полученные значения отличаются от табличных для α титана ($a = 2,9250$, $C = 4,8660$) и β титана ($a = 3,2830$) в связи с наличием легирующих элементов в сплаве. Соотношение объемных долей в фазовом составе материала говорит о повышенных прочностных характеристиках при более низких показателях пластичности за счет преобладающей в сплаве α -фазы.

Испытания на одноосное растяжение показали, что предел текучести, предел прочности и величина деформации до разрушения образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных методом ЭЛС, составляют 1075 МПа, 1132 МПа и 5%, соответственно. Используя в качестве сравнения данные работы [2], в которой были исследованы механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного традиционными

методами, был проведен анализ механических свойств образцов титанового сплава, полученных разными методами. В работе [2] образец имел предел текучести, сопоставимый с 600 МПа, и предел прочности, равный 905 МПа. Величина деформации до разрушения составляла 12%. Кривые растяжения исследуемого образца и образца, полученного без использования аддитивных технологий, представлены на рис. 2.

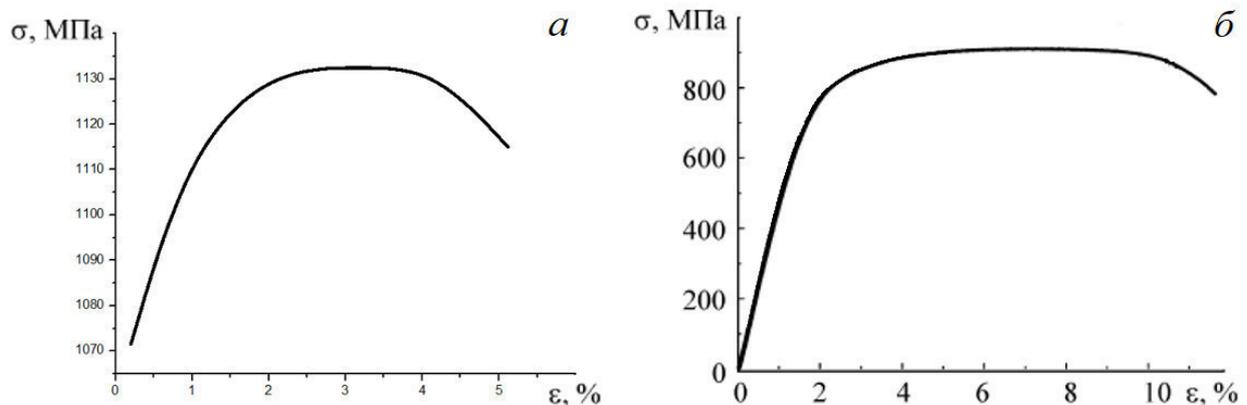


Рис.2 Кривые деформации-разрушение сплава Ti-6Al-4V: образец, полученный методом ЭЛС (а), образец, полученный без использования аддитивных технологий (б) [2]

На основе сравнительного анализа можно сделать вывод о том, что пределы упругости и прочности имеют большие значения для образца, полученного методом ЭЛС, приблизительно 1,8 и 1,14, соответственно, при меньшей величине деформации до разрушения приблизительно в 2,4 раза по сравнению с образцом, полученным без использования аддитивных технологий.

Выводы. В ходе работы было изучено структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного методом ЭЛС. Были рассчитаны значения параметров решетки и объемные доли фаз сплава. За счет преобладающей в сплаве α -фазы сплав имеет повышенные прочностные характеристики. В результате сравнительного анализа было определено, что пределы упругости и прочности имеют большие значения для образца, полученного методом ЭЛС, приблизительно 1,8 и 1,14, соответственно, при меньшей величине деформации до разрушения приблизительно в 2,4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Szymczyk-Ziolkowska P., Hoppe V., Rusinska M., Gasiorek J., Ziolkowski G., Dydak K., Czajkowska J., Junka A. The Impact of EBM-Manufactured Ti6Al4V ELI Alloy Surface Modifications on Cytotoxicity toward Eukaryotic Cells and Microbial Biofilm Formation // Materials Science and Engineering A. – 2020. – Vol. 13. – P. 2822. doi:10.3390/ma13122822.
2. Панин А.В., Казаченок М.С., Первалова О.Б., Сняжкова Е.А., Крюковский К.В., Мартынов С.А. Многоуровневые механизмы деформационного поведения технического титана и сплава Ti-6Al-4V, подвергнутых обработке высокочастотными электронными пучками // Физическая мезомеханика. – 2018. – Т.21., № 4. – С. 45-46.