

**Обзор технологии WAAM (wire arc metal print)**

Студенты группы 10403120

Дасько В.А., Казакевич М.В.

Научный руководитель Гольцова М.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одной из главных целей любого производства является снижение трудоемкости и себестоимости продукции. С начала 2000-х годов в промышленность внедряются аддитивные технологии [1-3]. Аддитивные технологии позволяют производить мелкосерийные изделия гораздо дешевле, чем при применении классических технологий обработки материалов. Это достигается за счет укорачивания производственных цепочек, уменьшения участия рабочего персонала и полной автоматизации разработки документации.

В современном аддитивном производстве выделяют 2 основные группы 3d принтеров.

*Bed disposition* - в данной группе 3d принтеров послойное выращивание изделия осуществляется неподвижным источником энергии. К этой группе можно отнести фотополимерные SLA принтеры, а также порошковые SLS принтеры.

*Direct disposition* - для данной группы характерно совмещение как источника материала, так и источника энергии в одной наплавочной головке, которая перемещается. Основные представители это полимерные FDM принтеры, а также LENS принтеры, применяющие лазерную наплавку порошков.

Начиная с 2010-х годов в производство начали внедряться 3d принтеры, использующие в качестве основного материала мелкодисперсные металлические порошки. При этой технологии производится послойная направка с помощью спекания или наплавки лазером. Основные преимущества таких принтеров: возможность автоматизированного производства деталей без участия человека, создание сложных изделий, получение которых с помощью литья или обработки резаньем было бы затруднительным, а также более дешевое производство штучных изделий. Однако основным недостатком таких принтеров является применение дорогих материалов и общая дороговизна оборудования. Решением может служить получение изделий с помощью механизированной наплавки в среде защитного газа.

Технология WAAM (weld arc additive manufacturing) является новой технологией 3d печати металлами. Принтеры, использующие эту технологию, представляют собой или сварочного робота или сварочную горелку, интегрированную в фрезерный станок с 3-5 степенями свободы (рис. 1).

В отличие от технологии LENS, где металл, наплавляемый на изделие, подается в виде порошка, в технологии WAAM используется цельная проволока. Механизированная наплавка является хорошо исследованной и позволяет использовать огромную номенклатуру электродной проволоки из таких металлов как: титан, алюминий, аустенитные стали, а также медные сплавы. Расплавление проволоки обеспечивает электрическая дуга и наплавленные валики укладываются слой за слоем. Наплавку можно осуществлять как с помощью непосредственной наплавки проволоки на изделие (MIG, MAG), так и с помощью холодного переноса металла на изделие (СМТ). Из преимуществ первого способа можно выделить простоту устройства наплавки (источник энергии, подающее устройство и горелка), а из недостатков можно выделить невысокое качество поверхностей как в плане шероховатости, так и в плане геометрических характеристик. Также ограничивающим фактором данной способа наплавки является то, что минимальная погонная энергия для получения качественной мелкозернистой структуры должна быть около 450 Дж/мм. Это ограничивает применение проволок малого диаметра, а следовательно толщина стенки получаемых изделий из сталей будет около 5-6 мм.

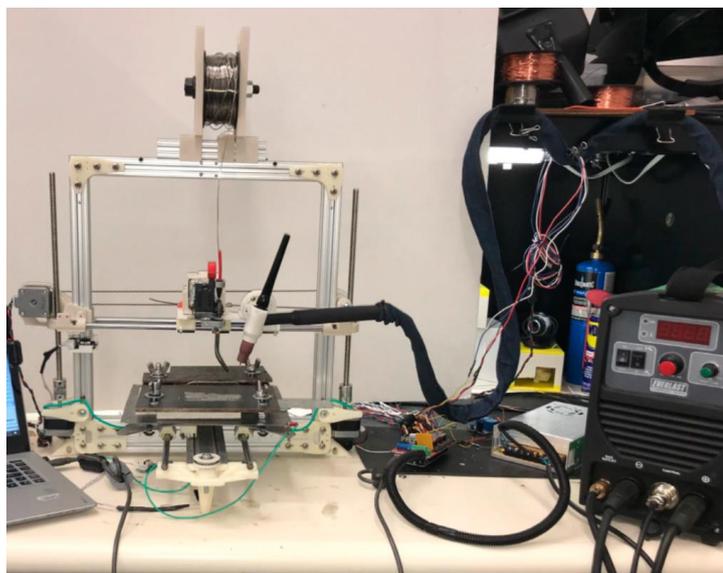


Рисунок 1 - Прототип 3D-принтера WAAM [1]

Более привлекательным способом наплавки является наплавка по технологии СМТ (cold metal transfer). При таком методе наплавки повышается эффективность за счет уменьшения тепловложения уже на наплавленные валики, а следовательно, снижается количество подходов и улучшается состояние поверхности. В ряде случаев полученные по данной технологии изделия или требуют ограниченной постобработки, или не требуют вовсе. Изделия, полученные с помощью СМТ имеют минимальную толщину 3-4 мм и это позволяет получать изделия, которые трудно или невозможно получить с помощью обработки резаньем, давлением или литьем. Такие изделия можно проектировать на компьютере и изменять первичную конструкцию в угоду улучшения характеристик изделия, а также получение монолитного изделия (отказа от отдельных деталей в изделии). Такой метод проектирования называется топологической оптимизацией.

Для повышения рентабельности установки, принтер может оказывать услуги по восстановлению и ремонту деталей машин методом наплавки, а также производить сварочные работы.

Также немаловажным фактором получения качественного изделия является текущий контроль проведения наплавки. Он позволяет оперативно получать данные и производить расчеты по оптимизации режимов наплавки, а также регистрации дефектов изделия. Можно выделить 3 основных метода текущего контроля.

Оптический. Данный метод заключается в подсветке зоны наплавки ультрафиолетовым излучателем, фильтрацией полученного излучения с помощью полосового фильтра, пропускающего определенные определенный диапазон длин волн и записи полученного изображения с помощью цифровой камеры. Полученные изображения исследуются с помощью специализированной ЭВМ и далее адаптивный блок данной ЭВМ принимает решение о изменении одного или нескольких параметров.

Акустический. При этом приеме исследуются возникающие в зоне сварочной ванны, а также в зоне остывания акустические сигналы, получаемые с помощью широкополосных акустических преобразователей. Регистрируется время прихода сигналов акустической эмиссии на преобразователь, вычисляются координаты источников акустических сигналов. Далее строят картину локализаций в зоне сварки и остывания, после анализа которой можно судить о качестве сварного шва и выявленных в нем дефектов.

Анализ изменения тока, напряжения и изменения характера подачи проволоки. При этом методе исследуются изменения основных характеристик наплавки и их отклонения от эталонных, включающих в себя: ток, напряжение дуги, скорость наплавки, скорость подачи проволоки и её вылет. На основании полученных характеристик и их отличия от заданных параметров, принимается решение об изменении одного или нескольких параметров.

К преимуществам технологии можно отнести:

- Издержки производства на 60% ниже.
- Скорость печати до 600 см<sup>3</sup>/ч.
- Большая номенклатура материалов.
- Меньшая стоимость проволоки относительно металлических порошков.
- Лучшие в сегменте механические свойства, отсутствие пористости.
- Возможность производить изделия до 2 м в длину, 1 м в ширину и 1 м в ширину.
- Самые большие габаритные размеры изделий в индустрии
- За счет применения электрической дуги отсутствует сложное оборудование, а также отсутствуют сложные требования для эксплуатации.
- Возможность применения топологической оптимизации.
- Возможность проводить работы по восстановлению деталей машин.

#### **Недостатки:**

- При повышении производительности ухудшается качество поверхности и геометрические характеристики изделия.
- Рентабельность только при штучном производстве сложных изделий малого или среднего размера. (характерно для всех 3d принтеров).
- При наплавке некоторых металлов возникает чешуйчатая поверхность.

Таким образом, в данном обзоре рассмотрены основные разновидности 3d принтеров и основные виды печати металлами. Из основных технологий печати металлов таких как LENS, SLS и WAAM, наиболее пригодной для производства по совокупности экономических, механических и технологических факторов является технология WAAM. 3d печать по данной технологии позволяет производить сложные детали с применением топологической оптимизации. Структура металла при больших погонных энергиях получается мелкозернистой, механические характеристики полученных изделий не уступает деталям полученным литьем или резаньем. Однако данная технология, как и другие технологии 3d печати, рентабельны только штучном производстве.

#### **Список использованных источников**

- 1.Технология 3DMP/WAAM // [Электронный ресурс] ([https://www.ddmlab.ru/technology/waam\\_technology/](https://www.ddmlab.ru/technology/waam_technology/)) .— Дата доступа: 19.11.2022.
2. ИНЖЕНЕРЫ СОЗДАЮТ ПОРТАЛЬНЫЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ 3D-ПРИНТЕР WAAM С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ// [Электронный ресурс] (<https://3dprintingindustry.com/news/engineers-build-open-source-gantry-mounted-waam-metal-3d-printer-for-just-1000-201830/>) — Дата доступа: 19.11.2022.