

М 43-131

Московское
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

КУЗНЕЦОВ Стефан Викторович

УДК 621.791.1:621,791.16

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНОЙ
ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С УЛЬТРА-
ЗВУКОВОЙ ЗАЧИСТКОЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Специальность 05.03.06 - Технологии и машины
сварочного производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Работа выполнена в Могилёвском машиностроительном институте на кафедре "Оборудование и технология сварочного производства".

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
ПАРХИМОВИЧ Э.М.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор ОРЛОВ Б.Д.

Кандидат технических наук, доцент ВОЛКОВ С.С.

Ведущее предприятие - Минский автомобильный завод.

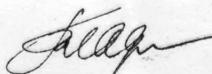
Защита диссертации состоится " " _____ 1985 г.
на заседании специализированного Совета Д053.15.07 при Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана по адресу:
107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим
высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
имени Н.Э.Баумана

Автореферат разослан " " _____ 1985 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
докт. техн. наук, профессор

 Э.А. ГЛАДКОВ

Зак. 327

Ротапринт Могилёвского ЦКТИАМ.

Аб - 01539

Тир. 100 экз. Подписано к печ. 21.05.85

Объем 1 п.л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Актуальность темы. В настоящее время при производстве ответственных металлоконструкций с помощью контактной точечной сварки широко применяются высокопрочные алюминиевые сплавы марок Д16 и В95. Эти сплавы обладают низкой коррозионной стойкостью и с целью ее увеличения плакируются алюминием. В существующей технологии контактной точечной сварки алюминиевых сплавов имеется ряд проблем организационного и технического характера. Основная организационная проблема связана с необходимостью предварительной подготовки поверхностей деталей перед сваркой путем химического травления или механической очистки, а техническая – с низкой прочностью сварных соединений, которая вызвана как концентрацией напряжений на границе литого ядра и основного металла, так и частичным расплавлением плакировки. При частичном расплавлении плакировка, как правило, остается на периферии ядра, что приводит к уменьшению фактического диаметра ядра сварной точки.

В данной работе исследована возможность применения ультразвуковых колебаний (УЗК) для частичного решения организационных и технических проблем при точечной сварке алюминиевых сплавов. Анализ термдеформационных процессов, протекающих в зоне контактов под воздействием УЗК, показал, что ультразвуковые колебания разрушают и вытесняют окисные пленки из зоны контактов, изменяют условия пластической деформации, влияют на перераспределение остаточных напряжений в сварных соединениях, что приводит к изменению характера формирования контактов на протяжении сварочного цикла и начальному распределению линий тока по периферии контакта.

Применение УЗК при контактной точечной сварке алюминиевых сплавов позволяет значительно сократить затраты на предварительную подготовку поверхностей деталей и повысить прочность точечных сварных соединений плакированных сплавов путем формирования ядра сварной точки с периферии контакта.

Целью работы являлось разработка оборудования и технологии контактной точечной сварки алюминиевых сплавов без предварительной подготовки поверхностей деталей, обеспечивающих снижение затрат при производстве металлоконструкций и повышение прочности сварных соединений.



Методы исследований. Основные задачи работы решались экспериментальным и расчетным путем с использованием математического аппарата и методов статистики; металлографического и рентгеноструктурного анализа; осциллографирования основных электрических параметров контактной сварки с наложением ультразвуковых колебаний; исследования влияния технологических режимов сварки и УЗК на качество сварных соединений; испытания на прочность и коррозионную стойкость.

Научная новизна работы заключается в разработке модели формирования точечных сварных соединений плакированных алюминиевых сплавов с целью повышения их прочности путем расплавления ядра сварной точки с периферии контакта с помощью наложения ультразвуковых колебаний и формулируется следующими положениями:

1. Установлено, что формирование расплавленного ядра сварного соединения при точечной сварке алюминиевых сплавов с наложением ультразвуковых колебаний обусловлено действием ультразвука, сферической формой электродов и распределением тока по сечению деталей. В результате совместного действия ультразвуковых колебаний и тангенциальных напряжений в зоне формирования соединения на этапе ультразвуковой зачистки происходит разрушение и вытеснение окисных пленок, причем максимальное разрушение наблюдается на периферии контактов; снижение сил трения, приводящее к повышенной деформации сдвига и, как следствие, к росту площади отпечатка от электродов; повышение температуры, причем максимум температуры находится на периферии контакта. При протекании сварочного тока перечисленные явления приводят к концентрации линий тока на периферии контакта. В результате совместного действия двух источников тепла в этой зоне, сварочного тока и ультразвука, расплавление ядра начинается с периферии контакта и приводит к полному расплавлению плакирующего слоя на границе литого ядра и основного металла.

2. Разработана инженерная методика расчета температур на этапе ультразвуковой зачистки поверхностей деталей от окисных пленок, позволяющая определить долю тепла, вносимого ультразвуковыми колебаниями в образование сварного соединения.

3. Экспериментально установлено, что наложение ультразвуковых колебаний при точечной сварке алюминиевых сплавов приво-

дит к повышению прочности сварных соединений. Это достигается за счет:

- расплавления плакировки на границе литого ядра;
- измельчения структуры литого ядра;
- наведения сжимающих напряжений в сварной точке и околоточечной зоне.

Практическая ценность. Разработанные оборудование и технологический процесс обеспечивают: снижение затрат при производстве металлоконструкций из алюминиевых сплавов за счет подготовки поверхностей деталей непосредственно в электродах контактной машины; позволяют повысить прочность сварных соединений плакированных сплавов за счет полного расплавления плакировки в ядре и наведения сжимающих напряжений в этой зоне. Установлены оптимальные технологические параметры процесса сварки для алюминиевых сплавов Д16АГ и ВЭ5АГ толщиной от $0,5 \cdot 10^{-3}$ м до $2 \cdot 10^{-3}$ м.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Белорусской республиканской научно-технической конференции "Механизация и автоматизация сварочного производства", Могилёв; 1975 г.; на XI и XII научно-технических конференциях Белорусского объединения по производству большегрузных автомобилей. Минск, 1977, 1981 г.г., на I Всесоюзной научно-технической конференции "Применение ультразвуковой сварки пластмасс и металлов в народном хозяйстве", Калининград, 1978 г.; на III Всесоюзной конференции "Прочность и надежность материалов в ультразвуковом поле", Алма-Ата. 1980 г.; Белорусской республиканской научно-технической конференции "Повышение надежности и долговечности деталей машин, механизмов и сварных конструкций". Минск, 1982 г.; научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Могилёвского машиностроительного института в 1975 - 83 г.г.; научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, 1984 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 статей и получено I авторское свидетельство на устройство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, приложений и содержит 104 страницы машинописного текста, 72 рисунка, 6 таблиц и 130 наименований используемой литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность проблемы и сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу свойств алюминиевых сплавов и окисных пленок на их поверхности, обзору существующих способов точечной контактной сварки алюминиевых сплавов, анализу влияния УЗК на процессы, протекающие в металлах, постановке цели и задач работы.

Применение алюминиевых сплавов марок Д16 и В95 при производстве металлоконструкций обусловлено их высокими механическими свойствами, которые они приобретают в результате термической обработки. Наличие меди в составах названных сплавов приводит к снижению их коррозионных свойств, особенно после термической обработки на возврат. Сплавы становятся чувствительными к межкристаллитной коррозии, повышается чувствительность к коррозионному растрескиванию. Для увеличения коррозионной стойкости листы из сплавов Д16 и В95 лакируют с обеих сторон алюминием. При контакте с воздухом на поверхности алюминия образуется окисная пленка, толщина которой приблизительно равна 10^{-7} м.

Свойства и кристаллическое строение окисных пленок могут изменяться в зависимости от условий окисления, однако независимо от этого можно выделить их характерные свойства, имеющие значение для процесса точечной сварки:

- 1) окисные пленки алюминия отличаются высокими защитными свойствами и на определенном этапе окисления предотвращают дальнейшее взаимодействие алюминия с газами;
- 2) окисел Al_2O_3 отличается большой химической прочностью, устойчив против диссоциации и реакции с другими металлами в твердом состоянии. Вытеснение алюминия из окислов в условиях металлургических процессов практически исключено;
- 3) окисел Al_2O_3 отличается высокой температурой плавления (2323 К) и в условиях сварки не расплавляется;
- 4) окисел алюминия обладает высоким сопротивлением, которое зависит от температуры (при 1473 К электросопротивление равно 10^6 Ом м);
- 5) окисная пленка на алюминии отличается сравнительно высокой механической прочностью. При толщине 10^{-7} м прочность

ее на разрыв приближается к 20 МПа;

- б) коэффициент теплового расширения окисной пленки почти в 3 раза меньше коэффициента теплового расширения алюминия.

Ввиду наличия специфических свойств окисных пленок для осуществления качественного процесса контактной точечной сварки алюминиевых сплавов требуется обязательная предварительная подготовка поверхностей деталей, которая осуществляется, как правило, химическим путем и представляет собой сложный технологический процесс, требующий наличия большого количества оборудования, материалов, обслуживающего персонала и производственных площадей.

Анализ существующих способов контактной точечной сварки алюминиевых сплавов показал, что существует ряд процессов, при которых удаление окисных пленок с поверхностей деталей осуществляется непосредственно в электродах контактной машины. Наиболее перспективным из них является способ контактной точечной сварки с наложением УЗК, которые позволяют производить не только очистку деталей от окислов в электродах точечной машины, но и оказывают положительное влияние на процессы, протекающие в металлах как в жидкой, так и твердой фазах. При воздействии ультразвука изменяется первоначальная дислокационная структура металлов в твердой фазе, что приводит к изменению их механических свойств и, в частности, к снижению статического напряжения, необходимого для осуществления пластической деформации, увеличивается микротвердость и изменяется форма зерна. Причинами перечисленных явлений служат инерционные силы, возникающие при больших ускорениях, повышение температуры за счет рассеивания и поглощения ультразвуковой энергии на дефектах кристаллической решетки и силы контактного трения. При облучении УЗК расплавов металлов наблюдается диспергирование их структур после затвердевания, что приводит к повышению механических свойств отливок. Перечисленные эффекты от воздействия УЗК получены при изучении процессов пластической деформации и кристаллизации при времени действия ультразвука исчисляемом минутами. Контактная точечная сварка, в отличие от названных процессов, имеет свою специфику — большие удельные давления, малый объем расплавленного металла, высокую скорость кристаллизации. В этой связи необходимо провести исследования с целью выявления возможностей влияния УЗК на про-

цессы, протекающие в условиях точечной сварки.

При точечной сварке алюминиевых сплавов с предварительной подготовкой поверхностей деталей химическим травлением возможно появление ряда дефектов, наиболее опасным из которых является непровар. Его возникновение связано с неправильным подбором режимов сварки, износом рабочей поверхности электродов, наличием больших зазоров между деталями, наличием плакировки. При сварке плакированных сплавов наблюдается особый вид непровара - частичное расплавление плакирующего слоя. При этом плакировка обычно сохраняется на периферии ядра, что приводит к изменению его фактического диаметра, а также служит дополнительным концентратором напряжений в переходной зоне. Анализ работ Гельмана А.С., Орлова Б.Д., Зайчика Л.В. и других ученых показал, что частичное расплавление плакировки связано с наличием двух факторов:

- 1) низкого электрического сопротивления чистого алюминия, которое в 2 - 3 раза меньше, чем у сплавов Д16 и В95;
- 2) особенностью формирования ядра точечного соединения.

При сварке алюминиевых сплавов одинаковой толщины формирование расплавленного ядра начинается, как правило, с центра контакта. Такое формирование связано с высокой плотностью тока в зоне контактов, относительно равномерным распределением плотности тока по диаметру контакта, жесткостью режима сварки. При формировании ядра с центра контакта расплавление и кристаллизация периферийной зоны начинается практически одновременно. Короткое время существования этой зоны в жидком состоянии недостаточно для расплавления алюминиевой плакировки, в результате чего она остается в зоне ядра. В связи с этим представляет интерес разработка такой модели формирования сварного соединения, которая позволит уменьшить вероятность появления непровара и частичного расплавления плакировки при точечной сварке плакированных алюминиевых сплавов. Практическая реализация такой модели возможна, если формирование сварного ядра начать с периферии контакта, обеспечив в начальный период сварки максимальное тепловложение в этой зоне. Проведенный анализ работ по влиянию УЗК на процессы, протекающие в металлах, позволяет предположить, что реализация этой модели возможна при наложении УЗК на контактную точечную сварку.

В настоящее время процесс контактной точечной сварки алю-

миниевых сплавов с наложением УЗК изучен недостаточно. Наиболее значительная работа в области точечной сварки с УЗК выполнена Пархимовичем Э.М., но она касается сварки малоуглеродистых сталей, механические свойства которых и свойства окисных пленок значительно отличаются от алюминиевых сплавов. В работах Виллрича Г.О. и Крауфорда А.Э. отмечается низкая стабильность качества сварных соединений. Анализ работ названных авторов позволил установить, что это связано с несовершенством применяемого оборудования и недостаточной изученностью процесса. В этой связи актуальной проблемой является разработка оборудования и технологии контактной точечной сварки алюминиевых сплавов с наложением УЗК. Решение сформулированной проблемы требует рассмотрения следующих задач: разработать устройство для реализации точечной сварки с наложением УЗК и исследовать характеристики его работы; выявить механизм формирования сварного соединения под воздействием УЗК; изучить влияние УЗК на технологические режимы сварки, разработать регрессионную модель процесса; исследовать прочностные и коррозионные свойства сварных соединений; разработать практические рекомендации для внедрения результатов исследования в производство.

Вторая глава посвящена разработке конструкции электродного акустического узла, служащего для передачи ультразвуковых колебаний и сварочного тока к деталям, выбору оборудования и методик проведения экспериментов. Технологическое оборудование для точечной сварки с наложением УЗК состоит из контактной точечной машины, ультразвукового генератора и электродного акустического узла. Установлено, что эффективное применение УЗК при контактной точечной сварке алюминиевых сплавов, в первую очередь, зависит от конструкции и работы электродного узла. Анализ работ в области ультразвуковых колебательных систем позволил сформулировать требования к электродным акустическим узлам для точечной сварки с наложением УЗК. Электродный акустический узел должен обладать: максимальным отбором акустической энергии от источника колебаний; минимальными потерями акустической энергии в узле развязки и в звеньях системы; стабильными показателями работы двигателя во времени; устойчивой резонансной характеристикой при изменении в заданных пределах действующей на узел статической

нагрузки; максимальной продолжительностью эксплуатации; жесткостью, предъявляемой к деталям вторичного контура контактной машины; передавать с минимальными потерями электрический ток заданной величины; отличаться конструктивной и технологической простотой звеньев и всего устройства в целом. Реализация представленных требований позволила разработать оптимальную конструкцию электродного акустического узла, состоящую из конического стального волновода с наплавленным медью поверхностным слоем, и двигателя от магнитострикционного преобразователя ПМС-6-22. Волновод имеет акустическую развязку в виде кольцевой диафрагмы. Определение размеров волновода производилось по известным методикам Меркулова Л.Г. с введением в расчетные формулы поправочного коэффициента β :

$$\ell = \beta \frac{\lambda}{2} \frac{K\ell}{\pi}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} KZ_0 = \beta \frac{K}{\alpha}, \quad (2)$$

$$\text{где } \operatorname{tg} K\ell = \frac{K\ell}{\frac{(K\ell)^2 N}{1-N} + 1}; N = \frac{D_1}{D_2}; K = \frac{\omega^2}{C^2}; \alpha = \frac{D_1 - D_2}{D_1 \ell}.$$

Здесь ℓ - резонансная длина волновода, λ - длина волны, Z_0 - положение узла развязки, D_1 , D_2 - входной и выходной размеры волновода соответственно, ω - угловая частота колебаний, C - скорость продольных волн в стержне.

Коэффициент β , найденный экспериментальным путем, учитывает наличие меди на поверхности волновода и наличие электрода. Для толщины наплавленного слоя не более $5 \cdot 10^{-3}$ м и диаметре электрода $20 \cdot 10^{-3}$ м он равен 0,9. Измеренные рабочие характеристики акустического узла показали его высокую стабильность во времени.

Эксперименты, проведенные на разработанном электродном узле, позволили установить, что при сварке с наложением УЗК алюминиевых сплавов качество сварных соединений зависит от угла ввода колебаний в свариваемые изделия. Определен оптимальный угол ввода УЗК, равный 45° , который обусловлен свойствами окисных пленок на поверхности алюминия, конструктивными особенностями электродного узла и распределением контактных сопротивлений при ультразвуковой зачистке.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка, созданная на базе точечной конденсаторной машины МТК-8004. В нее входили также ультразвуковой генератор УЗГ 2-4, электродный акустический узел с углом ввода УЗК под 45° , блок управления работой УЗГ 2-4. Для измерения параметров УЗК использовались частотомер Ч 5080, светолучевой осциллограф К 12-22, электронный осциллограф С8-II, прибор для измерения амплитуды колебаний собственной конструкции, вольтметр В7-27А/1. Запись температур производилась осциллографом К 12-22 с применением хромель-копелевых термпар. Электрическая мощность, потребляемая акустическим узлом, измерялась методом колориметрирования. Для структурных и фазовых исследований использовались микроскоп "Neofot" и рентгеновский дифрактометр "Дрон-2". Измерение микротвердости, определение коэффициентов трения, остаточных напряжений, проведение физико-механических и коррозионных испытаний производилось по стандартным методикам.

В третьей главе на основе анализа работ по влиянию УЗК на процессы, протекающие в металлах в твердой и жидкой фазах, представлены экспериментальные и теоретические исследования, позволившие разработать модель формирования точечного сварного соединения плакированных алюминиевых сплавов, реализация которой приводит к полному расплавлению плакировки в ядре соединения. Анализ явлений, протекающих в зоне контактов на протяжении всего цикла сварки с наложением УЗК, позволил установить следующую их последовательность.

Этап первый. Ультразвуковая зачистка поверхностей деталей. Этот этап характеризуется тремя взаимосвязанными и протекающими одновременно процессами: разрушением и удалением окисных пленок из зоны контактов, развитием пластической деформации, повышением температуры в контакте. Экспериментально установлено, что максимальное разрушение окислов наблюдается на периферии контактов и площадь его регулируется временем включения УЗК. Снижение под действием УЗК коэффициентов трения в зоне контактов приводит к облегчению условий смещения соприкасающихся поверхностей и вызывает увеличение диаметра отпечатка от электродов. Повышение температуры в контактах под действием УЗК вызвано силами внешнего и внутреннего трения.

Этап второй. Предварительный нагрев сварочным током.

Увеличенный начальный диаметр отпечатка от электрода, а также разрушение окисной пленки на периферии контакта приводят к распределению максимальной плотности тока в этой зоне.

Этап третий. Формирование расплавленного ядра. В результате совместного действия двух источников тепла в периферийной зоне контактов, сварочного тока и УЗК, плавление ядра начинается с этой зоны и приводит к полному расплавлению плакировки на границе литого ядра и основного металла.

Этап четвертый. Кристаллизация сварной точки. Наложение УЗК приводит к диспергированию металла литого ядра. Доминирующим фактором при этом является амплитуда УЗК.

С учетом изложенного выше, предложена модель формирования точечного сварного соединения, при котором формирование сварной точки начинается с периферии.

Анализ явлений на этапе ультразвуковой зачистки поверхностей деталей показал, что под действием УЗК в зоне контактов выделяется значительное количество тепла, учет которого необходим для расчета режимов точечной сварки. Разработанная температурно-тепловая модель процесса на этапе ультразвуковой зачистки позволяет по любой из трех функций – производительности источников тепла при ультразвуковой зачистке, температуре в зоне контактов и суммарному потоку тепла в электроды – ставить задачу об определении двух других. Получено решение этой модели по выведенным аналитическим выражениям для случая, когда известна производительность источников тепла:

$$T_1(t) = \frac{1}{hsc_1\gamma_1} \left\{ A \frac{H^2}{2a_1} - A \left(\frac{2H}{\pi\sqrt{a_1}} \right)^2 \sum_{n=1,3,5...} \frac{1}{n^2} \exp \left[- \left(\frac{\pi n \sqrt{a_1}}{2H} \right)^2 t \right] + \right. \\ \left. + Bt \frac{H^2}{2a_1} - B \frac{H^4}{6a_1} + B \left(\frac{2H}{\pi\sqrt{a_1}} \right)^4 \sum_{n=1,3,5...} \frac{1}{n^4} \exp \left[- \left(\frac{\pi n \sqrt{a_1}}{2H} \right)^2 t \right] \right\}, \quad (3)$$

$$T_2(t) = \frac{t}{2hsc_2\gamma_2} \left[A + \frac{Bt}{2} - \left(A + Bt + B \frac{z^2}{8a_2} \right) E_2 \left(\frac{z^2}{4a_2 t} \right) + \right. \\ \left. + \frac{Bt}{2} \exp \left(- \frac{z^2}{4a_2 t} \right) \right], \quad (4)$$

$$T(t) = \frac{T_2(t) \cdot T_1(t)}{T_2(t) + T_1(t)}. \quad (5)$$

Здесь $T_1(t)$ – температура поверхности электродов, если бы в них поступало все выделившееся в зоне зачистки тепло, $T_2(t)$ –

температура зоны зачистки при отсутствии теплоотвода в электродах, $T(t)$ – температура в зоне зачистки с учетом теплоотвода в детали и электродах, t – время ультразвуковой зачистки деталей, r – радиус электродов, δ – толщина деталей, S, V – площадь и объем зоны зачистки, $\alpha_1, \epsilon_1, \mu_1, (\alpha_2, \epsilon_2, \mu_2)$ – соответственно коэффициент температуропроводности, удельные теплоемкость и плотность материала, из которого изготовлены электроды (детали), H – расстояние от поверхности электрода до охлаждающей жидкости, A, B – коэффициенты, определяемые по методике Холопова Ю.В.

Полученные аналитические выражения позволяют определить долю тепла, вносимого УЗК для образования сварного соединения, и рассчитать по известным формулам Гельмана А.С. величину сварочного тока. При точечной сварке алюминиевых сплавов с наложением УЗК доля тепла, вносимого ультразвуком, составляет от 15 до 20% от общей доли тепла, необходимого для образования сварного соединения.

Четвертая глава посвящена оптимизации режимов сварки с наложением УЗК и стойкости электродов. Анализ дефектов точечных соединений алюминиевых сплавов с наложением УЗК позволил установить, что основными факторами, влияющими на качество сварки, являются сила сварочного тока, усилие сжатия электродов, амплитуда ультразвуковых колебаний и время ультразвуковой зачистки. Выбор оптимальных режимов сварки проводился с использованием метода математического планирования эксперимента. При этом был поставлен полный факторный эксперимент 2^4 . За параметр оптимизации принято усилие на срез точечного соединения. Решение уравнения регрессии позволило установить, что оптимальному режиму сварки сплавов Д16АТ и В95АТ толщиной $(1+1) \cdot 10^{-3}$ м соответствует совокупность всех факторов на следующем уровне: амплитуда УЗК – $8 \cdot 10^{-6}$ м, сварочный ток – 26 кА, время ультразвуковой зачистки – 0,6 с, давление на электродах – 4 кН.

При сварке с наложением УЗК наблюдается повышенный износ электродов, который развивается за счет интенсификации процессов трения в зоне контактирования электродов с деталью. Проведенные исследования по определению критерия стойкости электродов при сварке с УЗК показали, что определяющим является перенос материала электродов на поверхность точки. Ис-

следования проводились на распространенных электродных сплавах типа ВрХЦр, ВрХ08, ВрКд1, М1, ВрЮЖко и перспективным псевдосплавом *Cu-Al₂O₃*. Установлено, что стойкость электродов при сварке с наложением УЗК тем выше, чем выше электропроводность и твердость их материала. Электропроводность сплавов не должна быть ниже 80% и твердость не ниже 1200 МПа. Наибольшей стойкостью из известных марок электродов обладают сплавы ВрХЦр и *Cu-Al₂O₃*, 60 и 70 точек соответственно.

В процессе эксплуатации поверхность электродов подвергается периодической зачистке, в результате чего изменяются их рабочие размеры. Проведенные исследования позволили установить размер износа электродов, не влияющий на качество сварки. Для разработанного электродного узла качественная сварка возможна при износе электродов до $(10-12) \cdot 10^{-3}$ м.

В пятой главе исследованы механические свойства сварных соединений сплавов Д16АТ и В95АТ, разработана технология сварки алюминиевых сплавов с наложением УЗК. Экспериментально установлено, что наложение УЗК при точечной сварке алюминиевых сплавов Д16АТ и В95АТ приводит к повышению в среднем на 20% γ % показателя прочности при статических нагрузках, в сравнении со сваркой травленых образцов, при одновременном снижении разброса значений прочности. Повышение прочности при сварке с наложением УЗК связано с измельчением структуры сварной точки и полным расплавлением плакировки в ядре, что приводит к увеличению фактического диаметра ядра сварной точки. Наложение ультразвуковых колебаний приводит также к повышению прочностных показателей при усталостных нагрузках. При этом статическая выносливость повышается в среднем на 20%, а усталостная прочность на 50%. Установлено, что повышение прочности при усталостных нагрузках связано с наведением под действием ультразвука сжимающих напряжений в сварной точке и околотоочечной зоне.

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволили разработать технологический процесс точечной сварки алюминиевых сплавов с наложением ультразвуковых колебаний, который включает:

1. Предварительную подготовку деталей путем очистки поверхностей от смазки и загрязнений органическими растворителями.

2. Сборку в специальных приспособлениях.
3. Сварку, которая выполняется на конденсаторной машине МТК-8004, оборудованной ультразвуковым акустическим узлом и ультразвуковым генератором. Режим сварки для сплавов Д16АТ и В95АТ толщиной $(1+1) \cdot 10^{-3}$ м:
 - сварочное усилие на электродах - 4 кН;
 - ковочное усилие на электродах - 7 кН;
 - время ультразвуковой зачистки - 0,6 с;
 - амплитуда УЗК - $8 \cdot 10^{-6}$ м;
 - сварочный ток - 26 кА;
 - длительность импульса тока - 0,04 с.

В конце главы приводится таблица режимов точечной сварки сплавов Д16АТ и В95АТ с наложением УЗК толщиной от $0,5 \cdot 10^{-3}$ м до $2 \cdot 10^{-3}$ м.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В существующей технологии контактной точечной сварки алюминиевых сплавов имеется ряд проблем организационного и технического характера. Основная организационная проблема связана с необходимостью предварительной подготовки поверхностей деталей перед сваркой, а техническая - с низкой прочностью сварных соединений, которая вызвана концентрацией напряжений на границе литого ядра и основного металла, а также частичным расплавлением плакировки. Наложение ультразвуковых колебаний при точечной сварке алюминиевых сплавов позволит частично решить как организационные, так и технические задачи.

2. Экспериментально показано, что формирование ядра в сварной точке с периферии контакта при сварке алюминиевых сплавов с наложением ультразвуковых колебаний обусловлено действием ультразвука, сферической формой электродов и распределением тока по сечению деталей. В результате совместного действия ультразвуковых колебаний и тангенциальных напряжений в зоне формирования соединения на этапе ультразвуковой зачистки наблюдается ряд явлений:

- разрушение окисных пленок на поверхностях контактов и вытеснение их к периферии, приводящее к снижению и стабилизации контактных сопротивлений, при этом максимальное разрушение окисных пленок наблюдается на периферии контактов;

- снижение сил трения в зоне контактов, что приводит к повышению деформации сдвига в этой зоне и, как следствие, к росту площади отпечатка от электродов;
- повышается температура озвучиваемой зоны, причем максимальная температура установлена на периферии контакта.

При протекании сварочного тока перечисленные явления приводят к концентрации линий тока по периферии контакта. В результате совместного действия двух источников тепла в этой зоне, сварочного тока и ультразвука, расплавление ядра начинается с периферии контакта и приводит к полному расплавлению плакирующего слоя на границе литого ядра и основного металла.

3. Разработана инженерная методика расчета максимальных температур, развиваемых в зоне контактов на стадии ультразвуковой зачистки, основанная на учете суммарной производительности ультразвуковых источников тепла и решении дифференциального уравнения теплопроводности для этой зоны. Получены аналитические выражения, которые позволяют определить долю тепла, вносимого ультразвуком для образования сварного соединения.

Установлено, что тепловая энергия ультразвука позволяет уменьшить величину сварочного тока на 12 - 15% по сравнению со сваркой травленых деталей.

4. С учетом теплового влияния ультразвуковых колебаний разработана многофакторная математическая модель для определения оптимальных режимов точечной сварки алюминиевых сплавов. В качестве контролируемых переменных приняты амплитуда ультразвуковых колебаний, сила сварочного тока, время ультразвуковой зачистки и давление на электродах.

5. Экспериментально установлено, что наложение ультразвуковых колебаний на процесс точечной сварки алюминиевых сплавов приводит к повышению прочности сварных соединений. Это достигается за счет:

- измельчения структуры литого ядра сварной точки;
- расплавления плакировки на границе литого ядра;
- наведения сжимающих напряжений в сварной точке и околоточечной зоне.

При этом установлено повышение в среднем на 20% σ % показателя прочности при статических нагрузках при одновремен-

ном снижении разброса прочности.

6. В результате исследования стойкости электродов установлено, что при сварке с наложением УЗК необходимо применять электроды, обладающие максимальной твердостью и электропроводностью. Рекомендовано при сварке алюминиевых сплавов использовать электроды марок БрХЦр и $Al-Mg-O_2$. Выявлено, что критерием стойкости электродов является потемнение поверхности сварной точки.

7. Разработана конструкция конического волновода с наплавленным медью поверхностным слоем для электродного акустического узла контактной машины, способная передавать в зону сварки с минимальными потерями ультразвуковые колебания и сварочный ток.

Определен поправочный коэффициент для расчета размеров волновода, учитывающий наличие медного слоя на его поверхности, для слоя меди толщиной не более $5 \cdot 10^{-3}$ м коэффициент равен 0,9. Экспериментально установлен угол ввода ультразвуковых колебаний в свариваемые детали, равный 45° .

8. Разработан технологический процесс сварки алюминиевых сплавов с наложением ультразвуковых колебаний, использование которого при сварке панелей на Могилёвском заводе вентиляционных заготовок и Таганрогском машиностроительном заводе позволило получить экономический эффект в сумме 112 тыс. рублей в год.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Кузнецов С.В., Бейманов Э.Ф., Пархимович Э.М. Акустический узел для контактной точечной сварки. - Эффективное использование научных разработок - важный резерв повышения производительности и качества: Тез. докл. XI конф. "БелавтоМАЗ". - Минск, 1977, с. 93 - 94.
2. Пархимович Э.М., Кузнецов С.В. Повышение стабильности работы преобразователя для ультразвуковой сварки. - Автоматическая сварка, 1979, № 8, с. 69 - 70.
3. Кузнецов С.В., Пархимович Э.М., Бейманов Э.Ф. Установка для контактной точечной сварки (с введением ультразвука) - Сварочное производство, 1979, № 5, с. 41 - 42.
4. Устройство для измерения амплитуды ультразвуковых колебаний / Э.М.Пархимович, С.В.Кузнецов, А.Г.Селицкий и др. - Прочность и пластичность материалов в ультразвуко-

- вом поле: Тез. докл. Всесоз. конф. - Алма-Ата, 1980, с. 148-149.
5. А.с. 1031693 (СССР). Электродный узел для контактной точечной ультразвуковой сварки/А.М. Григорьев, С.В. Кузнецов, В.В. Старовойтов, И.П. Янович, Э.М. Пархимович, П.В. Панченко. - Опубл. в Б.И. 1983, № 28.
 6. Пархимович Э.М., Еденков Ю.Т., Кузнецов С.В. Исследование поперечных колебаний в пластинах при контактной сварке в ультразвуковом поле. - Повышение надежности и долговечности деталей машин, механизмов и сварных конструкций: Тез. докл. респуб. конф. - Минск, 1982, с. 7.
 7. *Parchimowitsch E. M., Kuznetsov S. V., Wodara J., Martinek J. Widerstandspunktschweißen mit Ultraschallüberlagerung. - Schweißtechnik, 1982, № 10, S. 437-439.*
 8. Кузнецов С.В., Пархимович Э.М. Применение мощных ультразвуковых полей в контактной точечной сварке. - Могилёв, 1983. - 24 с. - Рукопись представлена Могилёвским машиностроительным институтом. Деп. в БелНИИТИ 29 марта 1983, № 585 Бед83.
 9. Пархимович Э.М., Скляр И.П., Кузнецов С.В. Расчет распределения тепловых потоков при ультразвуковой зачистке деталей на начальной стадии комбинированного процесса контактной сварки. - Минск, 1984, - 13 с. - Рукопись представлена редколлегией "Инженерно-физического журнала". Деп. в ВИНТИ 26 марта 1984, № 3175-84.

Спир

