

во внеэлектродной плазме высоковольтного газового разряда [Текст] / Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков. – М. : Радио и связь, 2009. – 220 с.

3. Колпаков В.А., Кричевский С.В., Маркушин М.А. Особенности распределения заряженных частиц по энергии в неоднородной плазме, формируемой высоковольтным газовым разрядом [Текст] / В.А. Колпаков, С.В. Кричевский, М.А. Маркушин // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87. – № 3. – С. 60–68.

4. Колпаков В.А. Моделирование процесса травления диоксида кремния в плазме газового разряда высоковольтного типа [Текст] / В.А. Колпаков // Микроэлектроника. – 2002. – Т. 31. – № 6. – С. 431–440.

Яхин Ильдар Раильевич, студ. гр. 6231-110403D, ildar-434@mail.ru

Кричевский Сергей Васильевич, доцент каф. РЭС, krichevskiy.sv@ssau.ru

Колпаков Всеволод Анатольевич, профессор каф. РЭС, kolpakov.va@ssau.ru

УДК 621.396

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ (SLM) ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАДИАТОРОВ ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

К. А. Коровин

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Развитие малых космических аппаратов, в частности платформ стандарта CubeSat, приводит к увеличению плотности размещаемой электронной аппаратуры и росту тепловых нагрузок на бортовые системы. При ограниченных габаритах аппарата обеспечение стабильного температурного режима становится одной из ключевых задач проектирования, напрямую влияющих на надёжность и срок службы спутника.

Традиционные способы отвода тепла в малых космических аппаратах основаны на использовании плоских алюминиевых радиаторных панелей. Однако такие решения имеют ряд ограничений. Площадь излучающей поверхности часто оказывается недостаточной для эффективного отвода тепла, а использование внешних поверхностей корпуса конкурирует с размещением солнечных батарей. В результате снижается энергетическая эффективность космического аппарата.

Перспективным направлением повышения эффективности тепловых систем является применение аддитивных технологий, позволяющих создавать радиаторы сложной геометрии с развитой поверхностью теплообмена. Одной из наиболее распространённых технологий металлической аддитивной печати является селективное лазерное плавление (Selective Laser Melting, SLM). Данная технология позволяет формировать изделия из металлического порошка послойным плавлением с

помощью лазерного излучения.

Целью данной работы является анализ возможностей применения технологии SLM при изготовлении радиаторов для радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов.

Технология селективного лазерного плавления:

Технология селективного лазерного плавления относится к аддитивным методам производства, при которых изделие формируется путём последовательного наплавления тонких слоев металлического порошка. Лазерный луч локально расплавляет частицы порошка, формируя плотную металлическую структуру.

В отличие от технологии DMLS (Direct Metal Laser Sintering), где происходит частичное спекание порошка, в технологии SLM материал полностью расплавляется, что позволяет получать детали с высокой плотностью и улучшенными механическими характеристиками.

Основные преимущества технологии SLM:

- возможность изготовления деталей сложной геометрической формы;
- создание внутренних каналов и структур охлаждения;
- снижение массы изделия за счёт топологической оптимизации;
- интеграция нескольких функциональных элементов в одной конструкции.

Благодаря этим особенностям технология SLM активно применяется в аэрокосмической отрасли для производства элементов конструкций, теплообменников и радиаторов.

Особенности применения технологии SLM при изготовлении радиаторов.

Применение технологии SLM позволяет создавать радиаторы с развитой поверхностью теплообмена и сложной внутренней структурой, что значительно повышает эффективность отвода тепла.

При проектировании радиаторов для космических аппаратов необходимо учитывать особенности теплообмена в вакууме. В условиях космического пространства отсутствует конвекция, поэтому основным механизмом отвода тепла является тепловое излучение.

Рассеиваемая мощность радиатора определяется выражением:

$$P = \varepsilon \sigma S (T^4 - T_{\text{окр}}^4),$$

где P – рассеиваемая мощность; ε – коэффициент излучения поверхности; σ – постоянная Стефана–Больцмана; S – эффективная площадь излучающей поверхности; T – температура поверхности радиатора; $T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды.

Эффективность радиатора в значительной степени определяется коэффициентом излучения поверхности. Для алюминиевых поверхностей он может варьироваться от 0,02 для полированных поверхностей до 0,9 для специально обработанных покрытий.

Использование аддитивных технологий позволяет создавать

конструкции радиаторов с увеличенной площадью излучающей поверхности за счёт применения развитых ребристых структур и внутренних каналов.

Технологические ограничения и дефекты

Несмотря на значительные преимущества технологии SLM, при её применении могут возникать различные дефекты, влияющие на качество получаемых изделий.

К основным дефектам относятся:

- пористость, возникающая из-за захвата газа или усадочных процессов при кристаллизации металла;
- трещины, возникающие вследствие остаточных напряжений;
- непровары (lack of fusion), возникающие при недостаточной энергии лазерного излучения;
- включения посторонних частиц, ухудшающие механические свойства материала;
- повышенная шероховатость поверхности, требующая дополнительной механической или электрохимической обработки.

Для повышения качества изделий применяются методы постобработки, такие как термообработка, горячее изостатическое прессование (HIP), а также механическая или электрохимическая полировка поверхности.

Выбор материалов для радиаторов:

Для изготовления радиаторов методом SLM могут применяться различные металлические сплавы. Наиболее распространёнными являются алюминиевые, медные и титановые сплавы.

Алюминиевые сплавы, такие как AlSi10Mg, обладают хорошим сочетанием теплопроводности, прочности и низкой плотности, что делает их предпочтительными для применения в космической технике.

Медные сплавы обладают более высокой теплопроводностью, однако их применение ограничено большей массой и сложностями аддитивного производства.

Титановые сплавы обладают высокой прочностью и коррозионной стойкостью, однако их теплопроводность значительно ниже, чем у алюминия.

Коровин Кирилл Алексеевич, студ. гр. 3465-110303D, gregorywwwww@gmail.com

УДК 654.9

ПРОЕКТ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ПУСКА МОДЕЛЕЙ

Э.С. Юданова

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара