



ПРОВОЛОКА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ИННОВАЦИИ И ТРАДИЦИИ В ОДНОМ ПРОДУКТЕ

Д. С. Трубащевский, директор по продажам ООО "Современное оборудование"

О сколько нам открытий чудных
Готовят просвещения дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель...

А.С.Пушкин

Для начала представьте себе доступную аддитивную технологию, работающую с металлами и обладающую следующими основными качествами:

- издержки производства на 60% меньше;
- коэффициент использованного материала, находящийся в пределах 1,4-2;
- скорость 3D печати до 600 см³/ч;
- более 100 доступных материалов;
- стоимость материалов в 10 раз дешевле металлопорошков;
- длина изготавливаемых деталей до 1,6 м в компоновке фрезерного станка (технологически этот предел будет преодолен в ближайшее время);
- лучшие в отрасли механические свойства конечных изделий (отсутствие пористости и термических трещин, дендритовая структура);
- мультиматериальная печать;
- отсутствие специальных требований по безопасности.

"Это невозможно", - скажут почитатели зрелых металлопорошковых аддитивных технологий.

"Это невозможно", - присоединятся к ним сторонники классических и проверенных многими десятилетиями технологий.

Эффективность любого производства определяется в первую очередь затратами на изготовление продукции. Именно поэтому независимо от текущих трендов, моды, хайп-кривых и впечатляющих бизнес-кейсов рачительный собственник предприятия использует наиболее экономичные и, как правило, традиционные технологии, но лишь немногие готовы "рискнуть" и взять на вооружение инновационные методы производства, инвестировать в новое поколение квалифицированных кадров, пройти сертификацию и зачастую долгий путь освое-

ния новых технологий для получения результата как на рекламной картинке...

Но не всегда приходится доказывать преимущества аддитивных технологий в процессе долгих переговоров или сподвигнуть заказчика на неохотное и осторожное сравнение с длительностью привычного технологического процесса, а также анализ общей стоимости затрат по всем, участвующим в производстве, переделам. Уже сейчас в мире имеются и появляются игроки, которые ставят жирную точку в дебатах эффективности применения традиций и инноваций. Знакомьтесь, инновационная аддитивная технология осаждения/наплавки металлической проволоки методом дуговой сварки в защитных газах 3DMP (3D Metal Print) [1]. За основу данной технологии принят метод популярной дуговой сварки gas metal arc welding (GMA welding, GMAW), активно применяемый как в России, так и за рубежом. GMAW, в свою очередь, представлена такими популярными процессами сварки, осуществляемыми как в среде атмосферы инертного газа (metal inert gas, MIG), так и в атмосфере активного газа (metal active gas, MAG). Хотя всем известно, что MIG/MAG сварка может быть ручной, полу- или автоматической, здесь мы поговорим о полностью автоматизированном решении, поскольку только такое оборудование может называться аддитивным, так как использует в своей работе массивы CAD/CAM данных для цифрового производства.

3DMP-технология компании GEFERTEC GmbH (Берлин, Германия) работает с обычной сварочной проволокой из различных сталей и сплавов. Сварочная проволока представлена широчайшим ассортиментом и уже давно используется для MIG/MAG процессов, причем ее производство во многих странах, включая Россию, также локализовано и стандартизировано.

GEFERTEC GmbH создана в январе 2015 года и является частью крупнейшей Scansonic Group. Всего через два года от начала инвестирования GEFERTEC GmbH продемонстрировала небывалый успех, благодаря революционному подходу, меняющему взгляд на аддитивные технологии. Компания активно развивается и уже представила три модели доступных по цене промышленных 3D принтера в трех- и пяти осевом исполнении.

3DMP-техпроцесс начинается с подготовки CAD данных в используемой предприятием САПР, передачи геометрии модели в проприетарное САМ программное обеспечение 3DMP-Software для создания управляющей программы (рис.1). Далее в соответствии с G-кодами управляющей программы происходит автоматизированное движение блока с горелкой и одновременной подачей проволоки, расплавляющей проволоку выделяемым дугой теплом. Как уже было сказано, наплавка происходит в среде инертного/активного газа, а зачастую в многокомпонентных газовых смесях в зависимости от типа наплавляемого материала: аргона, аргоно-гелиевой смеси, смеси на основе

аргона и двуокиси углерода и некоторых других. Защитный газ изолирует расплавленный металл от газов в воздухе, препятствуя их отрицательному воздействию, а также обеспечивает необходимые свойства каждому навариваемому слою. Помимо этого, благодаря правильно подобранной газовой смеси, добиваются устойчивости дуги, улучшения формы слоя, уменьшения разбрызгивания навариваемого металла.

После того как заготовка получена (зачищать слои, удалять флюс или шлак не требуется), производится измерение отклонений для фактического сравнения с геометрией исходной детали для получения точного значения припуска. Эта процедура необходима для осуществления последующей механообработки (для получения чистой поверхности и размеров, заданных чертежом) на этом же оборудовании при наличии фрезерного модуля (поставляется опционально) или на отдельном станке. На практике, величина припуска лежит в пределах 1-3 мм в зависимости от используемого металла, диаметра проволоки, и размера получаемой заготовки, что соответствует 7-10 классу точности отливок.

Особенно должно порадовать промышленников использование широкого ряда материалов в виде стандартизированной и локализованной сварочной проволоки прямо из "коробки" (для "проблемных" материалов проволока может быть покрыта флюсом): алюминий, низколегированные, нелегированные и легированные стали, нержавеющие стали, титан и его сплавы, никелевые и медные сплавы и другие. В готовом же изделии налицо изотропная структура материала и практически полное отсутствие пористости, а микроструктура металла после наплавки близка к структуре "сырого".

Поскольку компания GEFERTEC GmbH в основном ориентируется на машиностроительную отрасль со средними размерными и крупногабаритными деталями, то, используя установки серии GTarc (рис.2), можно печатать изделия начи-

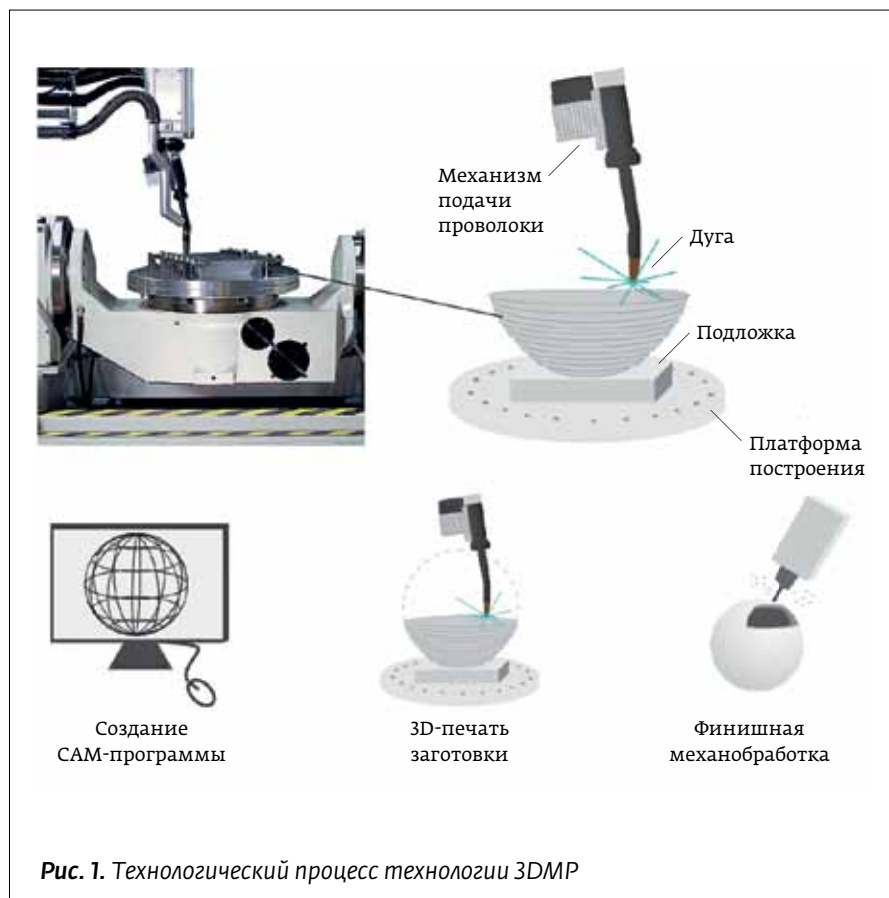


Рис. 1. Технологический процесс технологии 3DMP



Рис. 2. Общий вид 5-осевой установки GTarc800-5

ная от 100 мм по любому габаритному размеру и заканчивая общим объемом 3 м³ с производительностью процесса до 600 см³/ч!

Сокращение производственных затрат на предприятии при использовании 3DMP-технологии в сравнении с традиционной технологией и рядом порошковых технологий может достигать 60-70%. Так, отпадает необходимость в получении и хранении заготовок, использовании порошка и его подготовки, поддержании вакуума или защитной атмосферы во всей рабочей зоне, механообработки

полного цикла из объемной заготовки (фрезерная/токарная, сверление отверстий, нарезание резьбы), использовании большого количества инструмента и оснастки, утилизации стружки, отжига/снятия напряжений, горячего изостатического прессования (ГИП) и других, влияющих на сроки и стоимость технологических операциях. В качестве примера эффективности использования 3DMP-технологии на производстве покажем изготовление шейки вала из коррозионно-стойкой жаропрочной стали марки 12X18H9 (рис.3, 4) двумя методами: 1 - полностью фрезеруя заготовку формы прямоугольного параллелепипеда, 2 - печатая заготовку с минимальным припуском для осуществления последующей фрезерной обработки.

Несложно представить затраты для получения подобного изделия при традиционном производстве фрезерованием цельной заготовки из титана (сырье, дорогостоящий инструмент, стружка, время работы оборудования, зарплата оператора и т.п.).

Давайте попробуем проанализировать, для каких задач наиболее предпочтительно использовать ту или иную популярную аддитивную технологию по металлам (рис.5). Для получения изделий высокой сложности и относительно высокой точности следует отдавать предпочтение SLM/EBM. На данный момент эти технологии досконально изучены, запущены процессы по сертификации, паспортизации материалов, имеют целую армию подражателей во многих странах мира. Качество напечатанных изделий пока является лучшим в отрасли и соответствует точному литью. Более того, эти технологии как нельзя лучше подходят для воплощения идей бионического дизайна, проектирования "по потокам сил". Наибольшее применение



Рис. 3. Изготовление шейки вала по традиционной технологии



Рис. 4. Изготовление шейки вала по аддитивной 3DMP-технологии

ных деталей для машиностроения и ТОиР. Высокая скорость построения, высокое металлургическое качество изделий, но менее качественная проработка конструктивных элементов дистанцируют эту технологию от SLM/EBM, а при правильной организации производства – дополняют их возможности.

Порошковые аддитивные технологии SLM/EBM/DED требуют высоких капитальных и материальных затрат. Высокая стоимость оборудования и низкая скорость

эти технологии сейчас находят в авиастроении, для изготовления деталей двигателей, в медицине и стоматологии для индивидуальных протезов и имплантатов, для создания формообразующих элементов пресс-форм, штампов [2].

Технология газопорошковой наплавки LMD/DED относительно нова, однако она хорошо зарекомендовала себя для изготовления средне- и крупногабарит-

сплавления даже с применением нескольких энергетических источников приводят к высокой стоимости нормочаса. В итоге порошковый синтез будет всегда дороже традиционной механообработки. Если же мы для получения сравнительной оценки добавим стоимость сырья, которая при использовании сварочной проволоки на порядок дешевле порошка, то

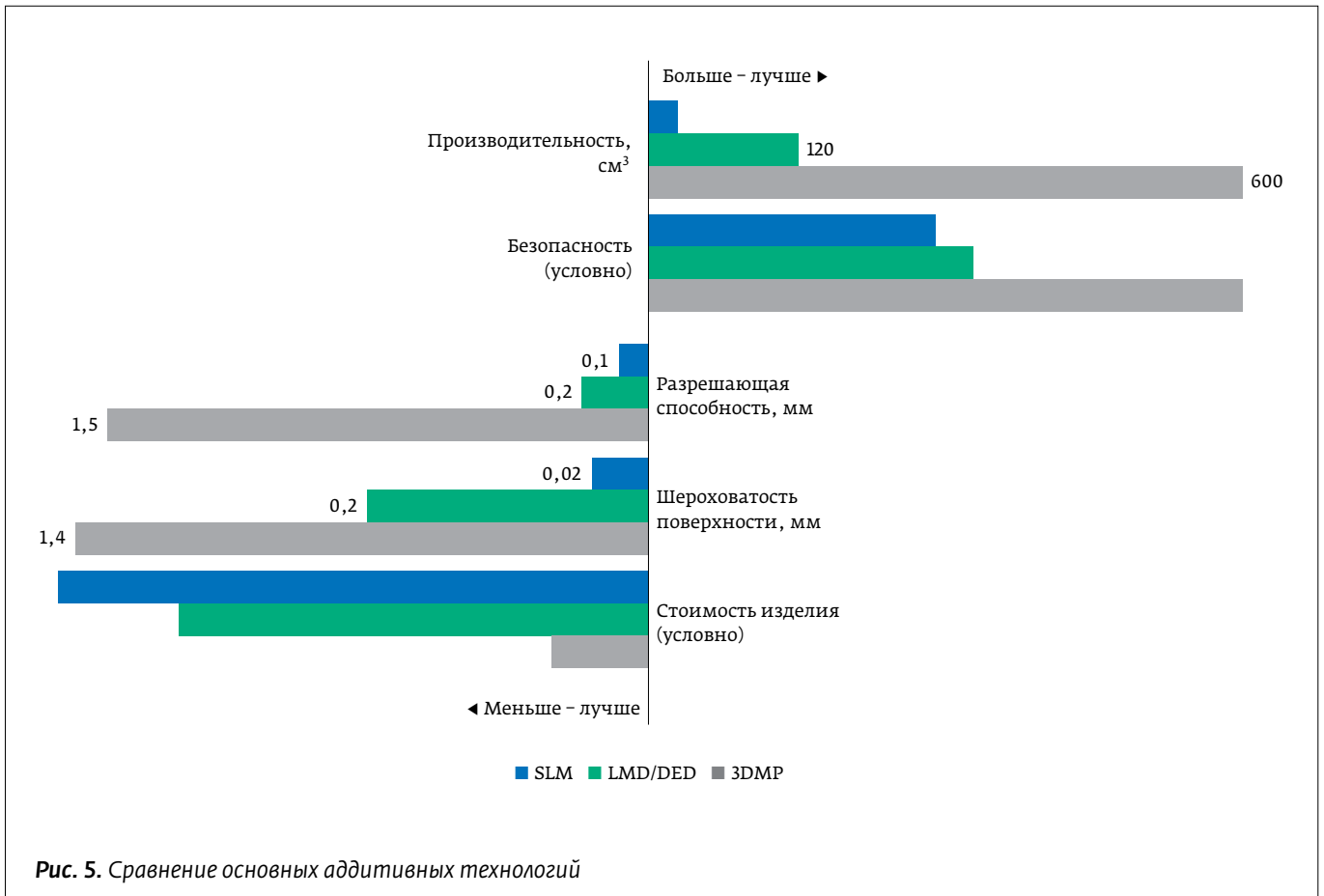


Рис. 5. Сравнение основных аддитивных технологий



разница будет еще более значительной. 3DMP-технология в противовес может использоваться в целях сокращения стоимости материала, затрат и времени выполнения заказа.

Безусловно, как и любая другая, 3DMP-технология не лишена недостатков и может быть применена в определенном сегменте работ. Обычно, это достаточно крупные изделия: нервюры, лонжероны, кронштейны, баки для транспортировки жидкостей и газов, элементы газотурбинных двигателей. Если после технологий SLM/EBM/DED выполняется механическая обработка выборочных мест изделий, то после 3DMP фрезерная обработка обязательна практически для всех поверхностей напечатанного изделия.

Не лишним будет отметить, что применение программных средств для генеративного дизайна (топологической/весовой оптимизации) выводит практически любую аддитивную технологию из "аутсайдеров" (по мнению некоторых недалководидных промышленников) в безоговорочные лидеры. Другими словами, проектирование изделия с новым инженерным мышлением дает фору "традиционщикам" при экономическом обосновании приобретения 3D принтера. Ведь полный пересмотр узла (сборочной единицы) с целью упрощения, объединения деталей, топологической оптимизации дает возможность только аддитивным технологиям справиться с задачей такого производства. Это свойство применимо и к 3DMP-технологии, где предлагается вдобавок возможность мультиматериальной печати из двух или нескольких свариваемых между собой материалов за один технологический цикл.

С помощью технологии наплавки металлической проволоки впервые в аддитивной отрасли стало возможным одновременно:

- снизить инвестиции в основное и вспомогательное оборудование (более чем на 50% по сравнению с близкими технологическими решениями);
- отказаться от поддерживающих структур, правильное формирование которых для SLM/EBM технологий компьютерными алгоритмами (в виде прямых, ветвящихся, древовидных, стеночных, объемных, комбинированных) зависит от опыта и искусства оператора;
- получить коэффициент использованного материала (buy to fly ratio, BTF) равный 1,4-2, что с большим уважением было встречено

ведущими авиакосмическими мировыми агентствами;

- выполнять высокоскоростную 3D-печать, измеряемую сотнями см³/ч или несколькими кг/ч;
- обеспечить высокую безопасность работ и обслуживания оборудования, когда, в отличие от порошковых технологий, не требуются повышенные требования к системе фильтрации, экипировки рабочего персонала, обслуживанию и хранению металлопорошковых композиций;
- иметь потенциально неограниченную (расширяемую при помощи новой модификации 3D принтера или использования одного или нескольких роботов) рабочую зону;
- получать изделия максимально возможной плотности без необходимости ГИП.

Сейчас мы переживаем эпоху развития аддитивных технологий, разработчики которых прикладывают все усилия чтобы занять место в локомотиве промышленной цифровизации (Индустрии 4.0), несущегося на всех парах к локациям "Фабрик будущего". Эти "Фабрики" будут безжалостны к слабым и неэффективным членам "аддитивного прайда". И подобно львиному прайду, среди аддитивных технологий должны остаться лучшие (несколько десятков) со сменой альфа-технологий каждые несколько лет. На наш взгляд, лидерство пластмасс, металла, керамики, композитов, пескобетона в аддитивном секторе стоит на пороге перемен [3], например, чего стоит потенциал новых разработок Evolve Additive Solutions, HP, Carbon3D, AddUp, EOS, MX3D, GE, XJet, 3D Systems, Desktop Metal, BeAM, Анизопринт, Stratasys, Apis Cor. 3DMP-технология имеет все шансы занять почетное место в "прайде", как наиболее экономичный аддитивный метод для производства металлических заготовок простой и средней сложности.

Компания "Современное оборудование", являясь авторизованным дилером GEFERTEC GmbH на территории России и Республики Беларусь, готова помочь предприятиям в интеграции передовых аддитивных, управленческих и информационных технологий для обеспечения производства конкурентоспособной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

- URL [<http://www.gefertec.de/en>].
- URL [<http://www.norsktitanium.com>].
- URL [<http://www.materialise.com>].



НАВИГАЦИОННАЯ КАМЕРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРИВЯЗКИ ДАННЫХ ДЗЗ

Кадровая навигационная камера (НК), разрабатываемая в ИКИ РАН, позволит определять положение КА и осуществлять геопривязку кадров НК и другой съемочной аппаратуры (СА) на борту КА с точностью до ~10 м (1 σ). При этом нет необходимости использовать навигационные системы Глонасс / GPS – достаточно априорного целеуказания с точностью ~10 км. Кроме того, данный метод позволяет компенсировать систематические ошибки привязки систем координат НК, СА и звездных датчиков.

В качестве фотоприемного устройства НК предполагается использовать крупноформатные КМОП-матрицы CMV20000 размером 5120 × 3840 пикселей. В этом случае при использовании объектива с фокусным расстоянием 125 мм НК с высоты 500 км обеспечит разрешение 26 м при захвате 100 × 130 км. Минимальным вариантом НК является однозональная камера ближнего ИК-диапазона (0,8–0,9 мкм),

в котором достигается наибольший контраст вода-суша и потому наилучшим образом распознаются ориентиры, связанные с водными объектами (реки, озера, особенности береговой линии морей и океанов). Оптимальным вариантом является двухканальная НК или две одноканальные НК – одна, работающая в ближнем ИК-диапазоне, а вторая в RGB-зонах, которые лучше подходят для распознавания объектов суши и облаков.

Определение положения КА и геопривязка кадров НК осуществляется по контрольным точкам, априорно привязанным к карте. Привязка изображений СА к кадрам НК может осуществляться как по результатам взаимной калибровки систем координат СА и НК, так и по корреляции изображений СА и НК с использованием "относительных" ориентиров, хорошо распознаваемых на изображениях СА и НК, но априорно не привязанных к карте.

Достоинством кадровой НК является "жесткая" геометрия изображения в пределах кадра и вследствие этого – возможность его геопривязки по небольшому количеству контрольных точек. Вместе с тем, относительно широкая полоса захвата НК обеспечивает попадание в кадр КТ значительно большего числа КТ.

Данная методика иллюстрируется на примере использования изображения Landsat с разрешением 30 м для геопривязки изображения г. Сохаг, которое было получено съемочной системой "Геотон" на КА "Ресурс-П" с разрешением около 2 м. Точность геопривязки изображений "Геотон" составила около 15 м. В перспективе для повышения точности геопривязки изображений НК и СА предполагается повысить разрешение НК до ~12 м при сохранении полосы обзора 100 × 130 км путем использования в качестве ФПУ КМОП-матрицы CMV50000 и увеличения фокусного расстояния объектива до 180 мм.

[ofo.ikiweb.ru / razrabotki](http://ofo.ikiweb.ru/razrabotki)