

УДК 669 72

**А. Н. Гостевская\*, И. А. Комиссарова, В. Е. Громов**

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

\*lokon1296@mai.ru

Научный руководитель — проф., д-р физ.-мат. наук В. Е. Громов

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ИТТРИЕМ И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ТИТАНА

Целью настоящей статьи являлось выявление особенностей формирования структуры и фазового состава технически чистого титана при ЭВЛ иттрием и последующей ЭПО. Методами современного материаловедения проводились исследования структуры, фазового состава, механических свойств титана VT1–0 после комбинированной обработки.

*Ключевые слова:* электровзрывное легирование, электронно-пучковая обработка, фазовый состав, микротвердость, структура

**A. N. Gostevskaya, I. A. Komissarova, V. E. Gromov**

## INFLUENCE OF ELECTRIC EXPLOSIVE DOPING WITH YTTRIUM AND ELECTRON BEAM TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF TITANIUM

The purpose of this article was to identify the features of the formation of the structure and phase composition of technically pure titanium in EVL with yttrium and subsequent EPO. Methods of modern materials science conducted studies of the structure, phase composition, mechanical properties of titanium VT1–0 after combined treatment.

*Keywords:* electroexplosive doping, electron-beam processing, phase composition, microhardness, structure

Совершенствование авиационной техники выдвигает к титану и его сплаву новые требования. В работе [1] автор показывает, что весьма перспективными упрочняющими материалами для тита-

на могут быть редкоземельные металлы и их аналоги, например, иттрий. В настоящее время широко используется такой метод, как электровзрывное легирование, благодаря которому происходит изменение структуры и фазового состава материалов. Дальнейшая электронно-пучковая обработка совершенствует свойства легирования. Проведены исследования в сфере комбинированной обработки поверхностных слоев материалов, которая сочетает в себе электровзрывное легирование и электронно-пучковую обработку. Благодаря такому виду обработки на поверхности образуется нанокompозитная структура и происходит изменение фазового состава материала.

В этой работе в качестве исследуемого материала использовался технически чистый титан марки ВТ1–0. В качестве взрываемого материала была использована фольга титана ВТ1–0 массой 100 мг. На фольгу помещался порошок иттрия массой 400 мг.

При проведении анализа структурно-фазового состояния было выявлено, что оптимальным режимом обработки поверхностного модифицированного слоя Ti–Y является интенсивный импульсный электронный пучок с параметрами 50 Дж/см<sup>2</sup>; 150 мкс; 3 имп.; 0,3 с<sup>-1</sup> (табл.).

*Таблица*

Фазовый состав поверхностного слоя титана, подвергнутого ЭВЛ с последующей ЭПО

№ п/п	$E_s$ , Дж/см <sup>2</sup>	Объемная доля, %			
		$\alpha$ -Ti	$\alpha$ -Y	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiC, TiO <sub>2</sub>
1	ЭВЛ	75	17	0	8
2	20	15	68	10	7
3	50	10	73	3	14
4	70	100	0,0	0	0

Анализируя данные, полученные при проведении рентгеноструктурного исследования, было установлено, что в поверхностном слое титана, подвергнутом электровзрывному легированию иттрием, основной фазой является  $\alpha$ -Ti. Вследствие легирования образуются дополнительные фазы: диоксид и карбид титана (TiO<sub>2</sub>, TiC) — присутствие оксидов иттрия выявлено не было.

В дальнейшем после электронно-пучковой обработки образцов при плотности энергии 20 и 50 Дж/см<sup>2</sup> основной фазой становится  $\alpha$ -Y, объемная доля которой варьируется в пределах 68–73%. При даль-

нейшем увеличении плотности энергии электронного пучка объемная доля фазы  $\alpha$ -иттрия резко уменьшается, и при достижении плотности энергии электронного пучка  $70 \text{ Дж/см}^2$  фаза  $\alpha$ -иттрия обнаружено не было. Из последнего можно заключить, что происходит испарение модифицированного слоя.

С помощью методов просвечивающей электронной микроскопии проведен анализ структуры материала на разных расстояниях от поверхности. Изображение структуры поверхностного слоя на различных расстояниях от поверхности модифицирования представлено на рис. Следует отметить, что благодаря комбинированной обработке титана на поверхности формируется многослойная структура. Поверхностный слой имеет толщину  $500 \text{ нм}$  и является аморфным, о чем говорит микроэлектрограмма, полученная с данного слоя и представленная в виде двух колец (рис., *в*). Следующий слой имеет столбчатое строение с толщиной от  $1$  до  $1,5 \text{ мкм}$  (рис., *а*). Еще ниже находится протяжный слой глобулярной кристаллизации (рис., *з*, *д*). Стрелка на рис. *а*, *б* показывает поверхность, подвергнутую обработке.

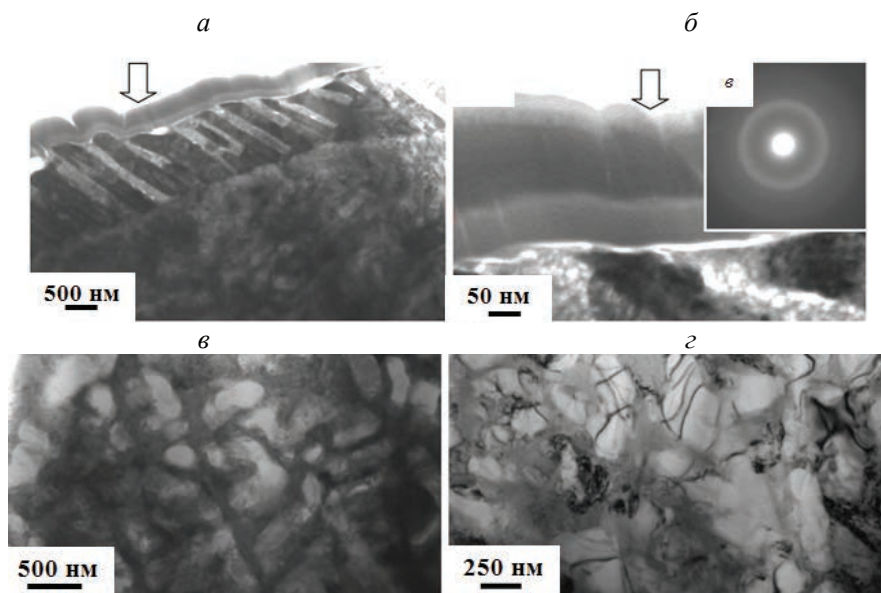


Рис. Структура поверхностного слоя титана, подвергнутого комбинированной обработке, сочетающей ЭВЛ и ЭПО:

- ав* — структура собственно поверхности модифицирования;  
*в* — структура слоя, расположенного на расстоянии  $3 \text{ мкм}$  от поверхности;  
*з* — на расстоянии  $\approx 25 \text{ мкм}$  от поверхности

### **Выводы**

1. ЭВЛ иттрием поверхностного слоя технически чистого титана марки ВТ1–0 приводит к образованию упрочняющей зоны, глубина которой достигает 50 мкм. В поверхностном слое выявлено насыщение частицами иттрия.

2. При помощи ЭПО образуется многослойная структура, содержащая множество фаз. Фазы расслаиваются при быстрой кристаллизации. Пластинки иттрия имеют размер 300–500 нм, а размер титановых пластинок изменяется в пределах 200–400 нм.

### **Литература**

1. Савицкий Е. М. Редкоземельные металлы и перспективы их использования в промышленности // Вестник АН СССР, 1970. 88 с.