

УДК 669

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ СИСТЕМЫ

Ti-Al, ПОЛУЧЕННОГО ЕВМ

Лю Юаньсюнь, Ху Чжэньфэн

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Ж.Г. Ковалевская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: liuyuanx110@163.com

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF INTERMETALLIDES OF THE Ti-Al SYSTEM OBTAINED BY EBM

Yuanxun Liu, Zhenfeng Hu

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Zh.G. Kovalevskaya

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

E-mail: liuyuanx110@163.com

Abstract. *In this paper the structure of samples obtained by the EBM method when aluminum wire was built up on a titanium substrate in order to obtain an intermetallic compound is studied. It is shown that TiAl and Al₃Ti intermetallics with high nanohardness values were formed in the samples.*

Введение. Интерметаллические соединения титан-алюминий являются одними из наиболее перспективных металлов в области высокотемпературных стойких сплавов благодаря их низкой плотности, высокой жаропрочности и прочности по сравнению с основным материалом [1].

Использование технологии электронно-лучевого плавления (ЕВМ) позволяет производить аэрокосмические материалы с превосходными свойствами. Технология ЕВМ является одной из самых популярных коммерческих технологий в области аддитивного производства. Благодаря вакуумной среде, используемой в процессе производства, можно производить детали лучшего качества, в то время как структура и характеристики детали зависят от многих факторов, таких как уровень тока, положение точки подачи проволоки, скорость сканирования и др. [2].

В этой статье исследовано строение образцов, полученных методом ЕВМ при наращивании алюминиевой проволоки на подложку из титана, с целью получения интерметаллидного соединения.

Экспериментальная часть. В работе использовалась установка электронно-лучевого плавления, разработанная Томским политехническим университетом (Томск, Россия), со следующими характеристиками: ускоряющее напряжение 40 КВ, вакуумное давление $5 \cdot 10^{-3}$ Па, максимальный ток 200 мА, минимальный диаметр луча 150 мкм, площадь сборки 150*150 мм и мощность 6 кВт [3]. Экспериментальные образцы были изготовлены из алюминиевой проволоки диаметром 2 мм, марки СвА97 (99,97% Al). Роль подложки выполнял технически чистый титан марки ВТ1 (99,7% Ti).

Серия образцов была напечатана при силе тока 6,5 мА, 8 мА и 9,5 мА и точке подачи проволоки 1,5 мм, а также при точках подачи проволоки 1,5 мм, 2,0 мм и 3,5 мм и силе тока 8 мА.

Металлографический анализ поперечных шлифов образцов проводился на оптическом микроскопе Zeiss Axiovert 200 M. Нанотвердость и модуль упругости измерялись на приборе NANO Hardness Tester NHT-S-AX-000X С нагрузкой 250 Н.

Рентгеновские съемки осуществлялись на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7 (Буревестник, Россия) в $\text{CoK}\alpha$ -излучении. Съемка осуществлялась в симметричной геометрии по схеме Брегга-Брентано.

Результаты эксперимента. На основе металлографического анализа полученных образцов было определено, что проволока может получить достаточную энергию, когда значение тока находится в диапазоне 6.5-9.5 мА, но по мере увеличения тока большее количество передаваемой энергии способствует формированию большей по объему ванны расплава. Это приводит к большему взаимодействию жидкого алюминия с титановой подложкой, образуя больше интерметаллида. Исходя из этого, был выбран режим получения образцов для дальнейшего исследования – ток электронного пучка 9,5 мА, расстояние между точками подачи проволоки – 3,5 мм.

Как видно на рисунке 1, полученный образец имеет четкие границы между алюминием сверху и титаном снизу, между которыми металлический материал образует интерметаллическое соединение.



Рис. 1. Оптическое изображение образца, полученного при токе 9.5 мА и расстоянием между точками подачи проволоки – 3,5 мм

На рисунке 2 показана дифрактограмма интерметаллидного слоя образца. Как можно видеть, фазовый состав соответствует фазам Al_3Ti , TiAl и TiAl_2O_5 . Кристаллические решетки фаз Al_3Ti и TiAl относятся к тетрагональной сингонии, в то время как решетка TiAl_2O_5 относится к ромбической сингонии. Объемная доля фазы Al_3Ti составила 20%, TiAl – 74% и TiAl_2O_5 – 6%. Результаты измерения микротвердости в рисунке 3.

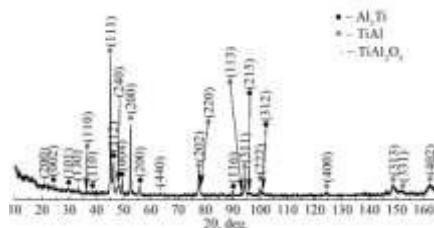


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма с выполненной идентификацией фаз образца Ti-Al

На основании экспериментальных данных видно, что детали, изготовленные по технологии ЕВМ, обладают замечательными физическими свойствами, с модулем упругости 87023,71 МПа и твердостью 901,06 МПа для чистого алюминия и 134626,3 МПа и твердостью 2154,0 МПа для титана, по сравнению с интерметаллическим соединением титан-алюминий, которое имеет модуль упругости 87023,71 МПа и твердость 901,06 МПа. значения значительно выше - 286055,0 МПа и 8179,0 МПа соответственно. Таким образом, что в процессе производства образуются новые фазы, совершенно отличные от титана и алюминия, и этот результат согласуется с результатами экспериментов по рентгеновской дифракции, т.е. новыми образующимися фазами являются TiAl и Al_3Ti .

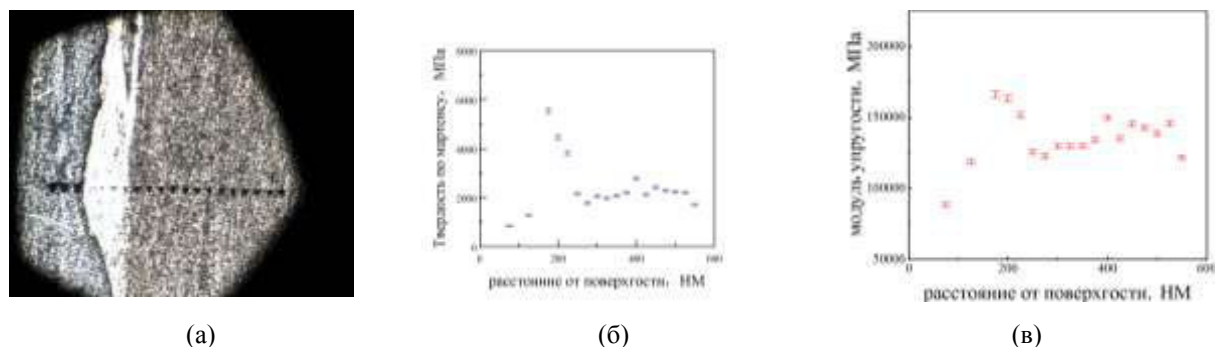


Рис. 3. Оптическое изображение исследуемого образца с отпечатками нанотвердомера (а), график изменения значений модуля упругости (б) и значений нанотвердости (в)

Заклучение. В данном исследовании были получены титан-алюминиевые интерметаллические соединения на основе технологии электронно-лучевой плавки при разных силах тока.

Проведен рентгенофазовый анализ образцов, показано, что в образцах образовались интерметаллиды $TiAl$ и Al_3Ti , имеющие высокие значения нанотвердости. А появление $TiAl_2O_5$ в результатах может быть связано с проблемой вакуумной среды или с образованием оксидов в контакте с воздухом, когда проводилось шлифование поверхности.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержано проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Murr L.E. et al. Microstructures and mechanical properties of electron beam-rapid manufactured Ti-6Al-4V biomedical prototypes compared to wrought Ti-6Al-4V // *Materials characterization*. – 2009. – V. 60. – №. 2. – P. 96-105.
2. Li N. et al. Progress in additive manufacturing on new materials: A review // *Journal of Materials Science & Technology*. – 2019. – V. 35. – №. 2. – P. 242-269.
3. Pushilina N.S. et al. Beam Current Effect on Microstructure and Properties of Electron-Beam-Melted Ti-6Al-4V Alloy // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2019. – V. 28. – №. 10. – P. 6165-6173.