

## ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОРОШКОВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

©2016 А.В. Михайлютенко<sup>1</sup>, Ю.Ф. Басов<sup>1</sup>, А.В. Овчинников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Акционерное общество «МОТОР СИЧ», Запорожье, Украина

<sup>2</sup> Запорожский национальный технический университет, Украина

### APPLIANCE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING GT ENGINE PARTS USING NEXT-GENERATION TITANIUM ALLOY POWDERS

Mykhaylyutenko A.V., Basov Y.F. (Joint-stock company "MOTOR SICH", Zaporozhye, Ukraine)

Ovchinnikov A.V. (State technical university of Zaporozhye, Zaporozhye, Ukraine)

*Additive technology is a perspective way of development an industry like high-precision machine building or aviation propulsion engineering. However, high cost of 3D printing process and lack of alternative (imported powder) feed stock are preventing these technologies from wide distribution. In this paper has been shown a possibility to use cheaper powders of titanium based materials with non-globular particles obtained by hydrogenation-dehydrogenation technology and with globular particles obtained by plasmatic sputtering technique intended for manufacturing of three-dimensional products by various methods of additive technologies.*

Одним из наиболее активно развивающихся направлений изготовления изделий из титановых сплавов являются аддитивные технологии (от английского *Additive Fabrication* или *Additive Manufacturing* - AM) [1].

Изделия изготавливают путём формирования слоя материала, отверждения или фиксации этого слоя в соответствии с конфигурацией сечения САD-модели и соединения каждого последующего слоя с предыдущим [2].

Технологии AM объединяют в себе не только преимущества порошковой металлургии, такие как высокий (более 0,9) коэффициент использования материала, но и преимущества литейного производства, такие как получение деталей сложной формы и различной конфигурации с плотной литой структурой. К недостаткам следует отнести факторы, сдерживающие масштабное промышленное применение AM технологий. Это высокая стоимость и ограниченные объёмы производства расходных материалов (качественных порошков титановых сплавов). Порошки титана представляют собой частицы сплава титана сферической формы, что в ряде источников называются гранулами [3]. Гранулометрический состав и форма порошков обусловлены необходимостью компактно укладываться в определённый объём и требованиями по «текучести» порошковых композиций в системах подачи материала [4]. Размеры и сферическую фор-

му порошков титановых сплавов получают при помощи разнообразных технологий атомизации, которые основаны на процессах распыления металла из расплавленной титановой заготовки [5, 6].

В конечном итоге стоимость легированных порошков титана в результате существующих технологических переделов колеблется в диапазоне \$200...400 за килограмм (в некоторых случаях \$1000), что формирует изначально высокую стоимость деталей, полученных AM технологиями [7]. Для решения двух основных проблем – снижения стоимости и упрощения технологии производства легированных порошков титановых сплавов, при сохранении приведённых выше требований к ним, необходимо усовершенствовать существующие AM технологии, а также внедрять новые высокоэффективные технологии производства сплавов и порошков.

Для оценки технологической реализации новых конструктивных решений разработана 3D модель диффузора компрессора высокого давления ГТД, а затем изготовлены прототипы изделий из полимерных порошковых материалов. Основным преимуществом изделий, полученных по аддитивной технологии, является существенное (до 30%) снижение массы детали. Однако, анализ зарубежных и отечественных порошков титана и порошков на основе его сплавов показал, что их характеристики и стоимость существенно ограничивают возможности производ-

ства деталей ГТД из титановых сплавов. Для расширения номенклатуры деталей, производимых по аддитивным технологиям, необходимо разрабатывать порошковые материалы более широкого спектра химических и фракционных составов по технологиям, обеспечивающим существенное снижение их стоимости.

Достижение поставленной цели в работе осуществляли путём получения легированных порошков титана с заданным химическим составом и размерами по промышленно воспроизводимой технологии. Дезинтеграцию легированного губчатого титана проводили на установке гидрирования в режиме насыщения водородом легированного титана губчатого и последующих процессов дробления, рассева и дегидрирования. [8, 9]

В результате получены HDH порошки легированного титана (Ti-Mo-Al-V-Zr). Частицы порошка имеют не сферическую, а угловатую форму, в связи с чем обладают невысокой текучестью [10], они могут обеспечить меньшую пористость порошковых изделий, а также, могут быть скомпактированы в холодном состоянии [11].

В настоящее время есть решения по применению несферических порошков титановых сплавов при изготовлении деталей на 3D принтерах [12,13], а также возможности сфероидизации дегидрированных порошков [14].

Таким образом, предлагаемая технологическая схема получения легированных порошков титана позволяет исключить дорогостоящие и сложные операции производства прутковых заготовок из титановых сплавов, их атомизацию в специальных сложных устройствах, а также обеспечить возможность производства порошков на базе существующего промышленного оборудования.

Полученные порошковые материалы использовали при получении образцов методами послойного наращивания с применением электронного луча. Анализ структуры материала полученных образцов показал, что независимо от морфологии используемых порошковых материалов структура является мелкозернистой и полностью соответствует структуре литых образцов. Также установлено, что полученные образцы по своим свойствам не уступают литым соответствующего химического состава.

#### Библиографический список

1. Довбыш В.М., Забеднов П.В., Зленко М.А. Аддитивные технологии и изделия из металла. / Библиотечка литейщика. 2014. № 9.
2. Зленко М.А., Попович А.А., Мутьлина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. - Санкт-Петербург: Изд-во политехнического ун-та, 2013.
3. Терновой Ю.Ф., Пашетнева Н.Н., Воденников С.А. Полуфабрикаты и изделия из распыленных металлических порошков. - Запорож. гос. инженер. акад. — Запорожье: Изд-во Запорож. гос. инженер. акад., 2010.
4. ASTM B213 - Standard Test Methods for Flow Rate of Metal Powders Using the Hall Flowmeter Funnel.
5. Powder Metal Technologies and Applications Volume 7 of ASM Handbook. - ASM International, 1998.
6. Froes F H (Sam). Powder Metallurgy of Titanium Alloys (2013) // in Advances in Powder Metallurgy Eds. Isaac Chang and Yuyuan Zhao, Woodhead Publishing.
7. Metalsys – Titanium [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://www.metalysis.com/titanium>.
8. Хазнаферов М.В., Овчинников А.В., Янко Т.Б. Технология получения «low-cost» порошков легированного титана для аддитивных процессов. / Научно-технический журнал «Титан». 2015. №2.
9. Peter William. Forging of Powder Metallurgy Processed Ti-6Al-4V / Titanium 2012, October 7-10, Atlanta, Georgia, USA.
10. Порошковая металлургия титановых сплавов. Под ред. Ф.Х. Фроус и Дж. Е. Смугерски. Пер. с англ. Под ред. С.Г. Глазунова. – М.: Металлургия, 1985.
11. Водородная технология титановых сплавов / А.А. Ильин, Б.А. Колачев, В.К. Носов, А.М. Мамонов; под общей ред. А.А. Ильина. – М.: МИСИС, 2002.
12. Электронный ресурс: <http://www.3dsystems.com/sites>.
13. Электронный ресурс: <http://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/3d-systems-introduces-the-latest-installation-for-printing-on-metals/>.
14. F.H. (Sam) Froes. Titanium Powder Metallurgy: A Review – Part 1/ ADVANCED MATERIALS & PROCESSES, September 2012.