

Печать металлопорошковыми композициями: возможности и перспективы применения в приборостроении

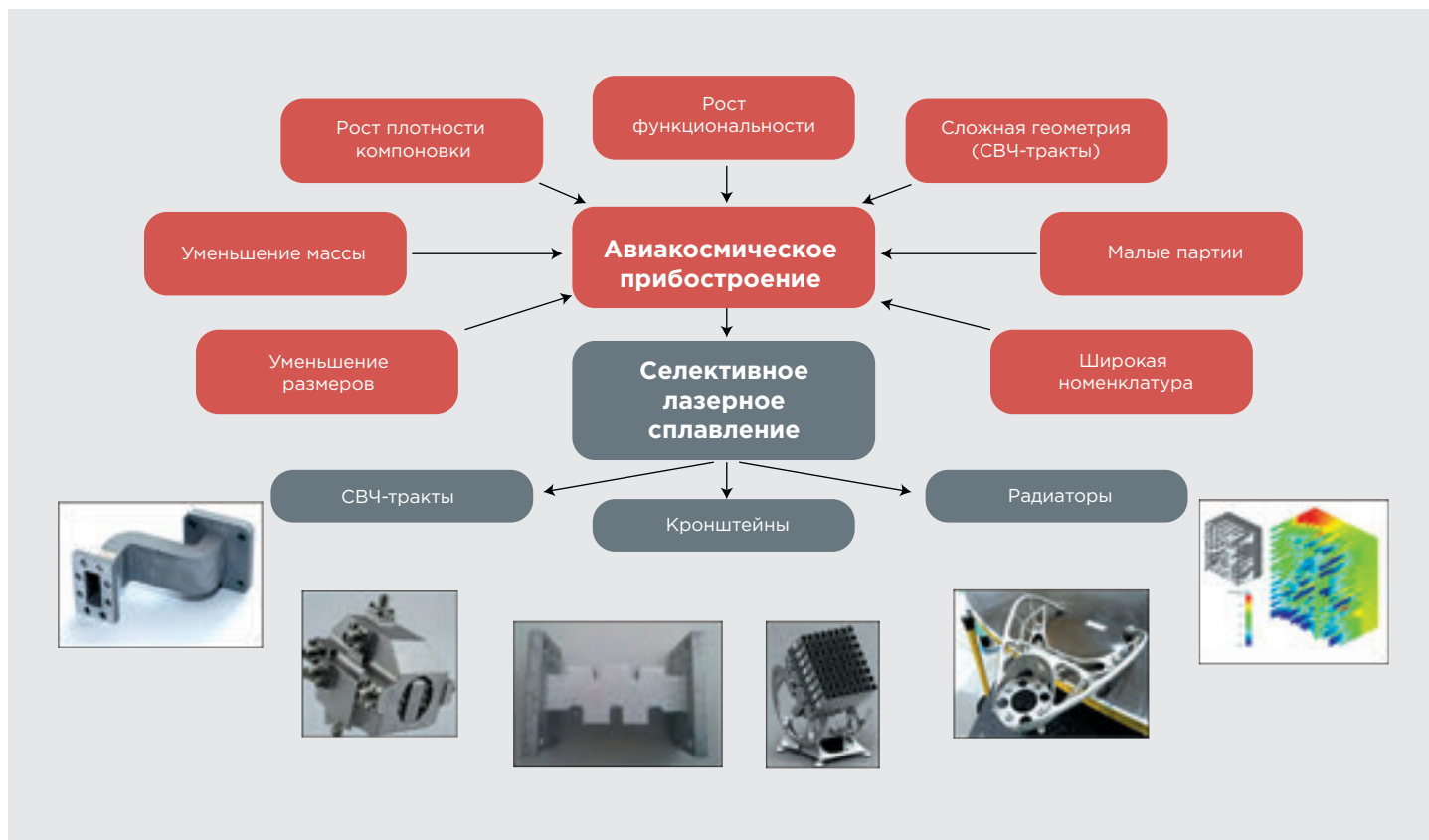


Текст: Антон Нисан

В статье «Цифровые технологии производства: печать металлопорошковыми композициями»¹ мы затронули преимущества, области применения и саму схему технологического процесса. В данной публикации будет рассмотрена применимость селективного лазерного сплавления в приборостроении. Анализ преимуществ технологии, включая гибкость и новые

возможности проектирования, снижение массы, уменьшение сроков разработки и выхода на рынок, с одной стороны, и тенденций развития приборостроительной отрасли, с другой, позволяет сделать вывод об актуальности использования 3D-печати металлами в авиакосмическом приборостроении (рис 1). Конечно, этим направлением не ограничиваются перспективы применения рассматриваемой технологии в приборостроении, но здесь, на наш взгляд, наиболее полно раскрываются возможности и преимущества технологии.

¹ Журнал «Вектор высоких технологий» № 5, 2017, стр. 30-41

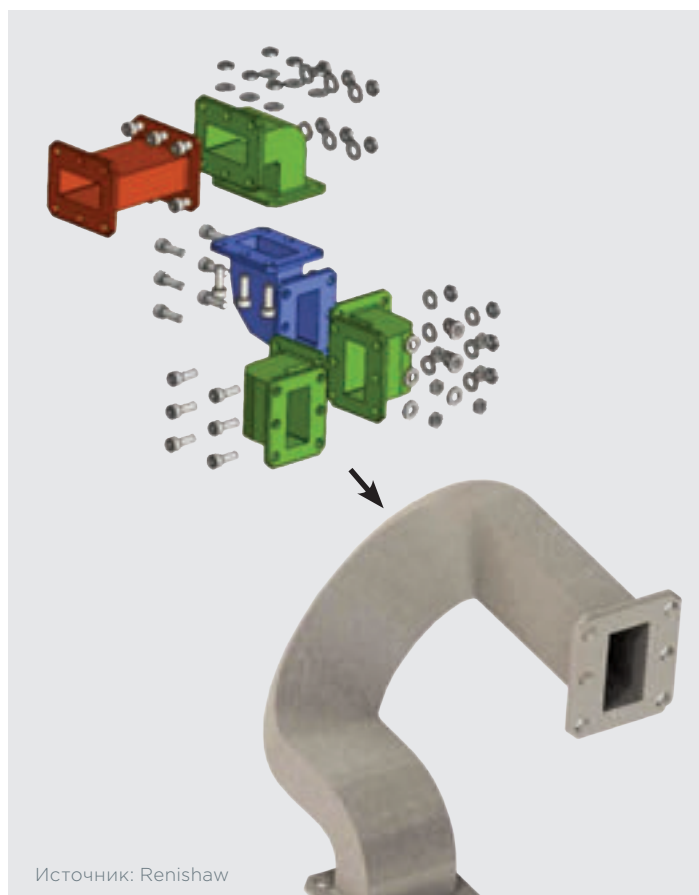


1 Возможные применения селективного лазерного сплавления в приборостроении

СВЧ-тракты

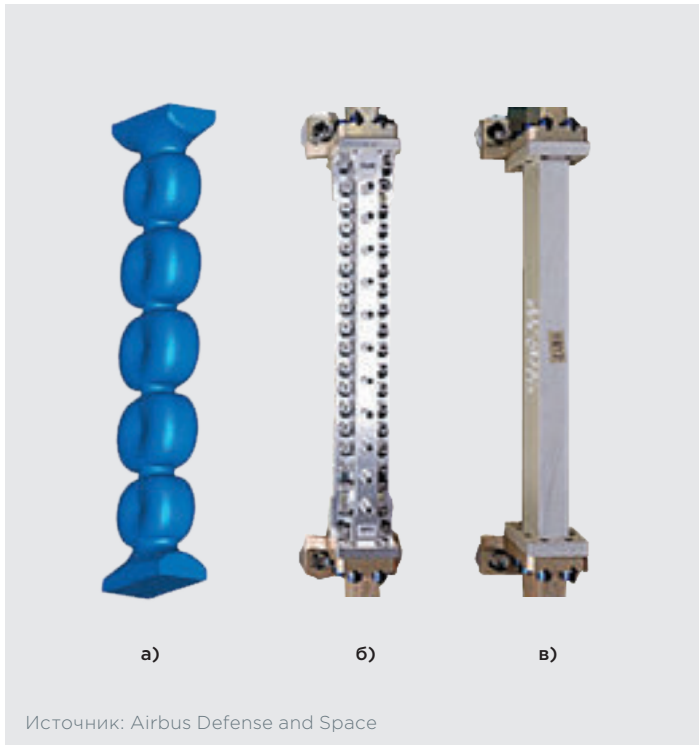
Волноводы. Переход на печать волноводов дает следующие преимущества по сравнению с традиционными технологиями: уменьшение количества соединений, уплотнений, крепежа, упрощение сборки, уменьшение массы, повышение надежности системы в целом (рис 2). Конечно, шероховатость поверхности канала (Ra) непосредственно после печати гораздо выше, чем при гальванопластике, и достигает двух-трех десятков микрон, но гидроабразивная обработка (прокачка) потоком суспензии под давлением позволяет снизить ее до значений менее 1 мкм².

Фильтры. В 2017 году компания Airbus Defense and Space закончила испытания, имитирующие условия запуска и работы на орбите, полосовых СВЧ-фильтров, разработанных для коммерческих телекоммуникационных спутников (рис 3). Если раньше внутренние полости таких фильтров изготавливались фрезерованием двух заготовок, которые затем соединялись многочисленными винтами, то селективное лазерное сплавление позволяет получить цельную деталь, устранив сборочные



2 Волновод сложной формы: а) модель сборочного узла, изготавливаемого традиционными технологиями, б) модель напечатанного волновода с аналогичной формой канала.

² Xuanping Wang, Shichong Li, Youzhi Fu, Hang Gao. Finishing of Additively Manufactured Metal Parts by Abrasive Flow Machining. Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference, 2016



Источник: Airbus Defense and Space

3

Полосовой фильтр, полоса пропускания 14,00-14,25 ГГц:

а) 3D-модель внутренней полости (канала) фильтра; фильтр, изготовленный фрезерованием (б), напечатанный фильтр (в)

T 1

Требования к фильтру. Источник: CNR-IEIT

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
Полоса пропускания, ГГц	12,5...15,0
Ослабление в полосе пропускания, дБ	$\leq 0,15$
Возвратные потери ($10 \lg P_{\text{пад}}/P_{\text{отр}}$), дБ	≥ 24
Полоса заграждения, ГГц	17,5...21,2
Ослабление в полосе заграждения, дБ	≥ 40
Габаритные размеры, мм	20 x 20 x 48
Масса, г	< 25
Материал	Al сплав

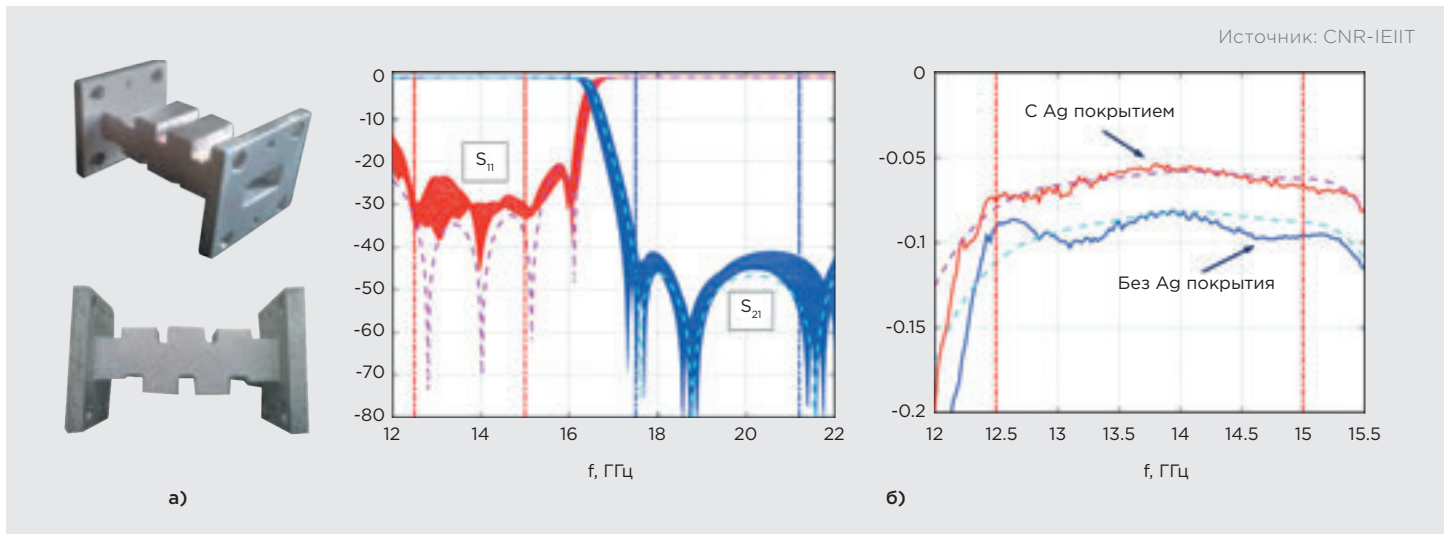
операции и уменьшая массу на 50 % до 60 г. Более того, сама форма полости напечатанных фильтров может быть ближе к оптимальной, разработанной при моделировании для обеспечения максимальной эффективности, и не достижимой механической обработкой, компенсируя бóльшую шероховатость поверхности аддитивных изделий. Так, ослабление в полосе пропускания приведенного в качестве примера фильтра не превышает 0,2 дБ при требуемом по ТЗ $\leq 0,35$ дБ.

Каков экономический эффект внедрения таких фильтров? Телекоммуникационный спутник типа Airbus D&S Eutelstat KA-SAT содержит около 500 фильтров. При стоимости вывода 1 кг груза на орбиту 20 000 € снижение стоимости вывода при уменьшении массы фильтров в два раза составит 600 000 €.

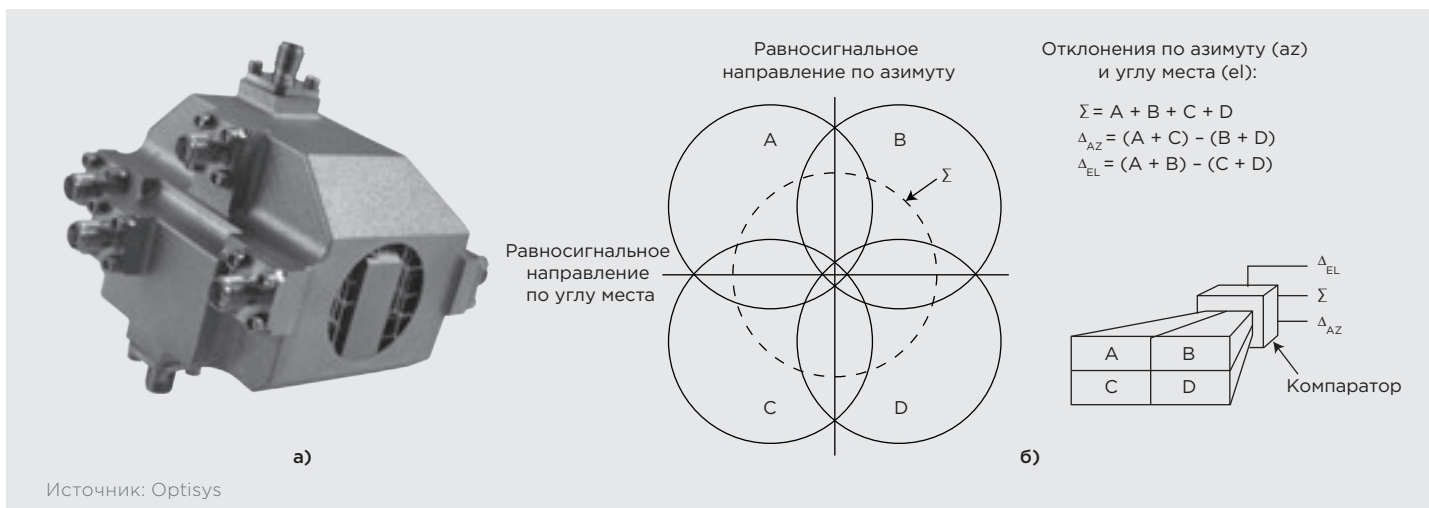
Для иллюстрации технических характеристик, которые достижимы для печатных фильтров, приведем технические требования к другому СВЧ-фильтру (T 1) и его фотографии и результаты измерения коэффициента отражения от входа и коэффициента передачи (рис 4).

Компараторы. СВЧ-компараторы широко распространены в радиолокационных системах для сравнения сигналов с приемных антенн для определения координат цели на основе вычисления отклонения цели от равносигнального направления. Как это работает? Зондирующий импульс отражается от цели и принимается несколькими антеннами: минимум двумя в азимутальной плоскости и двумя в угломестной (по углу возвышения), рис 5. При фазовом методе пеленгации, то есть при сравнении фаз принятых сигналов, антенны параллельны равносигнальному направлению и размещены таким образом, чтобы расстояние между центрами антенн было не больше диаметра каждой из них. При амплитудном методе пеленгации, когда сравниваются амплитуды принятых сигналов, антенны расположены не параллельно, а под небольшим углом к равносигнальному (центральному) направлению. Если разность принятых сигналов нулевая, то антенная решетка ориентирована в равносигнальном направлении, точно на цель. В противном случае по величине разности сигналов определяются углы отклонения цели от равносигнального направления по азимуту и углу места.

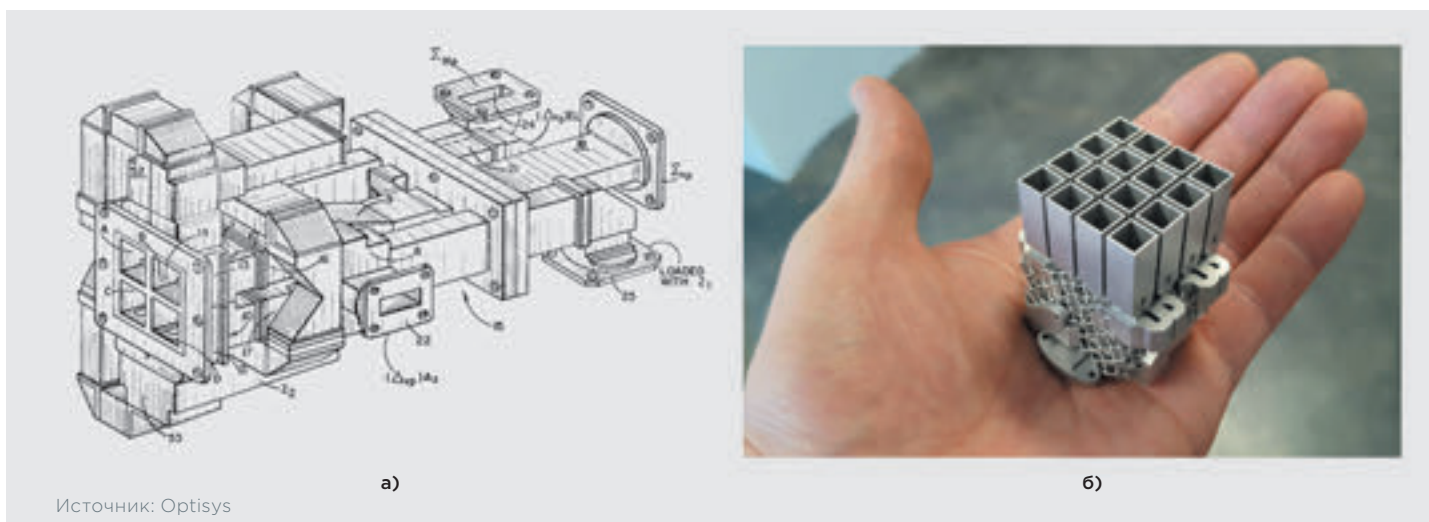
Подсистемы. При перепроектировании нескольких элементов СВЧ-трактов, объединенных в одну подсистему, преимущества селективного лазерного сплавления раскрываются еще полнее. Например, на рис 6а приведен эскиз антенной решетки Ка-диапазона 27,5-31,0 ГГц с компараторами и соединяющими их волноводами, ориентированный на изготовление по традиционными технологиями. Перепроектирование с учетом возможностей адди-



4 Фильтр с полоской пропускания 12,5-15,0 ГГц: а) фото, б) S-параметры: S11 – коэффициент отражения от входа, S21 – коэффициент передачи



5 Напечатанный компаратор (а), схема, поясняющая использование компаратора для определения направления на цель (б)



6 Антенная решетка Ка-диапазона с компараторами: изначальный эскиз сборной конструкции, изготавливаемой традиционными технологиями (а), цельная деталь, полученная селективным лазерным сплавлением (б)



Источник: Thales Alenia Space

7

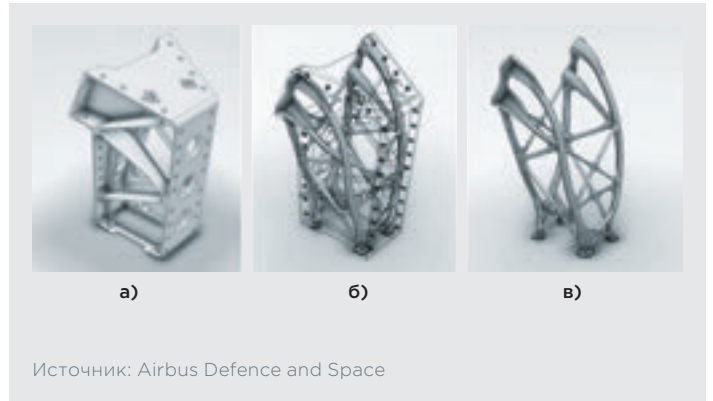
Кронштейн для монтажа антенны на спутнике. Ti6Al4V

тивных технологий позволило уменьшить количество деталей со 100 до одной, уменьшить массу в 20 раз до 40 г, а также сократить время от начала разработки до выпуска первой партии с 11 до 2 месяцев.

Кронштейны

Перепроектирование кронштейнов с применением бионического дизайна и сетчатых структур позволяет, с одной стороны, обеспечить необходимую прочность и жесткость конструкции, а с другой – существенно снизить массу и сократить сроки выполнения заказа. Например, напечатанный из сплава Ti6Al4V кронштейн для антенны геостационарного телекоммуникационного спутника (рис 7) на 25 % легче традиционного аналога, а время от размещения заказа до отгрузки уменьшено с 10 до 4-5 недель.

Другой пример – сертифицированный в 2015 году компанией Airbus Defence and Space кронштейн для антенны спутника Eurostar E3000. Если до перепроектирования кронштейн собирался из четырех деталей на 44 заклепки, то напечатанный кронштейн – это одна деталь, масса



а)

б)

в)

Источник: Airbus Defence and Space

8

Кронштейн из алюминиевого сплава для монтажа антенны на спутнике Eurostar E3000: а) изначальная модель, б) наложение изначальной и перепроектированной моделей, в) перепроектированная модель

которой на 35 % ниже, а жесткость – на 40 % выше, рис 8.

Радиаторы

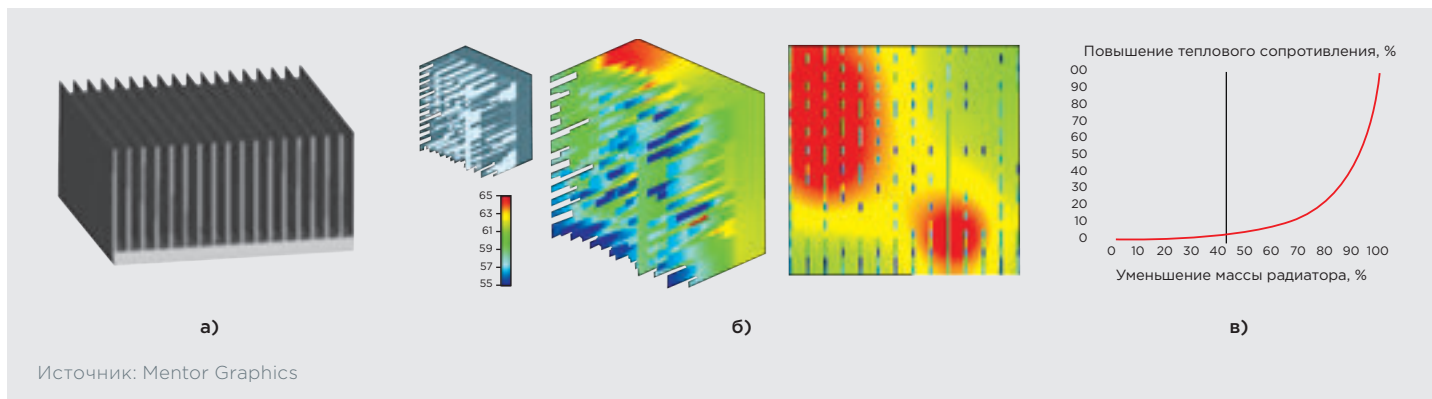
Как 3D-печать металлами позволяет повысить эффективность применения радиаторов? Во-первых, благодаря возможности изготовления компактных радиаторов с большой площадью поверхности (рис 9). Во-вторых, аддитивные технологии применимы для производства специализированных радиаторов, в которых материал распределен исходя из тепловой нагрузки (рис 10). Рассмотрим конструкцию, в которой пластинчатый радиатор (рис 10а) монтируется на компонент с двумя участками, активно выделяющими тепло, например, на двухкристалльный модуль. В этом случае ребра радиатора, расположенные не над кристаллами, особенно в «зеленой» зоне на рис. 10б, будут слабо участвовать в теплоотводе. И если сегментарно удалить фрагменты ребер из участков с низкой тепловой нагрузкой, то, согласно результатам теплового моделирования, можно уменьшить массу радиатора в два раза при незначительном повышении его теплового сопротивления: всего лишь на 5 %.



Источник: Mentor Graphics, Renishaw


9

Радиаторы с большой площадью поверхности в малом объеме



10

Пластинчатый радиатор (а), результаты теплового моделирования радиатора, в котором материал удален из участков с низкой тепловой нагрузкой (б), зависимость роста теплового сопротивления от уменьшения массы радиатора (в)

Рассмотренные примеры демонстрируют возможность и актуальность применения селективного лазерного сплавления в авиакосмическом приборостроении. Конечно, полноценное применение данной технологии требует перепроектирования изделия, если оно разработано под традиционные технологии. После перепроектирования потребуется изготовление и испытания опытных образцов, причем желательно из отечественных материалов. Поэтому в феврале 2018 года оборудование нашей лаборатории пополнилось установкой селективного лазерного сплавления Renishaw AM400 для отработки технологии печати на отечественных порошках и печати макетов и опытных образцов. Приглашаем вас к знакомству с 3D-печатью металлами на практике и внедрению технологии на ваших предприятиях. 



11

Установка селективного лазерного сплавления Renishaw AM400 в лаборатории ООО «Остек-СМТ»