

УДК 621.91

ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Нозирзода Ш.С., студент группы 10А41, II курс,
Научный руководитель: Сапрыкина Н.А., к.т.н. доцент
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического
университета
г. Юрга

Технологии аддитивного лазерного синтеза изделий являются сравнительно новыми и интересными технологическими методами, возникшими в конце 80-х и ставшими в наши дни перспективными для мелкосерийного или единичного производства в области медицины, самолето и ракетостроения.

Принцип работы установки для аддитивного производства состоит из устройства для нанесения и выравнивания слоя порошка на поверхность подложки. После чего лазерный луч сканирует поверхность данного слоя порошка и путем оплавления или спекания формирует слой изделия. По окончании сканирования порошкового слоя платформа с изготавливаемым изделием опускается на толщину слоя, наносится следующий слой порошкового материала, и лазерный луч сканирует площадь следующего сечения. После завершения процесса платформа с изделием поднимается и очищается от неиспользованного порошка.

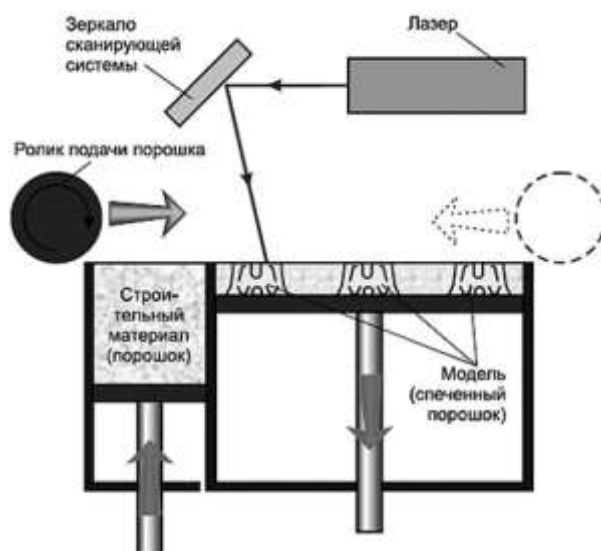


Рис.1. Установка аддитивного производства[2].

Одной из основных частей в установках аддитивного производства является лазерная система, в которой используются CO_2 , Nd:YAG, иттербий волоконный или дисковый лазеры. Установлено, что использование лазеров с длиной волны 1-1,1 мкм для нагрева металлов и карбидов предпочтительнее,

поскольку они на 25-65% лучше поглощают генерируемое лазером излучение. В тоже время, использование CO₂ лазера с длиной волны 10,64 мкм наиболее лучше подходит для таких материалов, как полимеры и оксидная керамика. Более высокая абсорбционная способность позволяет увеличить глубину проплавления и в более широких пределах варьировать параметрами процесса. Обычно лазеры, используемые в аддитивном производстве, работают в непрерывном режиме. По сравнению с ними применение лазеров работающих в импульсном режиме и в модулированной добротности за счет их большой энергии импульса и короткой продолжительности импульса (наносекунды) даёт возможность улучшить прочность связи между слоями и уменьшить зону термического воздействия. Характеристики используемых лазерных систем лежат в пределах: мощность лазера – 10-500 Вт, скорость сканирования до 2 м/с, скорость позиционирования до 7 м/с, диаметр фокусированного пятна – 35-400 мкм.

Помимо лазера как источник нагрева порошка может быть использован электронно-лучевой нагрев. Этот вариант фирма Arcam предложила и реализовала в своих установках в 1997 г. Установка с электронно-лучевой пушкой характеризуется отсутствием подвижных частей, так как электронный луч фокусируется и направляется с помощью магнитного поля и дефлекторов, а создание в камере вакуума положительно сказывается на качестве изделий.

Одним из важных условий при аддитивном производстве является создание защитной среды предотвращающей окисление порошка. Для выполнения этого условия используют аргон или азот. Однако применение азота как защитного газа ограничено, что связано с возможностью образования нитридов (например, AlN, TiN при изготовлении изделий из алюминиевых и титановых сплавов), которые приводят к понижению пластичности материала.

Методы лазерного аддитивного производства по особенностям процесса уплотнения материала можно разделить на селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering (SLS)), не прямое лазерное спекание металлов (Indirect Laser Metal Sintering (ILMS)), прямое лазерное спекание металлов (Direct Laser Metal Sintering (DLMS)) и селективное лазерное плавление (Selective Laser Melting (SLM)). В первом варианте уплотнение слоя порошка происходит за счет твердофазного спекания. Во втором – за счет пропитки связкой пористого каркаса ранее сформированного лазерным излучением. В основе прямого лазерного спекания металлов лежит уплотнение по механизму жидкофазного спекания за счет плавления легкоплавкого компонента в порошковой смеси. В последнем варианте уплотнение происходит за счет полного плавления и растекания расплава. Стоит отметить, что эта классификация не является универсальной, поскольку в одном типе процесса аддитивного производства могут проявляться механизмы уплотнения, которые характерны для других процессов. Например, при DLMS и SLM может наблюдаться твердофазное

спекание, которое имеет место при SLS, тогда как при SLM может происходить жидкофазное спекание, которое более характерно для DLMS.

Селективное лазерное спекание (SLS). Твердофазное селективное лазерное спекание не получило широкого распространения, поскольку для более полного протекания объемной и поверхностной диффузии, вязкого течения и других процессов, имеющих место при спекании порошка, требуется относительно длительная выдержка под лазерным излучением. Это приводит к длительной работе лазера и малой производительности процесса, что делает этот процесс экономически не целесообразным. Помимо этого, возникают сложности с поддержанием температуры процесса в интервале между точкой плавления и температурой твердофазного спекания. Преимуществом твердофазного селективного лазерного спекания является возможность использования более широкого круга материалов для изготовления изделий.

Непрямое лазерное спекание металлов (ILMS). Процесс, получивший название «непрямое лазерное спекание металлов» был разработан компанией DTMcorp of Austin в 1995 г., которая с 2001 г. принадлежит компании 3D Systems. В ILMS процессе используют смесь порошка и полимера или порошок покрытый полимером, где полимер выступает в роли связки и обеспечивает необходимую прочность для проведения дальнейшей термической обработки. На стадии термической обработки проводится отгонка полимера, спекание каркаса и пропитка пористого каркаса металлом-связкой, в результате которой получается готовое изделие.

Для ILMS можно использовать порошки металлов и керамики, а также смесей. Приготовление смеси порошка с полимером проводят механическим смешиванием, при этом содержание полимера составляет около 2-3% (по массе), а в случае использования порошка покрытым полимером, толщина слоя на поверхности частицы составляет около 5 мкм. В качестве связки используют эпоксидные смолы, жидкое стекло, полиамиды и другие полимеры. Температура отгонки полимера определяется температурой его плавления и разложения и в среднем составляет 400-650 °С. После отгонки полимера пористость изделия перед пропиткой составляет около 40%. При пропитке печь нагревают на 100-200⁰С выше точки плавления пропитываемого материала, поскольку с повышением температуры уменьшается краевой угол смачивания и понижается вязкость расплава, что благоприятно влияет на процесс пропитки. Обычно пропитку будущих изделий проводят в засыпке из оксида алюминия, которая играет роль поддерживающего каркаса, поскольку в период от отгонки полимера до образования прочных межчастичных контактов существует опасность разрушения или деформации изделия. Защиту от окисления организуют с помощью создания в печи инертной или восстановительной сред. Для пропитки можно использовать довольно разнообразные металлы и сплавы, которые удовлетворяют следующим условиям. Материал для пропитки

должен характеризоваться полным отсутствием или незначительным межфазным взаимодействием, малым краевым углом смачивания и иметь температуру плавления ниже, чем у основы. Например, в случае если компоненты взаимодействуют между собой, то в процессе пропитки могут происходить нежелательные процессы, такие как образование более тугоплавких соединений или твердых растворов, что может привести к остановке процесса пропитки или негативно сказаться на свойствах и размерах изделия. Обычно для пропитки металлического каркаса используют бронзу, при этом усадка изделия составляет 2-5%.

Одним из недостатков ILMS является отсутствие возможности регулировать в широких пределах содержание тугоплавкой фазы (материала основы). Поскольку её процентное содержание в готовом изделии определяется насыпной плотностью порошка, которая в зависимости от характеристик порошка может быть в три и более раза меньше теоретической плотности материала порошка.

Таблица 1. Материалы и их свойства, используемые для ILMS [1].

Материал	Материал основы	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относи-тельное удлинение, %	Твердость	Мо-дуль упругости, ГПа
DTM RapidSteel 1.0	1080 carbon steel	475	255	15	75 HRB	210
DTM RapidSteel 2.0	stainless steel 316L	580	413	0,9	22 HRC	263
DTM LaserFormST 100	stainless steel 420	510	305	10	79-87 HRB	137
DTM LaserFormST 200	stainless steel 420	435	250	6	79 HRB	137
LaserForm A6 Steel	A6 tool steel	610	470	2-4	10-20 HRB; после термообработки 39 HRC	138

Прямое лазерное спекание металлов (DLMS). Процесс прямого лазерного спекания металлов подобен ILMS, однако отличается тем, что вместо полимера используются сплавы или соединения с низкой температурой плавления, а также отсутствует такая технологическая операция, как пропитка. В основе создания концепции DMLS стояла немецкая компания EOS GmbH, которая в 1995 году создала коммерческую установку для прямого лазерного спекания порошковой системы сталь-никелевая бронза. Получение различных изделий методом DLMS основано на затекании образовавшегося расплава-связки в пустоты между частицами под действием капиллярных сил. При этом для успешного выполнения процесса в порошковую смесь добавляют соединения с фосфором, которые снижают поверхностное натяжение, вязкость и степень окисления расплава, тем самым

улучшая смачиваемость. Порошок, используемый в качестве связки, обычно имеет меньший размер, чем порошок основы, поскольку это позволяет увеличить насыпную плотность порошковой смеси и ускорить процесс образования расплава.

Таблица 2. Материалы и их свойства, используемые для DLMS компанией EOS GmbH[1].

Материал	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Модуль упругости, ГПа	Твердость, HV	Относительное удлинение, %	Пористость, %	Скорость пристройки, см ² /ч
DirectMetal 20	400	200	80	115	2,5	8	7,2-28,8
DirectSteel 20	580	400	130	225	1,5	2	5,4-9

Селективное лазерное плавление (SLM). Дальнейшее усовершенствование установок для аддитивного производства связано с появлением возможности использования более мощного лазера, меньшего диаметра фокусировочного пятна и нанесения более тонкого слоя порошка, что позволило использовать SLM для изготовления изделий из различных металлов и сплавов. Обычно полученные этим методом изделия имеют пористость 0-3%. Как и в выше рассмотренных методах (ILMS, DMLS), большую роль в процессе изготовления изделий играет смачиваемость, поверхностное натяжение и вязкость расплава. Одним из факторов сдерживающим использование различных металлов и сплавов для SLM является эффект «образования шариков» или сфероидизация, который проявляется в виде формирования лежащих отдельно друг от друга капель, а не сплошной дорожки расплава. Причиной этого является поверхностное натяжение под действием, которого расплав стремится уменьшить свободную поверхностную энергию путем образования формы с минимальной площадью поверхности, т.е. шара. При этом в полоске расплава наблюдается эффект Марангони, который проявляется в виде конвективных потоков из-за градиента поверхностного натяжения как функции от температуры, и если конвективные потоки достаточно сильные, то полоска расплава разделяется на отдельные капли.

Таким образом, можно сказать, что сейчас усилия ученых и инженеров направлены на более детальное изучение влияния параметров процесса на структуру, механизм и особенности уплотнения различных материалов под действием лазерного излучения с целью улучшения механических свойств и увеличения номенклатуры материалов пригодных для лазерного аддитивного производства.

Список литературы:

1.Тенденция плюс/ Металлические сплавы/ [Электронный ресурс] / <http://vista-tp.ru/materialy2//>.

2.Баева Л.С. Современные технологии аддитивного изготовления объектов /Л.С. Баева, А.А. Маринин// Вестн. Мурман. гос.техн.ун-та, 2014.Т.17, №1. С. 7-12.

3.Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроение: /М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина. СПб.: СПбГУ. 2013с.