DOI: 10.22184/1992-4178.2018.175.4.150.154

Печать металлопорошковыми композициями: возможности и перспективы применения в приборостроении

УДК 67.02 | ВАК 05.27.06

А. Нисан, к. т. н.[1]

3D-печать металлами посредством селективного лазерного сплавления – перспективная технология для изготовления различных изделий [1]. Среди основных ее достоинств – гибкость и новые возможности проектирования, снижение массы и материалоемкости, сокращение сроков разработки и выхода на рынок и др. Одна из областей, где наиболее полно раскрываются преимущества и возможности 3D-печати металлами – авиакосмическое приборостроение.

Варианты применения печати металлопорошковыми композициями в авиакосмическом приборостроении многообразны (рис. 1). Рассмотрим различные виды изделий, изготавливаемых по технологии селективного лазерного сплавления.

СВЧ-ТРАКТЫ

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

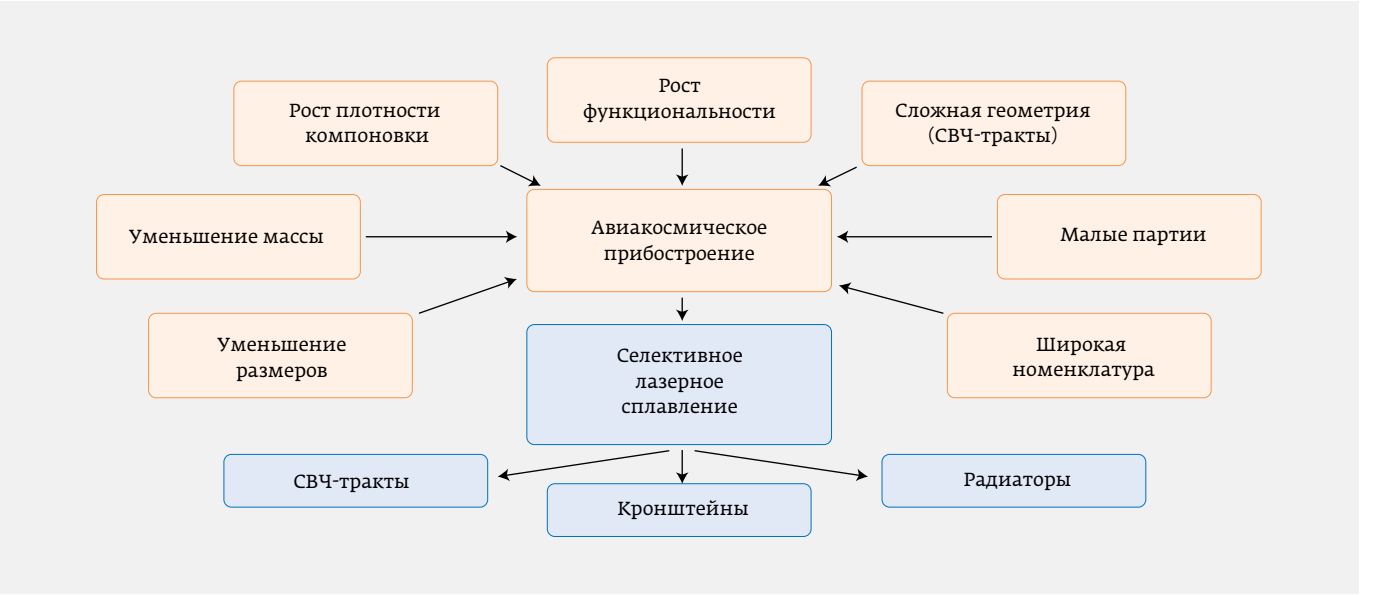


Рис. 1. Возможные варианты применения селективного лазерного сплавления в приборостроении

[1] ООО «Остек-СМТ», начальник отдела технической поддержки и разработки направления цифровых производственных технологий, 3d@ostec-group.ru.

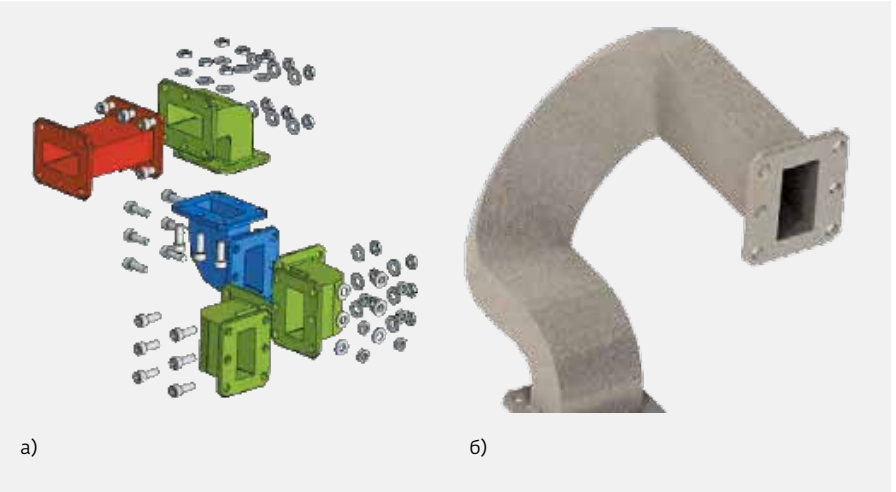


Рис. 2. Волновод сложной формы: а – модель сборочного узла, изготавливаемого на основе традиционных технологий, б – модель напечатанного волновода с аналогичной формой канала. *Источник: Renishaw*

Фильтры. В 2017 году компания Airbus Defense and Space закончила испытания, имитирующие условия запуска и применения на орбите полосовых СВЧ-фильтров, разработанных для коммерческих телекоммуникационных спутников (рис. 3). Если раньше внутренние полости таких фильтров изготавливались путем фрезерования двух заготовок, которые затем соединялись многочисленными винтами, то селективное лазерное сплавление позволяет получить цельную деталь, отказаться от сборочных операций и уменьшить массу на 50% – до 60 г. Более того, форма полости напечатанных фильтров может быть ближе к оптимальной, разработанной при моделировании для обеспечения максимальной эффективности, и недостижимой в случае механической обработки, при этом компенсируется бóльшая шероховатость поверхности аддитивных изделий. Так, ослабление в полосе пропускания* приведенного в качестве примера фильтра не превышает 0,2 дБ при требуемом по ТЗ ≤0,35 дБ.

Каков экономический эффект внедрения таких фильтров? Телекоммуникационный спутник типа Eutelsat KA-SAT, созданный компанией Airbus Defense and Space, содержит около 500 фильтров. При стоимости доставки 1 кг груза на орбиту 20 000 евро ее снижение при уменьшении массы фильтров в два раза составит 600 000 евро.

Для иллюстрации технических характеристик, которые достижимы для печатных фильтров, приведем технические требования к другому СВЧ-фильтру (см. таблицу), 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 при определении

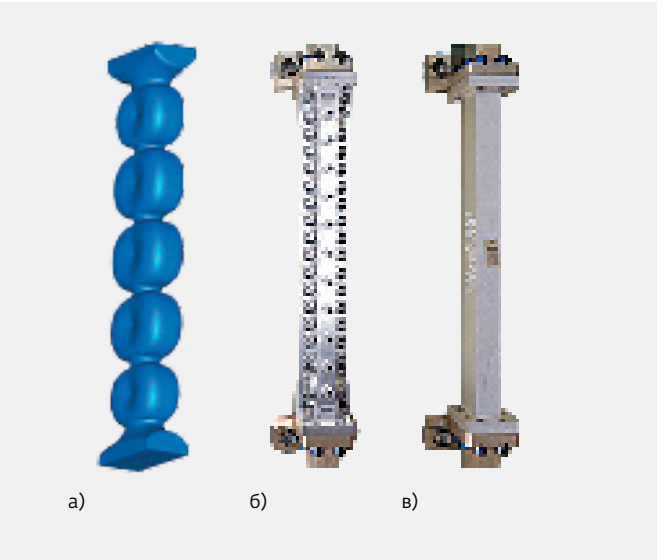


Рис. 3. Полосовой фильтр, полоса пропускания 14,00–14,25 ГГц: а – 3D-модель внутренней полости (канала) фильтра, б – фильтр, изготовленный путем фрезерования, в – напечатанный фильтр. *Источник: Airbus Defense and Space*

Требования к фильтру. *Источник: CNR-IEIIT*

Параметр	Значение
Полоса пропускания, ГГц	12,5–15,0
Ослабление в полосе пропускания, дБ	≤0,15
Возвратные потери ($10\lg(P_{пад.}/P_{отр.})$), дБ	≥24
Полоса заграждения, ГГц	17,5–21,2
Ослабление в полосе заграждения, дБ	≥40
Габариты, мм	20×20×48
Масса, г	<25
Материал	Al сплав

* $10\lg(P_1/P_2)$, где P_1 – мощность на нагрузке без фильтра, P_2 – мощность на нагрузке с фильтром.

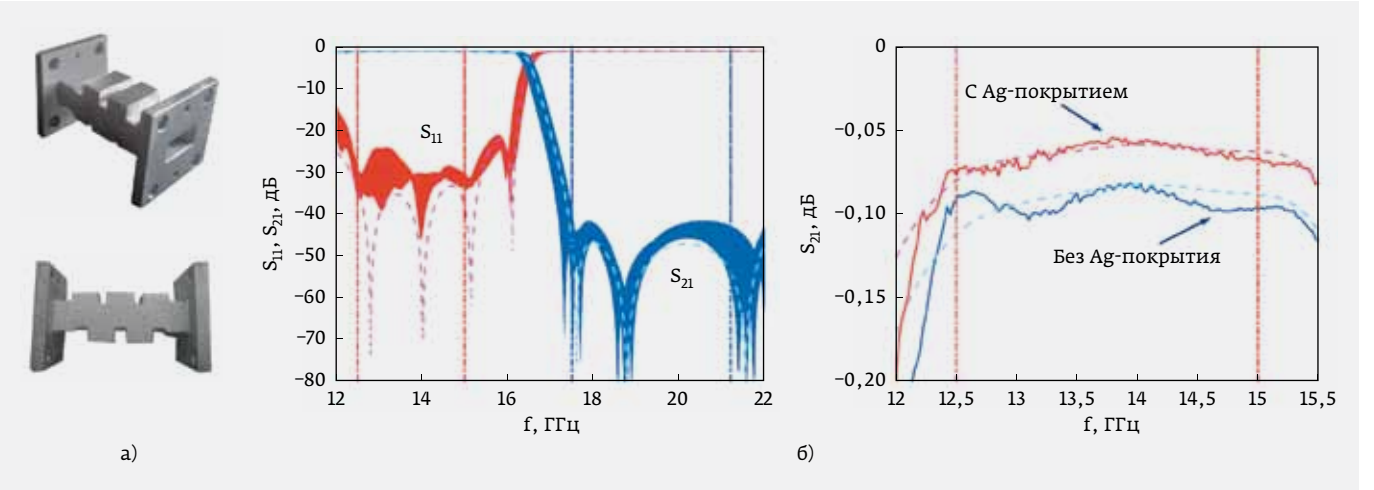


Рис. 4. Фильтр с полосой пропускания 12,5–15,0 ГГц: а – фото, б – S-параметры: S_{11} – коэффициент отражения от входа, S_{21} – коэффициент передачи (на правом графике показан участок левого графика в увеличенном масштабе). Сплошные линии – результаты измерений (на шести образцах), пунктирные – результаты моделирования. *Источник: CNR-IEIIT*

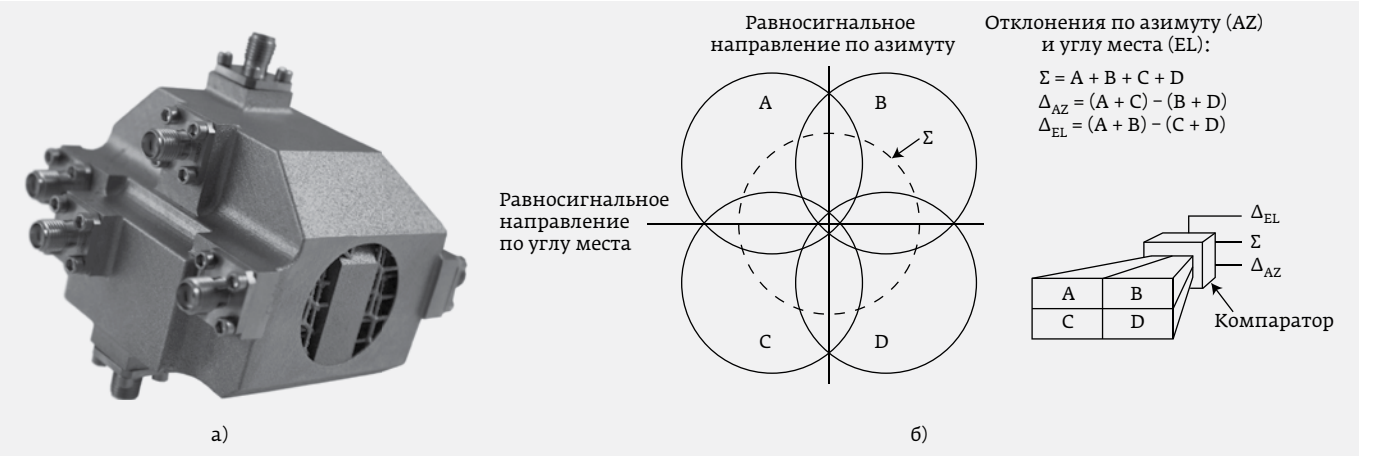


Рис. 5. Напечатанный компаратор (а) и схема, поясняющая использование компаратора для определения направления на цель (б). *Источник: Optisys*

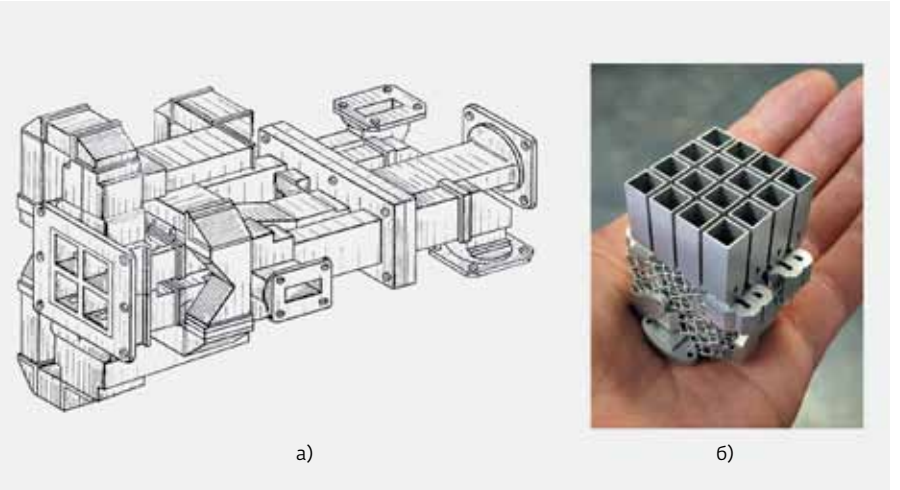
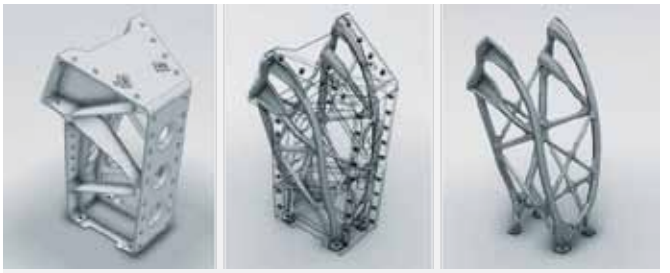


Рис. 6. Антенная решетка Ка-диапазона с компараторами: а – изначальный эскиз сборной конструкции, изготавливаемой по традиционным технологиям, б – цельная деталь, полученная путем селективного лазерного сплавления. *Источник: Optisys*

Рис. 7. Кронштейн из сплава Ti6Al4V для монтажа антенны на спутнике. *Источник: Thales Alenia Space*

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 не превышало 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 более полно.



а) б) в)

Рис. 8. Кронштейн из алюминиевого сплава для монтажа антенны на спутнике Eurostar E3000: а – изначальная модель, б – наложение изначальной и перепроектированной моделей, в – перепроектированная модель. *Источник: Airbus Defence and Space*

Например, на рис. 6а приведен эскиз антенной решетки Ка-диапазона 27,5–31,0 ГГц с компараторами и соединяющими их волноводами, ориентированной на изготовление по традиционным технологиям. Перепроектирование с учетом возможностей аддитивных технологий позволило уменьшить количество деталей со ста до одной (рис. 6б), снизить массу в 20 раз – до 40 г, а также сократить время от начала разработки до выпуска первой партии с 11 до 2 мес.

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 сократилось 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 заклепках, то напечатанный кронштейн – это одна деталь, масса 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

Рис. 9. Радиаторы с большой площадью поверхности в малом объеме. *Источники: Mentor Graphics, Renishaw*

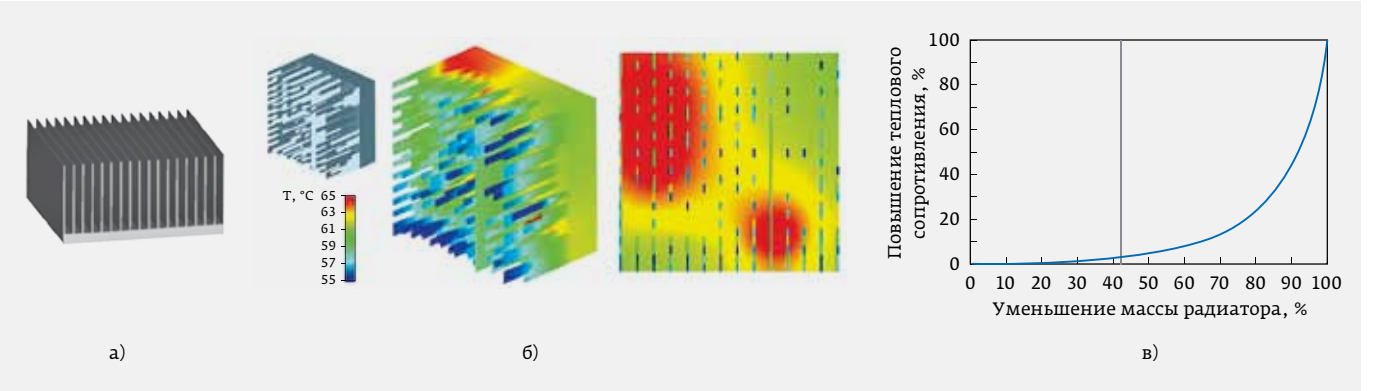


Рис. 10. Пластинчатый радиатор (а), результаты теплового моделирования радиатора, в котором материал удален из участков с низкой тепловой нагрузкой (б), зависимость повышения теплового сопротивления по мере уменьшения массы радиатора (в). *Источник: Mentor Graphics*

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 двухкристальный модуль. В этом случае ребра радиатора, расположенные не над кристаллами, особенно в «зеленой» зоне на рис. 10б, будут слабо участвовать в теплоотводе. И если 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%.

Рис. 11. Установка селективного лазерного сплавления Renishaw AM400 в лаборатории ООО «Остек-СМТ»

Рассмотренные примеры демонстрируют возможность и актуальность применения селективного лазерного сплавления в авиакосмическом приборостроении. Конечно, полноценное использование данной технологии требует перепроектирования изделия, если оно разработано под традиционные методики. После перепроектирования потребуется изготовление и испытания опытных образцов, причем желательно из отечественных материалов. Поэтому в феврале 2018 года оборудование лаборатории ООО «Остек-СМТ» пополнилось установкой селективного лазерного сплавления Renishaw AM400 (рис. 11) для отработки технологии печати на отечественных порошках, печати макетов и опытных образцов. ООО «Остек-СМТ» приглашает ознакомиться с 3D-печатью металлами на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нисан А.** Цифровые технологии производства: печать металлопорошковыми композициями // Вектор высоких технологий. 2017. № 5. С. 30–41.
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. P. 2470.