

**ИСПАРЕНИЕ ВЕЩЕСТВА С ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ**В.В. Соловьёв<sup>1</sup>, В.Х. Даммер<sup>1</sup>, Г.А. Блейхер<sup>2</sup>, В.П. Кривобоков<sup>2</sup><sup>1</sup>АО «Научно-производственный центр «Полюс», г. Томск, Россия<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Исследовано испарение атомов из шва и расположенной рядом с ним горячей зоны соединяемых деталей при электронно-лучевой сварке изделий из высокопрочного алюминиевого сплава типа 1370. Предложена математическая модель для прогнозирования пространственного распределения температур и характеристик потерь массы изделий в зависимости от условий сварки. Проведены экспериментальные исследования этих процессов. Сопоставлены результаты расчетов и экспериментов. Изучена структура области фазовых превращений. Установлено, что интенсивность испарения почти линейно зависит от плотности тока пучка и скорости его сканирования. Эксперименты показали, что испарение носит активный характер и может существенным образом повлиять на состав сварного соединения (испаряются преимущественно легкие элементы), а следовательно, и на его механические характеристики.

**Ключевые слова:** *электронный пучок, электронно-лучевая сварка, фазовые превращения, испарение, математическая модель, алюминиевый сплав 1370.*

**Введение**

В космическом приборостроении одними из важных характеристик изделий являются массогабаритные – особенно элементов точной механики, таких как гироскопические системы космических аппаратов. При их сборке используется электронно-лучевая сварка, которая предполагает интенсивное тепловое воздействие на свариваемые детали в условиях вакуума. В результате нагретый до высокой температуры металл интенсивно испаряется из зоны сварочного шва и осаждается на стенках вакуумной камеры. При проектировании и изготовлении подобных изделий необходимо иметь методику оценки изменения их массы вследствие испарения металла в пространство вакуумной камеры с учетом параметров пучка и теплофизических свойств свариваемых материалов.

Компьютерное моделирование позволяет значительно ускорить разработку новых технологий и внедрение их в производство. В данной работе представлена разработанная методика расчета испарившейся массы корпуса гироскопа при сварке его электронным лучом. Выполнена экспериментальная проверка модели. Показано, что в ряде случаев испарением можно управлять, изменяя параметры электронного пучка и режимы сварки.

При изготовлении корпуса гироскопа используется разработанный Всероссийским институтом авиационных материалов высокотехнологичный алюминиевый сплав 1370 системы Al–Mg–Si–Cu. Его преимущества – высокая коррозионная стойкость, удовлетворительная пластичность как при горячей, так и при холодной деформации, значительная прочность и большое сопротивление к многоцикловой усталости. Это позволяет изготавливать из него корпуса с толщиной стенки всего 0.5–1.2 мм, которые имеют существенно меньшую массу, чем из традиционных алюминиевых сплавов. Однако подобные материалы относятся к трудносвариваемым, поэтому при производстве изделий из них применяется электронно-лучевая сварка [1, 2], которая выполняется при низком давлении газовой среды и высокой температуре. При этом происходит активное испарение атомов с поверхности изделия, что может привести к существенному уменьшению его массы. Для прогнозирования эксплуатационных характеристик прибора на этапе разработки конструкторской документации необходимо знать, как изменяются масса и химический состав его комплектующих изделий в процессе производства [3]. При выполнении подобных расчетов учитывались физические характеристики сплава, указанные в технических условиях [4].

Цель настоящей работы – исследовать закономерности испарения вещества с поверхности высокопрочного алюминиевого сплава при электронно-лучевой сварке. Для этого необходимо построить математическую модель, описывающую тепловые процессы в твердом теле при электронно-лучевой сварке, определить масштабы испарения и его влияние на массовые характеристики изделия, разработать методику прогнозирования количества испарившегося вещества на единицу длины шва, выполнить экспериментальную проверку предлагаемой модели.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>