

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

В. Р. Галимов¹, Д. И. Мансуров²

¹galimov.vr@ugatu.su, ²mdanar690@gmail.com

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В статье представлен обзор современных аддитивных технологий, упором на те, которые позволяют создавать металлические детали. Представлены схемы наиболее распространённых в машиностроении аддитивных технологий. Проведено сравнение *PBF*- и *DED*-технологий и предложена как наиболее эффективная *WAAM*-технология.

Ключевые слова: аддитивное производство, аддитивное электродуговое выращивание, *WAAM*-технология

ВВЕДЕНИЕ

Современные аддитивные технологии позволяют получать как изделия из неметаллических материалов, так и для производства металлических деталей сложной формы.

Аддитивные технологии дают возможность значительно улучшить технологию изготовления металлических изделий со сложной геометрией сократив время изготовления относительно применяемых технологий литья, а также уменьшив потери материала в сравнении с технологиями точения и фрезерования, при использовании которых может удаляться до 90 % материала заготовки.

В нашей стране активное развитие аддитивных технологий началось сравнительно недавно. Данная работа направлена на расширение возможностей данного способа получения деталей.

Цель данной работы – обзор известных аддитивных технологий и определение возможностей их применения для выращивания деталей или их элементов из жаропрочных никелевых сплавов.

ВИДЫ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На рис. 1 представлена классификация аддитивных технологий.

Для изготовления деталей из металла наибольшее применение нашли технологии *Powder Bed Fusion (PBF)* и *Directed Energy Deposition (DED)*, отличающихся механизмом выращивания изделий.

При использовании *PBF*-технологии (рис. 2а) сначала устройство нанесения слоя формирует слой металлического порошка, источник энергии (например, лазерный или электронный луч) с помощью системы зеркал перемещается по траектории в соответствии с формой выращиваемой детали, при этом порошок расплавляется. После чего расплавленный порошок затвердевает и формирует слой детали. Поршень опускается для нанесения следующего слоя. Данный процесс повторяется до полного построения детали.

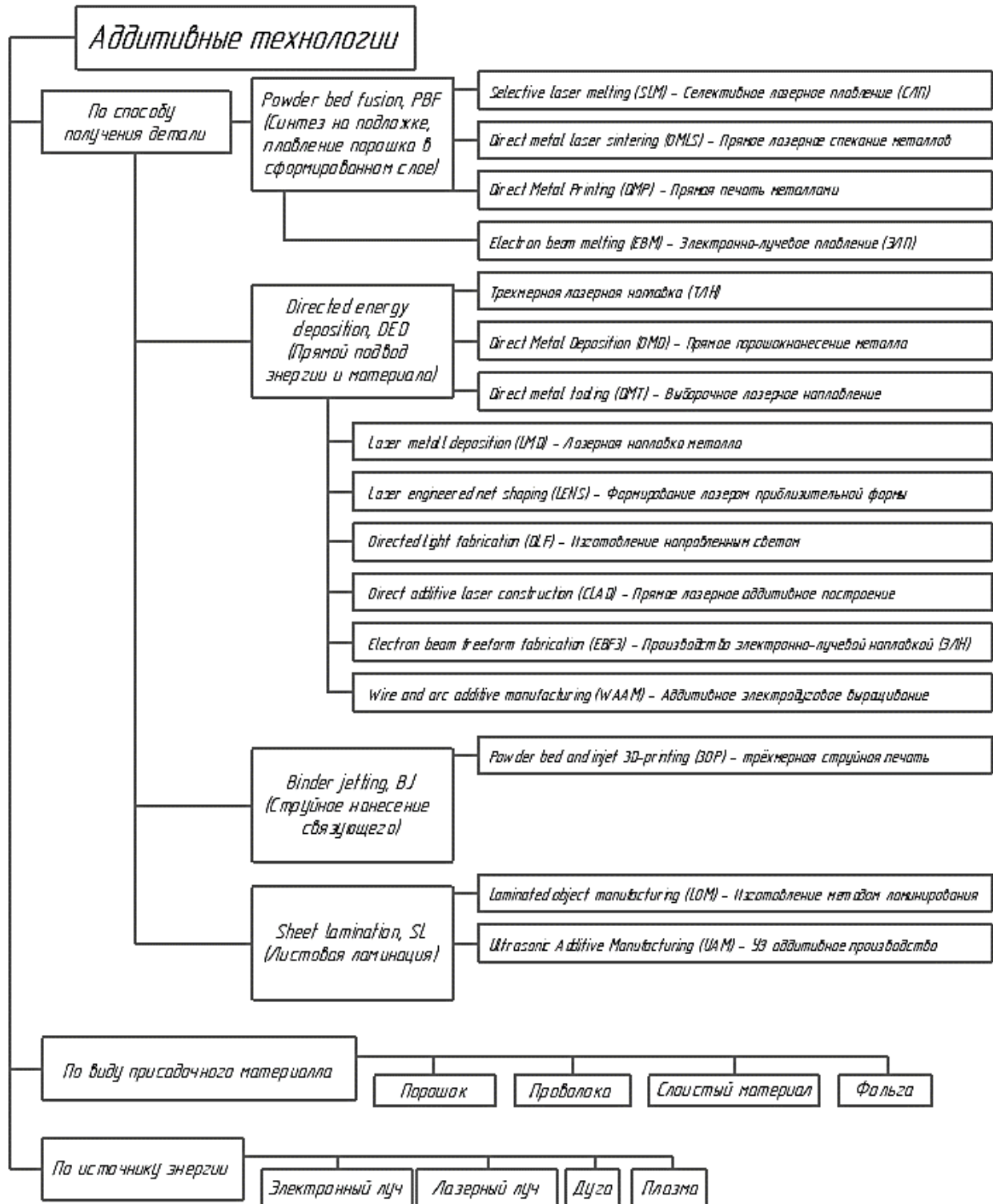


Рис. 1-Классификация аддитивных технологий

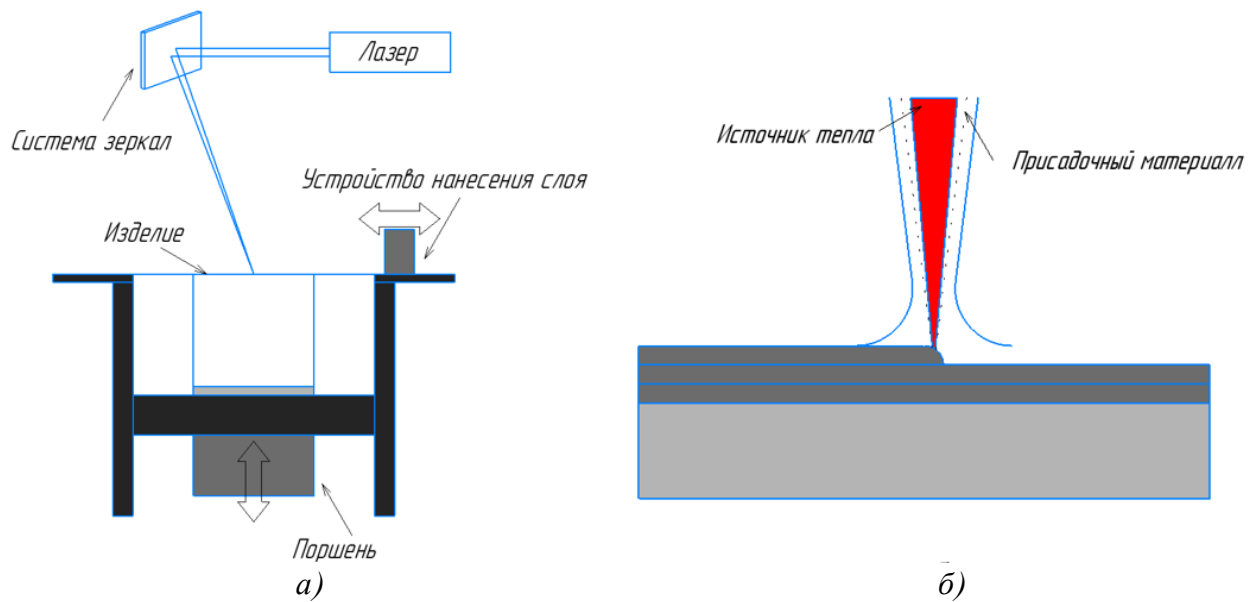


Рис. 2-Схемы аддитивных технологий
 а- PBF-процесса, б-DED-процесса.

Данный способ использует порошок в качестве присадочного материала, и позволяет получать модели из сталей, кобальт-хромовых сплавов, алюминия, титана и др.

DED-технология (рис. 2б) работает по схожей схеме, но отличие заключается в том, что подача присадочного материала (порошка или проволоки) осуществляется непосредственно в зону расплавления.

Последовательность изготовления изделия данным методом следующая:

- напыляющая головка перемещается в точку начала напыления;
- подаётся материала в зону расплавления, отдалённую от головки;
- из головки исходит лазерное излучение, расплавляющее подложку, на которой происходит напыление, и присадку;
- после затвердевания ванны расплавленного металла образуется слой нанесённого металла.

Сравнение PBF- и DED-технологий (Таблица1) показывает, DED-технология, имея меньшую точность изготовления (более грубую шероховатость готовой детали, не даёт возможности выращивать детали очень малых размеров и со сложной геометрией), позволяет достичь большей производительности, а также может использоваться в восстановлении повреждённых поверхностей любого пространственного положения.

Одно из направлений развития аддитивных технологий-использование в качестве присадочного материала проволоки в место порошка. Это позволяет повысить производительность, удешевить производство (порошок стоит значительно дороже проволоки), расширить круг применяемых материалов. К нашему времени разработано значительное количество проволок, что позволяет выращивать детали практически из любого металла, в то время как изучение производства порошков только набирает обороты.

Таблица 1

Сравнение PBF- и DED-технологий

Характеристика/процесс	PBF	DED
Толщина слоя	20-100мкм	500-100мкм
Скорость построения	1-5 см ³ /ч	16-320 см ³ /ч
Качество получаемой поверхности	$Ra=5-12$ мкм, $Rz=20-40$ мкм	$Ra=20-50$ мкм, $Rz=150-300$ мкм, в зависимости от размера луча
Химический состав	Незначительное выгорание элементов	
Возможности построения	Сложная геометрия с высоким разрешением	Относительно простая геометрия с небольшим разрешением
Ремонт/восстановление	Необходима горизонтальная поверхность	Неограниченно
Построение функционально градиентных материалов	Ограниченно	Возможно
Структура	Мелкодисперсная структура, высокие механические свойства	

Существует разновидность DED-технологии, в которой в место порошка в качестве присадочного материала используется проволока. При этом значительно увеличивается производительность процесса, а угар присадочной проволоки почти отсутствует.

WAAM-технология (рисунок 2) представляет процесс формирования слоев объемной детали методом послойного электродугового наваривания металлического проволочного материала (1), на подложку детали (2). В «зоне наварки» (сварочной ванне 4) некоторое время осуществляется совместное плавление материала подложки и навариваемой проволоки.

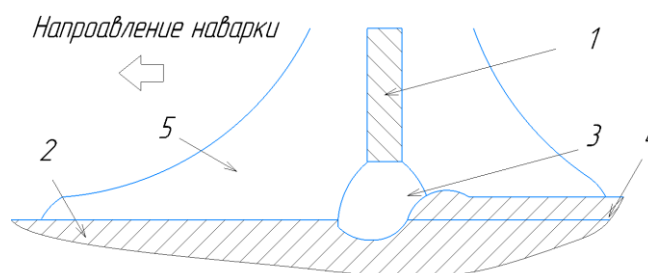


Рис. 3 Схема WAAM-процесса:

1-подаваемая проволока, 2-подложка, 3-дуга, 4-наваренный слой, 5-газовая среда



Рис.4 Классификация WAAM-процессов

Процесс может проходить на базе технологии (и оборудовании) сварки плавящимся электродом, сварки неплавящимся электродом, сварки под слоем флюса и плазменной сварки.

Основными преимуществами технологии являются:

- высокая производительность наплавки;
- широкий диапазон размера наплавляемого слоя (1-10мм);
- универсальность процесса: помимо выращивания новых деталей способ можно использовать и для ремонтных работ;

- доступность оборудования (сварочное оборудование дешевле и проще, чем, например, специфическое оборудование PBF-технологии или лазерной наплавки) и материалов (марок проволок на рынке огромное количество);

- изученность процесса: перечисленные способы сварки давно изучены и широко применяются для производства металлических изделий.

Основными недостатками технологии являются:

- необходимость последующей механической обработки;

- сильное тепловое воздействие на материал, следовательно, после остывания появятся остаточные деформации и напряжения (которые могут приводить к дефектам), что особенно сильно скажется при выращивании крупных деталей и элементов конструкции;

- ограничение по размерам (не возможность выращивания очень мелких деталей) и форме выращиваемых изделий

Таким образом наиболее перспективным направлением предлагается развитие WAAM-технологий, т.к. под них разработано оборудование, большое количество материалов, это всё доступнее и дешевле, чем для других способов, а помимо этого технология максимально изучена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для расширения применения аддитивных технологий в данной статье был проведён обзор наиболее распространённых современных видов этого производства. Было определено, что WAAM-технология имеет хорошие перспективы развития, в частности в авиационном производстве, в особенности для выращивания деталей из жаропрочных никелевых сплавов в силу высокой производительности и большей доступности оборудования и материалов по сравнению с другими технологиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашин А.А., Лямин А.Н., Слепцов В.В. Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств: Учеб. пособие. Изд-е 2-е, испр. и доп. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 210 с. ISBN 978-5-94836-504-6.

2. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств Часть 1 [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Преображенская Е.В., Боровик Т.Н., Баранова Н.С., и др. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CDROM).

ОБ АВТОРАХ

ГАЛИМОВ Виталий Рустемович, аспирант 2-го курса ИАТМ

МАНСУРОВ Данар Ильдарович, студент 4 курса ИАТМ

METADATA

Title: Possibility of novel additive technologies application for superalloys details construction

Affiliation: Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ galimov.vr@ugatu.su, ² mdanar690@gmail.com

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (27), pp. 37-41, 2023. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article presents a heat input and transfer during inertia friction welding of EP741 weldments. A finite difference model of thermal fields with flywheel kinetic energy transformation into heat input was developed. Welding thermal cycles and calculated variations of process parameters with time were presented.

Key words: friction welding, aircraft engine building, inertia friction welding, superalloys.

About authors:

GALIMOV, Vitaliy Rustemovich, postgraduate student 2 year, Ufa state aviation technical University,

MANSUROV Danar Ildarovich, student 4 year, Ufa state aviation technical University.