

О ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИММИТАЦИОННЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Внедрение в производство новых технологий, в основу которых положены принципы ресурсосбережения и повышения технологичности и экологичности, является, безусловно, актуальной задачей. Одним из наиболее благоприятных и перспективных решений в этом направлении являются технологии Additive Fabrication или Additive Manufacturing (AM-технологии), которые предполагают изготовление изделия по данным цифровой модели методом послойного добавления материала [1–5].

К основным преимуществам методов 3-D печати можно отнести следующие: возможность изготовления деталей сложной формы и различной конфигурации (при использовании только трёхмерной модели будущего изделия), возможность применения различных материалов для печати на одной установке и возможность оперативного изменения геометрии деталей без необходимости изготовления новой оснастки, а также обеспечение высокого коэффициента использования материала [2–4]. Все это позволяет применять аддитивные технологии как при массовом, так и при мелкосерийном производстве [3–5]. Следует также отметить, что особенности различных методов 3-D печати позволяют использовать их для восстановления и ремонта поврежденных изделий.

Поэтому, с целью определения перспективных режимов и технологий ремонта деталей ГТД методами аддитивных технологий были проведены опытно-промышленные работы, по созданию оснастки для моделирования процесса 3D печати (рис. 1) на существующем оборудовании АО «Мотор Сич». Для этого были изготовлены опытные образцы имитаторы поврежденных деталей ГТД (рис. 1) и произведен их ремонт методами послойного наращивания с использованием порошковых материалов различной морфологии. Наплавку порошка (с несферической формой частиц), соответствующего по химическому составу титану марки BT1-0 (фракцией $-0,63/+0,315$ мм), осуществляли двумя методами:

методом ЭЛС (электронно-лучевой сварки) на установке ЭЛУ-20 с предварительной насыпкой порошка (ориентировочные режимы наплавки: ток наплавки $I_n = 40 \dots 50$ мА; ток фокусировки $I_f = 605 \dots 610$ мА; скорость наплавки $v = 1,11$ мм/сек) и методом АДС (аргонодуговой сварки), при котором наплавку производили вручную, с послойной насыпкой и оплавлением порошка, в камере с контролируемой средой (аргон); режим наплавки был примерно одинаковым для всех вариантов порошковых смесей – сварочный ток до 30А, источник тока Fronius TT3000.

Далее, были проведены металлографические исследования полученных опытных образцов, результаты которых представлены на рисунке 2. Результаты определения микротвердости приведены в таблице 1.

Также для определения механических свойств и установления структуры материала слоя (а также всех сплавленных слоев) были изготовлены многослойные опытные образцы из порошка марки BT1-0 (со сферической формой частиц фракцией 200 мкм) методом микроплазменного напыления. При этом центральные части образцов рассматривали в двух вариантах – вдоль и поперек наплавки (соответственно обозначенные «продольные» и «поперечные»). С двух сторон к центральным частям были приварены захваты из пластин титана той же марки толщиной 2 мм. Размеры рабочей части образцов соответствовали требованиям ГОСТ 6996-66.



Рис. 1. Внешний вид опытных образцов, полученных с использованием порошка марки BT1-0 (фракция $-0,63/+0,315$ мм):

а – ЭЛС (однослойный); б – АДС (однослойный); в – АДС (двухслойный)

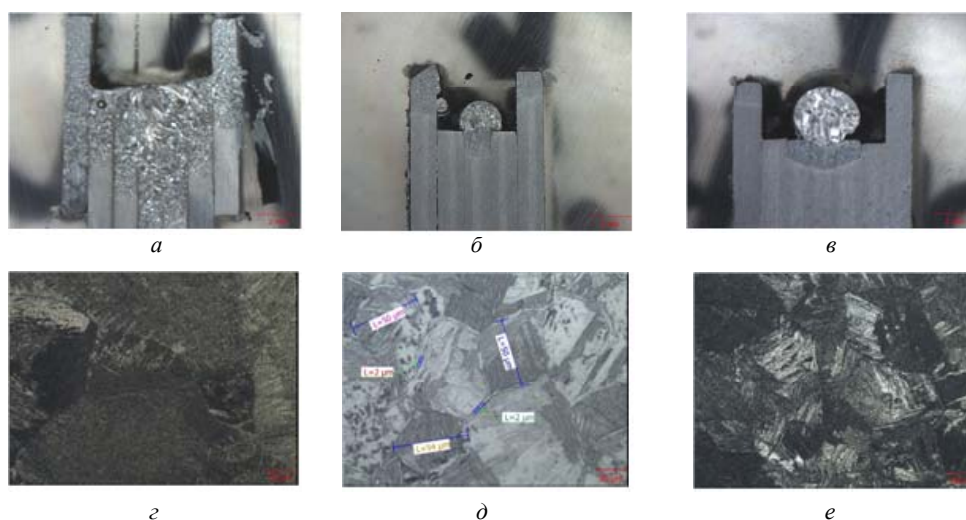


Рис. 2. Изображение макро- (а, б, в) и микроструктуры (z, d, e) образцов, полученных с использованием порошка марки ВТ1-0 (фракция -0,63/+0,315 мм):

a, z – ЭЛС (однослойный); б, d – АДС (однослойный); в, e – АДС (двухслойный)

Таблица 1 – Результаты исследования микротвердости полученных опытных образцов

Хим. состав	Форма частиц	Фракция, мм	Вид наплавки и количество слоев (цифры)	Среднее значение микротвердости, МПа
ВТ1-0	несферическая	-0,63/+0,315	АДС-1	4311
			АДС-2	5678
			ЭЛС-1	2497

Внешний вид образцов и место разрушения представлены на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид образцов после разрушения:

a, б – продольные образцы; в, г – поперечные образцы

Результаты механических испытаний образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытания механических свойств продольных и поперечных образцов

№ образцов	Обозначение образцов	Предел прочности, кгс/мм ²	Предел текучести, кгс/мм ²	Удлинение, %
1	Прод. направ.	41,5	37,4	1,0
2	Попер. направ.	29,7	–	–
3	Прод. направ.	57,8	51,9	3,0
4	Попер. направ.	Разрушение без нагрузки		–

Исследование изломов разрушенных поперечных образцов показало, что разрушение таких образцов произошло по границам контакта отдельных валиков наплавки вследствие сплавления валиков наплавки, вследствие несплавления их между собой. На поверхности разрушения имеются локальные участки с изломом, обусловленным локальным сплавлением валиков за счет отдельных порошинок. Оставшаяся часть представляла собой гладкую закристаллизовавшуюся поверхность предыдущего валика, которая не подверглась расплавлению при наложении на нее последующего валика. При этом у образца № 2 поверхность была окислена до синего оттенка, а у образца № 4 она сохранилась светлой с металлическим отблеском (рис. 4, а, б).

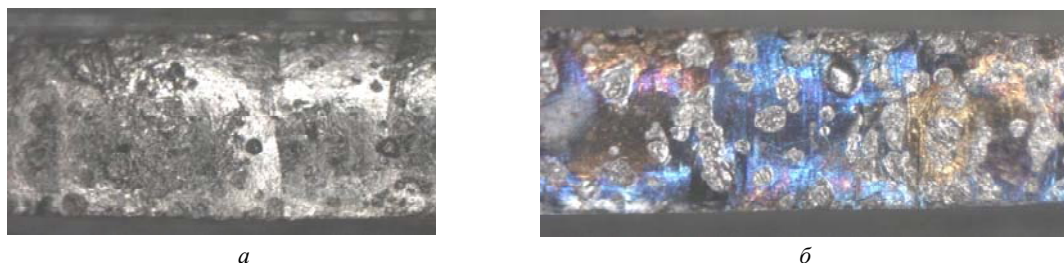


Рис. 4. Межваликовый непровар

Разрушение продольных образцов произошло в поперечном сечении металла валиков наплавки (в изломах видно наличие межваликового несплавления (рис. 5)).

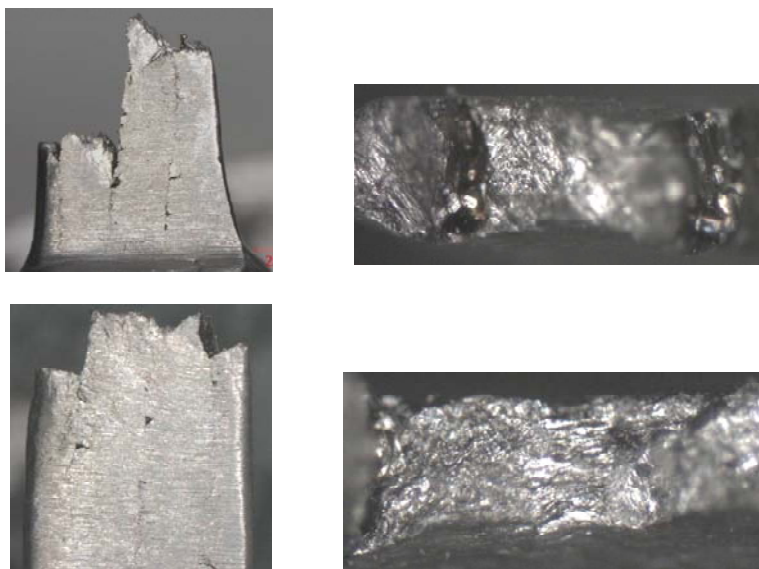


Рис. 5. Вид изломов продольных образцов

Макро и микроструктурный анализ продольных и поперечных шлифов, изготовленных по металлу наплавки, подтвердил, что наплавка ППН выполнена с межваликовыми несплавлениями (рис. 6). Наличие несплавлений, вероятно, вызвано неправильно подобранным опытным режимом наплавки и крупной фракцией порошка (200 мкм), превышающей рекомендованные фракции для многослойной наплавки 50...100 мкм.

При этом, микроструктура наплавленного слоя отвечает структуре литого состояния сплава ВТ1-0 (рис. 7).



Рис. 6. Макроструктура полученных образцов: а – продольный шлиф, б – поперечный шлиф



Рис. 7. Микроструктура отриманих зразків

Из приведенных выше данных можно сделать вывод, что структура материала полученных однослойных и двухслойных образцов независимо от метода наплавки является пластинчатой и мелкозернистой, что соответствует структуре литых образцов. Установлено, что полученные образцы по своим свойствам не уступают литым образцам соответствующего химического состава, о чем свидетельствуют результаты измерения микротвердости, приведенные в табл. 1.

Качество наплавки ППН порошком сферической формы (титан марки ВТ1-0 фракцией 200 мкм) использованными методами пока еще неудовлетворительное из-за присутствия межваликовых несплавлений. В то же время положительным является то, что микроструктура наплавленного металла валиков соответствует структуре литого состояния сплава ВТ1-0.

Следует ожидать, что в случае использования стандартных установок для 3D печати удастся устранить отмеченные выше недостатки в характере структурной картины сплавленных слоев.

Список литературы

1. Волхонский А. Е. Методы изготовления прототипов и деталей агрегатов различных изделий промышленности с помощью аддитивных технологий / А. Е. Волхонский, К. В. Дудков // Образовательные технологии. – 2014. – № 1. – С. 127–143.
2. Довбыш В.М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В. М. Довбыш, П. В. Забеднов, М. А. Зленко // Библиотечка литейщика. – 2014. – № 9. – С. 14–71.
3. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. – Санкт-Петербург : Издательство политехнического университета, 2013. – 221 с.
4. Wei-Chin Huang Microstructure-controllable laser additive manufacturing process for metal products / Wei-Chin Huang, Chuan-Sheng Chuang, Ching-Chih Lin, Chih-Hsien Wu, De-Yau Lin, Sung-Ho Liu, Wen-Peng Tseng, Ji-Bin Horng // Physics Procedia 8th International Conference on Laser Assisted Net Shape Engineering LANE 2014. – Vol. 56. – 2014. – P. 58–63.
5. Балака Е. В. Основные факторы влияния на процесс формообразования деталей с помощью технологий послойного выращивания (rapid prototyping) / Е. В. Балака // Високі технології в машинобудуванні. – 2011. – № 1. – С. 29–36.

Одержано 11.12.2015

© Джуган А.А., д-р техн. наук Овчинников А.В., д-р техн. наук Ольшанецкий В.Е.

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

Dzhugan A., Ovchinnikov A., Ol'shanetskii V. Prior evaluation of the results of imitation additive technology for production and repair aircraft parts