

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г.Е. Дубиненко

Научный руководитель: доцент, к. ф.-м. н. Б.С. Зенин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: ged1@tpu.ru

Аддитивное производство является процессом создания объемных изделий любой геометрической формы на основании цифровой трехмерной модели. Производство методом аддитивных технологий основано на построении объекта путем последовательного нанесения слоев материала, образующих контуры заданной модели. К числу широко используемых в настоящее время аддитивных технологий относятся моделирование методом послойного наплавления (FDM), выборочное лазерное плавление (SLM), электронно-лучевое плавление (EBM) [1–4].

Изделия, получаемые методами аддитивных технологий, находят свое применение в создании медицинских имплантов из биосовместимых сплавов и композитов, получении полимерных архитектурных макетов и моделей, печати металлических и композиционных изделий сложных конфигураций в аэрокосмической, автомобильной и машиностроительной отраслях. Качество получаемых изделий (прочность, плотность) во многом определяется образованием адгезионных связей при послойном формировании получаемого изделия.

Одной из особенностей аддитивных технологий является возможность получения изделий, состоящих из двух и более компонентов, представляющих различные по своей природе материалы. В таких изделиях возможны следующие варианты сочетания компонентов:

- сочетание двух и более различных металлов (Fe–Al) [5];
- сочетание керамики и металла (Y-стабилизированный Zr и хромистая сталь) [6];
- композиты на основе полимеров (термопластик и углеродное волокно) [7].

Важной характеристикой таких структур является адгезия на границе раздела слоев из различных материалов. Механизм формирования адгезионных связей может рассматриваться с нескольких позиций, в зависимости от состава и соотношения компонентов и параметров процесса изготовления изделия:

- физический контакт и последующая химическая реакция [8];
- диффузионное растворение компонентов друг в друге [9];
- топохимические реакции на поверхности контакта двух материалов [10];
- взаимодействие на электронном уровне [11].

Как правило, на первом, обязательном, этапе образования адгезионного соединения устанавливается контакт поверхностей, на следующем этапе возникает межфазное взаимодействие, которое может иметь различную природу. Адгезионные связи на этом этапе формируются по четырем основным механизмам [12]:

- механический – соединение двух контактирующих поверхностей за счет сил взаимного сцепления;
- диффузионный – взаимное проникновение молекул и атомов через границу фаз;
- электронный – возникновение двойного электрического слоя на межфазной границе;
- адсорбционный – соединение под действием межмолекулярных сил.

В общем случае все эти механизмы могут работать одновременно и механизм адгезии является смешанным. Однако, в отдельных условиях один из механизмов может преобладать. Так, например, для металлов чаще основную роль играют диффузионный и электронный механизмы, для керамик – механический (при прессовании), диффузионный (при спекании). В результате соединения металла с керамикой возможно сочетание механического и адсорбционного механизмов.

В последние годы активно изучается возможность внедрения технологии аддитивного производства в условиях космоса. Использование данных технологий позволит космонавтам, предварительно получив модель детали и программу для ее печати с Земли, изготавливать необходимые детали прямо на МКС [13]. Однако, отсутствие гравитации вносит изменение в технологию формирования детали и требует модификации оборудования. Отдельный интерес представляют особенности механизма образования адгезионных связей при применении технологии трехмерной печати в условиях невесомости и низкой гравитации.

Список литературы

1. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. – М. : НАМИ, 2015. – 18–23 с.
2. Thomas D.J., Tehrani Z., Redfearn B. 3-D printed composite microfluidic pump for wearable biomedical applications // Additive Manufacturing. – 2016. – No. 9. – P. 30–38.
3. Galarraga H., Ladosa D.A., Dehoff R.R. et al. Effects of the microstructure and porosity on properties of Ti-6Al-4V ELI alloy fabricated by electron beam melting (EBM) // Additive Manufacturing. – 2016. – No. 10. – P. 47–57.
4. Lia X.P., O'Donnell K.M., Sercombe T.B. Selective laser melting of Al-12Si alloy: Enhanced densification via powder drying // Additive Manufacturing. – 2016. – No. 10. – P. 10–14.
5. Shen C., Pan Z., Ma Y. et al. Fabrication of iron-rich Fe-Al intermetallics using the wire-arc additive manufacturing process // Additive Manufacturing. – 2015. – No. 7. – P. 20–26.

6. Scheithauer U., Slawik T., Schwarzer E. et al. Additive manufacturing of metal-ceramic-composites by thermoplastic 3D-printing (3DTP) // *Journal of Ceramic Science and Technology*. – 2015. – Vol. 6, No. 2. – P. 125–132.
7. Ning F., Cong W., Qiu J. et al. Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling // *Composites Part B: Engineering*. – 2015. – Vol. 80. – P. 369–378.
8. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. – М. : Машиностроение, 2004. – P. 222–240.
9. Князева А.Г. Перекрестные эффекты в твердых средах с диффузией // *Прикладная механика и техническая физика*. – 2003. – Т. 44, № 3. – С. 85–90.
10. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М. : Наука, 1977. – 184 с.
11. Мельников В.В., Кулькова С.Е. Адгезия на границах раздела между ОЦК-металлами и α - Al_2O_3 // *Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики*. – 2012. – Т. 141, № 2. – С. 345.
12. Кинлок Э. Адгезия и адгезивы / под ред. Л.М. Притыкина. – М. : Мир, 1991. – С. 70–113.
13. Космическое материаловедение // *За кадры*. – Томск : ТПУ, 2016. – № 12. – С. 7.