

УДК 621.358

СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ

Веремей В.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

SLM (*Selective Laser Melting*) – селективное лазерное плавление, распространенный метод трехмерной печати металлических изделий. В качестве материала используется металлический порошок очень мелкой фракции (меньше 40 мкм), под действием лазерного луча он расплавляется и превращается в однородную металлическую массу.

С помощью SLM создают как точные металлические детали для работы в составе узлов и агрегатов, так и неразборные конструкции, меняющие геометрию в процессе эксплуатации.

Технология является методом аддитивного производства и использует мощные лазеры для создания трехмерных физических объектов. Данный процесс успешно заменяет традиционные методы производства, так как физико-механические свойства изделий, построенных по технологии SLM, зачастую превосходят свойства изделий, изготовленных по традиционным технологиям.

Установки SLM помогают решать сложные производственные задачи промышленных предприятий, работающих в авиакосмической, энергетической, машиностроительной и приборостроительной отраслях. Установки также применяются в университетах, конструкторских бюро, используются при проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ.

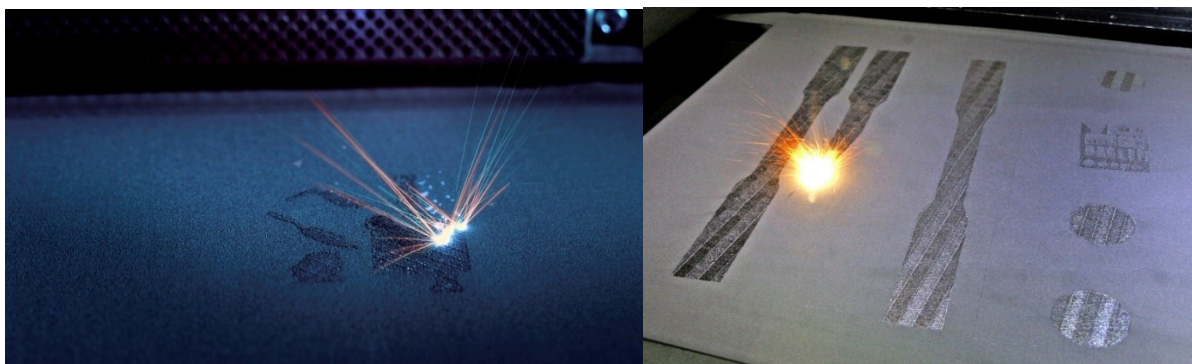


Рисунок 1 – Процесс создания деталей

Преимущества SLM-технологии

1. Решение сложных технологических задач.
 - Производство изделий со сложной геометрией, с внутренними полостями и каналами конформного охлаждения.
2. Сокращение цикла НИОКР (Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) — совокупность работ, направленных на получение новых знаний и практическое применение при создании нового изделия или технологии.)
 - Возможность построения сложных изделий без изготовления дорогостоящей оснастки

3. Уменьшение массы изделий

- Построение изделий с внутренними полостями

4. Экономия материала при производстве

- Построение происходит с помощью послойного добавления в «тело» изделия необходимого количества материала. 97-99% незадействованного при построении порошка после просеивания пригодно к повторному использованию. 3-9% материала, задействованного на построение поддержек, утилизируется вместе с некондиционным расплавленным порошком, не прошедшим операцию просеивания.

- Сокращение затрат на производство сложных изделий, т.к. нет необходимости в изготовлении дорогостоящей оснастки.

5. Обеспечивает высокую точность и повторяемость.

6. Механические характеристики изделий, напечатанных на этом типе 3D-принтера, сравнимы с литьем.

Недостатки SLM-технологии

1. Высокая стоимость производства.

2. Относительно малая производительность (среднее время печати от 48 часов).

3. SLM-печать может быть вредной для здоровья человека при несоблюдении определенных мер предосторожности, так как в качестве сырья для производства изделий используются металлические порошки мелкой фракции. Для работы с SLM-технологией требуется выделять отдельные помещения с хорошей системой вентиляции и кондиционирования воздуха.

4. Технология требует использования дорогостоящего оборудования, обслуживания и расходных материалов.

Принцип работы

Процесс печати начинается с разделения цифровой 3D-модели изделия на слои толщиной от 20 до 100 мкм с целью создания 2D-изображения каждого слоя изделия. Отраслевым стандартным форматом является STL-файл. Этот файл поступает в специальное машинное ПО, где происходит анализ информации и ее соизмерение с техническими возможностями машины.

На основе полученных данных запускается производственный цикл построения, состоящий из множества циклов построения отдельных слоев изделия.

Цикл построения слоя состоит из типовых операций:

1. нанесение слоя порошка заданной толщины (20-100 мкм) на плиту построения, закрепленную на подогреваемой платформе построения;

2. сканирование лучом лазера сечения слоя изделия;

3. опускание платформы вглубь колодца построения на величину, соответствующую толщине слоя построения.

Процесс построения изделий происходит в камере SLM машины, заполненной инертным газом аргон или азот (в зависимости от типа порошка, из которого происходит построение), при ламинарном его течении. Основной расход инертного газа происходит в начале работы, при продувке камеры

построения, когда из нее полностью удаляется воздух (допустимое содержание кислорода менее 0,15%).

Далее порошок подается в камеру построения принтера и разравнивается специальным ножом на толщину слоя материала. Лазерный луч плавит слои порошка в участках, совпадающих с сечением 3D-модели. После каждого плавления камера построения опускается на уровень ниже. Затем снова подается и разравнивается порошок - создается следующий слой. Процедура повторяется, пока не получится готовое изделие.

После построения изделие вместе с плитой извлекается из камеры SLM машины, после чего изделие отделяется от плиты механическим способом. От построенного изделия удаляются поддержки, производится финишная обработка построенного изделия. В случае необходимости производится механическая обработка изделия (фрезеровка, шлифовка).

Практически полное отсутствие кислорода позволяет избегать оксидации расходного материала, что делает возможной печать такими материалами, как титан.

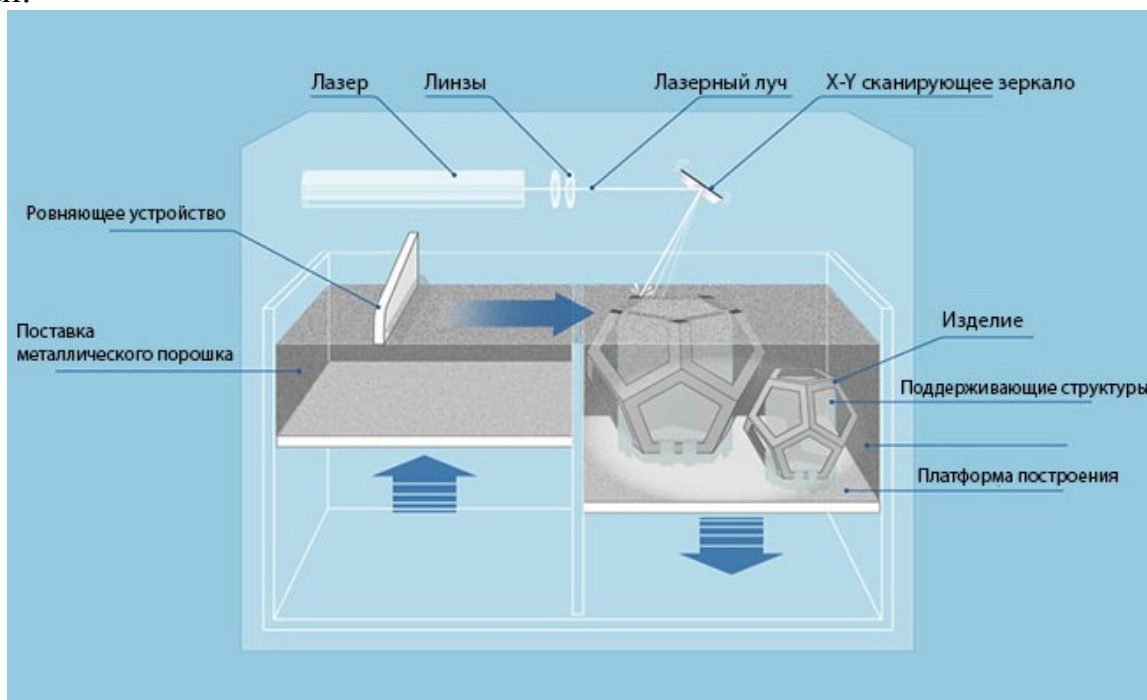


Рисунок 2– Схема 3D-машины

Используемые материалы

Наиболее популярными материалами являются порошковые металлы и сплавы, включая нержавеющую сталь, инструментальную сталь, кобальт-хромовые сплавы, титан, алюминий, золото и др.

Область применения

1. Изготовление функциональных деталей для работы в составе различных узлов и агрегатов.
2. Изготовление сложных конструкций, в том числе неразборных, меняющих в процессе эксплуатации геометрию, а также имеющих в своем составе множество элементов.

3. Производство формообразующих элементов пресс-форм для литья термопластов и легких материалов.
4. Изготовление технических прототипов для отработки конструкции изделий.
5. Создание формообразующих вставок для кокильного литья.
6. Производство индивидуальных стоматологических протезов и имплантатов.
7. Изготовление штампов.

Примеры

Технология SLM еще не стала стандартом в производстве, но ее уже используют крупные промышленные компании: машиностроительные, аэрокосмические, производители авто и другие.

- *PORSCHE*

Немецкий автопроизводитель использует 3D-печать в производстве запасных частей для своего подразделения классических автомобилей. В обслуживании семейства автомобилей Porsche Classic применяется около 52 000 различных деталей, которые необходимо заменять по требованию владельцев авто, детали эти настолько же раритетные, как сами машины. Да и при работе с теми деталями, что есть в наличии, необходимо учитывать затраты на логистику и хранение.

При производстве в небольших количествах, в отличие от серийного, использование классических методов экономически невыгодно. Оценивая альтернативы, специалисты Porsche остановились на аддитивном производстве, с использованием SLM для металлических деталей.



Рисунок 3– Примеры деталей

- *AUDI*

В компании AUDI считают SLM наиболее подходящей технологией для создания сложных металлических деталей, и чем сложнее деталь, тем больше для нее подходит 3D-печать. Производство таких деталей традиционными методами отняло бы значительно больше времени и средств. Также перспективной считают 3D-печать деталей на местах, в удаленных подразделениях, так как она способна серьезно сократить затраты на логистику и складирование.



Рисунок 4- Металлические 3D-печатные коннекторы системы охлаждения двигателя AUDI W12.

- *SpaceX и NASA*

Лидеры освоения космоса, такие как SpaceX под управлением Илона Маска и NASA, применяют металлическую 3D-печать для изготовления деталей ракетных кораблей, что значительно снизило затраты и повысило производительность при их создании. К примеру, SpaceX в значительной степени опирался на нестандартные металлические детали при создании камеры сгорания двигателя SpaceX SuperDraco.



Рисунок 6- Блок из двух двигателей SuperDraco

Основные фирмы производители

- SLM Solutions Group — немецкий производитель промышленного оборудования для лазерной 3D-печати из металлических материалов. Компания поставляет продукцию клиентам из авиакосмического и энергетического секторов, сферы здравоохранения и автомобильной промышленности.

- Realizer — Немецкая компания, разрабатывает и производит профессиональные промышленные 3D принтеры, которые работают по технологии лазерного сплавления.

- EOSINT – Немецкая компания производящая промышленные установки для аддитивного производства металлических деталей методом прямой лазерной плавки и другую продукцию.

- RussianSLM - это принтеры российского производства для печати металлами по технологии SLM.

- Shining 3D - Китайский производитель 3D-принтеров и 3D-сканеров, анонсировал новую аддитивную систему EP-M250 Pro по технологии селективного лазерного наплавления металлических порошков (SLM).

- PXS Phenix Systems – принтер французского производства по технологиям LC/LS/SLM/DMLS/SLS.

Заключение

Металлические аддитивные технологии производства, такие как SLM и DMLS, особенно полезны для создания уникальных металлических деталей, не производимых серийно, которые полностью функциональны и получены в кратчайшие сроки. Некоторые из них не могут быть изготовлены традиционными методами, в силу их технологических ограничений. Сплавы, используемые в SLM, выдерживают высокое давление газа и высокую температуру, что также позволяет использовать детали, изготовленные с помощью данной технологии, в различных областях машиностроения и химической промышленности.

УДК 621.3

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

Комаровский Т.Р.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Индукционный нагрев применяется на производстве для: для поверхностной закалки стальных изделий, сквозного нагрева под пластическую деформацию (ковку, штамповку, прессование, прокатку и т.д.), плавления металлов, термической обработки (отжиг, отпуск, нормализация, закалка), сварки, наплавки, пайки металлов. Конструкции индукторов могут быть предназначены для нагрева локального участка или всего объема заготовки. Первые печи, работающие на принципе индукционного нагрева начали появляться еще в самом начале XX века. Сфера очень быстро развивалась и уже через несколько десятков лет появились высокочастотные тигли по КПД почти не уступающие современным. Если раньше индукционные печи для плавки металла устанавливались исключительно в цехах крупных организация, то сегодня современная индукционная печь может находится даже в небольших мастерских.

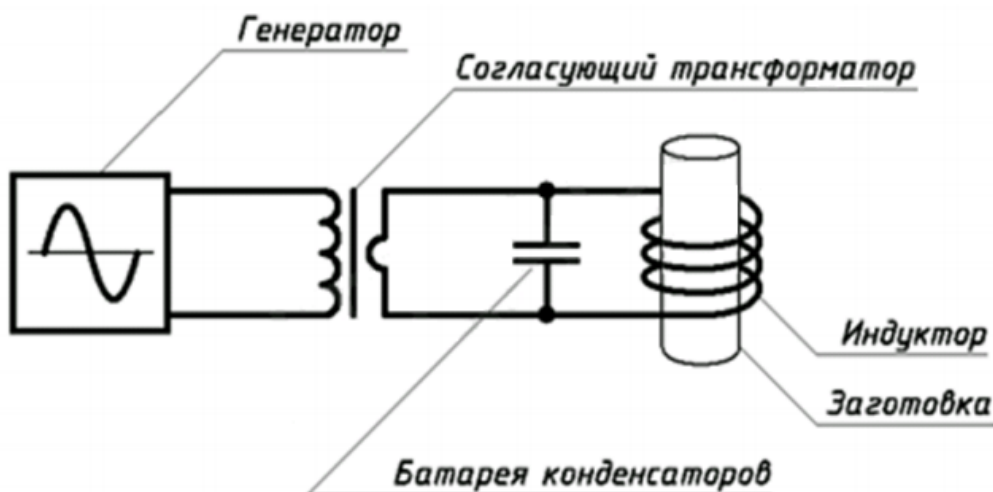


Рисунок 1. Общая схема индукционного нагревателя

Индукционный нагрев проводится следующим образом. Электропроводящая заготовка помещается в индуктор, представляющий собой один или несколько витков провода или трубок (чаще всего из меди). В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи различной частоты (от 50 Гц до десятков МГц), в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи. Вихревые токи разогревают заготовку под действием джоулева тепла. Тепло к заготовке подводится переменным магнитным полем, а не градиентом температуры, как при непрямых нагревах, и возникает прямо в заготовке.

Система «индуктор-заготовка» представляет собой бессердечниковый трансформатор, в котором индуктор является первичной обмоткой. Заготовка является как бы вторичной обмоткой, замкнутой накоротко. Магнитный поток