

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н. Ходакова Д.В. на диссертацию Люкса Дмитрия Игоревича «Исследование и разработка процесса и технологии стыковой сварки трубных переходников дугой низкого давления в поперечном магнитном поле», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 - «Сварка, родственные процессы и технологии»

### Актуальность работы

Трубные биметаллические переходники используются при изготовлении трубопроводных систем ракетно-космической техники и в самолетостроении, теплообменных аппаратов в энергомашиностроении, аппаратов криогенной техники и в других областях машиностроения.

Для сварки трубных биметаллических переходников широко применяются как методы сварки плавлением, так и методы сварки давлением.

При сварке плавлением формирование межатомных связей осуществляется в жидкой фазе в процессе расплавления кромок обеих свариваемых труб, что резко снижается вероятность образования непроваров в соединениях и, кроме того, полученные соединения поддаются контролю качества без разрушения различными физическими методами. В то же время необходимо жесткое регулирование температурного режима, иначе усиливается перегрев металла в зоне сварки, что приводит к неравномерности формирования шва, образованию провисаний шва и подрезов, повышается вероятность образования внутренних дефектов – оксидных включений, пористости, горячих трещин и др.

Сваркой давлением (трением, клинопрессовой, прокаткой, взрывом, и др.) переходники изготавливают из биметаллических заготовок в виде прутков или листов. - трением, клинопрессовой, прокаткой, взрывом, и др.

Особенностью этих способов является формирование соединений в твердой фазе в процессе значительных пластических деформаций свариваемых заготовок. Такая технология весьма трудоемка и обладает низким коэффициентом использования металлов, а наиболее опасные и характерные

для них дефекты в виде непроваров и оксидных плен практически не выявляются неразрушающими методами контроля.

В настоящее время для изготовления ряда ответственных конструкций для сварки биметаллических переходников диаметром до 40 мм применяется стыковая сварка дугой низкого давления, при которой нагрев торцов свариваемых деталей производится электрической дугой и инертной атмосфере низкого давления, и обеспечивает получение высококачественных соединений труб из однородных и разнородных металлов при небольшой пластической деформации их торцов.

В связи с этим, данная диссертационная работа, посвященная распространению применения данного способа на сварку трубных биметаллических переходников диаметром 40 - 100 мм, является актуальной.

**Научная новизна** работы определяется следующим:

1. Предложена новая схема процесс стыковой сварки в поперечном магнитном поле, при котором впервые в сварочной технологии для нагрева и оплавления торцов труб используется электрическая дуга переменного тока с наложенным на нее магнитным полем, горящая в зазоре между ними в инертной атмосфере низкого давления и вращающаяся по их торцовой поверхности.

Предложенный процесс сварки труб диаметром более 40 мм позволяет резко увеличить равномерность нагрева и оплавления их торцов, благодаря тому, что на хаотическое блуждание катодных пятен накладывается их направленное движение по торцу труб.

2. Для технологических параметров процесса стыковой сварки дугой низкого давления с помощью фото и киносъемки поверхности трубы-катода и специальной методики регистрации яркости излучения поверхности в локальной зоне, для ряда металлов определена скорость вращения катодных пятен в поперечном магнитном поле в интервале значений индукции от 0 до 200 мТл.

3. Установлено, что значения магнитной индукции свыше 200 мТл существенно увеличивают напряжение дуги, снижают стабильность разряда и приводят к разбрызгиванию оплавленного металла, что исключает их применение.

4. С помощью специальной методики сканирования излучения поверхности трубы-катода сразу же после выключения дуги, изучено влияние магнитной индукции на равномерность распределения температуры на торце трубы. Установлено, что увеличение магнитной индукции до 150 мТл среднее отклонение и размах температуры на торцах труб снижается в 4-5 раз.

5. Экспериментальные исследования выявили постоянство эффективности нагрева трубы-катода при том что с увеличением магнитной индукции до 150 мТл увеличивается и напряжение дуги на 4-5 В.

6. Выявлено улучшение формирования жидкого слоя на торце трубы из алюминиевого сплава при выполнении стадии оплавления в режиме постоянного тока с анодом на торце трубы из алюминиевого сплава.

**Методический уровень** представленной диссертации является достаточно высоким. В работе применялись современные методы исследований и исследовательское оборудование, автоматизация экспериментальных исследований на базе ЭВМ.

**Практическая ценность** результатов работы состоит в следующем.

1. Разработка новой схемы процесса стыковой сварки дугой низкого давления в поперечном магнитном поле позволила повысить равномерность нагрева торцов труб и расширить диапазон свариваемых заготовок до 100 мм.

2. Для реализации сварки труб диаметром более 40 мм и площадью сечения более 300 мм<sup>2</sup> специально разработан импульсный преобразователь постоянного тока в переменный частотой от 0 до 50 Гц и силой тока от 50 до 1500 А, основанный на использовании доработанных ММА инверторных источниках «Форсаж-502».

3. Для сварки трубных заготовок из разнородных металлов диаметром до 70 мм модернизирована сварочная установка «СТЫК-3». Её основными

особенностями являются: использование сварочного модуля с вертикальным расположением осей свариваемых деталей, специальных устройств для создания поперечного магнитного поля, инверторного источника питания дуги током до 1500, механизма осадки с усилием до 10 кН и современной элементной базы.

4. Разработана технология сварки трубного переходника АМгЗ + ВТ6С диаметром 70 мм, которая опробована на НПО им. С.А. Лавочкина.

**Достоверность** основных положений диссертации подтверждаются критическим анализом состояния вопроса, комплексным использованием современных методов исследований, публикациями автора, апробацией полученных результатов на Всероссийских и международных конференциях, опробованием новой технологии стыковой сварки труб дугой низкого давления в поперечном магнитном поле на предприятиях.

#### **Замечания по работе.**

1. В автореферате ничего не сказано, каким образом рассчитывался режим сварки для получения оптимального теплового состояния торцов труб.
2. Не ясно, каким образом при сборке трубных заготовок под сварку регулируется значение магнитной индукции в зазоре и какие допуски на отклонения его от оптимального значения

Однако указанные замечания носят частный характер и не затрагивают основного содержания работы.

**Заключение.** Диссертация Люкса Д.И. является квалификационной научно-исследовательской работой, содержащей комплексное исследование основных особенностей процесса стыковой сварки дугой низкого давления в поперечном магнитном поле, предложенного автором, влияния поперечного магнитного поля на скорость движения катодных пятен и равномерность нагрева торцов труб, разработку технологии сварки трубного переходника АМгЗ+ОТ4 и специального оборудования для осуществления новой схемы процесса сварки.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, имеет большое практическое значение, ее результаты успешно опробованы в промышленности.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, а опубликованные работы дают достаточно полное представление об основных результатах исследований и разработок.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Люкс Дмитрий Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 «Сварка, родственные процессы и технологии».

  
к.т.н. Ходаков Д.В.  
Директор СТИ АО НПО «ЦНИИТМАШ»

Подпись заверил  Евтушенко С.Г.  
Заместитель генерального директора – Директор ИСиНК  
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

