

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически  
организованной структурой и интеллектуальные  
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-150

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С  
УПРАВЛЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ М1 И АЛЮМИНИЕВЫХ  
СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

<sup>1</sup>Панфилов А.О., <sup>1</sup>Чумаевский А.В., <sup>1</sup>Никонов С.Ю., <sup>2</sup>Николаева А.В., <sup>1</sup>Калашников К.Н.,  
<sup>1</sup>Зыкова А.П., <sup>1</sup>Княжев Е.О., <sup>1</sup>Жуков Л.Л.

<sup>1</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

Аддитивное получение изделий из металлов и сплавов в настоящее время является одной из наиболее актуальных задач в области промышленного производства изделий авиационного и ракетно-космического назначения. Помимо решаемых задач по обеспечению точности или экономичности получения деталей, в современной научно-технической сфере часто требуется совмещение в изделии двух и более разнородных металла или сплава для обеспечения необходимого сочетания в детали различных эксплуатационных характеристик (высокая электро- или теплопроводность, коррозионная стойкость, износостойкость, прочность и др.).

Использование современных технологий 3D-печати позволяет изготавливать не только детали сложной формы, но и изделия с управляемыми изменениями структуры и фазового состава в объеме для создания функционального градиента структуры и свойств готовых изделий. Для таких технологий существенной актуальностью обладает разработка методов управляемой подачи материала в зону печати. При этом, вид способа управления структурой изделий в процессе печати существенно зависит от применяемой технологии.

В технологиях, основанных на использовании для печати проволочного филамента и электронного пучка для плавления материала, управление структурой получаемых изделий возможно за счет внедрения в ванну расплава двух и более филаментов от разных податчиков с управляемой интенсивностью подвода каждого из них. Электронно-лучевая аддитивная проволочная технология, обладает одними из наилучших показателей по печати изделий с градиентным переходом от одного металла - к другому.

Несмотря на то, что определенные результаты в данной области уже получены, в литературе присутствует ограниченное количество данных по получению функционально-градиентных материалов с управляемой структурой на основе меди и медных сплавов. Целью настоящей работы является определение закономерностей организации структуры и свойств в полиметаллах системы «медь-алюминий», полученных с реализацией управляемой подачи проволочных филаментов меди и алюминиевых сплавов АК12, АМг5 в ванну расплава при электронно-лучевой 3D-печати.

Образцы были получены трех основных типов. Первый тип образцов был получен путем монотонной подачи меди марки М1 и алюминиевого сплава с соотношением 5:1 для определения стабильности структуры при печати с использованием двух податчиков одновременно. Второй тип образцов был получен с реализацией плавного градиента от чистой меди - к материалу с содержанием меди и алюминиевого сплава 5:1 через зону структурного градиента толщиной от 10 до 20 слоёв. Для этого на протяжении 10-20 слоёв после нанесения меди происходило постепенное добавление в процесс печати филамента алюминиевого сплава с уменьшением интенсивности подачи меди до достижения соотношения компонентов 5:1. На данных образцах отработывалась технология получения материалов с плавным градиентом структуры и свойств. Третий тип полученных полиметаллических изделий - детали с более резким градиентом структуры от чистой меди - до слоёв с высоким содержанием алюминия с образование сплошных поверхностных интерметаллидных слоёв. В последнем случае проводили исследования стабильности процесса печати и формирования дефектов при малой величине структурного градиента.

Проведенные исследования показывают, что при обеспечении плавного структурного градиента в образцах второго типа происходит образование стабильно бездефектной

структуры в объеме материала. В образцах первого типа дефектов также не выявлено. При наличии резких градиентов структуры и химического состава образцов третьего типа происходит образование дефектов различного структурно-масштабного уровня. При этом, на участках с осуществлением плавного перехода от меди - к интерметаллидным слоям, происходит образование бездефектных структур. Таким образом, формирование полиметаллических изделий системы «медь-алюминий» методом электронно-лучевой аддитивной проволочной технологии с монотонной структурой и плавным градиентом возможно без формирования дефектов, а для получения изделий с резким градиентом и бездефектной структурой требуется проведение дополнительных исследований.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2019-0034.*