

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«Физическая мезомеханика.  
Материалы с многоуровневой иерархически  
организованной структурой и интеллектуальные  
производственные технологии»,**

посвященная 90-летию со дня рождения  
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН  
**академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках  
**Международного междисциплинарного симпозиума  
«Иерархические материалы: разработка и приложения  
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года  
Томск, Россия**

Томск  
Издательство ТГУ  
2020

**DOI: 10.17223/9785946219242/332**

**АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВОГО СПЛАВА 5356, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Утяганова В.Р., Шамарин Н.Н., Савченко Н.Л.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

В последние десятилетия большое внимание уделяется металлическим аддитивным технологиям. Они применяются в авиационной, космической, автомобильной и других ведущих отраслях промышленности. Важным преимуществом данных технологий является высокая скорость изготовления деталей со сложной геометрией [1–3].

Одной из ключевых областей аддитивных технологий является метод проволочного электронно-лучевого аддитивного производства. Технология проволочного электронно-лучевого плавления осуществляет печать изделий в вакууме и позволяет устранить загрязнения исходного сырья и получаемых деталей от нежелательных примесей.

На сегодняшний день компанией NASA представлены работы с применением проволочной электронно-лучевой аддитивной технологии, в которых изучены такие алюминиевые сплавы как 2219 [4], 7075, 2024 [5]. Алюминиево-магниевого сплавы обладают средней прочностью, пластичностью, электропроводностью и высокой коррозионной стойкостью. Сплавы системы Al–Mg нередко используют при строительстве балочных систем в авиаиндустрии [6]. И так как сплав 5356 часто применяется в слабонагруженных конструкциях, важно учитывать его механические особенности [7, 8]. Изделия из алюминиево-магниевого сплавов при возникновении нештатных ситуаций могут подвергаться разным нагрузкам, в том числе и изгибу.

В связи с вышеизложенным, целью данной работы является изучение механических свойств объемных изделий из сплава 5356, полученных электронно-лучевой аддитивной технологией при трехточечном изгибе.

Печать изделий выполнялась при помощи электронно-лучевой установки с применением проволоки 1,2 мм сплава 5356. Основными элементами сплава 5356 являются: алюминий 91,9-94,68 %, магний 4,8-4,9 %, марганец 0,3-0,8 %, а также железо и кремний содержанием до 0,5 %. Использованы два режима печати толстостенных изделий, характеристики которых представлены в таблице 1. Всего было последовательно нанесено 40 продольных слоев. Размеры толстостенных изделий по первому режиму печати составляют 80 × 25 × 16 мм, а по второму режиму печати составляют 74 × 25 × 12 мм. Вырезка образцов напечатанных толстостенных изделий производилась с помощью электроэрозивной машины с ЧПУ. Схема установки для проведения испытаний на изгиб показана в статье [9].

Таблица 1. Параметры проведения процесса выращивания толстостенных образцов сплава 5356:

№ режима печати	№ слоя	Ускоряющее напряжение [кВ]	Ток пучка [mA]		Скорость подачи проволоки [мм / мин]	Тип развертки пучка	Диаметр пучка [мм]
			Нач.	Кон.			
1	1-2	30	40		1500	Эллипс	5
	3-10		33	25			
	11-20		25	23			
	21-40		23				
2	1-2	30	45	40	1500	Эллипс	5
	3-10		30	25			
	11-20		25				
	21-40						

## Секция 10. Аддитивные технологии формирования материалов, изделий и элементов конструкций с иерархически организованной структурой

Были напечатаны объемные изделия из алюминийево-магниевого сплава 5356 методом электронно-лучевого аддитивного производства при двух режимах печати. При повышении количества тепловложения при печати алюминийево-магниевого объемных образцов происходит уменьшение пористости, которая и приводит к более высоким значениям механических свойств по сравнению с первым режимом. При первом режиме печати получены следующие значения предела текучести, предела прочности и максимального прогиба: 113,24 МПа, 297,69 МПа и 8,13 соответственно. Для напечатанных образцов при втором режиме (с повышенным количеством тепловложения) были достигнуты следующие значения предела текучести, предела прочности и максимального прогиба: 124,2 МПа, 322,5 МПа и 7,76 мм соответственно. Значения предела текучести при втором режиме в продольном направлении печати превосходит первый режим на 13,7 %, а в поперечном направлении на 10,87%. Также величина предела прочности превышает второй режим в продольном направлении на 10,75 %, а в поперечном на 11,23 %. Важно отметить, что при повышении количества тепловложения при печати методом электронно-лучевого аддитивного производства объемных изделий заметно уменьшается не только количество, но и размер пор.

**Благодарность и финансирование.** *Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90072. The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90072.*

1. Martin J.H., Yahata B.D., Hundley J.M., et al. 3D printing of high-strength aluminium alloys // Nature. 2017. №549. С. 365–369.
2. Gisario A, Kazarian M, Martina F, Mehrpouya M. Metal additive manufacturing in the commercial aviation industry: A review // Journal of Manufacturing Systems 2019. №53. С. 124–149.
3. Aboulkhair N.T., Simonelli M., Parry L., et al. 3D printing of Aluminium alloys: Additive Manufacturing of Aluminium alloys using selective laser melting // Progress in Materials Science. 2019. №106. С. 100578.
4. Taminger K., Hafley R. Electron beam freeform fabrication: a rapid metal deposition process // Proceedings of the 3rd Annual Automotive Composites Conference. 2003. С. 9–10
5. Mahale T, Cormier D, Harrysson O, Ervin K Advances In electron beam melting of aluminum alloys // 18th Solid Freeform Fabrication Symposium, SFF. 2007. С. 312–323
6. Олабод М., Ках П., Мартикайнен Дж. Металлургические особенности сварки высокопрочного алюминийевого сплава 7025-T6 // Автоматическая сварка 2012. № 4 (708). С. 24-35
7. Алюминийеые сплавы (Состав, свойства, технология, применение). Справ. изд. / Под ред. академика РАН И.Н. Фридляндера – К.Коминтех. 2005. 365 с.
8. Алюминий: свойства и физическое металловедение. Справ. изд. Пер с англ. / Под ред. Хэтча Дж.Е. – М.: Металлургия. 1989. 422 с.
9. Hai-Yang Y., Guo-Yan Z. A new method to determine the beam bending creep critical displacement of three-point bending specimen with fixed constraints // International Journal of Mechanical Sciences. 2019. № 161–162 С. 105045.