

**Институт машиноведения и автоматике Национальной академии
наук Кыргызской Республики**

**Кыргызский государственный технический
университет им. И. Раззакова**

Диссертационный совет Д 05.02.08

На правах рукописи
УДК 621.791.16:621.785.527

Белекова Жылдыз Шаршеналыевна

**Исследование и разработка режима сварки СМТ (Cold Metal
Transfer) мелкозернистых лёгких сплавов**

05.02.08-технология машиностроения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек - 2022

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения»
Кыргызского государственного технического университета
им. И. Раззакова

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Рыспаев Талант Акимжанович

(должность, место работы)

Официальные оппоненты: _____

(Фамилия Имя Отчество
ученая степень, ученое звание,
должность, место работы)

(Фамилия Имя Отчество
ученая степень, ученое звание,
должность, место работы)

(Фамилия Имя Отчество
ученая степень, ученое звание,
должность, место работы)

Ведущая (оппонирующая) организация:

(название, структурное подразделение, адрес)

Защита состоится _____ на заседании диссертационного
совета _____

(дата, время) (шифр

_____ .

диссертационного совета, название организации, при которой создан
диссертационный совет, адрес и сайт организации)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках _____ .

(название организаций, при которых создан
диссертационный совет, адрес)

Автореферат разослан.

(дата)

Ученый секретарь

диссертационного совета

ученая степень, ученое звание Фамилия, И.О.

(подпись)

Примечание:

1. Линии и подстрочные пояснения не печатаются.

2. Экземпляры автореферата подписываются соискателем в конце
автореферата.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Сварка является одним из ведущих технологических процессов в машиностроении и играет большую роль в промышленности развитых стран.

Из-за большого интереса для уменьшения веса машин и конструкции, экологичности и экономности, алюминий и его сплавы пользуются большим спросом в машиностроении, и, в особенности, в самолетостроении.

Главное преимущество сварочного производства- выпуск экономичных конструкций, которые по прочностным свойствам отвечают назначению и тем условиям эксплуатации, для которых они создаются.

В последнее время промышленные предприятия и малые производства Кыргызстана начали широко использовать разные сварочные технологии. При этом очень важно обеспечить качественный сварочный шов для сохранения механических свойств основного материала, т.е. сплава. Кроме того, очень важны фактор времени и экономичность всего технологического процесса. Таким образом, нужно обратить внимание на весь технологический процесс сварки, а также на квалификацию сварщика и качества сварочного оборудования.

В связи с восстановлением машиностроительных производств в Кыргызской Республике стал вопрос более детального изучения одного из современного вида сварки, и улучшения технологических параметров при сварке алюминиевых сплавов. В основном алюминиевые сплавы свариваются на устаревшей технике, и, соответственно, качество сварного шва не всегда отвечает требованиям. Для решения конкретной задачи для сварки ответственных деталей были проведены научно-исследовательские работы по сварке алюминиевых сплавов совместно с Институтом сварки и Технологии металлов Технического Университета Клаусталь в Нижней Саксонии (Германия).

Актуальность темы диссертации. Согласно анализу литературных данных, сварка алюминиевых сплавов (5083, 6082) новейшим методом сварки с малой теплотой (СМТ- Cold Metal Transfer) проводились. Однако, до настоящего времени не было достаточных работ по СМТ алюминиевых сплавов 6082 и 5083 с толщиной листа 2 мм, которые широко применяются для изготовления труб.

Сварка алюминиевых сплавов сопровождаются такими трудностями, как: оксидная пленка, горячие и холодные трещины. Более того, возникающая пористость при сварке усложняет процесс сварки, и требует применения специального сварочного оборудования.

Необходимо отметить, что в литературе отсутствуют комплексные работы по сварке тонких листов алюминиевых сплавов методом СМТ, в которых было подробно рассмотрено влияние микроструктуры на свойства сварочного шва и основного материала. Также, не достаточно данных о влиянии параметров СМТ-сварки на механические свойства получаемых соединений.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями: в рамках проекта «Wolkswagen Stiftung»: Создание кыргызско-немецкого Компетент Центра для сварки при КГТУ им. И.Раззакова.

Целью работы является: определение путей и методов повышения качества сварки СМТ алюминиевых сплавов.

Для достижения вышеизложенных целей были поставлены следующие задачи:

- выявить параметры СМТ-сварки, влияющие на качество сварного соединения;
- определить характер влияния скорости подачи проволоки при СМТ-сварке на характеристики прочности сварного соединения;
- разработать эмпирические модели, отражающие степень влияния скорости подачи проволоки на качество сварного соединения.

Научная новизна полученных результатов:

- на основании результатов обширно проведенных экспериментов разработаны эмпирические модели позволяющие рассчитать предел прочности сварного шва в зависимости от скорости подачи проволоки и количества пор;
- определена эмпирическая модель, позволяющая рассчитать величину снижения характеристик прочности сварных швов в зависимости количества пор.

Практическая значимость полученных результатов:

- определены режимы и условия СМТ сварки позволяющие получить высокое качество сварного шва:
 - инертный газ чистый аргон и смесь газ Ar/He 30;
 - диаметр сварочной проволоки 1,2 мм;
 - скорость сварки 0,4 м/мин;
 - скорость подачи сварочной проволоки 3,5;4;4,5;5 м/мин;
- полученные результаты диссертационной работы рекомендуется использовать при сварке 5083 (Al-Mg), 6082 (Al-Mg-Si) материалов.

Экономическая значимость полученных результатов.

Экономическая эффективность использования результатов работы является повышение качества и надежности сварных швов алюминиевых сплавов 5083 (Al-Mg) и 6082(Al-Mg-Si), полученных методом сварки СМТ, выраженное в увеличении срока службы сваренных изделий.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- характер влияния параметров режима, сварки СМТ алюминиевых сплавов 5083 (Al-Mg) и 6082(Al-Mg-Si) на качество сварного соединения;
- эмпирическая модель, отражающая влияние скорости подачи проволоки на предел прочности сварного соединения.

- эмпирическая модель, отражающая влияние количества пор на характеристики прочности сварного соединения.

Личный вклад соискателя. Научные и экспериментальные исследования и обработка результатов проведены соискателем лично. В соавторстве д.т.н. профессором Рагриным Н.А. разработаны эмпирические модели.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы доложены на четырнадцатой общероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения», (г. Санкт-Петербург, 15–19 ноября 2021 г.), на Международной научно-практической конференции «Инновации в науке и технике» (г. Бишкек 20-21 апреля 2022 г.), на VIII Международной сетевой научно-практической конференции «Современные интеграционные процессы в развитии инноваций в образовании и науке» (г. Бишкек 12 мая 2022 г.) заседание в Доме Учёных секции «Технологии машиностроения и приборостроения» (г. Бишкек 23 мая 2022 г) в удалённом режиме.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликованы 12 научных работ, из них 5 статей - в научных журналах, индексируемых системой РИНЦ, RSCI (ядро РИНЦ) в России.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста. Состоит из введения, 3 глав, выводов, списка литературы, включающего 65 источников. Работа содержит 54 рисунка, 66 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы, включая актуальность темы и цель исследований, сформулированы основные положения диссертации.

В первой главе представлены результаты обзора и анализа научно-технической литературы по теме диссертационной работы. Дано общее понятие сварки алюминиевых сплавов, подробно описаны технологии и особенности сварки алюминиевых листов, приведены основные факторы, влияющие на разрыв сварочного шва, а также методы по их устранению и обеспечения качества сварочного шва. Установлено, что самым эффективным способом считается сварка алюминиевых сплавов на оборудовании СМТ Fronius. СМТ процесс известен как Cold Metal Transfer (холодный перенос металла) производство компании Фрониус, известно с 2005 года. Как уже писал журнал [15], революционность СМТ процесса, состоит в том, что в ней впервые в ходе сварки (пайки) напрямую используется процесс движения проволоки, а цифровое управление позволяет оперативно обнаруживать момент короткого замыкания и отделять

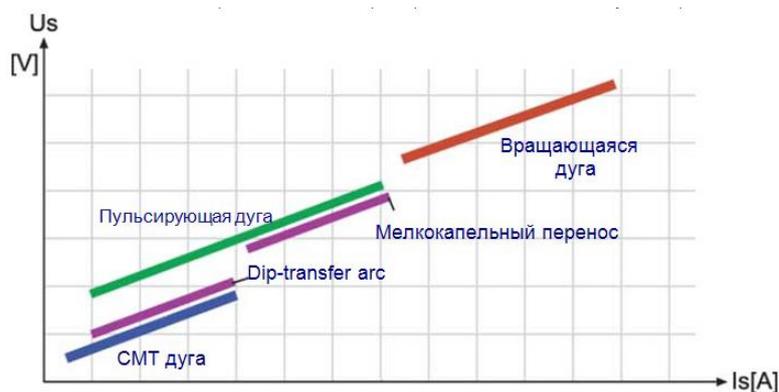


Рисунок 1– Виды дуг

СМТ дуга предназначена для цветных материалов где требуется минимальная мощность, которая соответствует минимальная теплоотдача, формирующая качественный сварочный шов.

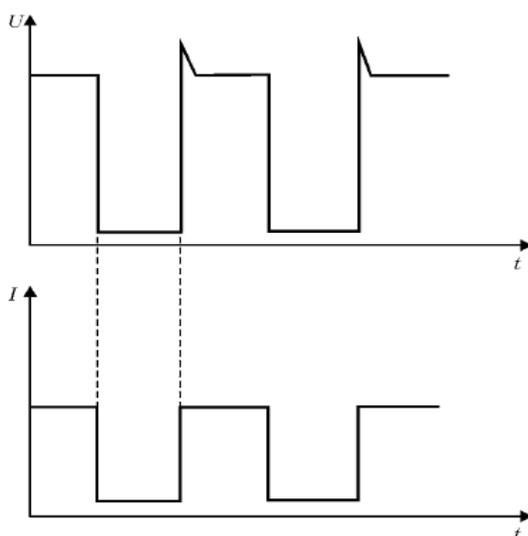


Рисунок 2 – Переход материала в шов, осуществляемый почти без тока

Свариваемость конструкции зависит от пригодности свариваемости материала от безопасности сварки и сварочных возможностей. В связи с этим важно отметить при сварке черных (сталь и чугун) также цветных материалов важно соблюдать правила для экономии времени и средств [28].

При увеличении диаметра электродной проволоки и неизменном сварочном токе плотность тока на электроде уменьшается, одновременно усиливается блуждание дуги между концом электрода и поверхностью сварочной ванны, что приводит к возрастанию ширины шва и уменьшению

металл в сварочную ванну буквально по капле. На следующем рисунке 1 представлены виды дуг, с которыми работает процесс СМТ.

Cold MetalTransfer (СМТ) - проверенный тип сварочного метода с использованием металлического инертного газа (MIG). С помощью СМТ процесса соединять не только одинаковые материалы, но и разнородные материалы[49]. При СМТ тепловой эффект постоянно меняется с горячего на холодный, создавая подобие контрастного душа [50]. Минимальной теплоотдачей также занимается известная немецкая фирма Merkle, процесс называется ColdMiG. Теплоотдача при этом методе на 20-30% меньше чем при традиционной сварке.

глубины провара. И, наоборот, при уменьшении диаметра электродной проволоки плотность тока в ней увеличивается, уменьшается блуждание дуги, происходит концентрация теплоты на малой площади сварочной ванны, и глубина провара возрастает, ширина шва при этом уменьшается. Это позволяет при сварке тонкой электродной проволокой сравнительно на небольших токах получать глубокий провар [27].

Алюминиевые сплавы свариваются лучше в среде защитных газов, а именно металл инертных газов (аргон, гелий). При сварке алюминиевых сплавов был выбран защитный газ аргон и гелий. Принцип работы сварки в защитных газах состоит, загорается сварочная дуга расплавляет сварочную проволоку и заготовку образуя между ними сварочную ванну. Как правило сварочный электрод анод (плюс электрод) и основной материал катод (минус). Газ защищает сварочный расплав от нежелательных реакций атмосферы. При сварке газ влияет на характеристику формирования сварочного шва [24,25]. Ниже на рисунке 3 представлен принцип работы сварки в защитных газах [24]. Расход защитного газа устанавливают в зависимости от химического состава и толщины свариваемого материала [19].

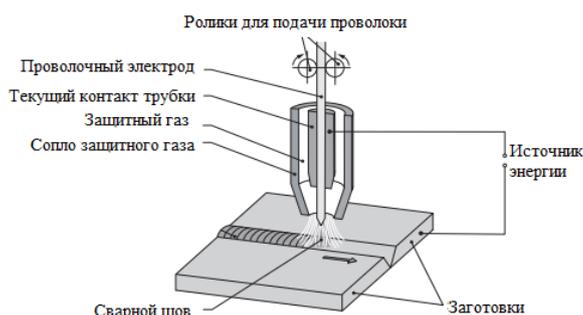


Рисунок 3— Принцип работы сварки в защитных газах

При сварке важно соблюдать все меры для улучшения качества и формирования идеального сварочного провара.

Один важный параметр - скорость подачи проволоки. Для устойчивого процесса сварки скорость подачи электродной проволоки должна быть равна скорости ее плавления. При недостаточной скорости подачи проволоки возможны периодические

обрывы дуги, при слишком большой скорости происходят частые короткие замыкания электрода на сварочную ванну. Все это ведет к появлению непроваров и неудовлетворительному формированию шва.

Выводы по первой главе

1. Сварка алюминиевых сплавов сопровождается такими трудностями как: наличие оксидной пленки, горячие и холодные трещины, пористость, которые усложняют процесс сварки и требуют применения специального сварочного оборудования.

2. При уменьшении диаметра электродной проволоки плотность тока в ней увеличивается, уменьшается блуждание дуги, происходит концентрация теплоты на малой площади сварочной ванны, и глубина провара возрастает,

ширина шва при этом уменьшается. Это позволяет при сварке электродной проволокой малого диаметра сравнительно на небольших токах получать глубокий провар.

3. Проволока недостаточного диаметра может вызывать дуговые разряды между проволокой и внутренней поверхностью наконечника, что приводит к повышенному изнашиванию наконечника и его сплавлению с проволокой. Проволока слишком большого диаметра требует излишнего усилия при подаче, приводит к закупориванию наконечника, рывкам проволоки и простоям оборудования.

4. Химический состав сварочной проволоки влияет на качество и прочность сварного шва.

5. Состав защитного газа существенно влияет на качество сварного шва и зависит от марки свариваемого материала и типа соединения. Аргон и аргонно-гелиевая смесь обеспечивает высокую стабильность горения дуги и тепловую мощность.

6. Скорость подачи проволоки является одним из наиболее важных параметров режима сварки. При недостаточной скорости подачи проволоки возможны периодические обрывы дуги, при слишком большой скорости происходят частые короткие замыкания электрода на сварочную ванну.

7. Одним из наиболее важных параметров, характеризующих качество сварного шва, является временное сопротивление растяжению (предел прочности σ_B).

9. До настоящего времени не было работ, связанных с контактной дуговой сваркой (СМТ) плавящимся электродом в среде инертных газов алюминиевых сплавов 6082 и 5083 при толщине листа 2 мм, широко применяемых для изготовления труб.

10. Не рассматривались комплексные работы, в которых было рассмотрено влияние микроструктур на свойства сварочного шва и основного материала. В абсолютном большинстве современных исследований отсутствуют данные о влиянии сварки (СМТ) на механические свойства получаемых соединений.

11. В настоящее время отсутствуют математические зависимости, характеризующие влияние режима и условий контактной дуговой сварки плавящимся электродом в среде инертных газов сварки на качественные показатели сварного шва.

Вторая глава посвящена материалам и методике исследований алюминиевых сплавов марок 5083 Al-Mg, 6082 Al-Si-Mg. Исследования проводились в институте «Сварки и резки металлов» в Техническом университете Клаусталь (Германия). Сварочные работы проводились в сварочном цеху. В качестве основного материала применялся сплав Al-Mg-Si марки AW6082T6 (аналог АД35), а также сплав Al-Mg марки 5083 (аналог АМг4,5). Сварочная проволока AlMgMn 5087.

Химический состав сплава 6082 AlSi1MgMn (масс. %)

Таблица 1

| Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti | Al |
|---------|-----|-----|----------|---------|------|-----|-----|------|
| 0,7-1,3 | 0,5 | 0,1 | 0,40-1,0 | 0,6-1,2 | 0,25 | 0,2 | 0,1 | ост. |

Химический состав сплава AlMg4,5 5083 (масс. %)

Таблица 2

| Mg | Fe | Cu | Mn | Si | Cr | Zn | Ti | Al |
|---------|------|------|----------|------|-----------|------|------|------|
| 4,0-4,9 | 0,40 | 0,10 | 0,40-1,0 | 0,40 | 0,05-0,25 | 0,25 | 0,15 | ост. |

Химический состав сплава AlMg4,5Mn Zr 5087 (масс. %)

Таблица 3

| Mg | Fe | Cu | Mn | Si | Cr | Zn | Ti | Al |
|---------|------|------|---------|------|-----------|------|------|------|
| 4,5-5,2 | 0,40 | 0,05 | 0,7-1,1 | 0,25 | 0,05-0,25 | 0,25 | 0,15 | ост. |

Сварные соединения серии 6082 (Al-Mg-Si) и 5083 (Al-Mg) получали методом сварки СМТ Cold Metal Transfer (Холодный перенос металла). Все эксперименты проводились в техническом университете Клаусталь (Германия), в институте «Сварки и резки металлов». Ниже представлена оборуодование СМТ от фирмы «Фрониус» рисунок 4.

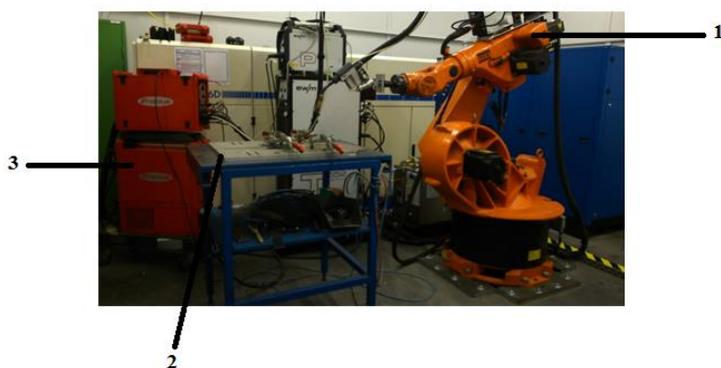


Рисунок 4 – Сварочное оборудование СМТ, 1-сварочный робот «Кюка», 2-сварочный стол, 3-сварочная установка

СМТ система состоит из 1-устройство для подачи проволоки, 2-источник тока с цифровым управлением, 3-блок охлаждения, 4-пульт для дистанционного управления, 5-сварочная горелка, которая обеспечивает точную подачу проволоки и постоянное прижимное усилие, 6-газ.

Сварочный аппарат компании «Фрониус» отличается цифровыми панелями управления и встроенной подачей проволоки, что намного облегчает процесс сварки. СМТ означает «холодный» перенос материала, который обеспечивает стабильную дугу и более точное управление процессом. На рисунке 5 показан принцип работы СМТ, при сварке проволока движется вперед, а как только происходит короткое замыкание, она отводится назад. За счет этого сама дуга в фазе горения оказывает тепловое воздействие в очень короткий промежуток времени. В фазе горения дуги присадочный материал

переносится в ванну. При погружении присадочного материала в ванну дуга гаснет. Сварочный ток уменьшается. Обратное движение проволоки способствует отрыву капли во время короткого замыкания. Ток короткого замыкания поддерживается при низком уровне. Направление движение проволоки меняется и процесс начинается заново.



Рисунок 5 – Принцип работы СМТ дуги

При сварке СМТ возможны такие виды как: СМТ и СМТ импульс. СМТ импульс имеет большее тепловое воздействие на материал чем при сварке СМТ. Целенаправленное регулирование импульсов обеспечивает большой диапазон мощности. На рисунке 4 показана общая

установка и состав СМТ системы.

Снятие оксидного слоя с алюминиевых сплавов с помощью абразивного круга. Специальная машина, насадка из электрокорунда, основа абразивного круга состоит из высокопроцентного оксида алюминия Al_2O_3 с добавлением окиси кальция. Во время рабочего процесса, были надеты специальные наушники, защитные очки и перчатки. Лист для сварки был закреплен в тисках с двух сторон. Операция шлифования удаляет с поверхностей различные виды загрязнений. После образцы были очищены этиловым спиртом (этанол) и протравлены 5% гидроксидом натрия NaOH «каустической соды». Угол разделки кромок $\alpha = (60-90^\circ)$ выполняется при толщине металла более 3мм, поскольку его отсутствие (разделки кромок) может привести к непровару по сечению сварного соединения, при отсутствии кромок увеличивается величина сварочного тока [28].

Размеры листов для сварки 200x105 мм.

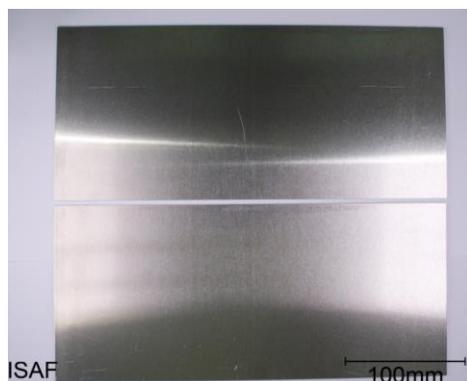


Рисунок 6 – Готовые листы для сварки

На основании предварительных исследований были выбраны и условия сварки СМТ, позволяющие устранить большинство дефектов сварки:

После устранения дефектов с помощью экспериментальных данных, были выбраны следующие параметры для сварки:

- инертный газ чистый аргон и смесь газ Ar/He 30;
- свариваемые материалы
- толщина листа 2мм
- диаметр сварочной проволоки между 1,2 мм 1,6 мм;
- материалы сварочной проволоки
- скорость сварки 0,4 м/мин;
- скорость подачи сварочной проволоки 3,5;4;4,5;5 м/мин

Сварку алюминиевых сплавов 6082 (Al-Mg-Si) и 5083 (Al-Mg) толщиной 2 мм проводили на сварочном оборудовании СМТ, с параметрами режима сварки СМТ. Сварочные образцы закрепляются на столе. Процесс сварки управляется пультом с помощью робота.

Испытание на растяжение алюминиевых сплавов AW6082T6 (Al-Mg-Si), 5083(Al-Mg) проводили с помощью испытательной машины.

На рисунке 7 представлен общий вид высокоскоростной испытательной машины для растяжения. Производство машины принадлежит фирме Zwick/Roell. Максимум испытательной силы 160 Кн. Максимальная скорость растяжение 20м/с, минимальная скорость растяжение 0,1 мм/с.



Рисунок 7 – Высокоскоростная испытательная машина «Amsler НТМ 16020» на пастяжение

металлографическая обработка имеет важное значение.

Микроструктурный анализ проводился на микроскопе «**Leica DM 6000**». Ниже приведен рисунок 8, на котором проводили световую микроскопию. Микроскоп предназначен для изучения макро и микроструктуры материала.

На рисунке 7 представлена схема установки образца на испытательной машине на растяжение. Образец закрепляют с двух сторон болтами с верхней и нижней стороны образца.

Микрошлифы алюминиевых сплавов AW6082T6 (Al-Mg-Si), 5083 (Al-Mg) были заранее подготовлены, прошлифованы и полированы. Для качественных снимков



Рисунок 8 – Световой микроскоп

Третья глава предварительные испытания позволили определить режимы и условия СМТ сварки, позволяющие получить более высокое качество сварного шва:
 -свариваемый материал – алюминевый сплав марки 5083;
 - инертный газ - смесь

инертных газов Ar/He;

- диаметр сварочной проволоки -1,2 мм;
- материал сварочной проволоки алюминевый сплав марки 5087;
- скорость сварки 0,4 м/мин;
- скорость подачи проволоки в пределах от 3,5 до 5,0 м/мин.

Используя выбранные режимы и условия СМТ сварки экспериментально получен график зависимости предела прочности сварного шва от скорости подачи проволоки (рис.9).

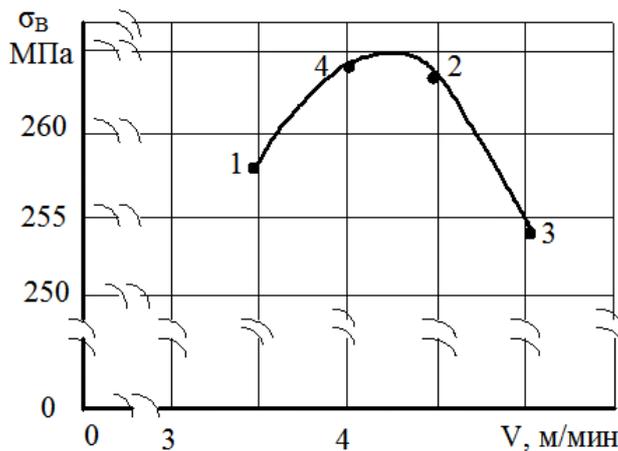


Рисунок 9 - Зависимость предела прочности от скорости подачи проволоки

Аппроксимация графика (рис.10) позволила получить зависимость [1]

$$\sigma_B = 107,0625V^{2,1707} e^{-0,5258V} \quad (1)$$

При проведении предварительных исследований большинство дефектов сварных швов были устранены. Остались поры, устранить которые в полной мере не представляется возможным ввиду наличия в сварочной ванне газов водорода и азота. На рис.10-13 представлены микрошлифы

сварных швов, полученные на скоростях подачи проволоки принятых при построении графика, представленного на рис.11.

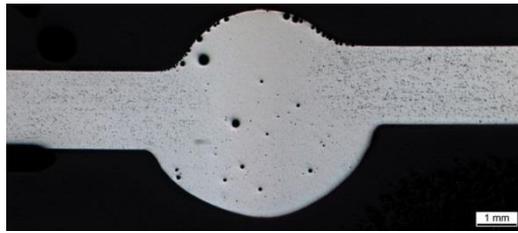


Рисунок 10 - Микрошлиф сварного шва, $V = 3,5$ м/мин

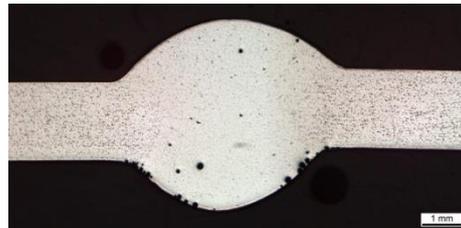


Рисунок 11 - Микрошлиф сварного шва, $V = 4$ м/мин



Рисунок 12- Микрошлиф сварного сварного шва, $V = 5$ м/мин

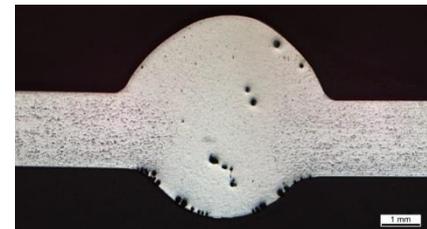


Рисунок 13 - Микрошлиф шва, $V = 4,5$ м/мин

В таблице 4 показаны характеристики прочности сварных швов, и соответствующие им число пор полученные экспериментальным путем [2].

Характеристики прочности сварных швов и соответствующее им число пор

Таблица 4

| № | σ_B , МПа | Δl , % | σ_T , МПа | δ , шт |
|---|------------------|----------------|------------------|---------------|
| 1 | 253 | 14,08 | 129 | 16 |
| 2 | 242 | 13,28 | 124 | 28 |
| 3 | 258 | 13,22 | 131 | 20 |
| 4 | 274 | 15,71 | 138 | 9 |
| 5 | 216 | 12,23 | 120 | 37 |
| 6 | 250 | 14,5 | 125 | 15 |

Графическое выражение зависимостей характеристик прочности от числа пор представлены на рис.14-16.

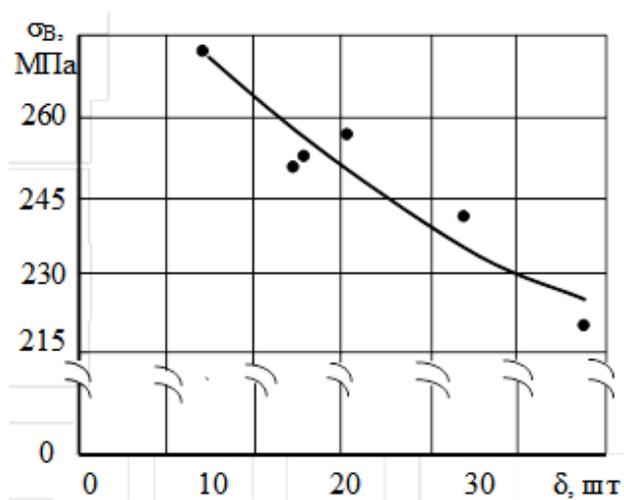


Рисунок 14 - Зависимость предела прочности от числа пор

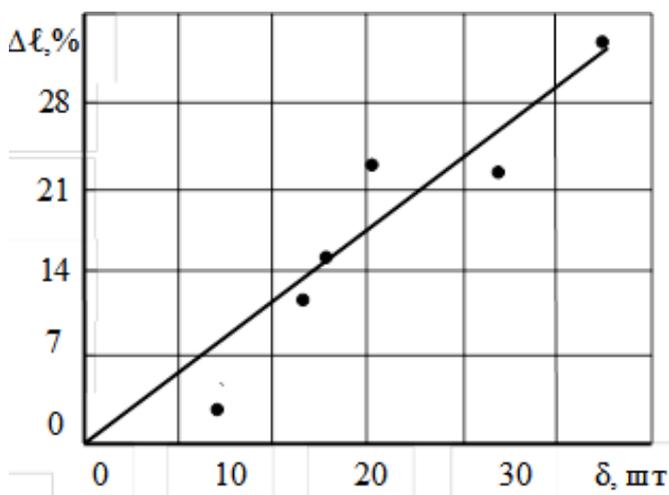


Рисунок 15 - Зависимость относительного удлинения от числа пор

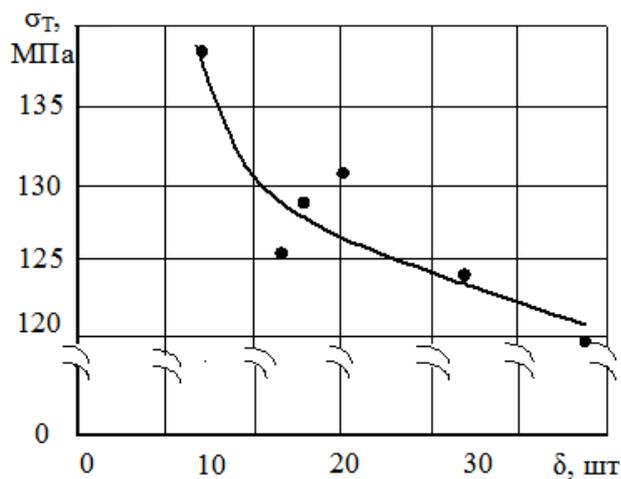


Рисунок 16 - Зависимость предела текучести от числа пор

Кривые графиков зависимостей характеристик прочности сварных швов от числа пор представленных на рис.14, рис.15 и рис.16 являются статистическими зависимостями, полученными усреднением нескольких измерений в каждой точке, поэтому аппроксимация этих зависимостей проводилась методом наименьших квадратов [3].

В результате регрессионного анализа определялись коэффициенты регрессии трех статистических зависимостей: прямой, степенной и экспоненциальной. Затем рассчитывался коэффициент корреляции каждой из них, и методом сравнительного анализа определялись зависимости наиболее адекватная результатам исследований. Это линейная зависимость (2) для предела прочности, степенная зависимость (3) для относительного удлинения и экспоненциальная зависимость (4) для предела текучести [4], и полученная ранее зависимость (1) которые представляют эмпирическую модель, отражающую характер влияния параметра режима и дефекта СМТ сварки на качество сварного шва.

$$\sigma_B = 107,0625V^{2,1707}e^{-0,5258V}, (1)$$

$$\sigma_B = 286,042 - 1,786\delta, (2)$$

$$\Delta l = 22,5315\delta^{-0,168}, (3)$$

$$\sigma_T = 164,8\delta^{-0,0865}. (4)$$

Данная математическая модель получена экспериментальным путем и с высокой точностью позволяет рассчитать характеристики прочности сварных швов в зависимости от скорости подачи проволоки и числа пор.

Выводы

1. Определены режимы и условия СМТ-сварки, позволяющие получить высокое качество сварного шва.

2. Определено, что в большей мере на качество сварного шва влияет рекомендуемый диапазон скоростей: 3,5;4;4,5;5 м/мин подачи проволоки. Получена зависимость, отражающая характер влияния скорости подачи проволоки на предел прочности сварного шва.

3. Доказано, что количество пор существенно влияет на снижение прочности сварных швов: предел прочности, относительное удлинение и предел текучести.

4. Получены зависимости, отражающие характер влияния количества пор на характеристики прочности сварных швов и на величину их снижения.

5. Разработана модели, позволяющие рассчитать предел прочности сварного шва в зависимости от скорости подачи проволоки и величину характеристик прочности сварных швов в зависимости количества пор.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Рекомендации по практическому использованию полученных результатов диссертации:

- определены режимы и условия СМТ сварки позволяющие получить высокое качество сварного шва:
 - инертный газ чистый аргон и смесь газ Ar/He 30;
 - диаметр сварочной проволоки 1,2 мм;
 - скорость сварки 0,4 м/мин;
 - скорость подачи сварочной проволоки 3,5;4;4,5;5 м/мин;
- полученные результаты диссертационной работы рекомендуется использовать при сварке 5083 (Al-Mg), 6082 (Al-Mg-Si) материалов.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Белекова, Ж.Ш. Оптимизация сварочных режимов алюминиевых сплавов(Al-Mg-Si) марки 6082 Т6 в МИГ (Металл инерт газ) сварке/ Ж.Ш. Белекова, А.А. Орозбаев. Известия КГТУ №34-Бишкек, 2015. Стр.103-106
2. Белекова, Ж.Ш. Перспективные алюминиевые сплавы Al-Mg-Si марки 6082 Т6/ Ж.Ш. Белекова, А.А. Хасанов, Известия КГТУ № 35-Бишкек, 2015. Стр.148-150
3. Определение износостойкости наплавленных деталей для грузовых вагонов ГП «Кыргыз Темир жолдору» Известия КГТУ №34-Бишкек, 2015. Стр.95-103.
4. Белекова, Ж.Ш.Технология и особенности сварки алюминиевых сплавов марки 6082Т6 (Al-Mg-Si)/ Белекова Ж.Ш. – Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием ОМГУПС-Омск №3, 2016.Стр.118-124
5. Белекова, Ж.Ш. Применение малой теплоты для сварки алюминиевых сплавов марки 6082Т6 (Al-Mg-Si)/ Ж.Ш. Белекова. Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: Материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием ОМГУПС-Омск, 2016. Стр.137-141
6. Белекова, Ж.Ш. Испытания на растяжение сварных соединений алюминиевых сплавов марки 6082Т6,5083Н111 выполненных сваркой с малой теплотой/ Известия КГТУ №59-Бишкек,2017. Стр.169-173
7. Белекова, Ж.Ш. Рекомендуемые сварочные режимы для алюминиевого сплава (Al-Mg) 5083 при сварке СМТ/ Ж.Ш. Белекова. Известия КГТУ №46/-Бишкек 2018. Стр.128-131

8. Рагрин, Н. А. Методы повышения качества сварки алюминиевых сплавов/Н.А. Рагрин, Ж.Ш. Белекова. Сварочное производство №10-Москва, 2020. Стр.55-60
9. Рагрин, Н. А. Закономерности влияния пористости швов на качество сварных соединений алюминиевых сплавов /Н.А. Рагрин, Ж.Ш.Белекова./ Сварочное производство №2 – Москва 2021 Стр.24-31
10. Рагрин, Н. А., Разработка математической модели определения прочности сварных швов алюминиевых сплавов/ Н.А. Рагрин, Ж.Ш.Белекова.Сварочное производство №9 Москва 2021, Стр.14-22
11. Белекова, Ж.Ш. Повышение качества СМТ сварки алюминиевых сплавов/ Ж. Ш.Белекова, Н. А. Рагрин. Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Вестник БГТУ №81, Санк-Петербург 2022Стр.108-111
12. Белекова Ж.Ш. Исследование и разработка режима сварки смт (cold metal transfer) мелкозернистых легких сплавов/ Ж.Ш. Белекова Инновации в науке и технике КРСУ 2022
13. Белекова Ж.Ш. Разработка путей повышения СМТ сварки алюминиевых сплавов. Международная сетевая научно-практическая конференция «Современные интеграционные процессы в развитии инноваций в образовании и науке»

РЕЗЮМЕСИ

Белекова Жылдыз Шаршеналиевнанын 05.02.08 – «Машина куруу технологиясы» адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн «Учка бүртүкчөлүү жеңил эритмелерди СМТ (муздак металлды өткөрүү) ширетүүчү режимин изилдөө жана иштеп чыгуу» деген темадагы диссертациялары. .

Негизги сөздөр: СМТ, ширетүү технологиясы, ширетүү шарттары, алюминий эритмелери, ширетүү кемчиликтери, ширетүү, микроструктуралык анализ, жакындоо экспериментинин ыкмалары, Пирсон корреляциясы.

Изилдөөнүн объектиси: ширетүүчүнүн жана негизги материалдын касиеттерине микроструктуранын таасирин изилдеген СМТ ыкмасы боюнча алюминий эритмелеринин жука листтерин ширетүү.

Окуу предмети: 5083 (Al-Mg), 6082 (Al-Mg-Si) маркасындагы алюминий эритмелерин СМТ ширетүү.

Иштин максаты: алюминий эритмелерин СМТ ширетүүнүн сапатын жогорулатуунун жолдорун жана ыкмаларын аныктоо.

Изилдөөнүн методдору жана жабдуулары: теориялык изилдөөлөр адабий талдоо жолу менен жүргүзүлдү, эксперименталдык маалыматтар математикалык статистиканын методдору менен иштетилди.

Эксперименттердин журушунда жабдуулар: СМТ ширетүүчү машина, керүүчү машина жана жарык микроскобу колдонулду.

Алынган натыйжалар жана алардын жанылыгы: кенен эксперименттердин натыйжалары боюнча зымдын өтүү ылдамдыгына жана тешикчелердин санына жараша ширетүүнүн акыркы бекемдигин эсептөөгө мүмкүндүк берүүчү эмпирикалык моделдер иштелип чыккан; тешикчелердин санына жараша ширетүүлөрдүн бекемдик мүнөздөмөлөрүнүн төмөндөшүнүн чоңдугун эсептөөгө мүмкүндүк берүүчү эмпирикалык модель аныкталды.

Колдонуу боюнча сунуштар: диссертациялык иштин жыйынтыгы күндүзгү, сырттан окуу бөлүмдөрүнүн бакалаврлары үчүн атайын дисциплиналарды окууда колдонулат.

Колдонуу чөйрөсү: машина куруу технологиясы

РЕЗЮМЕ

Диссертации Белековой Жылдыз Шаршеналыевны на тему: «Исследование и разработка режима сварки СМТ (Cold Metal Transfer) мелкозернистых лёгких сплавов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

Ключевые слова: СМТ, технология сварки, сварочные режимы, алюминиевые сплавы, дефекты сварки, сварной шов, микроструктурный анализ, методы аппроксимации эксперимент, корреляция Пирсона.

Объект исследования: сварка тонких листов алюминиевых сплавов методом СМТ, в которых рассматривается влияние микроструктуры на свойства сварочного шва и основного материала.

Предмет исследования: СМТ сварка алюминиевых сплавов марки 5083 (Al-Mg), 6082 (Al-Mg-Si).

Цель работы: определение путей и методов повышения качества сварки СМТ алюминиевых сплавов.

Методы исследования и аппаратура: теоретические исследования проводились литературным анализом, экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики. При проведении экспериментов использовалось оборудование: сварочный аппарат СМТ, разрывная машина, световой микроскоп.

Полученные результаты и их новизна: на основании результатов обширно проведенных экспериментов разработаны эмпирические модели позволяющие рассчитать предел прочности сварного шва в зависимости от скорости подачи проволоки и количества пор;

- определена эмпирическая модель, позволяющая рассчитать величину снижения характеристик прочности сварных швов в зависимости количества пор.

Рекомендации по использованию: результаты диссертационной работы используются при чтении специальных дисциплин бакалаврам очной, заочной формы обучения.

Область применения: технология машиностроения

RESUME

Dissertations by Belekova Zhyldyz Sharshenaliyevna on the topic: “Research and development of the CMT (Cold Metal Transfer) welding mode of fine-grained light alloys” for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.02.08 - “Mechanical engineering technology”.

Key words: CMT, welding technology, welding conditions, aluminum alloys, welding defects, weld, microstructural analysis, experiment approximation methods, Pearson correlation.

Object of research: welding of thin sheets of aluminum alloys by the CMT method, in which the influence of microstructure on the properties of the weld and the base material is considered.

Subject of study: SMT welding of aluminum alloys of grade 5083 (Al-Mg), 6082 (Al-Mg-Si).

Purpose of the work: determination of ways and methods to improve the quality of CMT welding of aluminum alloys.

Research methods and equipment: theoretical studies were carried out by literary analysis, experimental data were processed by methods of mathematical statistics. During the experiments, the following equipment was used: a CMT welding machine, a tensile machine, and a light microscope.

The results obtained and their novelty: based on the results of extensive experiments, empirical models have been developed that allow calculating the ultimate strength of the weld depending on the wire feed speed and the number of pores; an empirical model has been determined that makes it possible to calculate the magnitude of the decrease in the strength characteristics of welds depending on the number of pores.

Recommendations for use: the results of the dissertation work are used when reading special disciplines for bachelors of full-time, part-time education.

Scope: mechanical engineering technology