

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

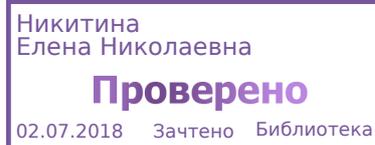
На правах рукописи

Ковалёв Виталий Андреевич

**Исследование возможности создания бездефектных сварных
соединений алюминиевых элементов трубопроводных
систем летательных аппаратов**

Направление подготовки
15.04.01 «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
на соискание академической степени магистра



2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроение и металлургия» ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета» Бахматов Павел Вячеславович
Рецензент	кандидат технических наук, инженер ЛЭС, Амурское ЛПУНГ ООО «ГАЗПРОМТРАНС ГАЗ Томск» Череповский Павел Викторович.

Защита состоится «28» июня 2018 года в 12:00 часов на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: Россия, 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, 27, учебный корпус 2, аудитория 221.

Автореферат разослан «18» июня 2018 г.

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

А.В. Свиридов

Актуальность темы.

Создание новых летательных аппаратов требует постоянного совершенствования технологических процессов, обеспечивающих постоянно растущие требования по качеству и эксплуатационной надежности изделия и его отдельных элементов, в том числе трубопроводные системы, являющиеся ключевым связующим звеном всех систем самолета и отвечающим за их работоспособность.

Трубопроводная система (ТПС) работает в условиях сложного нагружения, испытывает действия высоких давлений, пульсирующей нагрузки и гидравлических ударов, поэтому к ее качеству предъявляют высокие требования, в частности практически все сварные соединения ТПС 1 и 2 категории.

В цехе 4 филиала ПАО «Компании «Сухой» «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина» сложилась следующая ситуация: процент сдачи деталей с первого предъявления по данным рентгенографического контроля сварных соединений элементов алюминиевых ТПС по пористости шва не превышает 60 - 65 %, остальные 35 - 40 % деталей подвергаются исправлению (причем в ряде случаев неоднократно): разделка дефекта, подварка, рентгенографический контроль. Допустимая размерность и объем пор определяется нормативно-технической документацией ПИ 1.4.1555-2000. Значительная дефектность приводит к неритмичности производства трубопровода, увеличиваются затраты трудовых и материальных ресурсов на исправление дефектов сварных соединений, удлиняется процесс сборки самолетов. Поэтому получение бездефектного сварного трубопровода, повышение производительности технологического процесса его изготовления, конкурентоспособности и надежности конечного изделия является актуальной задачей для современного сварочного производства.

Исследованию образования дефектов в сварных швах алюминиевых деталей было уделено большое внимание как отечественных исследователей: Никифоров Г.Д., Редчиц В.В., Лукин В.И., Казаков В.А., Акулов А.И., Алешин Н.П., Гапченко М.Н., Думов С.И., Зусин В.Я., Кононенко В.Я., Ленивкин В.А., Мустафин Ф.М., Рубинчик Ю.Л., Серенко В.А., Фоминых В.П., Фролов В.А., Чернышев Г.Г., Щипков М.Д., Юхин Н.А., Яковлев А.П. А так и зарубежных исследователей Д. Андреа, У. Масахира, М. Махинара, Д. Митчела, С. Ямомото и др. В этих исследованиях пористости, как основному дефекту сварных соединений алюминиевых деталей уделено наиболее внимание. Разработаны теории порообразования в цветных металлах, установлено влияние поверхностной неоднородности и окружающей среды, но при соблюдении всех требований и рекомендаций дефекты образуются. Для решения этой проблемы необходимо исследовать все факторы (химическое травление, механическая зачистка, условия сборки и режимы сварки, и т.п.) влияющие на качество сварного соединения.

Целью работы являлось выяснение возможности получения бездефектных сварных соединений алюминиевого трубопровода летательных аппаратов.

В рамках поставленной цели определены следующие задачи:

1. Исследование влияния операций подготовки на качество сварного соединения (определение влияния параметров операций механической и химической обработки под сварку на качество сварных соединений алюминиевых сплавов).

2. Исследование влияния режимов сварки (частоты импульсов сварочного тока) на качество сварных соединений.

3. Разработка технологических рекомендаций, способствующих повышению качества сварных соединений алюминиевых элементов.

Объектом исследования являются сварные соединения деталей трубопроводных систем летательных аппаратов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлено, что время травления алюминиевых деталей существенно влияет на структуру поверхности, при превышении времени выдержки в ванне, на поверхности растравливается окисная пленка, формируется пемзообразная структура, способствующая накоплению капиллярно-конденсированной влаги, что при сварке вызывает порообразование.

2. Установлено, что механическая обработка (подгонка размеров элементов ручным напильником, зачистка металлическими щетками), создает дефектный поверхностный слой и не гарантирует отсутствие оксидной пленки на поверхности кромок.

3. Установлено, что частота импульса сварочного тока значительно влияет на структуру и на механические свойства сварных соединений из алюминиевых сплавов, а также на порообразование. Увеличение частоты импульса улучшает условия формирования сварного шва: ускоряется процесс разрешения и конденсации оксидной пленки, увеличивается скорость сварки, улучшается геометрия и внешний вид шва, снижается порообразование.

Работа выполнена в рамках хоз. договора № 86-3/14 от 21.03.2014 г. с филиалом ОАО «Компания «Сухой» КнААЗ им. Ю. А. Гагарина». В ходе разработанных рекомендаций ведется модернизация участка химической обработки, сварочные работы ведутся в отдельных от других технологических операций помещениях с контролем и организацией климатических условий (температура, влажность, запыленность) труда.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- предложены оптимальные режимы травления алюминиевого трубопровода.

- предложены оптимальные режимы сварки алюминиевого трубопровода, обеспечивающие качественные сварные швы.

- разработаны рекомендации по изготовлению элементов алюминиевого трубопровода, исключая порообразование в сварных соединениях

Личный вклад автора заключается в планировании и проведении экспериментов, обработке полученных результатов, анализе литературных источников.

Публикации:

По теме диссертации опубликованы 2 печатных работы.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 3-х глав, основных выводов и рекомендаций, списка литературы. Диссертация содержит ____ стр.; ____ рис.; ____ табл.; список литературы ____ назв.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность работы, формулируются основные положения, выносимые на защиту, описывается научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе представлен литературный обзор состояния проблемы.

Рассмотрены основные дефекты в сварных элементах алюминиевого трубопровода. Произведён анализ причин возникновения дефектов в сварных соединениях.

Наиболее распространенные дефекты в сварных швах это поры, как скопление, так и цепочки, непровары в корне шва, трещины вдоль и поперек шва, разветвленные трещины.

Особенности механизма образования пор при сварке алюминий-магниевого сплава определяются, по мнению Г.Д. Никифорова, отличительными свойствами оксидной пленки, формирующейся на этих сплавах и имеющей сложный состав, включающий оксиды алюминия и магния.

Присутствие в составе пленки оксидов магния делает ее более рыхлой и толстой, способной аккумулировать большое количество влаги. Это приводит к тому, что при нагреве реакция поверхностной влаги протекает значительно дольше и с выделением больших объемов водорода.

При сварке с присадочной проволокой происходит также захват каплей металла газообразующих веществ, находящихся в дефектах ее поверхности, и транспортировка их в объем сварочной ванны.

Во второй главе описываются основные методы и оборудование для проведения исследований.

Качество поверхности образцов проволоки и основного металла оценивалось на растровом электронном микроскопе Hitachi S-3400N (Япония). Микроструктурные исследования сварных швов проводили на оптическом микроскопе Nikon MA200. Изменение структуры сварных соединений оценивали скелетированием снимков микроструктур и компьютерной обработки изображения при помощи прикладной программы Image Pro.

Для исследования влияния времени травления на качества поверхности свариваемых и сварочных материалов выбрана марки алюминиевой сварочной проволоки диаметром 2 мм: ГОСТ 7871-75 СвАМг3. В качестве образцов

основного металла взята марка АМг2м, образцы вырезаны из одного участка соответствующей марки труб.

Сварные соединения элементов алюминиевых трубопроводных систем выполнены ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом с присадком на установке MasterTig 3500. Соединение без скоса кромок, без сварочной оснастки, сборка в сборочном приспособлении с предварительной постановкой прихваток и без механической обработки кромок металлической щеткой, с гашением дуги для поворота детали. Сварное соединение имело нижнее положение. Ориентировочные режимы сварки: $I_{св} = 66$ А, $U_{д} = 10-14$ В, $V_{св} = 2,5$ м/ч, $Q = 8$ л/м, частота 200 Гц. Сварочные материалы: электрод вольфрамовый СВИ-1, диаметр 2 мм; присадочная проволока Св-АМг3 диаметр 1,6 мм; аргон высшей чистоты. Размеры образцов: диаметр 60 мм, толщина стенки 1,0 мм, общая длина 150 мм. Конструктивные элементы и размеры сварных соединений по ПИ 1.4.1555-2000 сварных соединений приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Конструктивные элементы и размеры сварных соединений по ПИ 1.4.1555-2005

Обозначение	До сварки	После сварки
С00000		

При формировании сварных швов образцов варьировалась частота импульса сварочного тока:

Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
50 Гц	100 Гц	150 Гц	200 Гц

Использовалась следующая техника формирования сварного шва с диапазоном поперечных колебаний $\pm 1,5$ мм от оси шва:

Рентгеноскопические изображения получены при использовании комплекса «Филин», а рентгенографические изображения – РАП 150/300. Пленка AGFA 5D. Схема проведения контроля 5 г - ГОСТ 7512-82.

Исследования механических свойств плоских сварных соединений проводили на разрывной машине Instron 3382, трубчатых сварных соединений на разрывной машине Shimadzu AJX. Испытаниям подверглись плоские образцы 10x150x1,0 по ГОСТ 6996-66 тип XII и трубчатые образцы размеров: диаметр 25, 63 мм, толщина стенки 1,0 мм, общая длина 300 мм.

В третьей главе описаны исследования поверхности основного металла и проволоки, исследования операции травления, механической зачистки и сварки.

Окисная пленка на поверхности алюминия и его сплавов затрудняет процесс сварки. Обладая высокой температурой плавления (2050 °С), окис-

ная пленка не расплавляется в процессе сварки и покрывает металл прочной оболочкой, затрудняющей образование общей ванны.

Для разрушения и удаления пленки, и защите металла от повторного окисления используют сварку в атмосфере инертных защитных газов. Вследствие большой химической прочности соединения Al_2O_3 восстановление алюминия из окисла в условиях сварки практически невозможно. Удаление поверхностной окисной пленки является наиболее ответственной операцией подготовки деталей..

Исследовались поверхности сварочной проволоки и основного металла, подвергавшихся химической обработке при различном времени выдержки в ванне травления (рисунок 2).

При выдержке в ванне травления 30 секунд происходит вытравливание поверхностного слоя, что приводит к выравниванию дефектов, сокращается количество поверхностных дефектов, шероховатость уменьшается, появляются волнообразные каналы, направленные вдоль линий волочения.

При выдержке в ванне травления 60 секунд значительно уменьшается шероховатость, увеличивается интервал чередования волнообразных каналов, количество дефектов сокращается.

При выдержке в ванне травления 120 секунд, образуется пемзообразная поверхность. Отчетливо видны округлые лункообразные места вытравливания и глубокие точечные вытравливания структурных составляющих. Вытравливается уже основной металл, и на поверхности образуется новая оксидная пленка, совершенно другая по строению, чем та, которая получается при производстве проволоки.

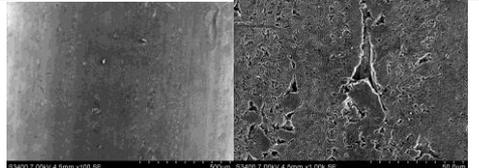
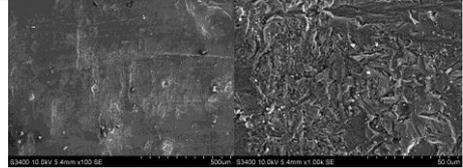
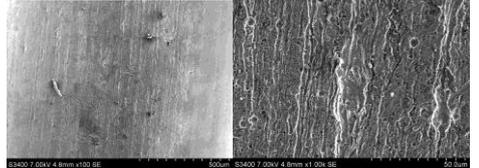
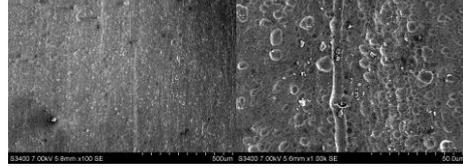
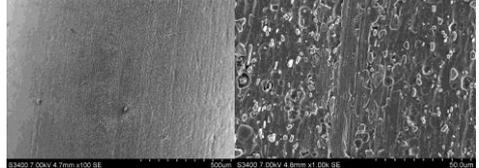
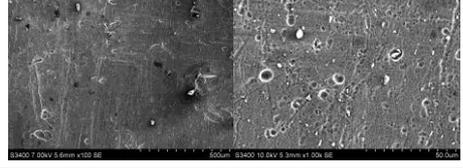
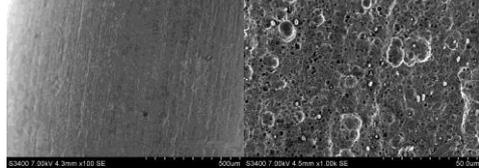
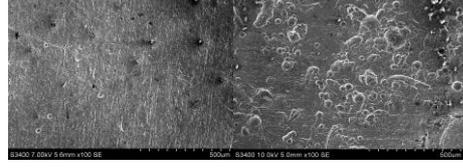
	Поверхность сварочной проволоки	Поверхность основного металла
Состояние поставки		
Травление 30 секунд		
Травление 60 секунд		
Травление 120 секунд		

Рисунок 2 - Поверхности сварной проволоки СВАМгЗ и основного металла АМг2м, при увеличении 100× и увеличении 1000×

На поверхности основного металла и проволоки наблюдаются сходные результаты влияния операции травления. Из этого следует, что наилучшее время травления проволоки и основного металла составляет 45 – 75 сек.

Для проведения операции подготовки кромок под сварку используют круговую металлическую щетку из нержавеющей стали.

Проведены химический и микроструктурный анализы (рисунок 3) поверхности рабочего торца щетинки металлической щетки, которые показали, что на поверхности щетинок остается оксид алюминия.

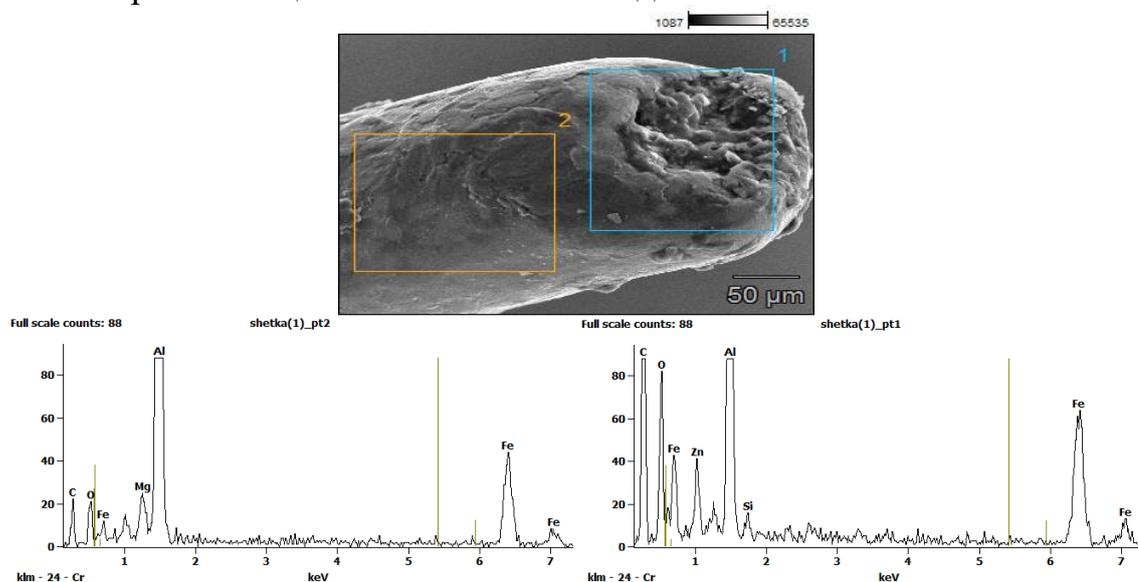


Рисунок 3 – Поверхность рабочего торца щетинки

Вследствие зачистки оксид алюминия закатывается под слои обрабатываемого металла, что приводит к окислению и дальнейшему порообразованию при сварке. Этот эффект можно объяснить тем, что при движении рабочего торца щетинки по алюминиевой поверхности возникает нагрев до температуры плавления алюминия и перенос алюминия на более холодную стальную поверхность с возможностью его диффузии.

Исследовалось влияние частоты импульса сварочной дуги на структуру и свойства сварных соединений элементов алюминиевого трубопровода на установке MasterTig3500.

На четырёх образцах при формировании сварных швов варьировалась частота импульса сварочного тока: 50; 100; 150; 200 Гц (рисунок 4).

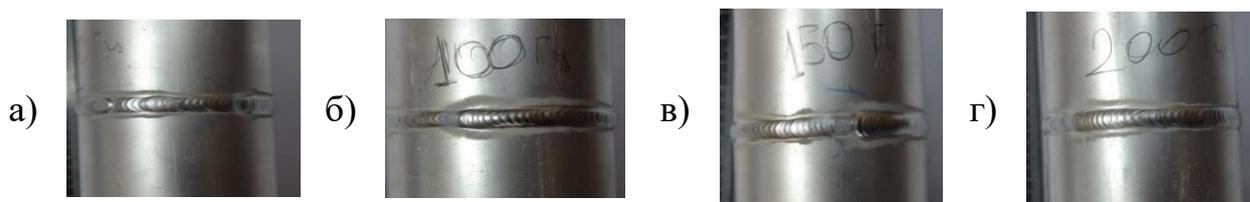


Рисунок 4 – Полученные сварные образцы
а – образец 1; б – образец 2; в – образец 3; г – образец 4

Установлено, что пониженные значения частоты сварочного тока (ниже 75 Гц) недостаточны для эффективного разрушения оксидной пленки и приводят к возникновению непроваров и поверхностных рыхлотов. Повышение частоты до 100 - 150 Гц приводит к улучшению и информативности процесса формирования сварного соединения, хотя и усугубляет шумовой фон. Частота 200 Гц существенно ускоряет разрушение поверхностной оксидной пленки, как основного, так и присадочного металла, обуславливая ускорение процесса сварки с обеспечением стабильного качества сварного шва.

Проведено исследование трубопровода, имеющего дефекты в виде пор, выявленных в сварных соединениях. Установлено, что в более 50% случаев поры в сварных соединениях расположены именно на тех участках, где прерывается и возобновляется дуговой разряд (рисунок 5).

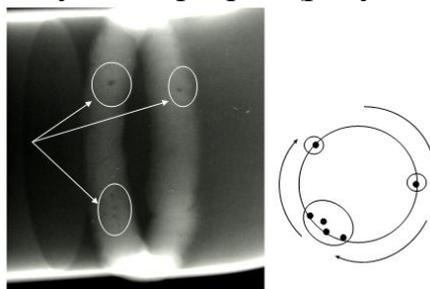


Рисунок 5 - Рентгенограмма кольцевого соединения трубопровода

Данные, полученные в ходе исследования, подтверждают теоретические сведения о механизме внесения капиллярно-конденсированной влаги с поверхности проволоки в сварочную ванну. Процесс внесения присадочного материала в сварочную ванну связан с чередованием манипуляций введения и вывода присадочного материала из зоны горения дуги. При небольшом перерыве, связанным с поворотом детали, с заменой детали и т.д., дефекты, образованные нерасплавленным металлом на проволоке с обратной стороны поверхности, способны накапливать капиллярно-конденсированную влагу. При возобновлении процесса сварки некий объем пластифицированного материала обратной стороны проволоки будет вовлечен в сварочную ванну, что повлечет за собой образование пор.

Во избежание образования дефектов, появляющихся таким образом, необходимо после каждой остановки удалять оплавленный конец присадочной проволоки.

Исследовано влияние времени после травления до начала сварки на качество сварного соединения элементов алюминиевых трубопроводных систем.

Сварка образцов производилась сразу после травления, через 3 часа, через 7 часов и через сутки после травления. По полученным данным составили график зависимости общей площади пор в образцах на время сварки после травления.



Рисунок 6 - Площадь пор в образцах

По данным графика видно, что основная часть дефектов образовывается через три часа после травления.

Проведены испытания сварных плоских образцов (ширина 10×150×1,0 мм, $L_p = 55$ мм) на статическое растяжение. Анализ результатов испытаний показал, что сварные соединения выдерживают нагрузку, так как разрушение всех образцов произошло по основному металлу. При этом предел прочности образцов не превысил 174 МПа, а относительное удлинение 31%. По ГОСТ 4784 – 97 значение механических свойств, для труб ГОСТ 18482-79, следующие: $\sigma_b = 155$ МПа; $\sigma_t = 60$ МПа; $\delta = 10$ %. Таким образом, все образцы соответствуют требованиям, предъявляемым к основному металлу.

Так же проведены испытания на статическое растяжение сварных четырёх трубчатых образцов (рисунок 7). Размеры образцов № 1, 2, 3: диаметр 63 мм, толщина стенки 1,0 мм, общая длина 300 мм. Размер образца № 3: диаметр 25 мм, толщина стенки 1,0 мм, общая длина 300 мм.



Рисунок 7 – Образцы, подвергнутые испытанию на статическое растяжение

Анализ результатов испытаний показал, что сварные соединения выдерживают нагрузку, так как разрушение всех образцов произошло в околошовной зоне и по основному металлу. Проанализировав результаты (рисунок 8, таблица 2) видно, что все образцы труб соответствуют труб ГОСТ 18482-79 и прошли испытания.

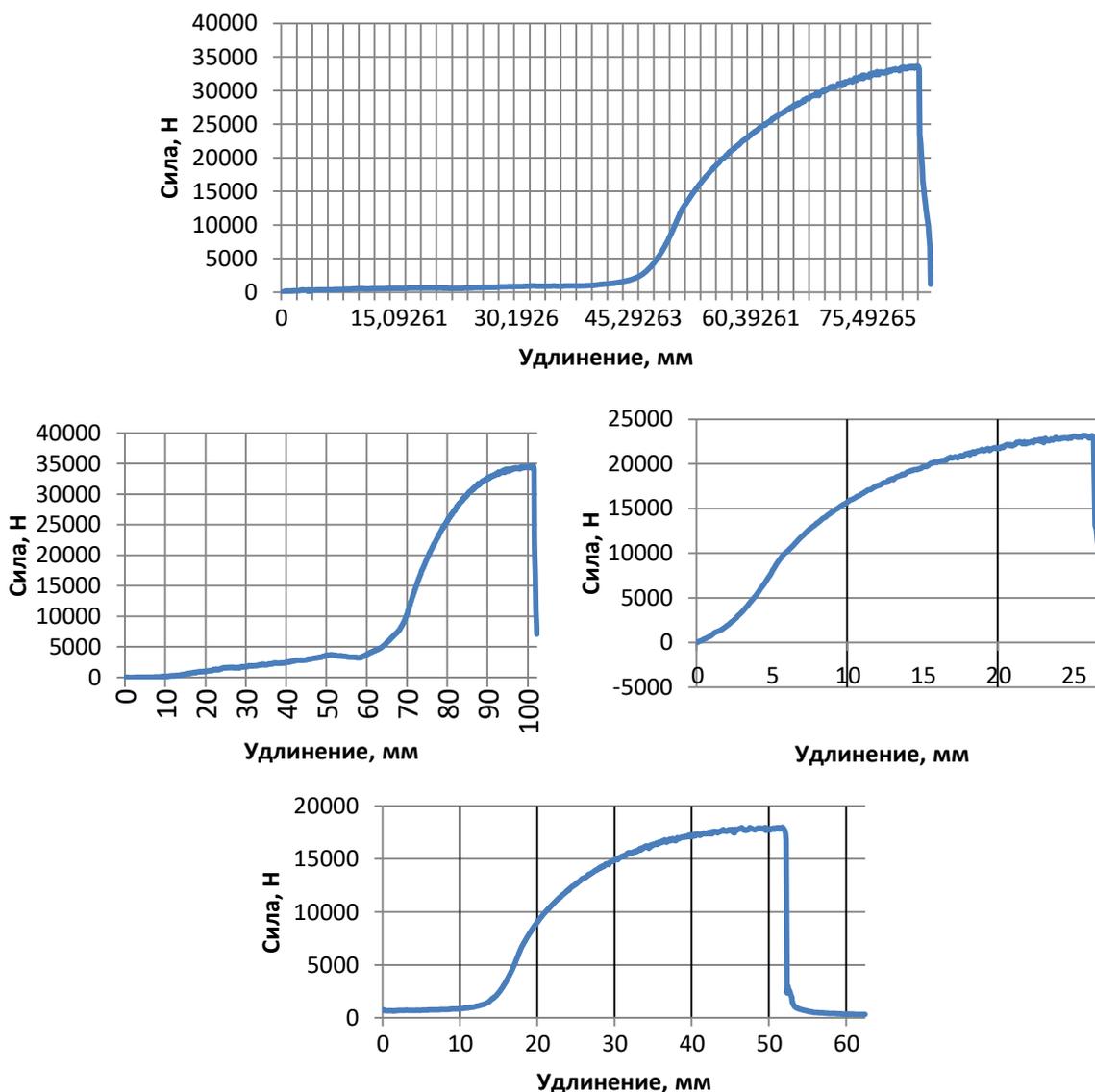


Рисунок 8 - Результаты испытаний образцов на статическое растяжение

Таблица 2 – Предел прочности и относительное удлинение образцов

№ образца	Максимальная сила, Н	Относительное удлинение, %
1	33600	28
2	34600	34
3	23200	9
4	18000	21

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Установлено, что качество поверхности свариваемых деталей и сварочных материалов из алюминия и его сплавов играют решающую роль в образовании дефектов сварного соединения.

На качество поверхности свариваемых деталей большую роль играет операция сборки, в результате которой возможно загрязнение обрабатываемых поверхностей.

Наилучшее время травления проволоки и основного металла составляет 45-75 секунд, которое обеспечивает устранение дефектов волочения и оптимальной величины оксидной пленки.

Применение в технологическом процессе подготовки кромок под сварку металлических щеток способствует интенсивному окислению и нанесению оксида алюминия на поверхность обрабатываемой кромки.

Применение частоты импульса сварочного тока 150-170 Гц ускоряет разрушение поверхностной оксидной пленки, как основного, так и присадочного металла, обеспечивается стабильный и качественный сварной шов.

Рекомендации

На данный момент слесаря и сварщики снабжены униформой темного цвета, на которой сложно определить и заметить загрязнения. С целью определения загрязнённости одежды ввести белую униформу для слесарей и сварщиков;

Использование хлопчато-бумажных перчаток приводит к дополнительному загрязнению поверхности проволоки и металла, поэтому предлагается использовать кожаные перчатки, дающие возможность их обезжиривания перед сваркой;

Непосредственно перед сваркой обезжиривать детали в ультразвуковом контейнере со спиртом;

Изменить время травления на 45-75 секунд;

Использовать газовую защиту корня шва;

Производить сварку алюминиевых труб, толщиной до 1,5 мм при частоте импульса 150-170 Гц, токе сварки 60-90 А;

Исключить из ТП обработку металлическими щетками, заменив их шаберами;

Использовать автоматические установки для сварки Fronius и Orbimat, с целью исключения человеческого фактора;

Для кольцевых швов разработать устройство, для вращения заготовки, с целью выполнения сварного шва без перерыва на вращение детали.

Публикации

1. Причины возникновения дефектов при сварке алюминиевого трубопровода / Бабарин Д.В., Ковалёв В.А., Ващук И.А. // материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 10-21 апреля 2017 г. / редкол.: Э.А. Дмитриева (отв. ред.) [и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГТУ», 2017. – С. 71 – 74.

2. Исследование влияния частоты импульса сварочной дуги на структуру и свойства сварных соединений элементов алюминиевых трубопроводных систем, выполненных на установке MASTERTIG 3500 / Бахматов П. В., Мазур С. П., Муравьёв В. И., Ковалёв В. А. // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре гос. ун-та. Наука о природе и технике. 2016. - № II-1 (26). – С. 89-100.