

**Отзыв официального оппонента**  
на диссертацию Саломатовой Екатерины Сергеевны на тему  
«Закономерности изменения химического состава сварных соединений  
при электронно-лучевой сварке с динамическим воздействием  
на электронный луч», представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии

**Актуальность темы**

В последнее время при электронно-лучевой сварке применяется ряд технологических приемов, обеспечивающих улучшенное формирование сварного шва. К ним относится динамическое воздействие на электронный луч при сварке, которое может осуществляться путем осцилляции электронного луча с использованием различных траекторий или его расщепления на несколько тепловых источников за счет его динамического позиционирования. До настоящего времени в литературе практически отсутствуют исследования о процессах испарения и истощения сплавов легкоиспаряемыми легирующими элементами при электронно-лучевой сварке с динамическим воздействием на электронный луч. Восполнение этого пробела является актуальной научной задачей, имеющей важное фундаментальное и прикладное значение.

В рецензируемой работе выявлены закономерности изменения химического состава сварных соединений при электронно-лучевой сварке с динамическим воздействием на электронный луч с целью повышения качества металла сварного соединения. Таким образом, результаты диссертационной работы являются важными для дальнейшего развития теории и практики сварочного производства.

**Оценка новизны и достоверности полученных результатов**

В диссертационной работе Саломатовой Е.С. предложена численная модель процессов испарения и изменения химического состава сварных швов, полученных при электронно-лучевой сварке с динамическим воздействием на электронный луч. Данная модель основана на процессах тепломассопереноса, гидродинамики, при помощи которой возможно определение конечного химического состава металла сварных швов, полученных как при электронно-лучевой сварке статическим лучом, так и при использовании осцилляции и расщепления электронного луча на три, следующих друг за другом тепловых источника. Разработанная методика определения интегральной температуры, давления и состава паров в парогазовом канале при электронно-лучевой сварке с осцилляцией и динамическим расщеплением электронного луча на основе изучения процессов испарения и осаждения, позволила использовать в разработанной модели экспериментальные данные, что позволило добиться минимальной погрешности при расчетах конечного химического состава сварного шва.

К несомненным положительным результатам можно отнести подробную методику планирования и проведения экспериментов, что позволило получить закономерности изменения химического состава легкоиспаряемых компонентов сплавов от параметров режимов сварки.

Обработка результатов экспериментов позволила определить основные параметры, характеризующие качественные сварные соединения, полученные при электронно-лучевой сварке алюминиевого сплава АМг6 с динамическим расщеплением электронного луча.

В работе впервые проведено исследование влияния параметров расщепления (расстояние между тепловыми источниками, время воздействия каждого из тепловых источников, ток луча, скорость сварки) на глубину и ширину сварного шва при электронно-лучевой сварке алюминиевого сплава АМг6.

Впервые получены закономерности формирования химического состава сварных швов при электронно-лучевой сварке алюминиевых сплавов с динамическим расщеплением электронного луча на три тепловых источника с образованием трех парогазовых каналов.

### **Оценка достоверности**

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Автором изучены и критически анализируются известные отечественные и международные результаты исследований в области процессов испарения при ЭЛС. Список литературы содержит 163 наименования.

В ходе выполнения работы использовался широкий спектр методов: методы планирования эксперимента положения теории физики тепломассопереноса, численные методы математического моделирования. При проведении расчетов использовались прикладные программные пакеты Comsol Multiphysics, Mathcad. Обоснованность и достоверность научных результатов подтверждается корректностью принимаемых допущений, обоснованностью методов исследований и сопоставлением результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными на действующих технологических установках.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений 1, 2. Работа изложена на 156 страницах основного текста, включая 59 рисунков и 33 таблицы. Библиографический список содержит 162 наименований. По теме диссертации опубликовано 17 работ, из них 8 статей – в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Первая глава посвящена анализу состояния научных исследований в области изучения процессов, протекающих при электронно-лучевой сварке, моделированию процессов испарения при электронно-лучевой сварке статическим лучом и экспериментальным исследованиям в данной области.

Во второй главе описываются разработанные методики проведения исследований и математическая модель испарения и изменения химического состава сварных швов при ЭЛС с динамическим воздействием на электронный луч, применяемое уникальное оборудование и программное обеспечение для управления параметрами режима электронно-лучевой сварки, используемые математические пакеты прикладного программного обеспечения.

В третьей главе исследованы особенности испарения, рассчитаны интегральные значения температуры, давления, состава паров в парогазовом канале и химический состав сварных швов полученных при электронно-лучевой сварке с продольной и поперечной осцилляцией электронного луча. Анализ полученных экспериментальных данных, с построением уравнения регрессии описывающего влияние скорости сварки на химический состав сварных швов.

В четвертой главе исследованы особенности испарения, рассчитаны интегральные значения температуры, давления, состава паров в парогазовом канале и химический состав сварных швов, полученных при электронно-лучевой сварке с расщеплением электронного луча. Так как, данные подходы были использованы впервые, то определялись критерии, характеризующие формирование бездефектных соединений конусообразной формы с более скругленным корнем и оптимальные параметры режимов сварки с помощью решения системы уравнений для заданной толщины свариваемого материала.

В приложение представлен акт внедрения результатов работы на предприятие ОАО «Пермский Моторный Завод».

### **Практическая значимость диссертационной работы**

Разработаны математические модели процессов испарения, которые позволяют прогнозировать конечный химический состав сварных швов, полученных при электронно-лучевой сварке с осцилляцией и динамическим расщеплением электронного луча высоколегированных сталей и алюминиевых сплавов.

Определены оптимальные параметры режимов электронно-лучевой сварки с динамическим расщеплением электронного луча на несколько тепловых источников применительно к сварке алюминиевых сплавов с толщиной металла от 4 до 10 мм.

Важные для практики результаты диссертационной работы внедрены в производство на предприятии ОАО «Пермский моторный завод».

### **Замечания по работе**

1. В регрессионных уравнениях (3.1) и (3.3) в первом не участвует  $V_{св}$ , как отдельный член полинома, а во втором  $I_{л}$ , с чем это связано?
2. В формуле 2.26 (стр. 56) нет расшифровки элементов входящих в уравнение.
3. В четвертой главе все исследования посвящены только алюминиевому сплаву АМг6, с чем это связано и почему расщепление электронного луча не осуществлялось для высоколегированной стали 12Х18Н10Т.

4. Есть некоторое отклонение от единства представления результатов по тексту диссертации. Получаемые в работе концентрации компонентов сплава указываются как в %, так и в относительных единицах.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы.

### **Заключение**

По актуальности, новизне, научной ценности и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Саломатовой Екатерины Сергеевны является законченной научно-исследовательской работой и в полной мере соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Саломатова Екатерина Сергеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии.

доцент кафедры «Технологии  
металлов» ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский университет "МЭИ"»  
кандидат технических наук  
Гончаров Алексей Леонидович.  
111250, г. Москва,  
Красноказарменная улица, дом 14  
8-9 , [goncharoval@mpei.ru](mailto:goncharoval@mpei.ru)  
17.03.2016 г.

А.Л. Гончаров

Подпись Гончарова А.Л. заверяю;  
ученый секретарь Ученого совета  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский университет "МЭИ"»

И.В. Кузовлев