

в различные сферы деятельности, повышая их автономность и функциональность.

ДУГОВАЯ АДДИТИВНАЯ НАПЛАВКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С УПРАВЛЕНИЕМ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЕМ И МОДИФИКАЦИЕЙ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ АТМОСФЕРЫ SF₆

Фетисова Е.А. (молодой ученый, ст. пр. каф. “ОиТСП”)

Коротеева А.А. (магистрант)

Лопатина А.А. (студент гр. СПР-201)

Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования “Белорусско-Российский университет”, Могилев, Республика Беларусь

Научный руководитель – **Коротеев А.О.**

(к.т.н., доцент, заведующий кафедрой “Оборудование и технология сварочного производства” “Белорусско-Российский университет”, Могилев, Республика Беларусь)

Аннотация: рассмотрены вопросы эффективной адаптации дуговых сварочных технологий с управлением мощностью тепловложения для целей аддитивного синтеза изделий из алюминиевых сплавов. Предложена технология модификации защитной атмосферы галогенидным соединением SF₆ для снижения мощности дугового разряда

Ключевые слова: аддитивная наплавка, WAAM технология, галогенидное соединение, тепловложение, функционально-градиентные материалы, микроструктура, свойства

Введение.

Одним из перспективных способов создания изделий сложной геометрии является применение аддитивных технологий. Такие способы позволяют существенно снизить затраты материала, получить сложный профиль поверхности практически в отсутствии ограничений проектирования, так как не связаны с возможностями обрабатываемого инструмента.

Наиболее распространёнными аддитивными технологиями создания изделий из металлических материалов, сталей и сплавов, являются лазерные технологии послойного сплавления порошкового материала (метод селективного лазерного сплавления и прямого выращивания). Способы обладают высокой точностью позиционирования пятна нагрева что обеспечивает высокую точность геометрической формы изделия. Вместе с тем существует проблема низкой производительности и обеспечения требуемого комплекса свойств получаемой заготовки. Порошковый материал при сплавлении склонен к образованию пористости в объеме изделия, обладает высокой стоимостью и сложностью получения, имеются ограничения в типе материала.

Одним из перспективных способов аддитивного производства является дуговая послойная наплавка (WAAM технология), позволяющая в 10...100 раз повысить производительность процесса. Кроме того, управление тепловложением в материал при его дуговом плавлении позволяет не только обеспечить гарантированное сплавление слоев, но и их управляемую термообработку, что благоприятно сказывается на формировании микроструктуры материала, обеспечивающей необходимый комплекс эксплуатационных характеристик.

Долгое время технология не рассматривалась в качестве конкурентоспособной в силу сложности управления расплавленным объемом на торце заготовки. Существующие технологии были связаны с большим тепловложением что приводило к отклонению геометрической формы, образованию волнистости боковой поверхности, перегреву предыдущих слоев материала. Современные сварочные технологии цифрового управления процессами переноса электродного металла позволили существенно повлиять на эти процессы что не только обеспечило высокую эффективность дуговых сварочных технологий для аддитивного синтеза изделий, но и вывело их на лидирующие позиции во многих областях. Особенно актуально это в случае необходимости обеспечения управляемого механизма формирования микроструктуры и свойств материала в процессе наплавки, что

делает получаемые детали готовыми к применению на практике.

Результаты и обсуждение

Нами проведен ряд работ по аддитивной наплавке изделий из алюминиевых сплавов (Al-Mg, Al-Si). Экспериментально исследованы температурные поля и разработана методика определения характера и скорости охлаждения материала послойно в процессе наплавки. Установлено, что минимизация тепловложения в материал позволяет получить принципиально новые свойства материала благодаря созданию высоких скоростей охлаждения в рабочей зоне. Исследованы особенности формирования микроструктуры рассматриваемых сплавов и особенности аддитивного синтеза тонкостенных изделий и массивных наплавов с толщиной стенки более 20 мм. Установлены закономерности между значениями параметров режима и поведением расплавленной ванны на торце заготовки. Результаты докладывались на 8-ом Белорусском космическом конгрессе, где была представлена концепция создания так называемых “функционально-градиентных” материалов путем управления микроструктурой и химическим составом (рис. 1).

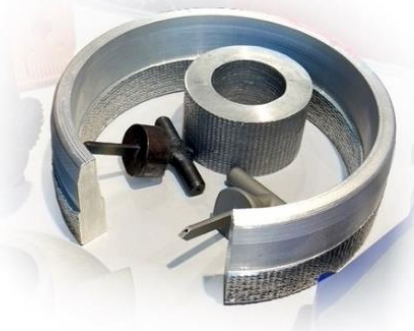


Рис. 1. Внешний вид аддитивных наплавов из Al-сплавов

Проведены работы по созданию материалов с внутренними изолированными каналами, задача которых обеспечение охлаждения поверхностей заготовок. При этом установлены условия сплавления отдельных параллельных маликов из сплавов Al-Mg, что в традиционных условиях затрудняется наличием поверхностной окисной пленкой. Сформулирована идея и концепция стабилизации отклонения геометрической формы наплавки путем управления электрическими параметрами, что позволит решить проблему перекрестных слоев материала. На сегодняшний день есть конкурентоспособные результаты. Установлено, что введение в защитную газовую атмосферу модификаторов, снижающих мощность дугового разряда, позволяет повысить точность геометрической формы заготовки, а также, в случае использования галогенидов SF_6 , снизить количество диффузионного водорода в материале.

Перспективным направлением для аэрокосмической отрасли является создание пористых материалов. Нами проводятся работы в этом направлении. Наиболее перспективным является реализация механизма создания контролируемой пористости через модификацию защитной газовой атмосферы и разработки принципиально новых материалов.

Заключение

На основании проведенных исследований продемонстрированы принципиально новые подходы позволяющие выполнять аддитивный синтез изделий в любых пространственных положениях с возможностью управления мощностью тепловложения и введением в защитную газовую атмосферу газообразных модификаторов, реализующих механизм металлургического воздействия на процессы кристаллизации материала.

Литература

1. Коротеев, А. О. Аддитивное послойное создание объемных металлических изделий при помощи дуговых сварочных технологий / А. О. Коротеев // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Межд. науч.-техн. конф. молодых ученых / Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2019. – С. 92.

2. Коротеев, А. О. Особенности формирования микроструктуры при аддитивной дуговой наплавке материалов системы легирования Al–Si / А. О. Коротеев // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2022. – С. 182.*

ФОРМИРОВАНИЕ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Шевчик Е.В. (магистрант гр. 315601)

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск,
Беларусь*

Научный руководитель – **Телеш Е.В.**

*(Старший преподаватель кафедры электронной техники и технологии Белорусского
государственного университета информатики и радиоэлектроники)*

Аннотация: Обосновано применение торцевого холловского ускорителя для синтеза фторуглеродных покрытий. Установлено, что скорость нанесения покрытий увеличивается с ростом тока разряда и напряжения на аноде. Максимальная скорость нанесения составила $1,3 \text{ нм}\cdot\text{с}^{-1}$.

Ключевые слова: фторуглеродные покрытия, прямое осаждение, скорость нанесения.

Введение

Фторуглеродные тонкопленочные покрытия широко применяются в качестве low-k диэлектриков, оптических покрытий с низким коэффициентом преломления, гидрофобных, антифрикционных, биосовместимых, антимикробных, защитных, химически стойких покрытий и т.п. [1]. Для их синтеза наиболее часто применяются ВЧ плазмохимическое осаждение, индуктивно-связанная плазма, импульсная плазма высокой плотности, которые требуют сложных блоков питания и согласования ВЧ мощности [2]. Методы, основанные на нанесении тонкопленочных покрытий из ионных пучков, позволяют изменять свойства пленок посредством регулирования энергии ионов, плотности ионного потока и его состава [3]. При прямом ионном осаждении используется ионный источник, который способен выдавать широкий пучок ионов и направлять химически активные частицы на подложку для последующего осаждения. В качестве генераторов ионных потоков используются в основном источники Кауфмана – торцевой холловский ускоритель (ТХУ) и сеточный ионный источник.

Результаты и обсуждение

В качестве ионного источника целесообразно использовать торцевой холловский ускоритель. Потенциал зажигания разряда ТХУ составляет 35 – 60 В. Такие ионные источники позволяют формировать широкие пучки ионов любых газов. Они могут быть как цилиндрические, так и протяженные, что обеспечивает высокую равномерность покрытий по толщине. ТХУ имеет простую конструкцию, надежен в эксплуатации. Для функционирования таких устройств не нужно применения высоковольтного питания, что также упрощает их конструкцию и эксплуатацию. При увеличении анодного напряжения происходит значительный рост разрядного тока, вплоть до 10 А, что позволяет получить более высокие скорости осаждения. Скорость осаждения V_n существенно зависит от природы и состава ионного пучка, энергии ионов, плотности ионного тока, температуры подложки. На рис. 1, а приведена схема прямого осаждения: 1 – ионный источник; 2 – ионный пучок; 3 – подложка. Внешний вид ионного пучка, формируемого ТХУ, приведен на рис. 1, б.

Формирование фторуглеродных покрытий проводили на модернизированной установке вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенной ионным источником на основе ТХУ. Рабочее давление было в диапазоне $(0,37 – 2,33) \times 10^{-1}$ Па. Напряжение анода было 60 – 150 В, ток разряда при этом составлял 0,5 – 4 А. Ток эмиттера электронов варьировался в пределах 13 – 15 А. Расстояние «ионный источник – подложкодержатель» составляло 125