



SLM SOLUTIONS.

ИСТОРИЯ ОДНОЙ ИННОВАЦИИ



Немецкая компания SLM Solutions – один из пионеров в области оборудования для SLM-технологий. Компания является ведущим поставщиком промышленного оборудования для аддитивного производства на основе металлического порошка. Штаб-квартира SLM Solutions находится в городе Любеке в Германии. На территории России компанию SLM Solutions представляет компания ООО СЛМ СОЛЮШЕНС РУС. Наш собеседник – Региональный менеджер по продажам в России/СНГ ООО СЛМ СОЛЮШЕНС РУС Виктор Рекимчук.

Виктор, компания SLM Solutions – ровесник аддитивным технологиям. Расскажите, пожалуйста, об истории ее создания.

Аддитивным технологиям, использующим в своей основе металлические порошки, всего лет 25. Методы, отражающие их суть, сильно различаются между собой, но и имеют много схожих черт. Более похожи между собой методы SLM (селективное лазерное плавление) и SLS (селективное лазерное спекание), и многие потенциальные потребители даже путают их. Если в SLS-технологии частицы порошка спекаются друг с другом и не расплавляются полностью, то в SLM-технологии происходит прямое плавление (это улучшает микроструктуру получаемого изделия). Базовая основа обоих методов – это разработки Института Лазерных Технологий Фраунгофера (Германия) и компании TRUMPF. Среди основателей SLM-технологии два доктора – Дитер Шворцер и Маттиас Фокель. Они запатентовали первые "ноу-хау" технологии в 1992 году. А компания TRUMPF продала лицензию на использование технологии "Powder Bed" – опуска-

ние платформы после каждого шага спекания одного слоя порошка под действием лазерного луча на глубину, равную высоте этого слоя.

История же самой инновации началась в 1996–1998 годах, и в 1998 году зрители впервые увидели печать деталей на основе металлических порошковых сплавов. Затем в 1992–2002 годы доктора Фокель и Шворцер развили эти технологии до промышленного применения и запатентовали более 30 изобретений. С тех пор началось развитие компании SLM Solutions GmbH, хотя этому предшествовала бурная история разделений и слияний. Еще в 70-е годы, когда первым основателем компании был Ханс Йохим Ихдэ, компания занималась совсем иным бизнесом. Но 2002-й год стал годом стремительного подъема. Аддитивные технологии испытали на себе взрыв интереса со стороны потребителей. В 2003 году появилось оборудование на основе волоконных лазеров, а в 2006 году была выпущена модель SLM 125 (125 мм – это был размер платформы). В этом же году впервые удалось произвести печать на основе титановых и алюминиевых сплавов. В 2007 году в производстве волоконных лазеров удалось достичь мощности 400 Вт, а это значит, что удалось прийти до плавления вещества и обеспечить возможность создания платформы большего размера. И в 2009 появилась первая

Топологическая
оптимизация
кронштейна



машина SLM 250. А сейчас, когда используются четыре волоконных лазера, компания выпустила машину для аддитивной печати металлических порошков SLM 500. Обратите внимание: инновация появилась в 1992 году, а индустриального применения она достигла только в 2002 году – 10 лет развития технологии.

В чем, на ваш взгляд, заключается причина поистине взрывного интереса к аддитивным технологиям со стороны потребителей и аналитиков развития рынка машино-, авиа- и автомобилестроения?

Я не буду оригинальным, если начну повторять слова аналитиков, которые засыпают потребителей со всех сторон: Интернет, газеты, ТВ, конференции, публичные доклады. Я буду говорить в доступной форме. Потому что когда общаешься с потенциальными клиентами, ты понимаешь, что у людей действительно мало доступа к информации. И информация в основном носит поверхностный, чисто познавательный характер. Часто они задают одни и те же вопросы.

Надо понять, что в реализации методов аддитивного производства должны плотно работать два человека – конструктор и технолог, и связь между ними должна быть неразрывной. Аддитивное производство имеет свои определенные правила и свои определенные возможности. Ключевая роль отводится конструкторско-технологической подготовке. К примеру, рассмотрим деталь, производимую с помощью механообрабатывающих станков с ЧПУ или с помощью технологии литья. Существуют этапы технологической цепочки, отраженные в технологической карте. И эти этапы нельзя приспособить под возможности аддитивного производства. Конструкция самой детали должна быть изменена под это 3D-производство. В принципе и сам материал должен быть создан конкретно для аддитивного производства, обеспечивать создание деталей для заданных приложений с предсказуемыми возможными свойствами. И тогда 3D-производство может дать инженеру-конструктору намного больше возможностей для создания детали такого же назна-

чения, но отвечающей современным требованиям – быть многофункциональной, иметь облегченную конструкцию, обладать поверхностью сложной формы, оптимальной с точки зрения разнообразных критериев, обеспечивать расчетную жесткость, прочность, устойчивость, прогнозируемую надежность.

Вам интересно мнение владельцев SLM-станков, которые уже на протяжении 5-6 лет используют в своем производстве наше оборудование? Они говорят, если клиент приходит к вам и говорит, напечатайте нам такую вот деталь, то это уже ошибка. Потому, что способ производства детали, конструкция которой выполнена по правилам совсем иной технологии, для клиента, использующего для ее создания 3D-оборудование, выйдет все равно дороже. Те производственные ограничения, которые накладывают на изготовление деталей технологии механической обработки или литья, устраняют возможности аддитивных технологий. Потому что это про-



SLM 125 Selective Laser Melting System



SLM 280 HL
Selective Laser
Melting System

стое прототипирование существующей детали, а аддитивная технология позволяет улучшить ту же деталь на 50-70%. Поэтому деталь нужно переконструировать под аддитивное производство, а не наоборот. Самое главное здесь в том, что пользователь оборудования может сам сделать

реинжиниринг. Возможно, для многих это покажется пустыми словами. К сожалению, многие потенциальные клиенты не понимают, что с помощью автоматизированного проектирования аддитивное производство позволяет облегчить деталь на 60-80% за счет применения материала. Если мы уменьшим вес кронштейна на 100-1000 грамм, то установка нескольких подобных кронштейнов в конструкцию спутника даст нам выигрыш в десятки килограммов веса, а это – возможность установки дополнительной научной аппаратуры на борту.

Почему основные задачи рассматриваются на примере деталей для авиации и космонавтики?

Потому что и авиаторы, и космонавты борются за вес. Существует такой параметр, который характеризует уровень производства, как "Buy-to-fly ratio". Это отношение массы материала, необходимого для изготовления детали, к массе конечной детали. Если традиционные механообрабатывающие технологии имеют отношение 15:1, то аддитивные технологии способны довести этот показатель до 1:1.

В авиационно-строительных компаниях, выпускающих Boeing, Airbus, производство деталей с помощью аддитивных технологий передано на аутсорсинг малым частным предприятиям. Это детали инте-



SLM 500 Selective
Laser Melting
System



рбера, ненагруженные детали, всевозможные кронштейны.

Топологическая оптимизация конструкции, бионический дизайн (Bionic Design) тоже очень важный конструкторско-технологический этап 3D-производства. Бионический дизайн позволяет проектировать детали и элементы конструкций легкими и в то же время прочными и жесткими. Рассмотрим для примера кость курицы – у нее тонкая стенка, а сломать ее очень трудно, потому что внутри нее имеются перегородки, иначе ребра жесткости. А теперь возьмем деталь газотурбинного двигателя, раньше она была цельнометаллическая. А теперь, изготовленная с помощью 3D-оборудования по моделям бионического дизайна, она полая, но имеет ребра жесткости. По механическим свойствам и по назначению деталь осталась прежней, но стала легче. Важно, чтобы люди понимали, что бионика очень важна – это уменьшение веса, а значит увеличение полезной нагрузки для коммерческих организаций. Затем вступают в действие возможности 3D-технологии, они позволяют выполнить детали сложной формы с необычными полостями, которые никаким другим способом сделать нельзя. Известная компания FIT AG делает коробки передач и головки двигателей для машин, участвующих в гонках "Формулы-1", это штучное уникальное производство. Компания FIT AG приобрела у SLM Solutions десять машин SLM-500 и заказала одиннадцатью. То есть 3D-технология позволяет расширить возможности именно проектирования.

Понятно, что если использовать титановые или алюминиевые сплавы, то можно уменьшить вес. Но это очень горючие материалы, потому и работа с ними очень сложна. Те детали, на исполнение которых раньше уходило 3-4 месяца, с 3D-технологией можно сделать быстрее.

Перед тем как печатать какую-либо деталь, ее изготовление программируется. Для того, чтобы ее быстрее напечатать, программист устанавливает шаг или толщину слоя насыпаемого порошка. Если деталь, к примеру, крупная, он устанавливает шаг в 50 мкм или даже 100 мкм

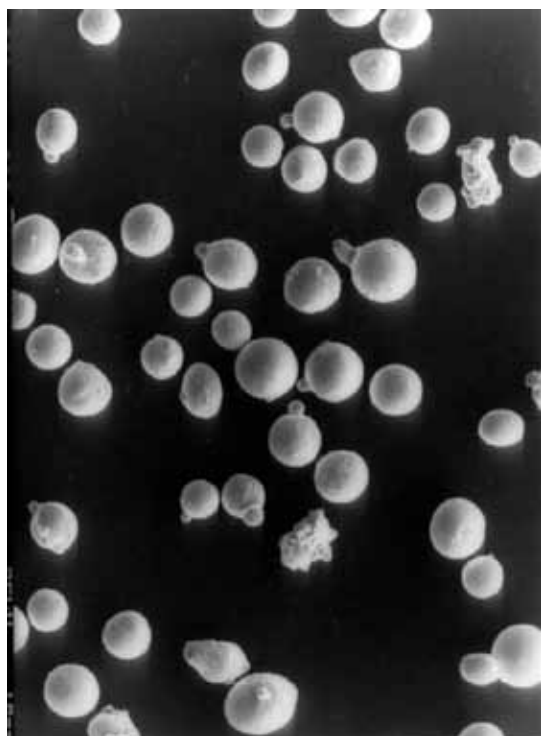
в зависимости от мощности лазера, а если деталь, наоборот, маленькая, то понятно, они делают толщину слоя 20-30 мкм. Если машина мультилазерная, то есть имеет 2 либо 4 лазера, то выбирается, сколько лазеров будет задействовано одновременно во время процесса печати. При этом важная роль отводится такому критерию, как пористость и плотность детали. Пористость материала детали, получаемой SLM-методом, очень важна, и она зависит от многих факторов, знание о которых дается только опытным путем. Если шаг большой, к примеру, 50 мкм, то появляется пористость, а если уменьшаем его до 20 мкм, то и пористость будет меньше. Все зависит от задач, часто в изделиях медицинского назначения, наоборот, требуется создать высокую пористость.

Вы могли бы назвать ключевых игроков на рынке оборудования селективного лазерного плавления?

Конечно это три немецких компании: SLM Solutions, EOS и ConceptLaser. Затем идет компания Arcam (Швеция). У всех четырех перечисленных компаний одинаковая схема работы, опускающаяся платформа установки печати:

SLM 500. Рабочая камера: замкнутый цикл подачи порошка; открытое программное обеспечение; многократное перекрытие и одновременно независимо работающие четыре лазера обеспечивают скорость построения детали 105 см³/ч



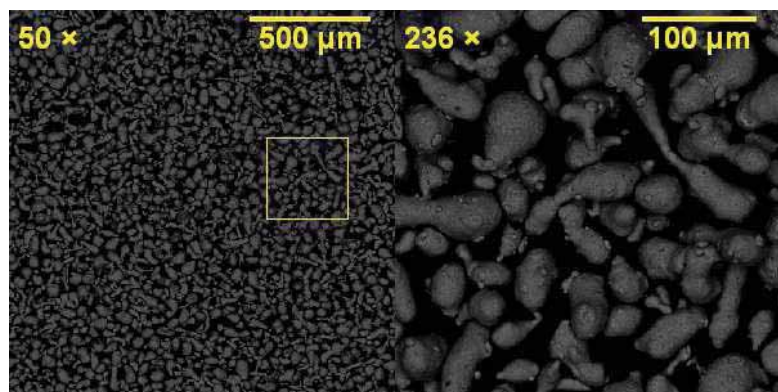


Сертифицированный
металлический
порошок

у первых трех производителей волоконные лазеры, но у шведской компании производитель энергии – электронно-лучевая трубка. Затем идут компании SLM-ReaLizer (Германия), Renishaw (Великобритания), 3D Systems Corporation (US), которая купила французскую компанию Phenix Systems. В принципе, это главные игроки на рынке. Применяемые лазеры многообразны. Но мы применяем только лазеры компании IRE-Polus.

Каждый год приносит столько всего нового в оборудование для аддитивного производства. Что является фирменным знаком компании SLM Solutions, выде-

Несертифициро-
ванный металличе-
ский порошок



ляющим ее на фоне других игроков этого рынка?

SLM позиционирует себя в первую очередь, как производитель промышленных 3D-принтеров, а различные промышленные направления ставят свои задачи: печатание деталей с большой скоростью, печатание деталей больших размеров, автоматизация всего цикла производства. Исходя из этих требований заказчиков, компания создала мультилазерные машины SLM 280 HL с двумя лазерами и машину SLM 500 HL, имеющую четыре лазера, работающих одновременно с технологией перекрытия. Наши машины имеют высокий ресурс работы. Судите сами: технология очень активна последние 6-8 лет, за это время от пользователей нашего оборудования еще не было ни одного нарекания при грамотном его использовании и своевременном сервисе, то есть ресурс оборудования еще не исчерпан. На самом деле на полную мощность лазера машины не работают, хотя потеря мощности, конечно, происходит, и это зависит от количества часов наработки, но эти потери незначительны.

SLM Solutions использует в своих машинах высоконадежные лазеры только одного производителя. Это лазеры компании IPC – IRE Polus – волоконные лазеры серии Yb-Fiber – Laser 400, 1000. Цифры соответствуют мощности излучения: 400 – это 400 Вт, 1000 – это 1 кВт. Волокно в лазерах кварцевое, легированное ионами иттербия. Длина волны излучения 1,07 мкм. Лазеры имеют высокую степень воспроизводимости распределения плотности мощности в сечении пучка.

Другое преимущество, которое выделяет компанию SLM Solutions, это открытая платформа программного обеспечения для проектирования. О чем это говорит? Это говорит о том, что пользователь оборудования при определенных знаниях может менять параметры системы по своему усмотрению. Конечно, в машине установлены параметры порошков, которые были разработаны компанией SLM Solutions. При этом мы гарантируем высокую плотность материала, низкую пористость, обещанную шероховатость. Мы обеспечиваем клиентов такими порошками. Потому что,



еще раз повторюсь, порошок должен быть создан именно для аддитивного производства. Это значит, он должен обладать определенными параметрами.

Как же SLM Solutions решает этот вопрос? Компания либо предоставляет порошки с существующими параметрами, либо клиент самостоятельно подбирает параметры для того материала, который ему необходим. При этом клиент сам может изменять установочные рабочие параметры в машине, потому что ПО открытое. Но если опытный клиент разрабатывает свои материалы под свои задачи, то он, подбирая свои порошки в соответствии с параметрами наших материалов, может использовать их в своем производстве. ПО позволяет ему внести такие изменения, а совет, как это сделать российским пользователям машин SLM Solutions, подскажут наши сотрудники – инженер по применению Галина Ермакова (она имеет трехлетний опыт работы на оборудовании SLM Solutions в университете Фраунгофера) и сервисный инженер Павел Ладнов.

Если неопытный пользователь будет работать с несертифицированными материалами, это обязательно приведет к негативным результатам.

Вы немецкая компания, в России свое производство. Как решается вопрос о сертификации порошков и гармонизации стандартов?

Вопрос сертификации материалов очень важен для аддитивных машин. В России решение такой задачи поручено научно-исследовательскому институту "ВИАМ" и подразделению "Наука и инновации", и это очень большая научная работа. Такие материалы, как титан, очень сложные. После того, как вы получили деталь, в ней образовалось внутреннее напряжение. Чтобы деталь стала деталью, она должна пройти термообработку, сейчас в авиастроении также используется горячее изостатическое прессование. И после этой обработки разработчики приступают к исследованию механических свойств материала, проверяют его плотность и пористость. Пористость зависит от самого материала, поэтому в компании SLM Solutions существует такая

опция, как отслеживание материала. Во-первых, нельзя смешивать материалы: если какая-то деталь выполняется на материале одного определенного производителя, то значит, весь процесс должен быть на материале от этого производителя. Во-вторых, если во время работы произошла остановка, то это тоже может повлиять на качество детали. В-третьих, порошок должен быть сухим, потому что из-за влажности возможно появление пор. Порошок должен быть просеян, потому что мелкие конгломераты, так называемые сателлиты, притягиваются к большим фракциям порошка, вследствие чего между ними образуется влага. Именно поэтому очень важно, чтобы помещение было специально подготовлено, и влажность не превышала 70%. Материал должен быть абсолютно подготовленным – просеян, быть сухим. Для нашей технологии очень важно понятие текучести порошка (текучесть в условиях гравитации). Порошок поступает сверху и скатывается сверху вниз, чисто за счет гравитации.

Можно ли говорить, что SLM-технология это продолжение древней порошковой металлургии?

Не нужно заблуждаться. Порошковая металлургия существует лет 50, а может и 30. Но она используется для напыле-

Коробка передач для автомобиля класса Формула 1: время изготовления 3 дня 10 часов 56 минут (производство компании FIT AG)





ния материалов на трубы для придания им, к примеру, антикоррозийных свойств. Материалы порошковой металлургии предназначены для увеличения срока службы этого изделия. Да, в ней используются порошки, но это совсем другие материалы.

Давайте предположим, что необходимо создать машину, использующую порошки двух разных размеров для создания иерархически организованных структур.

Есть кастомизированные машины с двумя различными порошками. Понимаете, спрос рождает предложения. У нас есть исследовательский отдел, в нем на данном этапе задействовано от 40 до 60 ученых. Территориально они не обязательно находятся на территориях производства SLM Solutions, но они выполняют исследования по заказу компании.

Ваши советы разработчикам отечественных аддитивных машин?

Разработчикам необходимо пройти длительный путь отладки этого производства. Любую машину в компании SLM Solutions собирают полторы недели, а затем месяца два отлаживают программное обеспечение – и вот это самое главное. На заре появления первого промышленного SLM-оборудования бывали проблемы с обслуживанием: многие не понимали, что

есть операции, которые позволительно выполнять только оператору этой машины, а есть другие операции, которые должен делать только сервисный инженер. Все, что касается глубоких юстировок самой оптической системы, фокусировки лазерного пучка, может производиться только представителем компании-производителя. И такие ошибочные попытки возникают и у отечественных разработчиков. Понятно, что компания не допускает подобных вещей.

У нас страна с богатыми инженерными талантами, но у нас еще не созданы те условия, при которых может произойти тот качественный скачок в создании отечественного подобного оборудования в силу ряда причин. Я верю, что через пару лет такое будет возможно.

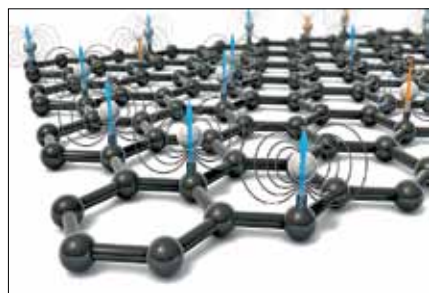
Хочу провести аналогию. Когда появился ансамбль "Битлз", все в нашей стране захотели играть как они. Но эффект был далек от того, что демонстрировал "Битлз". Поэтому вначале надо научиться играть, как "Битлз", а потом уже исполнять свои песни. Для начала надо научиться работать на том прекрасном аддитивном оборудовании, что создано, а потом создавать свое.

Благодарим за интересную беседу.

*С.В.Режимчуком беседовали
Н.Истомина и Л.Карякина*

МАГНЕТИЗМ ГИДРИРОВАННОГО ГРАФЕНА

Теория предсказывает, что адсорбированные на графене атомы водорода индуцируют



локальные магнитные моменты. В работе [González-Herrero H. et al. – Science, 2016, v.352, p.437] (Испания, Франция, Египет) это подтверждено экспериментально. Используя СТМ, авторы установили, что размеры области модуляции спиновой текстуры такими моментами состав-

◀ *Магнитные моменты, формирующиеся при адсорбции на графен атомарного водорода, сонаправлены (синий цвет), если находятся на одной подрешетке, и противоположно направлены (оранжевый цвет) – если на разных*

ляют несколько нанометров. В результате даже сравнительно далеко отстоящие друг от друга моменты взаимодействуют между собой – либо ферромагнитно, либо антиферромагнитно (см. рисунок) – в соответствии с расчетами в рамках теории функционала плотности. Ждет проверки и еще одно предсказание – ферромагнетизм графена выше комнатной температуры.

*Перст, 2016, т. 23, вып. 8,
по материалам заметки S.M.Hollen and J.A. Gupta.
Painting magnetism on a canvas of graphene. – Science,
2016, v.352, p. 415.*