

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)  
Кафедра «Нанотехнологии, материаловедение и механика»  
(наименование кафедры)  
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
(код и наименование направления подготовки)  
Инжиниринг перспективных материалов и  
диагностика поведения материалов в изделиях  
(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Влияние автоматизации процесса сварки на качество производства  
кузова автомобиля на примере внутренней панели задней двери LADA  
GRANTA 2191»

Студент	<u>И.В. Степаненко</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>М.В. Дорогов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>Т.А. Варенцова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Руководитель программы д.ф.-м.н., профессор Г.В. Клевцов  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г. \_\_\_\_\_  
(личная подпись)

**Допустить к защите**

И. о. заведующего кафедрой д.ф.-м.н., профессор Г.В. Клевцов  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г. \_\_\_\_\_  
(личная подпись)

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1 Состояние вопроса .....	5
1.1 Конструкция кузова современного автомобиля .....	6
1.2 Анализ возможных способов соединения деталей сварки .....	10
1.3 Особенности точечной сварки .....	19
2 Цикл контроля кузовных сборок на производстве .....	43
3 Оборудование, используемое в исследовании .....	47
4 Результаты проводимого исследования.....	53
Заключение.....	69
Список используемых источников .....	70

## ВВЕДЕНИЕ

Сварочные технологии заняли широкую нишу в автомобилестроении. Что касается отечественных концернов, к сожалению, они отстают от мировой практики использования роботизированной сварки. Это связано в том числе с тем, что при внедрении новых техпроцессов в многосерийное потоковое производство сопровождается огромным количеством изменений в проектной документации, а так же дизайне автомобиля, требующих огромного количества согласований и последующих испытаний. Это проблема, как отечественных концернов, так и зарубежных, они не способны внедрять новые технологии в производство достаточно быстро. В автомобильной промышленности точечную сварку используют повсеместно при изготовлении кузовных конструкций, данная технология до сих пор совершенствуется, с целью увеличения качества и производительности.

Точечная сварка, имеет ряд преимуществ перед другими видами сварки, в первую очередь своей простотой. Так же точечная сварка минует ряд проблем шовносварного соединения.

Тем не менее точечная сварка имеет и ряд недостатков, так, например точечная сварка является в основном заводской технологией, с достаточно дорогим оборудованием, и высоким требованиям к базированию деталей перед началом процесса сваривания.

Кузов – один из основных компонентов автомобиля, он обеспечивает безопасность, надежность в эксплуатации и привлекательную для покупателя геометрию. Этого можно добиться, используя сварочные технологии в производстве.

По этим причинам данная магистерская диссертация посвящена исследованию влияния автоматизации точечной сварки на качество производимых автомобилей, с целью уменьшения допусков на зазоры, перепады их симметрию в геометрии кузова.

Для достижения этих целей в работе проведено подробное исследование точечной сварки перед другими способами сварки, а так же проведены

исследования влияния автоматизации на качество кузова на примере внутренней панели задней двери автомобиля LADA GRANTA 2191.

## 1. Состояние вопроса

Производство кузова – наверное, один из наиболее сложных процессов в при создании автомобиля. В состав кузова входят сотни различных деталей, соединяя их в процессе в единое изделие. Задача технологов – постоянный контроль за соблюдением технологий и проведение различных работ по их совершенствованию. Только так можно обеспечить надежную и качественную сборку автомобиля.

Кузов автомобиля по своей конструкции отвечает большому перечню требований, он должен иметь малую массу, так как это влияет на расход топлива и аэродинамику продукта, но в то же время быть безопасным для пассажиров учитывая абсолютно все факторы, которые могут возникнуть в эксплуатации. Чтобы соответствовать всем этим требованиям постоянно развиваются следующие направления:

- 1) Использование более легких алюминиевых сплавов;
- 2) Применение листовых высокопрочных материалов;
- 3) Оптимизация толщины деталей и сборок;
- 4) Совершенствование процессов соединения деталей и сборок;
- 5) Ужесточение требований к контролю произведённых деталей и сборок;
- 6) Внесение изменений в геометрию деталей и сборок.

Основные материалы, используемые в создании кузова:

- Сталь;
- Алюминий;
- Полимеры;

## 1.1 Конструкция кузова современного автомобиля

Рассмотрим конструкцию кузова легкового автомобиля, основные элементы которого представлены на рисунке 1.

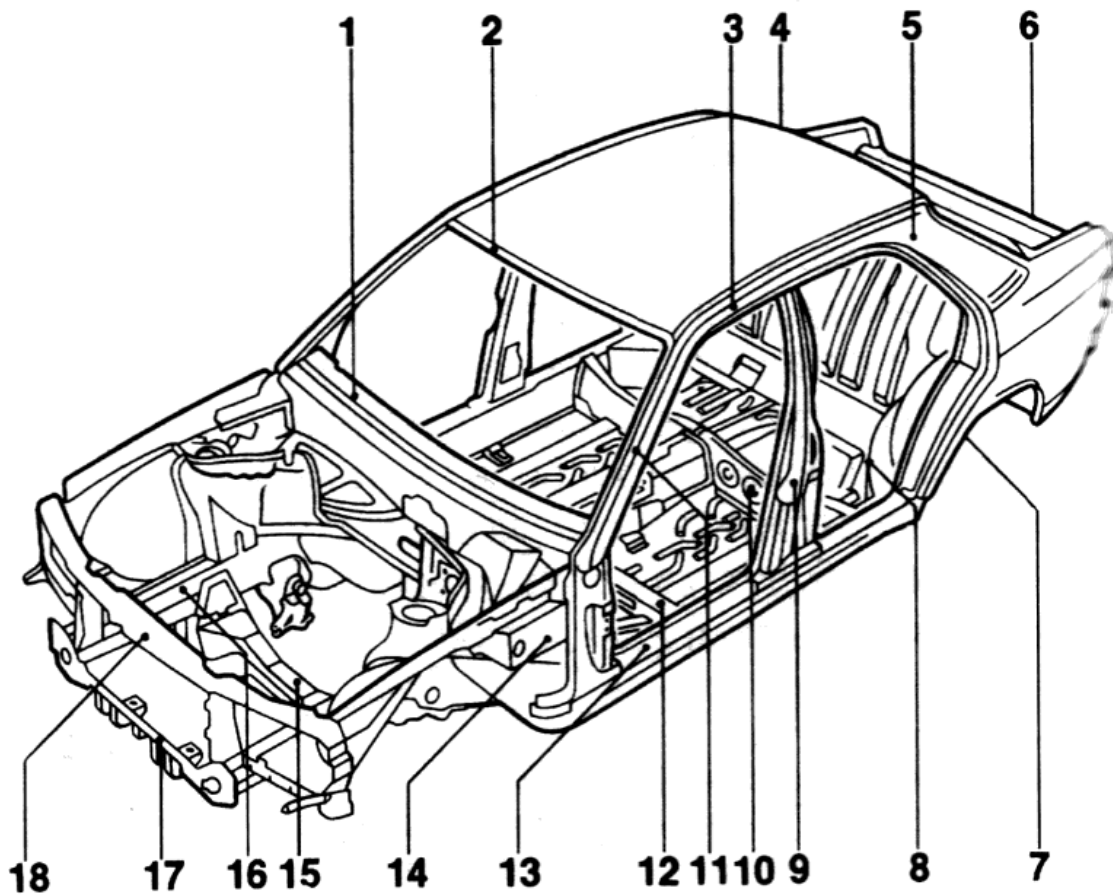


Рисунок 1 – Конструкция кузова легкового автомобиля [2]

Кузов автомобиля состоит из:

- 1– подоконная балка;
- 2– передняя балка крыши;
- 3– лонжерон крыши;
- 4– задняя балка крыши;
- 5– задняя стойка кузова;
- 6– задняя панель;
- 7– пол в задней части кузова;
- 8– задний лонжерон;
- 9– средняя стойка кузова;
- 10– поперечина под задним сиденьем;

- 11– передняя стойка;
- 12– поперечина под сиденьем водителя;
- 13– порог;
- 14– неколесная ниша;
- 15– поперечная балка опор двигателя;
- 16– передний лонжерон;
- 17– поперечина передняя;
- 18– поперечина радиатора.

Для производства легковых автомобилей почти всегда используется технология несущего кузова, так как данная конструкция имеет высокие показатели сопротивления к механическим нагрузкам. Несущий кузов – конструкция из штампованных деталей: стоек, лонжеронов и листов, вместе они создают крепкую конструкции. За счет соединений произведенных с помощью точечной, дуговой или лазерной сварок [6].

Одна из главных проблем несущего кузова это вибрации передаваемые двигателем, трансмиссией и ходовой частью. Сам кузов по причине своей конструкции только усиливает их, потому при ремонте кузовных компонентов особую роль занимает восстановление шумоизоляции.

Чаще всего автомобильные кузова изготавливают из холоднокатаной легированной стали, так как данный материал отлично штампуется, варится, и проходит последующую обработку.

Легированные сорта стали способны значительно упростить изготовление и обеспечить заданные свойства кузову, которых требует безопасность. Кузов автомобиля - это прочная капсула, имеющая вокруг себя зоны поддающиеся деформации с целью поглощения энергии внешнего взаимодействия.

Кузов изготавливается из нескольких этапов:

- Штамповка стальных листов;
- Сварка листов в сборки;
- Нанесение клея и мастики;

- Зафланцовка.

На АО «АВТОВАЗ» в зависимости от линий применяются как автоматические посты сварки, так и ручные.

Одна из наиболее продуктивных технологий для обеспечения пассивной безопасности, связанной с получением заданных свойств стального кузова - Tailoredblanks [8]. Данная технология способна давать нам заготовку для штамповки путем сварки в стык по шаблону листов различной толщины и различных сталей, обеспечивая заданную пластичность и прочность сборки.

С целью получения определенных параметров, в кузовах сочетают различные материалы, такие конструкции называются гибридными. Например для изготовления кузовов автомобилей на АО «АВТОВАЗ» применяется сталь, алюминий, магний и пластик.

В некоторых случаях, отдельные производители предпочитают использовать авиационный алюминий [20,29,30].

Главные преимущества использования алюминиевых материалов в автомобилестроении:

- Сочетание малого веса и прочности;
- Легкость мехобработки;
- Возможность создание отливок и штамповок сложных форм;
- Дешевизна технологических процессов;
- Возможность простоты повторного использования материала;
- Высокие параметры устойчивости к коррозии.

Основные проблемы использования алюминия:

- Высокие затраты при производстве сплавов;
- Низкая ремонтпригодность[9].

Поэтому чаще всего в производстве предпочитают сочетать материалы, как это показано на рисунке 2.

С целью достижения баланса между передней и задней осями автомобиля, зачастую именно переднюю часть кузова изготавливают из более легких материалов, а заднюю из стали. Благодаря этому повышаются



показатели управляемости автомобиля.

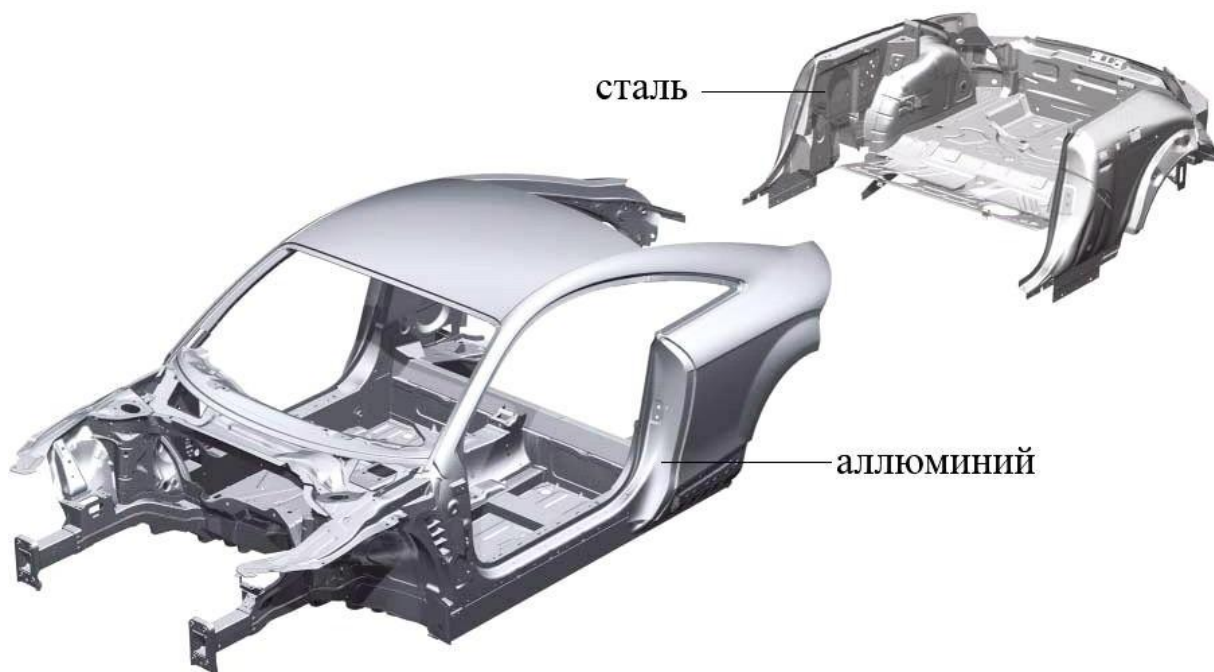


Рисунок 2 - Кузов Audi TT Coupe [21]

Главная проблема подобной технологии это соединение между собой алюминиевых и стальных деталей, так как к данному случаю невозможно применять термические методы соединения, например сварку, по причине невозможности гарантирования прочностных показателей подобного соединения, а так же являются дополнительным фактором формирования коррозии. На АО «АВТОВАЗ» подобная проблема не встречается, различные металлы используются между навесными компонентами кузова и его основания с боковинами. Соответственно все соединения идут через петли.

Основная задача проектировщиков - задать кузову конструкцию при которой он сможет выдерживать нагрузки вызванные движением автомобиля и дать высокий показатель пассивной безопасности пассажиров в случае ДТП.

Пассивная безопасность – возможность автомобиля сминаться, поглощая энергию удара, тем самым минимизируя вероятность получения травм пассажирами.

Для достижения высокой жесткости кузова используются сварные

соединения, такие как точечная сварка.

В процессе ежедневной эксплуатации, кузов подвергается воздействию динамических нагрузок знакопеременного типа, а также скручиванию и изгибу, вибрациям, ударам ходовой, и конечно же статическим от веса багажа и пассажиров [3]. Кузов рассчитан на 10-15 лет работы, при условии пробега в 15-20 тыс. км в год. По мере эксплуатации и износа в нем могут появиться различного вида повреждения:

- Деформация;
- Нарушение лакокрасочного покрытия;
- Нарушения геометрии проемов;
- Усталостные изменения металла;
- Образование трещин в местах соединения деталей;
- Разрушения сварочных соединений.

Первая причина выхода из строя кузова – формирования коррозии, способной разрушить металл при взаимодействии с окружающей средой. Коррозия формируется в местах различных дефектов окраски, местах скопления пыли, жидкостей, и в труднодоступных местах таких как отбортовка, пазухи и сварные соединения.

## **1.2 Анализ возможных способов соединения деталей и сварки**

Несущий кузов автомобиля должен сам обеспечивать необходимую прочность и жёсткость конструкции, без опоры на раму. Поэтому используемые в кузовостроении технологии соединения кузовных деталей между собой имеют такое большое значение.

### *Резьбовое соединение*

Резьбовое соединение – вид силового соединения, в автомобилестроении имеет мало применений, так как не способно соответствовать запрашиваемым требованиям. Однако безусловный плюс такого соединения это дешевизна и простота ремонта при замене компонентов автомобиля.

### *Герметическое соединение.*

Геометрическое соединение, оно же соединение клепками. Данное соединения весьма простое и надежное, происходит по принципу нанизывания клепкой двух слоев металла, не разрывая его, а деформируя, путем раскрытия полый головки клепки на манер отбортовки. Подобное соединение весьма прочное и требует малых расходов энергии, однако подобные клепки производятся из стали и для соединения с стальными компонентами их необходимо покрывать никелевым слоем, для предотвращения коррозии.

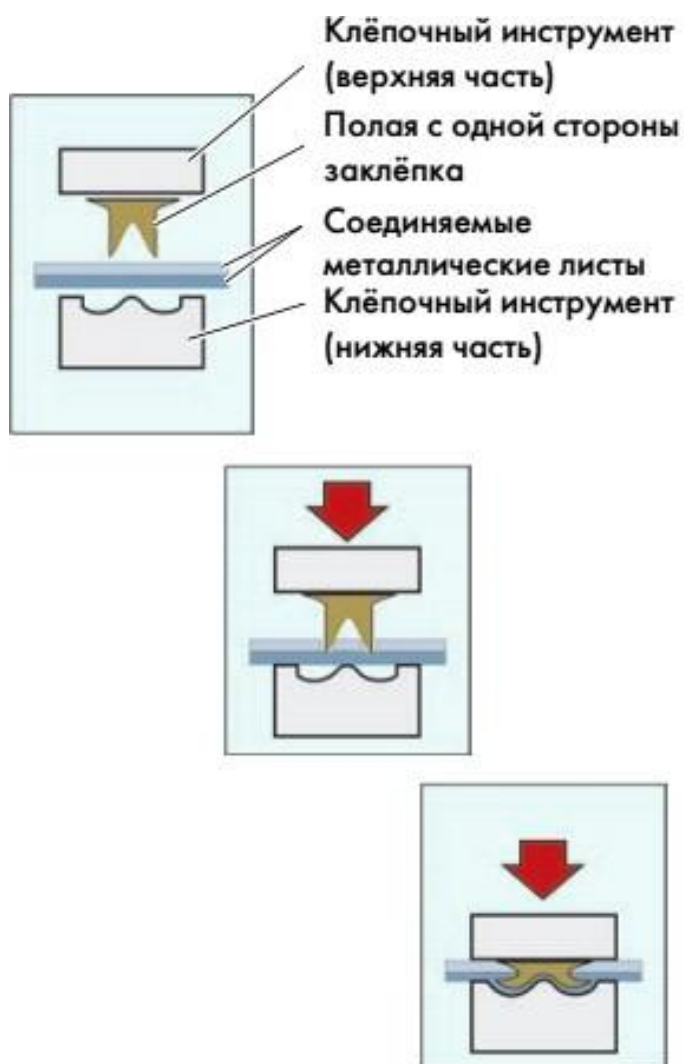


Рисунок 3 - Технология соединения при помощи клепок [2]

### *Болтовое соединение типа FlowDrill*

Это технология нетермического соединения, применимое к большому перечню материалов, в том числе в ситуациях, когда доступ к детали можно провести только с одной стороны. Данные болты работают по принципу саморезов, проникая в металл они прорезают в нем отверстие с резьбой, необходимое для фиксации данного болта. Отверстие происходит методом размягчения металла под учетом давления и числа оборотов. На рисунке 5 показан порядок закручивания болтов FlowDrill .



**Порядок закручивания болтов Flow Drill**

Рисунок 5 – Порядок закручивания болтов FlowDrill

### *Лазерная сварка*

Лазерная сварка - один из передовых и наиболее перспективных методов соединения деталей в автомобилестроении. Основное применение - листовые компоненты сваривающиеся в нахлест, например:

- лист и лист,
- лист и литой компонент,
- литой компонент и профиль.

Лазерная сварка это будущая замена многих других видов соединений, но оно достаточно дорогое и требует в обслуживании хороших дорогостоящих специалистов.

Высокая стоимость технологии лазерной сварки обосновано:

- Высоким уровнем производительности;
- Лучшими показателями жесткости швов;
- Снижение массы (путем уменьшения ширины перекрытия у фланцев);
- Сварку возможно проводить при одностороннем доступе;
- Низкое коробление при меньших температурах;
- Простота шва.

### *Контактная сварка*

Основной метод для сваривания электропроводящих материалов. Сварка происходит за счет протекания тока и следующего из этого расплавления свариваемых материалов, без подвода сторонних компонентов. Подобная сварка производится при низких напряжениях и высокого значения тока, тем самым обеспечивая энергию достаточную для нагрева материалов и одновременно, исключая доступ источников опасности.

Частные виды контактной сварки:

- точечная сварка,
- стыковая сварка.

Точечная контактная сварка до сих пор занимает основную нишу в кузовостроении (рисунок 11), с современными технологиями контактная сварка позволяет сваривать особо прочные стали и стали с различными покрытиями. В случае с стыковой сваркой, дополнительно используется клей, для увеличения показателей прочностных характеристик. Так же пленка клея не позволяет посторонним веществам попасть в стык соединения, что защищает его от коррозии.

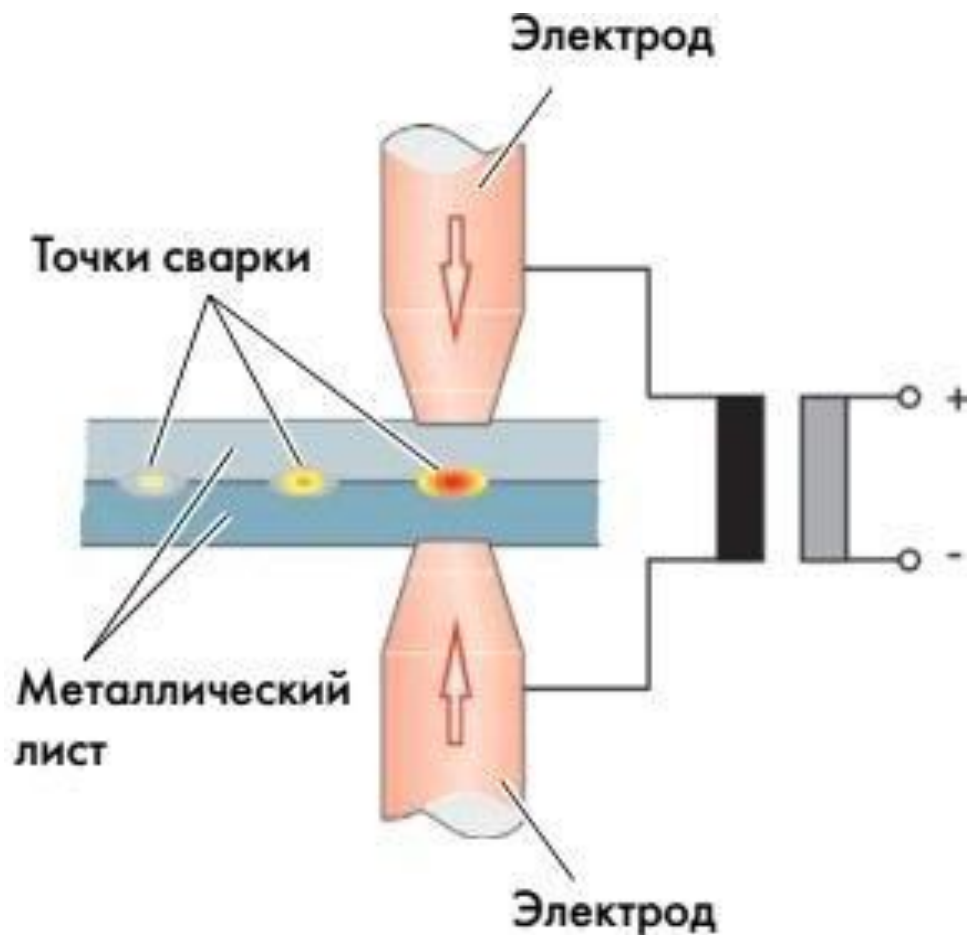


Рисунок 11 – Точечная контактная сварка [20].

Контактная сварка имеет широкое применение из-за ряда преимуществ, таких как:

- Качество;
- Производительность;
- Отсутствие затрат на расходники;
- Почти полное отсутствие требований к свариваемым поверхностям;
- Простота контроля произведённых работ.

Однако имеются и недостатки:

- Сложность оборудования;
- Высокий расход электроэнергии;
- Отсутствие герметичности;
- Необходимость большого нахлеста свариваемых компонентов;
- Требуется доступ к поверхностям обеих деталей;
- Проблематичность сваривания более трех листов.

Подобная сварка применяется для всех не несущих соединений, так как компоненты прижимаются друг к другу торцами.

Примерные показатели такой автоматической линии:

- Производительность (загрузка 90%) 25 шт\ч;
- Количество точек на кузове 725 шт.;
- Рабочий такт - 130 с.;
- Количество постов 18 шт;
- Габариты 98200×10500×5600 мм.

Такие линии сопровождаются устройствами для укладки, подъемами скидов, роликовыми столами, переключики с приводами. Сами роботы при этом располагаются на полу или портале [3].

#### *Дуговая сварка MIG-MAG (MetalInert/ActiveGas)*

MIG/MAG — MetalInert/ActiveGas — это полуавтоматическая дуговая сварка, с плавящимся электродом. Сварка происходит в газовой среде, инертного или активного, выполняющего защитную функцию. Наверное, самый универсальный и распространенный метод сварки в промышленных условиях. Под полуавтоматизацией же подразумевают подачу проволоки (плавящийся электрод), сам же метод спокойно применяется и при полностью автоматизированном процессе.

Данным методом сварки соединяют компоненты из углеродистых и низкоуглеродистых сталей, с использованием газовых смесей содержащих углекислый газ, аргон, кислород, гелий, азот и др.

Простота автоматизации и высокая производительность данного процесса завоевала популярность в США и Японии.

Принцип подобной сварки показан на рисунке 12.

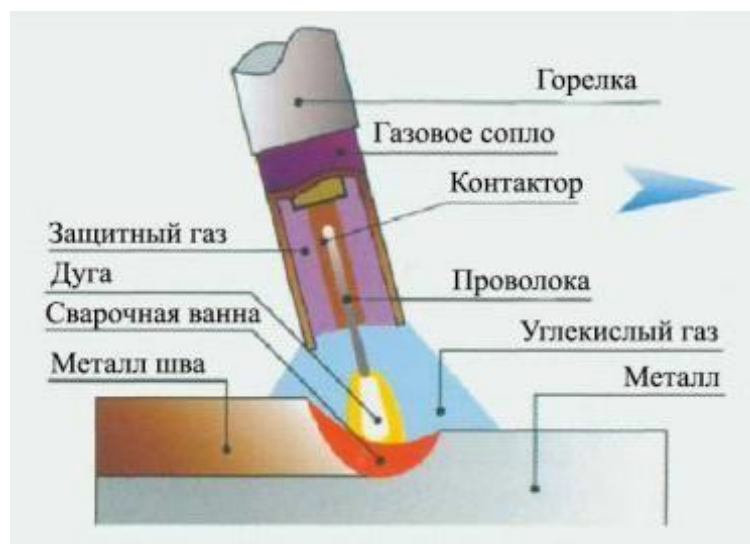


Рисунок 12 – Схема полуавтоматической сварки в углекислом газе [21]

### *Контурная лазерная сварка*

Благодаря так называемой контурной сварке в настоящее время можно сваривать крупногабаритные детали типа частей кузова, фонари автомобилей или солнечные панели.

Контурная сварка при этом сильно отличается от распространенных вариантов квазиодновременной и одновременной лазерной сварки.

Позиционирующая, например, робототехническая система направляет лазерный луч вдоль сварного шва. При этом лазер перемещается с помощью робота или лазерный луч посредством стеклянного оптоволоконна направляется к подвижной фокусирующей оптике.

Этот способ характеризуется высокой производственной гибкостью, и им могут быть соединены теоретически любые крупногабаритные детали. Контурная сварка затрагивает небольшие толщины свариваемых деталей, и благодаря этому ширина сварного шва меньше, чем при других, альтернативных способах сварки [2].

### *Сварка трением*

Сварка трением – технология ОМД. Процесс происходит за счет нагрева свариваемых частей путем трения одной поверхности о другую [11].

При сварке трением происходит переход механической энергии в



тепловую. На практике для этого используется вращение. Вращаться может как одна из деталей, так и вставка между ними, происходит это под постоянным воздействием давления в месте соединения деталей.

По окончанию сварки происходит осадка и мгновенное прекращение вращения. В сварочных зонах деталей происходит увеличение частоты вращения воздействием давления происходит притирка, различные пленки и загрязнения истираются и происходит переход к сухому трению. Контакт микро выступов приводит к деформации, образованию ювенильных участков с ненасыщенными связями атомов на поверхности, после чего начинают формироваться металлические связи [11], что показано на рисунке 13

Данный способ имеет следующие преимущества:

- Высокая производительность;
- КПД в 5-10 раз выше, чем при стыковой сварке;
- Стабильность и равнопрочность сварочного соединения;
- Стабильность механических свойств, такие как ударная вязкость, угол изгиба, временное сопротивление. Что крайне перспективно к применению на

потоковом производстве;

- Не требуется зачистка зоны сварки;
- Возможность сварки деталей с разным химсоставом;
- Отсутствие вредных факторов для человека;
- Высокая способность к автоматизации.

Однако есть и несколько недостатков:

- Низкая универсальность процесса. С помощью сварки трением можно сварить пару деталей, из которых хотя бы одна должна являться телом вращения (труба, круглый стержень и т.д.), вторая деталь должна обладать плоскостью, к которой будет привариваться первая;

- Громоздкость оборудования. Необходимость крупных стационарных машин;
- В зоне сварки происходит искривление волокон материала.

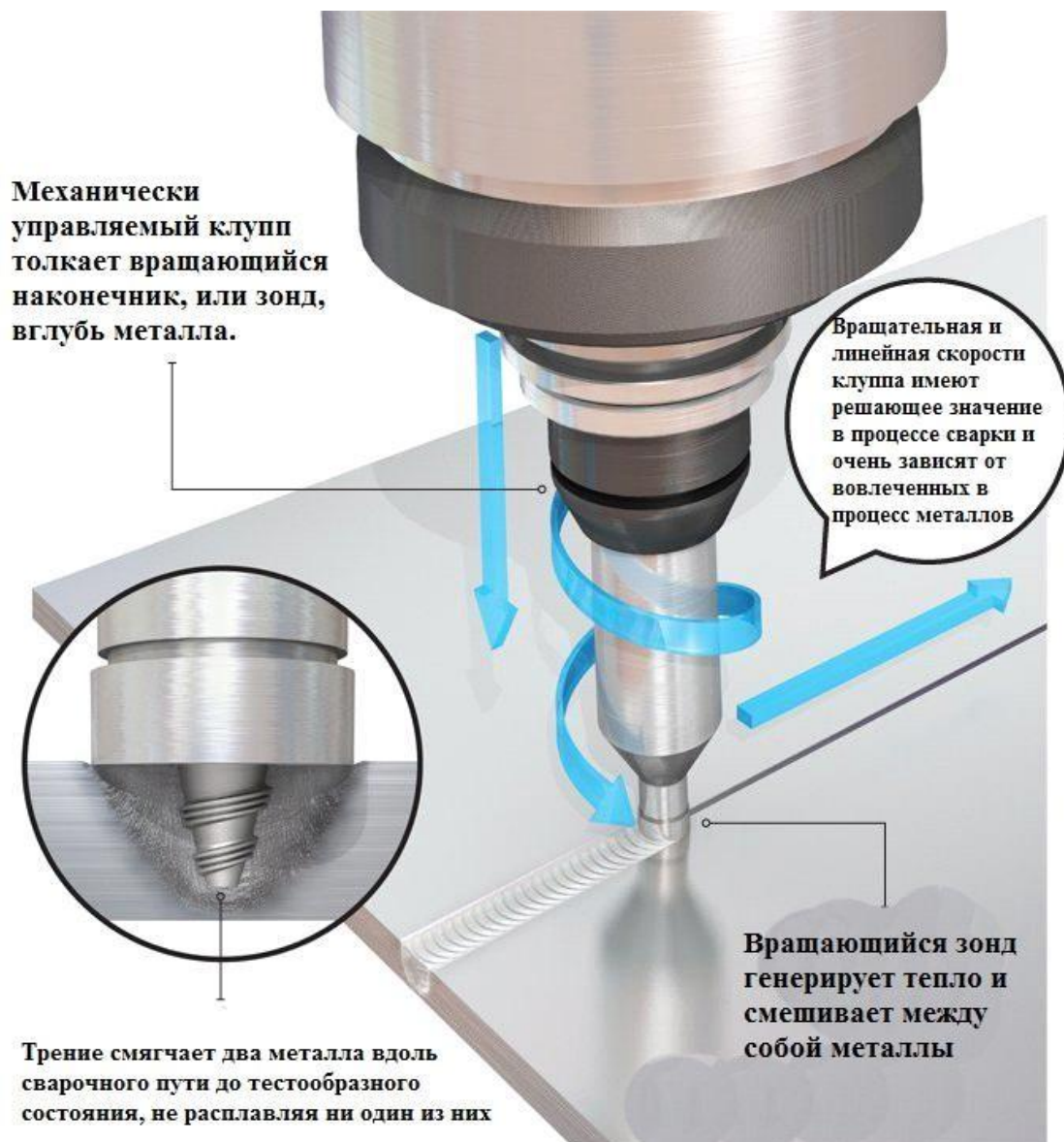


Рисунок 13 – Сварка трением [21]

### *Плазменная сварка*

Данный вид сварки сопровождается высокой температурной возможностью регулировки технологических свойства так же имеет высокие проплавливающие свойства в сравнении с прочими методами.

Плазменная пайка имеет несколько весомых плюсов[12]:

1. Высокая производительность;
2. Небольшую зону температурного воздействия;
3. Несклонность к статическим напряжениям;
4. Низкий расход газа;
5. Стабильность дуги.

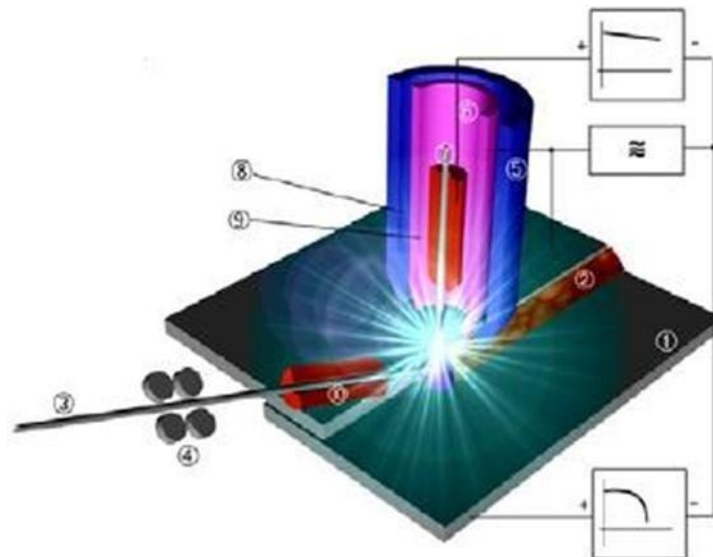


Рисунок 14 – Процесс плазменной пайки [20]

На рисунке 14 изображены:

- 1 – обрабатываемый материал;
- 2– шов пайки;
- 3– проволока припоя;
- 4– механизм подающий проволоку;
- 5–газовая горелка;
- 6 –плазменная горелка;
- 7 – вольфрамовый электрод;
- 8 – инертный газ;
- 9 – плазма.

При плазменной сварке происходит расплавление основного металла совместно с присадочным, при этом практически не происходит формирование статических напряжений и деформаций.

### 1.3 Особенности точечной сварки

Контактна точечная сварка - процесс сварки двух деталей на отдельных участках называемыми точками.

Компоненты сварки фиксируются в нахлестку и обжимаются

электродами, обычно из медных сплавов. Electroды подключены к обмотке трансформатора и способны пропускать через зону сварки короткий импульс тока.

В точке проведения сварки образуется расплав двух компонентов, образуя ядро сварной точки.

Сжимающее усилие воздействует на металл, создавая пластическую деформацию, на внешней части ядра образуется плотный пояс, не позволяющий этому ядру окислиться или подвергнуться выплеску соединяемых компонентов.

В процессе точечной сварки нагрев происходит за счет импульсов переменного тока частотой 50 Гц, но встречаются случаи с униполярными импульсами, т.е. с током одной полярности, но с изменяющейся амплитудой колебания, за период импульса происходящего за промежуток от 0,01 до 0,5 с.

Подвод тока бывает двух типов:

- Односторонний;
- Двусторонний.

Двусторонняя сварка требует подвода тока к каждой детали, соответственно при односторонней, только с одной стороны. Для поддержания процесса тепловыделения со стороны нижнего компонента часто добавляют медную подкладку с целью шунтирования.

Сварка сдвоенным электродом - одна из разновидностей точечной сварки одностороннего типа, применяется в электронике и электротехнике. Электрод делится на две половины с проложенным между ними изолятором или другим металлом с большим показателем сопротивления.

Разновидностью односторонней точечной сварки является сварка сдвоенным электродом, которую широко применяют в радиоэлектронике при изготовлении микросхем. Электрод в этом случае выполняют из двух половин, разделенных изолятором или слоем металла с большим сопротивлением.

Точечная сварка может подразделяться на 2 типа операций:

- Одноточечная;

-Многоточечная.

Основным требованием к образованию соединения при точечной сварке - это формирования зоны расплава металла, т.е. ядра заданных размеров. Образование сварочного ядра происходит по одному и тому же процессу, который состоит из трех этапов, в соответствии с рисунком 15.

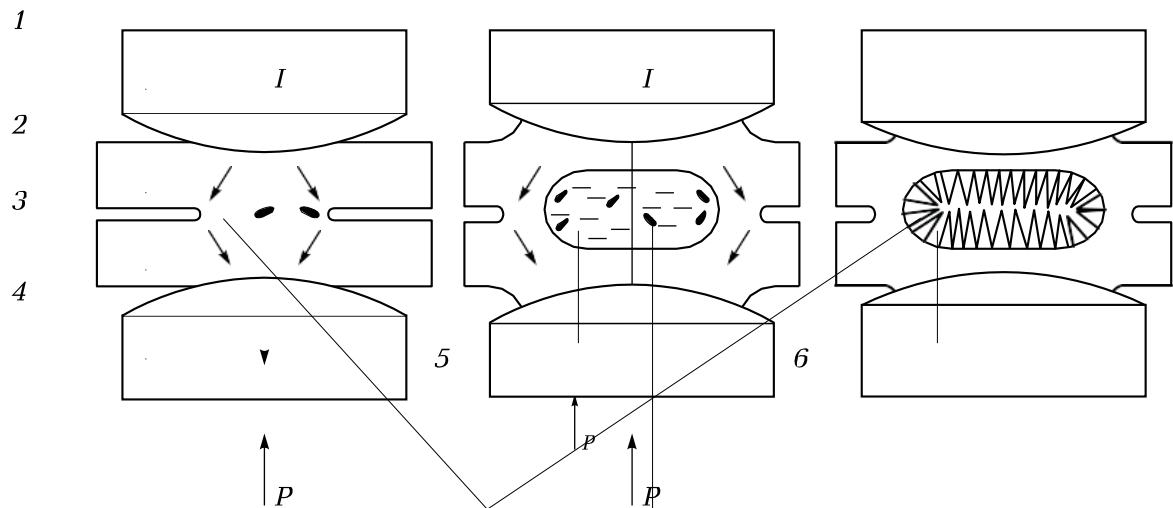


Рисунок 15 – Этапы формирования ядра при точечной сварке [2]:

1 — верхний электрод; 2, 3 — свариваемые детали; 4 — нижний электрод; 5 — литое ядро; 6 — закристаллизовавшаяся точка;  $P$  — усилие сжатия электродов при сварке;  $I$  — ток, проходящий через контакт свариваемых деталей в процессе сварки.

Первый этап - подача тока с формированием контакта, последующим нагревом и соответственно расширением сплава, что приводит к изменению размера зазора, это сопровождается тем что металл вытесняется в зазор, тем самым формируя пояс будущего ядра.

Второй этап - это процесс увеличения зоны контакта, соответственно рост ядра. Этот процесс сопровождается перераспределением поверхностных слоев в расплаве с сопровождением пластической деформации и расширением кристаллической решетки.

Третий этап - отключение тока, охлаждение и кристаллизация расплава.

Процесс образования соединения описан в рисунке 16.

Пластическая деформация достаточно не велика, и не способна

обеспечить устранения окислов на поверхности деталей. Однако этот вид деформации является основным в роли образования соединения, за счет получения необходимых площадей требуемых для электрического контакта, что приводит к формированию пояса вокруг образованного ядра, а соответственно его защиты от воздействия окружающей среды.

Процесс воздействия на прилагаемое усилие позволяет управлять процессом кристаллизации и наличие остаточного напряжения.

Оксидные пленки имеют свойство тугоплавкости, при том более высокое чем у основного металла. Их можно устранить только в жидком расплаве. Данный процесс способствует устранению подобных пленок, не позволяя им влиять в жидкой фазе.

Устранение пленок оксидов в расплаве происходит под действием механизмов электродинамики. Данные механизмы способны к воздействию на расплав приводящих к стабилизации химсостава ядра в процессе точечной сварки при разных составах компонентов. Следы такого воздействия можно найти при создании шлифа на ранних этапах процесса.

Процесс нагревания при точечной сварке - это основа при создании температурного поля и создания сварочной точки. Тепловыделение происходит при воздействии электродов на зону сварки током с сопротивлением  $R_{э-э}$ .

Такое сопротивление  $R_{э-э}$  измеряется в мкОм и складывается как на рисунке 20 из трех сопротивлений:

- компонент — компонент  $R_{д-д}$ ,
- электрод — компонент  $R_{э-д}$ ,
- собственное сопротивление расплавов компонентов  $R_{д}$ .



Рисунок 16 – Схема процессов образования соединений при контактной точечной сварке [2].

$$R_{э-э} = R_{д} + 2R_{э-д} + R_{д-д}. \quad (1)$$

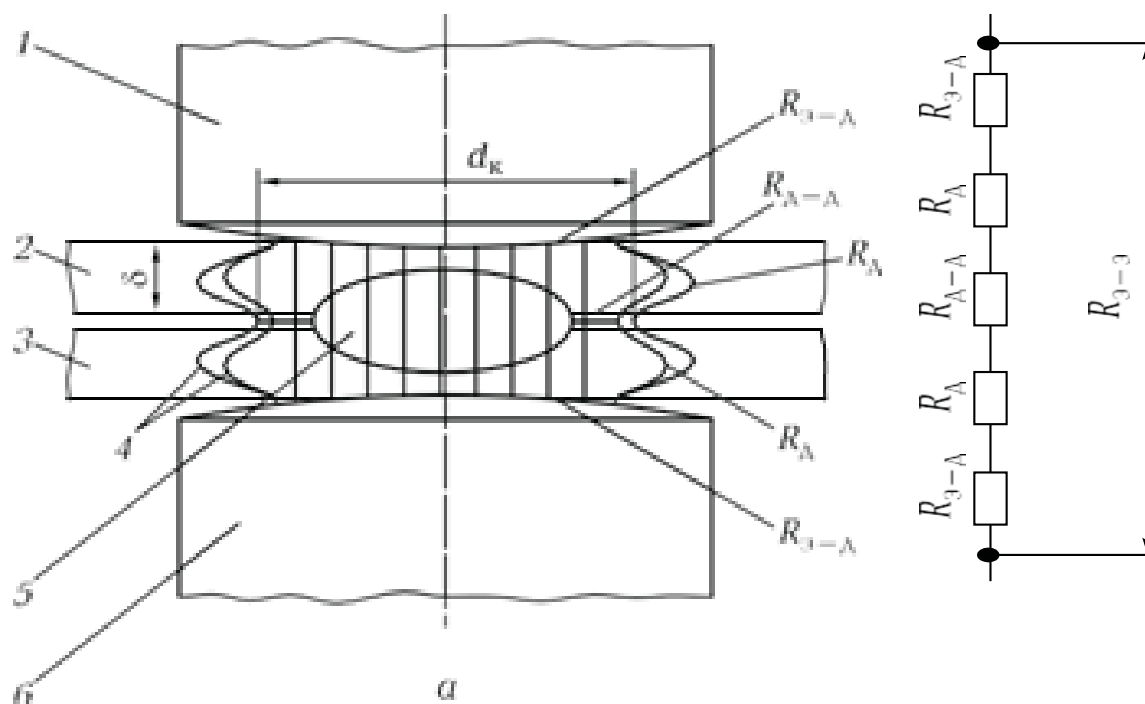


Рисунок 17 - Схема и эквивалентная электрическая цепь свариваемой точки [2]: 1 — верхний электрод; 2, 3 — компоненты; 4 — область термовлияния; 5 — ядро; 6 — нижний электрод;

Все составляющие общего сопротивления непрерывно изменяются в течение термомеханического цикла сварки. Целесообразно рассмотреть отдельно значения  $R_{\text{д-д}}$ ,  $R_{\text{э-д}}$  и  $R_{\text{д}}$  при комнатной температуре («холодные» сопротивления) и нагреве.

Контактное сопротивление компонентов можно расписать следующим образом:

Пропуская через проводники А и В ток, можно замерить перепад напряжений и отметить, что на проводнике В эти показатели ниже, чем на стыке коомпонентов, это и происходит за счет существования контактного сопротивления. Высокое сопротивление тока говорит о небольшой области соприкосновения компонентов. Соприкосновение происходит по микровыступаниям в тех местах, где происходило разрушение оксидной пленки. Данная ситуация приводит к низкому проводящему сопротивлению, и сопровождается искривлением и локальным уплотнениям тока.

При повышении значений сил сжатия  $P_{\text{св}}$  область контакта



увеличивается путем исчезновения шероховатости за счет пластической деформации и разрушения оксидного покрытия. Контактные сопротивления падают в значении вплоть до цифры ниже первоначальной за счет снятия усилия. (полученного при повышении  $P_{св}$ ).

$P_{св}$  влияет на точечную сварку, когда работает электродами по плоскости компонентов с незначительными различными значениями диаметров контактов между компонентами и компонента с электродом. При росте усилия следует ожидать возникновения роста напряжений на контактах. Использование электродов с круглой поверхностью контакта, при росте усилия приведет к росту размеров этих контактов, показания их сопротивлений понизятся, но незначительно. Условно можно считать,  $R_{э-д} = 0,5 R_{д-д}$ .

Нагрев компонентов делает процесс пластической деформации легче, что позволяет устранить микровыступы и поверхностные окислы.

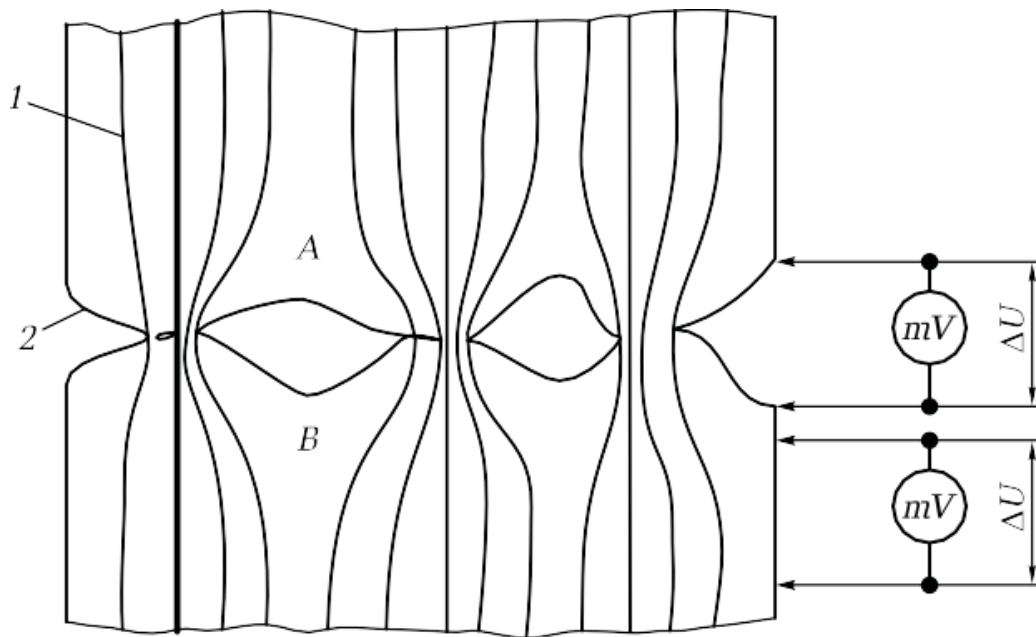


Рисунок – 17 Схема электрического контакта [2]:

1 — линии тока; 2 — поверхностные пленки;  $mV$  — милливольтметр;  
 $\Delta U$  — перепад напряжений;  $A, B$  — проводники

В зависимости от длительности импульса режимы можно разделить на два типа:

- жесткие,

-мягкие.

Жесткий режим – воздействие мощными импульсами тока, короткие по времени, процесс нагревания идет с большим разбросом температур и определяется распределением значения плотности тока. Область предельных температур при этом располагается у границ контактов.

Мягкий режим – имеет большой период времени для протекания тока, при этом теплообмен играет огромную роль, как между компонентами так и при контакте с электродами. Большое время нагрева изменяет электрическое поле. Области с повышенной плотностью тока терпят рост температуры и сопротивления, что приводит к перераспределению, выравниванию тепловых и электрополей и смещают зоны предельных показателей температур к центру контакта. Аналогичная ситуация происходит при пластической деформации компонентов

В данном случае ядро образуется спустя длительное время после воздействия тока. Ядро растет вплоть до размеров обусловленного режимами сварки. Скорость роста ядра зависит от увеличения нарастания тока, так как это сопровождается ростом температур.

Рисунок 18 показывает положение изотерм при точечной сварке на примере сталей с низким содержанием углерода, толщиной (1,2 x 1,2) мм. Изотермы ближе к ядру принимают вид замкнутых кривых, и с удалением меняют форму вплоть до прямых линий, параллельных оси. Максимальная температура достигается в зоне контакта электрода с компонентом.

Температурный фон ядра и его размер можно изменять, влияя на него энергетическими показателями силы тока, а также усилия сварки. С повышением воздействия ядро уменьшается за счет роста пластической деформации, увеличения зоны соприкосновения сварки и снижения плотности тока.

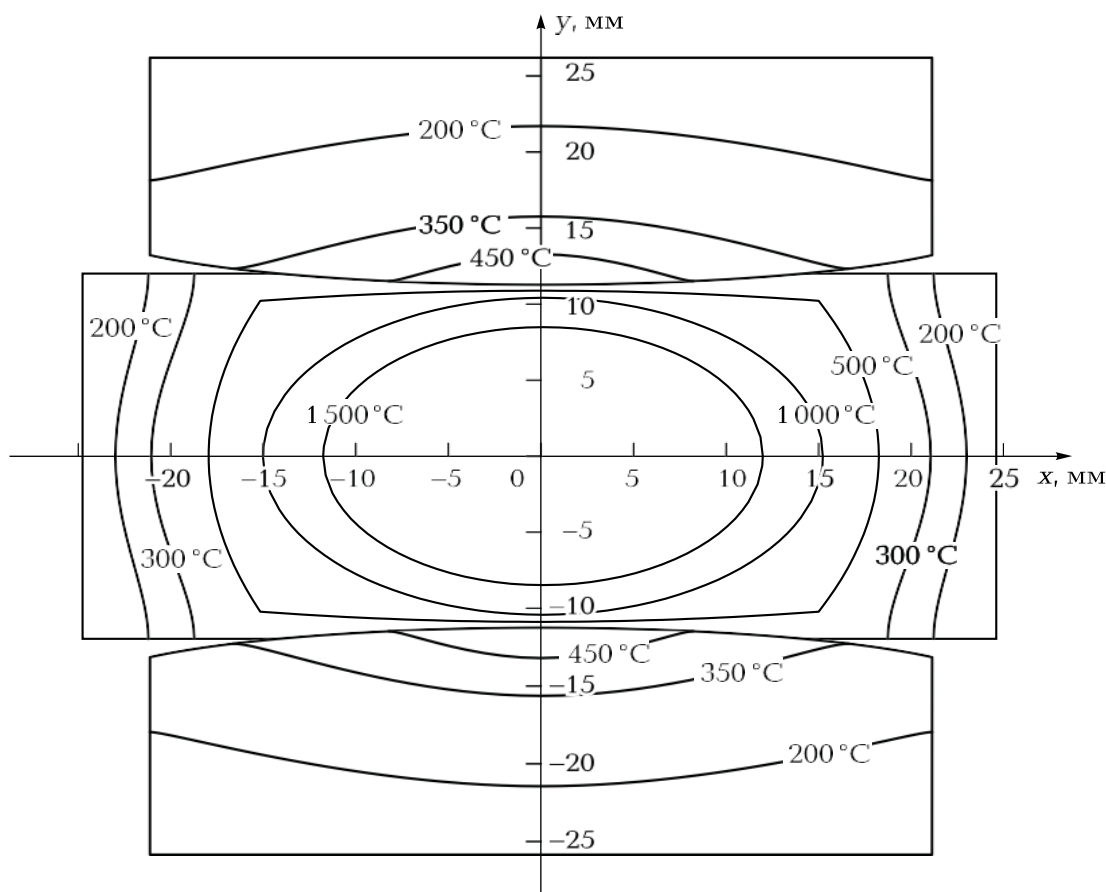


Рисунок 18 - Температурное поле к моменту выключения тока (по данным расчета на ЭВМ) [2].

Если необходимо произвести соединение компонентов различных толщин, мы неизбежно столкнемся с рядом трудностей, связанных с распределением плотности тока в компонентах. Подобные процессы вызывают более высокие градиенты температур, а так же смещение центра ядра относительно центра толщины нахлеста.

В результате этих явлений ядро располагается несимметрично относительно стыка деталей и смещается к их центру как на рисунке 19. Проплавление тонкой детали уменьшается. При большой разнице в толщине может возникнуть полный непровар. Стремление повысить температуру тонкой детали резко усиливает ее деформацию: в ней появляются глубокие вмятины от электродов, раскрываются зазоры между деталями. Все эти обстоятельства уменьшают устойчивость процесса сварки.

Применение мягких режимов с относительно малой плотностью тока

усиливает отвод теплоты в электроды и смещение ядра. Увеличивается деформация тонкой детали. Применение жестких режимов повышает и без того высокую плотность тока на периферии: резко возрастает склонность к выплескам (внутренним и даже выходящим под электрод), ядро приобретает специфическую форму.

Перечисленные трудности проявляются уже при относительно небольшой разнице в толщине, однако смещение ядра и деформации при этом еще не велики.

Увеличение различия в толщине деталей (более 1:3 для сталей и 1:2 для алюминиевых сплавов) ставит перед технологом серьезную проблему увеличения устойчивости процесса.

Для предотвращения смещения ядра внутрь толстой детали, а также для устойчивого проплавления тонкой детали разработано много способов. Все они направлены на повышение температуры нагрева тонкой детали. Некоторые преимущественно усиливают тепловыделение в ней (и в контакте деталей), другие в основном уменьшают отвод теплоты. Наилучший эффект достигается при комплексном воздействии обоих факторов.

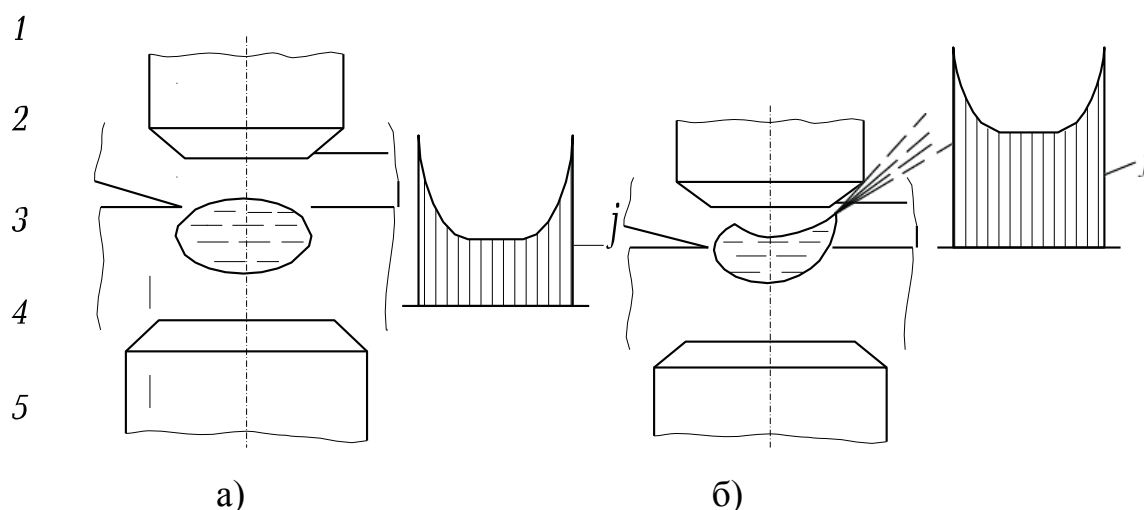


Рисунок 19 – Зона расплавления и плотность тока  $j$  при сварке деталей неравной толщины:

а — при мягком режиме; б — при жестком режиме; 1 — верхний электрод; 2 — тонкая деталь; 3 — литое ядро; 4 — толстая деталь; 5 — нижний электрод

электрод

Способы, основанные на усилении тепловыделения, используют обычно более жесткие режимы. К таким способам относят применение рельефов, прокладок, специальных электродов, искусственное сжатие линий тока магнитным полем. Способы, основанные на изменении схемы отвода теплоты, используют обычно мягкие режимы. К таким способам можно отнести изменение размеров контактной поверхности электрода и применение электродных металлов с меньшей теплопроводностью, использование тепловых экранов.

Рельефы на тонкой или толстой деталях позволяют перераспределить плотность тока. В контакте деталь — деталь плотность тока резко увеличивается (за счет малой площади касания рельефа) и мало изменяется в процессе сварки. Концентрация теплоты в контакте и тонкой детали возрастает. Иногда вместо выштампованных рельефов применяют так называемые вводимые рельефы в виде шайб, шариков и т. п.

Размещение в контакте деталей прокладок из металлов с более высоким удельным сопротивлением позволяет при относительно малых плотностях тока получить надежное проплавление тонкой детали.

В качестве таких прокладок можно использовать фольгу (например, из сплава АМц1 с удельного сопротивления, почти в 2 раза большим, чем у сплава АМгб), плакирующие слои на листах и трубах. Температура в тонкой детали растет не только из-за большого сопротивления самих прокладок, но и добавочного контактного сопротивления между прокладкой и деталями.

Для повышения плотности тока со стороны тонкой детали иногда устанавливают электроды с кольцевой проточкой, искусственно сужающей токовые линии вблизи рабочей поверхности электрода. Увеличить плотность тока можно запрессовкой в электрод (со стороны тонкой детали) кольца из материалов с малой электропроводностью. Это приводит к искусственному сжатию линий тока на рабочей поверхности электродов. Такая конструкция электрода позволяет одновременно несколько уменьшить деформацию тонкой

детали. Однако эксплуатация электродов затруднена, так как должны выдерживаться жесткие допуски по высоте этих колец относительно рабочей поверхности электрода. Кроме того, износ центральной части создает дополнительные трудности (меняется исходноераспределение усилий и устойчивость процесса).

Известны попытки фокусировать линии электрического тока за счет взаимодействия сварочного тока с его собственным магнитным полем. Для этого магнитное поле с одной стороны тонкой детали усиливают путем размещения вокруг электрода ферромагнитных сердечников, вставок или других устройств.

Чаще всего применяют электроды с разной площадью рабочей поверхности. Различие в площади контактов электродов позволяет уменьшить отвод теплоты от тонкой детали и увеличить — от толстой, т. е. получить необходимый градиент температур в тонкой детали. Чем выше тепло- и электропроводность свариваемых металлов, тем больше должно быть различие в площади электродов.

Иногда со стороны тонкой детали устанавливают электрод из металла с меньшей теплопроводностью, чем со стороны толстой. Чем больше разница в толщине, тем меньшей теплопроводностью должен обладать этот металл. Применение электродов с малой теплопроводностью позволяет в большинстве случаев не только предотвратить смещение ядра, но и получить выпуклую изотерму  $T_{пл}$  в тонкой детали, т. е. ее надежное проплавление.

Тепловые экраны, помещаемые между тонкой деталью и электродом, служат преградой на пути отвода теплоты в электрод. Экраны, как правило, изготавливают из металлов с низкой теплопроводностью толщиной 0,05... 0,15 мм. Регулируя толщину экранов и выбирая металл с необходимыми свойствами для их изготовления, можно смещать зону расплавления в широких пределах: от устойчивого формирования ядра в контакте до сквозного проплавления тонкой детали.

Экраны выполняют сменными или остающимися. Сменные экраны допускают многократное использование, их изготавливают из более

тугоплавких металлов, чем сами детали, и применяют в виде ленты, сматываемой на барабаны. Остающиеся экраны предполагают не только сквозное проплавление тонкой детали, но обязательно хотя бы частичное подплавление экрана. По существу, этот случай представляет собой сварку деталей тройной толщины с надежным проплавлением средней (тонкой).

Для повышения сопротивления деформации тонкой детали с ее стороны устанавливают электроды со сферической формой рабочей поверхности. Глубина вмятины и зазоры несколько уменьшаются. Однако наиболее эффективным средством является дополнительное регулируемое сжатие периферии сварной точки при помощи специальных электродов.

#### Подготовка деталей к сварке и сборка

При подготовке поверхностей к любому виду контактной сварки, в том числе и точечной, должны выполняться три основных требования: в контактах электрод — деталь должно быть обеспечено как можно меньшее сопротивление, в контакте деталь — деталь сопротивление должно быть одинаковым по всей площади контакта. Сопрягаемые поверхности деталей должны быть ровными, плоскости их стыка при сварке должны совпадать.

Выбор конкретного способа подготовки поверхностей определяется материалом деталей, исходным состоянием их поверхностей, характером производства.

Для штучного и мелкосерийного производства необходимо предусмотреть операции правки, рихтовки, обезжиривания, травления или зачистки, механической обработки. В условиях крупносерийного и массового производства обеспечивается высокое качество исходных материалов в заготовительном и штампопрессовом производстве, поэтому подготовку поверхностей перед сваркой можно не производить. Исключение составляют детали из алюминиевых сплавов, поверхность которых необходимо обрабатывать не ранее чем за 10 ч. до сварки.

Критерием качества подготовки поверхности является величина контактных сопротивлений  $R_{э-д}$  и  $R_{д-д}$ . Для их измерения детали зажимают

между электродами контактной машины, но сварочный ток не включают.

Сопротивление измеряют микроомметром при помощи щупов. Для сталей сопротивление более 200 мкОм свидетельствует о плохом качестве поверхности.

Высокое  $R_{э—д}$  приводит к перегреву электродов и подплавлению поверхности деталей, вследствие чего происходит наружный и внутренний выплеск металла и образуется чрезмерная вмятина под электродами.

Чтобы обеспечить точность, сборку деталей производят в приспособлениях: универсальных — в единичном и мелкосерийном производстве и специальных — в крупносерийном и массовом. Для фиксации деталей используют их технологические отверстия, выступы, рельефы.

Детали в приспособлениях прихватывают сваркой в нескольких точках и окончательно сваривают в свободном состоянии. Иногда в приспособлениях выполняют весь процесс сварки.

Приспособления должны обеспечивать свободный доступ электродов к месту прихватки и сварки, быстрое и надежное закрепление деталей, точность сборки и неизменность режима сварки.

Первые прихватки следует располагать в местах большой жесткости, остальные — в направлениях от середины к краям.

Режим контактной точечной сварки характеризуется совокупностью следующих параметров:

- Силы сварочного тока  $I_{св}$ , кА;
- Длительности протекания сварочного тока  $t_{св}$ , с;
- Усилия сжатия  $P_{сж}$ , кН;
- Ковочного усилия  $P_{к}$ , кН;
- Диаметра рабочей поверхности электрода  $d_{э}$ , мм.

При сварке с несколькими импульсами сварочного тока задаются число импульсов и длительность каждого импульса.

Режим сварки данного соединения устанавливается по таблицам; исходными данными являются физические и механические свойства и толщина



свариваемых металлов. Корректируют выбранный режим после сварки и испытаний образцов.

В процессе сварки изделий режим меняется, поэтому параметры режима регулируют, а диаметр рабочей поверхности электродов зачисткой и заточкой приводят к первоначальному значению.

При контактной точечной сварке применяют как жесткие режимы с большой силой сварочного тока и малой длительностью его протекания, так и мягкие с малой силой сварочного тока и большой длительностью его протекания.

Длительность протекания тока  $t_{св}$  зависит от толщины свариваемых деталей, а также от теплофизических и механических свойств металла. Длительность протекания тока может быть получена из эмпирических зависимостей.

При сварке низкоуглеродистых сталей значительной толщины на машинах небольшой мощности длительность импульса сварочного тока достигает иногда 1,5 с и даже 3 с. При сварке с термообработкой длительность протекания тока больше длительности импульса сварочного тока.

Усилие сжатия электродов зависит от толщины свариваемых деталей и механических свойств металла. Усилие сжатия задается удельным давлением  $p$  (например, для низкоуглеродистых сталей  $p = 50 \dots 120$  МПа, для коррозионно-стойкой стали и титановых сплавов  $p = 90 \dots 180$  МПа).

Сварка металлов толщиной (3 x 3) мм и более выполняется с проковкой. Для металлов, склонных к образованию трещин, проковку применяют при толщине (1 x 1) мм и более. Величина ковочного усилия в 2—3 раза больше усилия сжатия при сварке. Большое значение имеет момент приложения ковочного усилия: сильно запоздавшее ковочное усилие не может устранить дефекты в уже закристаллизовавшейся сварной точке; слишком раннее начало проковки может вызвать непровар. Поэтому небольшое запаздывание  $t_k$  момента приложения ковочного усилия контролируется; оно составляет при сварке металлов малых толщин на конденсаторных машинах 0,002 ... 0,005 с,

при сварке на других машинах — 0,02 ... 0,18 с.

Сварку деталей толщиной более (5 x 5) мм, а также имеющих повышенную жесткость, желательно выполнять с предварительным обжатием для уменьшения зазоров, оставшихся после сборки, и стабилизации величины контактного сопротивления.

Для контактной точечной сварки применяют электроды с плоской или сферической рабочей поверхностью; последние используют преимущественно для сварки легированных сталей и алюминиевых сплавов. Приблизительно считают диаметр рабочей поверхности электрода равным диаметру точки. Для сварки деталей из низкоуглеродистых сталей (при толщине металла 3 мм) Радиус сферической поверхности электрода составляет (для сварки алюминиевых сплавов) 50 мм. При сварке разнородных металлов или металлов неравной толщины электрод с большим диаметром или большим радиусом сферы устанавливается со стороны более толстой детали или со стороны металла с большим удельным сопротивлением.

Наличие расположенных близко к зоне соединения электрических контактов, например при двухсторонней сварке ранее сваренных точек, может привести к тому, что часть тока будет проходить (шунтироваться) через эти контакты. Силу тока шунтирования  $I_{ш}$  можно определить по формуле 2.

$$I_{ш} = I_2 R_{св} / R_{ш}, \quad (2)$$

где  $I_2$  — сила тока во вторичном контуре;  $R_{св}$  и  $R_{ш}$  — соответственно активные сопротивления свариваемых деталей и шунта (предыдущей точки);

Шунтирование проявляется в снижении плотности тока в зоне, обращенной к шунтирующему контакту, как на рисунке 20. Это приводит к уменьшению тепловыделения в зоне сварки и размеров ядра. Однако отношение  $R_{св} / R_{ш}$  велико, а  $I_{ш}$  значительна лишь при соединении «холодных» деталей. Протекание тока через детали вызывает нагрев шунтирующей ветви и рост  $R_{ш}$ , с одной стороны, и снижение  $R_{св}$  — с другой, что приводит к уменьшению  $R_{св} / R_{ш}$  и  $I_{ш}$ . При этом основная часть тока уже проходит через зону сварки.

Значение шунтирования возрастает при уменьшении расстояния (шага) между точками. В соответствии с характером распределения плотности тока при малом шаге, меньшем диаметра ядра предыдущей точки, сечение ядра в плане отличается по форме от круга. В частности, ширина ядра заметно больше его длины. Кроме того, ядро вытянуто в сторону сварки (от предыдущей точки). С ростом толщины деталей и уменьшением удельного сопротивления металла роль шунтирования возрастает.

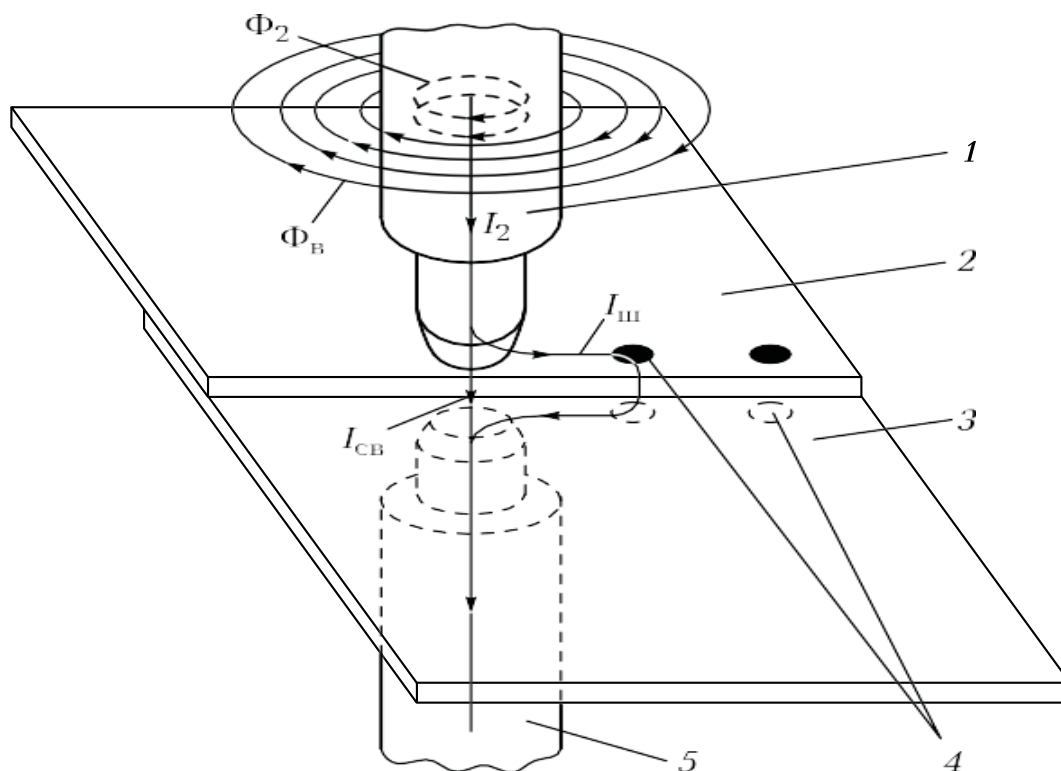


Рисунок 20 - Распределение токов при шунтировании в многоточечном соединении[2]:

1 — верхний электрод; 2, 3 — свариваемые детали; 4 — сварные точки; 5 — нижний электрод;  $\Phi_2$  — магнитный поток во вторичном контуре;  $\Phi_в$  — внешний магнитный поток;  $I_2$  — ток во вторичном контуре;  $I_{св}$  — сварочный ток;  $I_{ш}$  — ток шунтирования

В случае сварки плотными швами может показаться, что роль шунтирования должна быть велика. Тем не менее отличие в значениях силы тока при точечной и шовной сварке деталей одной и той же толщины не превышает 15 %. Это объясняется повышенным теплосодержанием металла

при шовной сварке за счет теплопередачи от предыдущих точек и интенсивной деформацией металла впереди дискового электрода (ролика) в контакте деталь—деталь, что приводит к быстрому снижению сопротивлений  $R_{ш}$  и  $R_{св}$ . Электрическое поле при этом в значительной степени подобно полю в целой пластине. Однако на шлифах соединений часто наблюдается заметное различие между размерами первой и последующих точек шва.

Это обусловлено не только шунтированием тока, но и рядом других причин, вызывающих увеличение площади контактов и дополнительное снижение плотности тока в зоне сварки последующих точек шва. Площадь контактов может увеличиваться как за счет интенсивной деформации металла впереди роликов, так и в результате того, что дисковый электрод при перемещении на очередной шаг не выходит за пределы вмятины, образовавшейся при сварке предыдущей точки.

Выбор и установка параметров режима контактной точечной сварки на машине

Параметры режима контактной точечной сварки можно определять расчетным методом, экспериментальным путем при сварке образцов и по справочным данным. В данной работе параметры режимов сварки выбираются по справочным данным в зависимости от типа материала и его толщины. По справочнику определяются технологические параметры режима сварки  $I_{св}$ ,  $t_{св}$ ,  $P_{сж}$ ,  $d_э$ . Конструктивные элементы сварного соединения ( $d_э$ , минимальный шаг между точками, величина нахлестки) определяются по ГОСТ 15878 — 79 «Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры». После выбора параметры режима устанавливаются на машине.

Установка времени сварки производится на регуляторе цикла сварки. Для установки усилия сжатия нужно выбрать необходимую величину давления сжатого воздуха. Усилие сжатия в зависимости от давления воздуха приведено в таблице, прикрепленной к корпусу машины, или в ее паспорте. Установка необходимого давления сжатого воздуха производится редуктором по показаниям манометра.

Силу сварочного тока на машине можно установить приближенно, так как машины не содержат измерителей тока. Выбор ступени, которая обеспечит получение нужной силы сварочного тока, можно провести по следующей методике.

При условии постоянства на всех ступенях сопротивления вторичного контура с деталями сила сварочного тока будет пропорциональна напряжению ступени  $U_{20}$ .

Номинальной ступенью машины является предпоследняя ступень. Номинальное значение тока указано в обозначении марки машины, напряжение номинальной ступени определяется по коэффициенту трансформации данной ступени и напряжению сети. Вначале, зная  $(I_{св})_{ном}$ ,  $I_{св}$ ,  $(U_{20})_{ном.ступ}$ , находят требуемое напряжение промежуточной ступени ( $(U_{20})_{промеж. ступ}$ ).

Затем для найденного напряжения ступени находят коэффициент трансформации и устанавливают на машине ступень с ближайшим меньшим по сравнению с найденным коэффициентом. При этом на выбранной ступени значение силы тока будет превышать значение, выбранное по справочнику. Далее находят силу сварочного тока для выбранной ступени, зная  $(I_{св})_{ном}$ ,  $(U_{20})_{ном. ступ}$  и  $(U_{20})_{промеж.ступ}$ . Полученную силу тока уменьшают плавным поворотом ручки регулятора цикла сварки до нужного значения.

Оптимальность установленных параметров режима определяют по качеству сварного соединения. Для этого сваривают образец и точку разрушают кручением. Если сварка выполнена качественно, а толщина образца менее 1,5 мм, то при разрушении точка, как правило, вырывается из основного металла, образуя отверстие в одной пластине и круглый «пятачок» на другой, диаметр которого примерно равен диаметру ядра точки. Если диаметр ядра соответствует ГОСТ 15878 — 79, то параметры режима сварки считают оптимальными.

При малом диаметре ядра необходимо корректировать параметры режима, пока ядро не достигнет нужного размера.

Определение механических свойств соединений, выполненных

контактной точечной сваркой

Качество сварного соединения оценивается комплексом показателей, в число которых входят механические свойства. По ГОСТ 6996 — 66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств» сварные соединения, выполненные контактной точечной сваркой, испытывают на срез или на отрыв путем растяжения образцов следующих размеров:

При испытании определяют разрушающую нагрузку на точку в ньютонах. При испытании образцы типа XXI, рисунок 21, б) закрепляют в специальном приспособлении для устранения их изгиба. При испытании на срез разрушающая нагрузка в 1,5— 2 раза больше, чем при испытании на отрыв.

Влияние основных параметров режима контактной точечной сварки на качество сварного соединения

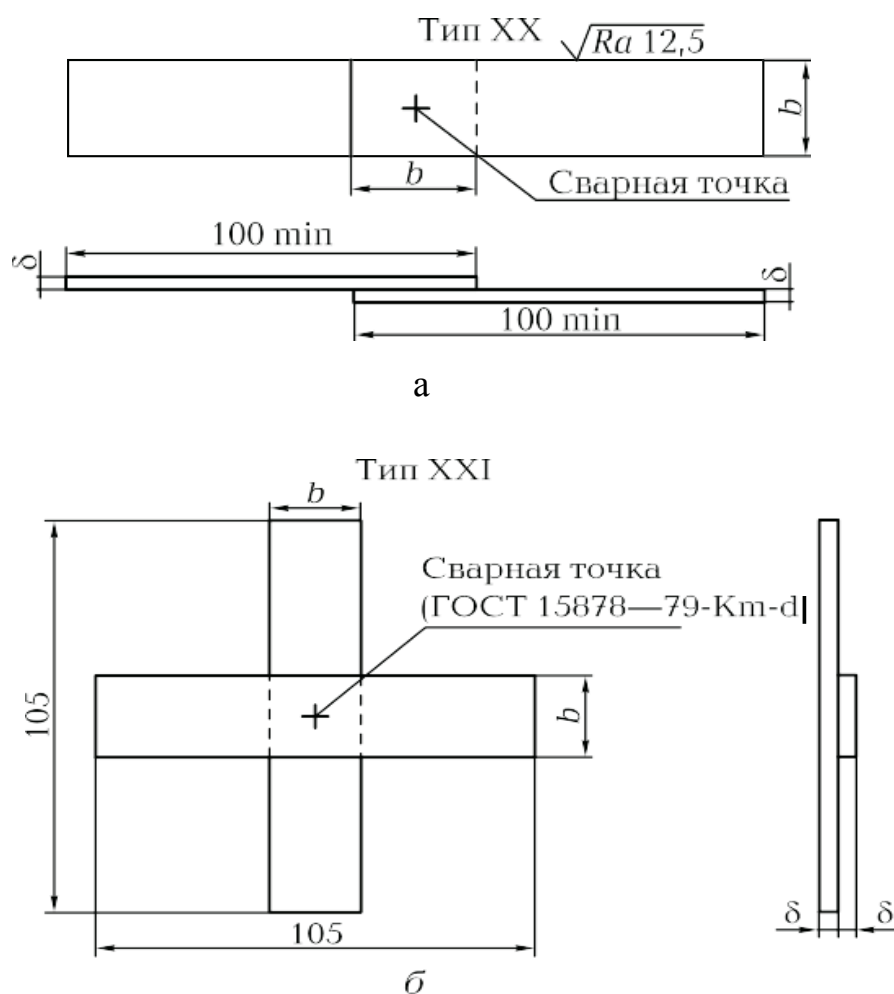


Рисунок 21 - Образцы для механических испытаний контактной точечной сварки [2]:

Параметры режима контактной точечной сварки ( $I_{св}$ ,  $t_{св}$ ,  $P_{сж}$ ,  $d_э$ ) определяют характер тепловыделения, размеры и структуру ядра точки и зоны термического влияния и, следовательно, механические свойства сварного соединения.

а — на срез; б — на отрыв;

Рассмотрим влияние времени сварки на разрушающее усилие, которое нужно приложить, чтобы разрушить сварную точку рисунок 21 а). При  $t_{св} > t_1$  никакого соединения не образуется из-за малого тепловыделения. При  $t_1 > t_{св} > t_2$  на участке АВ также из-за недостаточного тепловыделения образуется соединение типа «склейки» без литого ядра. Данное соединение имеет большое изменение прочности при малых изменениях времени сварки и совершенно не выдерживает переменных нагрузок. При  $t_2 > t_{св} > t_4$  на участке ВС образуется литое ядро, которое растет по мере увеличения времени сварки. С ростом ядра растет разрушающее усилие. Наклон кривой на участке ВС более пологий, т. е. колебание времени сварки из-за разных возмущений будет вызывать меньшее изменение прочности точки, чем на участке АВ. При  $t_{св} > t_4$  ядро достигает наибольших размеров, а разрушающее усилие — наибольшей величины. Однако время  $t_4$  нельзя считать оптимальным, так как оно относится к мягким режимам, связано с сильным износом электродов и большими затратами энергии. Оптимальным будет промежуточное время  $t_3$ , при котором прочность снижается не существенно, но значительно снижаются затраты энергии и повышается стойкость электродов из-за меньшего перегрева. При  $t_{св} < t_4$  начинается снижение прочности из-за перегрева металла в зоне термического влияния и увеличения глубины вмятины от электродов.

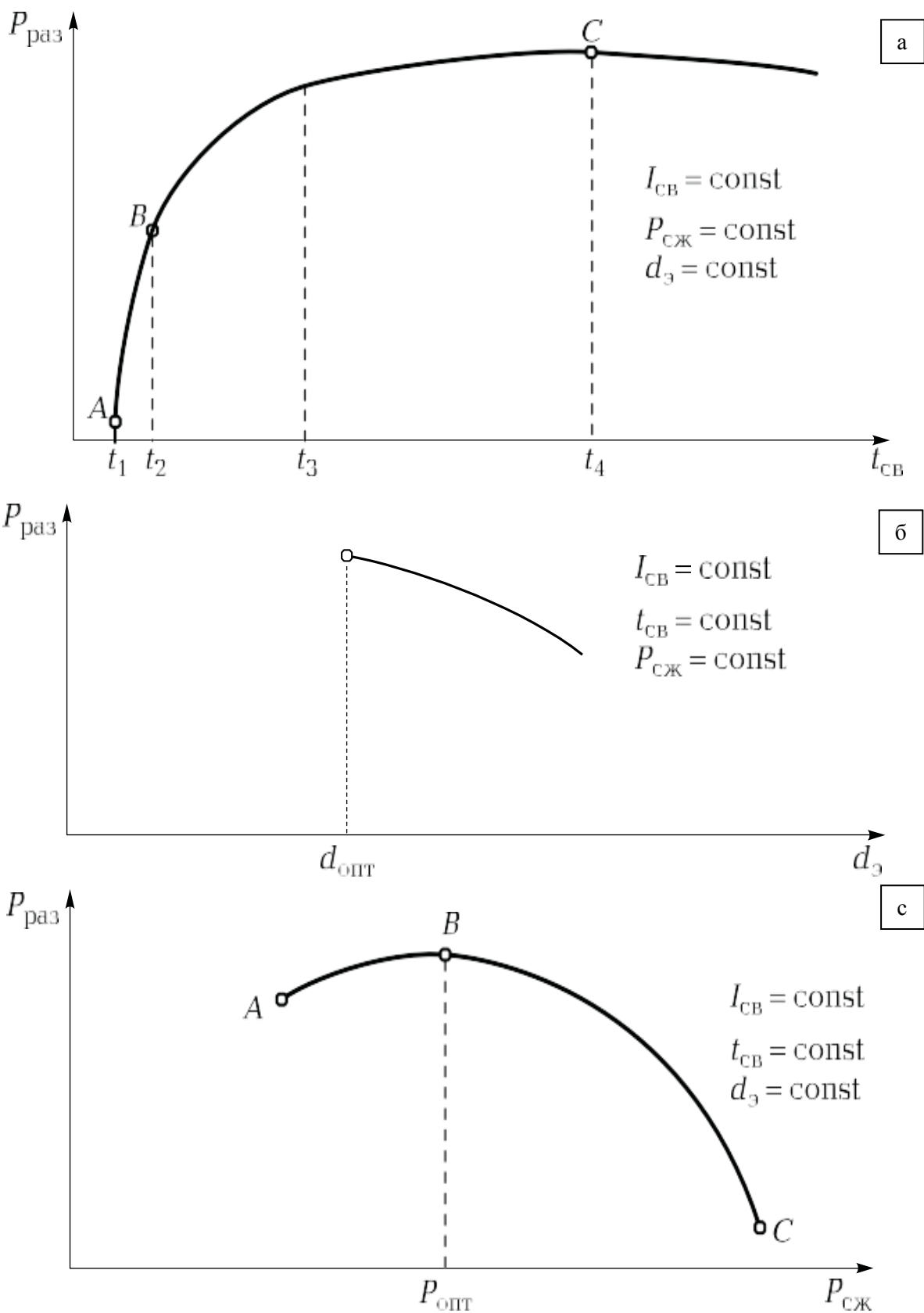


Рисунок 22 - Зависимость разрушающего усилия  $P_{раз}$ , прикладываемого к сварной точке от времени сварки  $t_{св}$ (а), усилия сжатия  $P_{сж}$ (б) и диаметра рабочей поверхности электрода  $d_э$ (в):



$P_{\text{опт}}$ ,  $d_{\text{опт}}$  — оптимальные значения усилия и диаметра электрода;  $I_{\text{св}}$  — сила сварочного тока [2].

На пологом, почти горизонтальном участке кривой, несмотря на значительное возрастание выделяющейся теплоты, определяемое большим временем сварки, прочность соединения, а следовательно, диаметр ядра точки, перестают увеличиваться. Это объясняется достижением состояния, при котором дополнительно выделяющаяся теплота отводится в электроды.

Данная закономерность следует из закона теплопроводности Фурье.

С ростом проплавления границы ядра приближаются к поверхностям электродов, что вызывает значительное возрастание градиента температуры и, следовательно, увеличение отвода теплоты в электроды. Зависимость разрушающего усилия точки от силы сварочного тока аналогична зависимости от времени сварки.

Влияние усилия сжатия электродов на разрушающее усилие, прикладываемое к сварной точке, неоднозначно. При оптимальном усилии сжатия достигается наибольшее разрушающее усилие точки.

На участке ВС с ростом  $P_{\text{сж}}$  снижается контактное сопротивление между деталями и выделение теплоты и значительно повышается теплоотвод к электродам. Данные факторы приводят к уменьшению диаметра ядра точки и падению ее прочности.

При уменьшении  $P_{\text{сж}}$  по сравнению с оптимальным значением растет контактное сопротивление между деталями, увеличивается выделение теплоты и снижается теплоотвод к электродам, что приводит к росту ядра и его выходу за пределы зоны уплотняющего пояса, следствием чего является выплеск и снижение прочности точки.

Влияние размера рабочей поверхности электрода на прочность точки связано с изменением плотности тока. С ростом  $d$  снижается плотность тока в контакте между деталями, уменьшается удельное выделение теплоты и диаметр ядра.

Кроме указанных параметров на прочность точки влияет величина шага.

При уменьшении шага между точками возрастает ток шунтирования, снижается сила тока, протекающего через зону сварки ( $I_{св}$ ), уменьшается диаметр ядра и падает прочность точки, поэтому в ГОСТ 15878 — 79 ограничено минимальное значение шага в зависимости от толщины металла.

## **2. Контроль кузовных сборок на производстве**

Общий принцип проведения контроля кузова.

Контроль применим на блоке или на черном кузове в сборе

- Контроль кузова позволяет вовремя проконтролировать надежность сварочного оборудования и доказать соответствие продукции нормативным показателям TNC (процент несоответствия).

Для точечной сварки он выражается проверкой всех точек на продукции, выполненных на блоке и/или кузове:

*TNC*

Полученный TNC это отношение дефектных точек к общему количеству точек, выражается в процентах. Допускается объединять под сборки и сборки, если они имеют менее 150 точек. Так например объединяют двери, багажник и капот. Ограничения на одну деталь определяют в конце проекта.

Контролируются все точки, включая точки на узлах поставщиков.

Проверяются точки по краю листа и в начале линии.

Предварительно происходит внешний контроль точек, после чего проверяется прочность этих точек. Для разрушающего контроля диаметр ядра оценивается на основании опыта.

*Средства контроля.*

Контроль визуальный.

Для проверки положения относительно других точек, используется линейка (или штангенциркуль).

Диаметр точки так же, измеряется при помощи линейки (штангенциркуль) или лупы с градуировкой.

Относительно шага между точками сварки:

- для автоматизированного процесса равномерность шагов будет подтверждаться контролем параметров процесса,

- для ручного процесса равномерность шагов будет подтверждаться оператором, обученным в школе мастерства.

В случае сомнения, необходимо задействовать техническую

документацию.

#### Разрушающий контроль

Контроль заключается в проведении разрушающего теста (деструктивный контроль).

Для контроля необходимы специальные клещи и оснастка (в соответствии с нормой EM34.SO.705).

Разрушающий контроль заключается в том, что сборочную единицу разламывают, используя клещи, а также при необходимости молоток и зубило для проверки диаметра ядра.

Этот метод является единственно приемлемым для выполнения проверки кузова в сборе. В некоторых случаях допустимо его применение для контроля отдельной сборочной единицы.

Нормированное время выполнения — 30 сек. на каждую точку

Соответствие кузова определяется TNC всех характеристик. Соответствие определяется согласно правилам, установленным в И04000.37.101.129.

Кузов является соответствующим, если: Наблюдаемый TNC несоответствующих точек по блокам ниже TNC, установленного в стадии проекта (указан в документе, входящем в состав досье передачи). В любом случае, если превышает порог 1,5 % несоответствующих точек на кузове, необходимо провести мероприятие по процессу.

Кузов является соответствующим, если все входящие в него блоки отвечают критериям: - нет несоответствующей стандарту точки (непровар или пропуск). - если количество бракованных точек не переходит предел реагирования, установленного в досье передачи. TNC каждого блока <1%

Правило по последовательности: Последовательность точек определена схемой процесса контроля

Продукция соответствует норме, если все блоки, входящие в состав автомобиля, соответствуют норме. Для этого: доказываемое соответствие

продукции. (процентное соотношение дефектных точек отвечает нормативным показателям).

- в случае отклонения они требуется,
- отсутствие несоответствий по последовательности (пропуск точки или непровар < 2 ),
- подтвердить контроль межоперационных заделов и контроль целевых точек,
- контроль техпроцесса с целью доказательства правильной работы оборудования,

Для каждого контроля составляется отчет. Проверяется и утверждается критерий соответствия блока. Дефекты внешнего вида и положения должны также учитываться. Отчет о контроле должен чётко указывать на соответствие или несоответствие продукции согласно установленной предельной величине. На основе отчетов о контроле рассчитываются следующие показатели:

- прочность точек

Показатель фиксируются в специальных программах или приложение excel. Границы остановки четко обозначены (с возможной границей тревоги). Дефекты прочности, положения и внешнего вида точек сварки учитываются в 3-х отдельных показателях.

#### *Для контроля узла*

Этот контроль применяется на уровне узла.

- Контроль продукции позволяет вовремя проконтролировать надежность сварочного оборудования и доказать соответствие продукции нормативным показателям (TNC).

Для точечной сварки он выражается проверкой всех точек, выполненных на касающемся блоке.

Контроль узла ведется по аналогичному с кузовом метода. узлы можно объединить в под-блоки или блоки, если они имеют менее 150 точек.

Контролируемые характеристики - все точки, сваренные на заводе.

Проверяется положение точек по краю листа и в начале ряда, а также

шаг.

Прочность проверяется на уровне каждой контролируемой точки, проверяется наличие ядра сварной точки.

Средства контроля:

Контроль визуальный.

Если есть сомнение относительно положения, использовать линейку

Относительно шага точек сварки:

- для автоматизированного процесса равномерность шага будет подтверждаться контролем параметров сварки,
- для ручного процесса равномерность шага будет подтверждаться оператором.

Шаг проверяется визуально.

Контроль прочности может проводиться по 2 методикам:

- а) Испытание ультразвуком - позволяет оценить прочность точки путем чтения эхограммы,
- б) Испытание TND (молоток/зубило) - позволяет оценить прочность точки, но без возможности проконтролировать диаметр точки.

Контроль наличия точки выполняется путем визуального контроля

### 3. Оборудование, используемое в исследовании

#### Ультразвуковой контроль

В исследовании на ультразвуковом контроле применялся EPOCH 650 это достаточно компактный дефектоскоп.



Рисунок 23 – Дефектоскоп УЗК EPOCH 650

Данный микроскоп оснащен всеми функциями стандартного портативного дефектоскопа серии Olympus, обладая интуитивно понятным интерфейсом.

Все возможности дефектоскопа задействуются при помощи структурированного меню и горячих клавиш.

Аппарат предназначен для работы в любых производственных условиях. От лабораторных, до опасных производственных

Дефектоскоп имеет конструкцию класса IP с ручкой регулятором или панелью навигации. Тестируется по самым высоким требованиям надежности.

Основные характеристики:

- Конструкция прибора сформирована в соответствии требованиями EN12668-1;

- Обладает генератором прямоугольных импульсов PerfectSquare;
- Имеет полноэкранный режим А- скан;
- Имеет приемник цифрового типа;
- Содержит более 30-и цифровых фильтров отношения сигнал/шум;
- С целью обеспечения быстрого сканирования обладает ЧЗИ (2 кГц);
- Настраивается при помощи панели управления и ручки навигатора;
- Широкий VGA-дисплей, сохраняющий цветопередачу при интенсивном солнечном свете;
- Батарея со сроком заряда более 15-ти часов;
- Способен выдавать динамические кривые DAC/ВРЧ и АРД-диаграммы;
- Способен вмещать карту памяти MicroSD на 2 ГБ;
- Имеет модуль для коррозионного мониторинга с кодированным В-сканом;
- USB-порт для обмена данными;
- Выходы для сигнализации и VGA;
- Аналоговый выход;

Данный аппарат имеет размеры  $236 \times 167 \times 70$  мм и вес 1,6 кг с учетом литий-ионного аккумулятора.

Клавиатура: Английская, международная, японская, китайская.

Языки интерфейса: Английский, испанский, французский, немецкий, японский, китайский, португальский, русский.

Разъемы для преобразователей BNC или LEMO 1.

Хранение данных: Внутренняя память емкостью до 100 000 ИД.

Тип батареи: Стандартный литий-ионный аккумулятор.

Питание от сети переменного тока: 100–120 В, 200–240 В, 50–60Гц.

Тип дисплея: Цветной трансфлективный ЖК-дисплей VGA ( $640 \times 480$ ) с частотой кадров 60 Гц.

Размер дисплея:  $117 \times 89$  мм, 146 мм.



*Генератор дефектоскопа:*

- Генератор прям. Импульсов ЧЗИ от 10 до 2000 Гц с шагом 10 Гц.
- Напряжение генератора 100 В, 200 В, 300 В или 400 В.
- Длительность импульса от 25 до 5 000нс (0,1 МГц) с технологией PerfectSquare™.
- Демпфирование 50, 100, 200, 400 Ω.

*Приемник дефектоскопа:*

- Усиление от 0 до 110 дБ.
- Максимальный входной сигнал 20 В р-р.
- Входное полное сопротивление 400 Ω ±5%.
- Полоса пропускания от 0,2 до 26,5 МГц при – 3 дБ.
- Цифровые фильтры: 30 наборов. Семь фильтров, отвечающих требованиям EN12668-1:2010 (0,2-10 МГц, 2,0-21,5 МГц, 8,0-26,5 МГц, 0,5-4 МГц, 0,2-1,2МГц, 1,5-8,5 МГц, 5-15 МГц).
- Детектирование Полная волна, положительная и отрицательная полуволна, РЧ.

*Линейность системы:*

- По горизонтали: ± 0,5% FSW (полной ширины экрана)
- Дискретность 0,25% FSH (полной высоты экрана), погрешность усилителя ±1 дБ
- Отсечка от 0 до 80% FSH с визуальной сигнализацией
- Измерение амплитуды от 0 до 110% FSH с разрешением 0,25 %
- Скорость измерений Соответствует ЧЗИ во всех режимах

*Калибровка прибора.*

*Автоматическая калибровка:*

- Скорость звука;
- Смещение нуля;
- Прямой луч (первый донный или Эхо-Эхо)/наклонный луч (путь УЗ или глубина)

*Режимы контроля:*

- Импульс-эхо;
- Раздельно-совмещенный;
- Теневой.

Единицы измерения: Миллиметры, дюймы или микросекунды

Диапазон: от 3,36 до 13 388 мм при 5 900 м/с

Скорость: от 635 до 15 240 м/с

Смещение нуля: от 0 до 750 мкс

Задержка отображения: от -59 до 13 401 мм; продольная скорость в стали

Угол преломления: от 0° до 90° с шагом 0,1°

*Стробы прибора.*

Стробы для измерений: Два полностью независимых строба для измерения амплитуды и времени пролета

Начало строба - настраивается на всем отображаемом диапазоне.

Ширина строба - настраивается от начала строба до конца отображаемого диапазона

Высота строба - Настраивается от 2 до 95% от высоты экрана

Сигнализации Положительный и отрицательный пороговые уровни, минимальная глубина.

*Измерения.*

Поля для отображения результатов измерений 5 полей (ручной или авто-выбор)

*Другие измерения*

Значение выброса (дБ) для АРД-диаграмм, ERS (эквивалентный размер дефекта) для АРД-диаграмм, рейтинг (D) AWS D1.1/D1.5, значение отсечки, значения Эхо – Опорн. дБ. DAC/ТС Стандартная. Точки DAC до 50 точек, динамический диапазон 110 дБ.

Специальные режимы DAC Пользовательские DAC (до 6 кривых), 20-80% отображ. Коррекция криволинейной поверхности. Стандартная функция.

Коррозия (опция), Нулевой алгоритм измерения, коррекции V-пути, одиночный эхо или Эхо-эхо, кодированный В-скан.

Контроль геометрии.



Рисунок 24 - Координатная измерительная машина PROPremium 16/21 для направляющих балок.

Координатная измерительная машина PROPremium 16/21 для направляющих балок.

Диапазон измерений:  $Y=1600$  mm,  $Z=2100$  mm.

*Характеристики:*

- Линейные рядные шарикоподшипники для Y, Z осей;
- Скорость перемещения осевая без защитного оборудования - 150 мм/с;
- Скорость перемещения в объеме без защитного оборудования - 260 мм/с;
- Скорость перемещения осевая с защитным оборудованием - 500мм/с;
- Скорость перемещения в объеме с защитным оборудованием - 500 мм/с;

- Ускорение осевое - 1000 мм/с<sup>2</sup>;
- Ускорение объемное - 1000 мм/с<sup>2</sup>;
- Приспособление безопасности - полоса безопасности на измерительной балке и нажимной плите X-носителя;
- Улучшенная производительность благодаря подготовке для DSE и EagleEyeNavigator.

Температурная классификация: T1

Окружающая температура: 16-24 °C

Изменение температуры в процессе работы:

В час - 1,5K;

В день - 3K;

На метр - 0,5K.

*Дополнительные комплектующие:*

- PROX-Балка X-6000 (балка с системой направляющих для третьей оси)

Диапазон измерений: X = 6000 мм

*Требования:*

Гибкая установка на пол или уровень пола с трехточечной основой установки.

- Защита X-Балки

Защита пешеходная, с общей длиной 7500 мм.

- Привод.

Для диапазона измерений от 3000 до 6000 мм.

- Контроллер

Интегрированная концепция мультисенсорики

Категория защиты IP54 для контролера в шкафу MCC800 с модулем безопасности для высоких скоростей.

- Пульт управления "DYNALOG-P3\2

- Пюпитр с серволифтом

#### **4. Результаты проводимого исследования**

##### **Внутренняя панель задней двери LADA GRANTA 2191**

В данной работе в качестве образца выбрана внутренняя панель задней двери в сборе от автомобиля LADA GRANTA 2191. Причина данного выбора вызвана тем, что изначально GRANTA 2191 собиралась в Ижевске и сварка кузова производилась на ручных постах, при переносе производства данного автомобиля на тольяттинский автозавод, часть постов перешли на роботизированную сборку, в том числе и посты сварки внутренней панели задней двери.

Внутренняя панель задней двери в сборе состоит из следующих компонентов:

- Усилитель внутренней панели задней двери под петли в сборе;
- Брус безопасности передней двери в сборе;
- Панель задней двери внутренняя;
- Усилитель внутренней панели задней двери;
- Усилитель внутренней панели задней двери под замок.

Сварка внутренней панели задней двери происходит на двух постах.

На первом poste внутренняя панель задней двери базируется в пастели, затем на нее накладываются, усилитель внутренней панели задней двери под петли в сборе и усилитель внутренней панели задней двери под замок. Данные усилители базируются на внутренней панели при помощи прижимов, так чтобы зоны сварки оставались доступными, после чего происходит процесс сварки

Сварные точки располагаются в соответствии с рисунком 25.

Для усилителя внутренней панели задней двери под петли в сборе это:

- 11 точек по оси X;
- 18 точек по оси Y.

Для усилителя внутренней панели задней двери под замок это:

- 12 точек по оси X;
- 6 точек по оси Y.

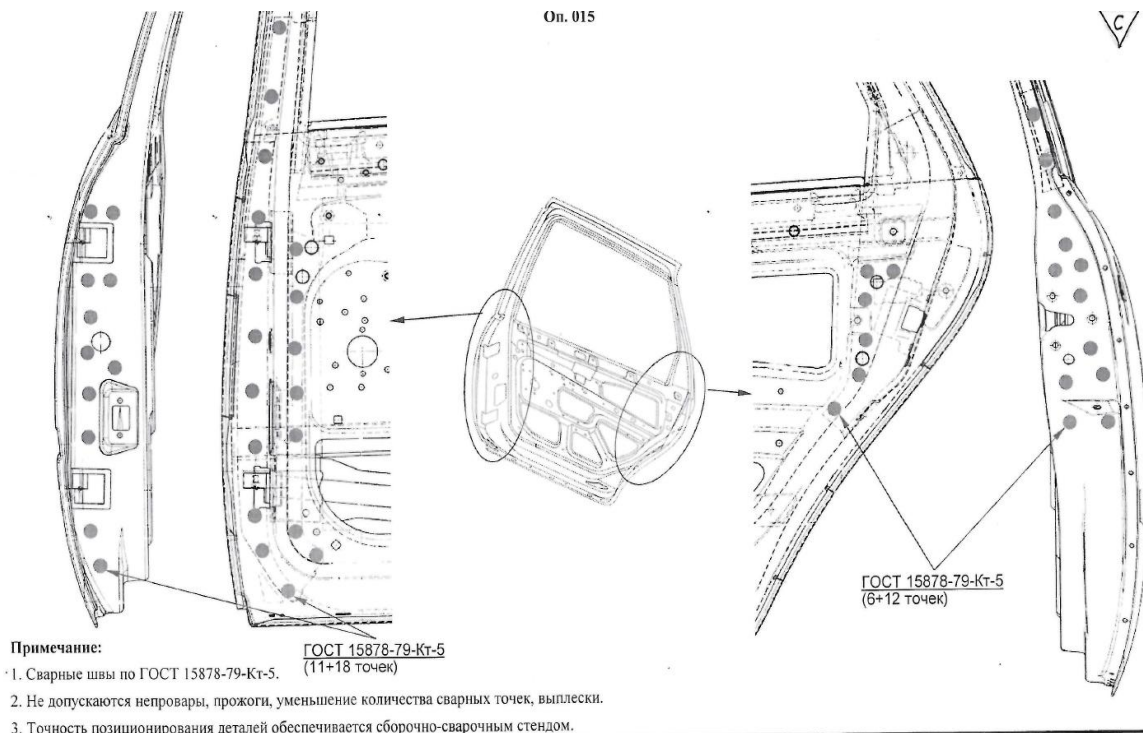


Рисунок 25 – Расположение точек сварки для первого поста на внутренней панели задней двери. Сварка внутренней панели с усилителем внутренней панели задней двери под петли в сборе и усилителем внутренней панели задней двери под замок.

На втором poste, уже текущая сборка вновь базируется, уже на новой постели. После чего аналогичным образом на него накладываются брус безопасности передней двери в сборе и усилитель внутренней панели задней двери. Три детали также обхватываются прижимами, оставляя доступ к зоне сваривания для работа, после чего происходит сварка.

На втором посту сварка происходит по 31 точке из которых:

- 23 точки располагаются на усилителе внутренней панели задней двери;
- 4 точки на передних «ушах» бруса безопасности;
- 4 точки на задних «ушах» бруса безопасности.

Расположение точек сварки для второго поста изображены на рисунке 26.

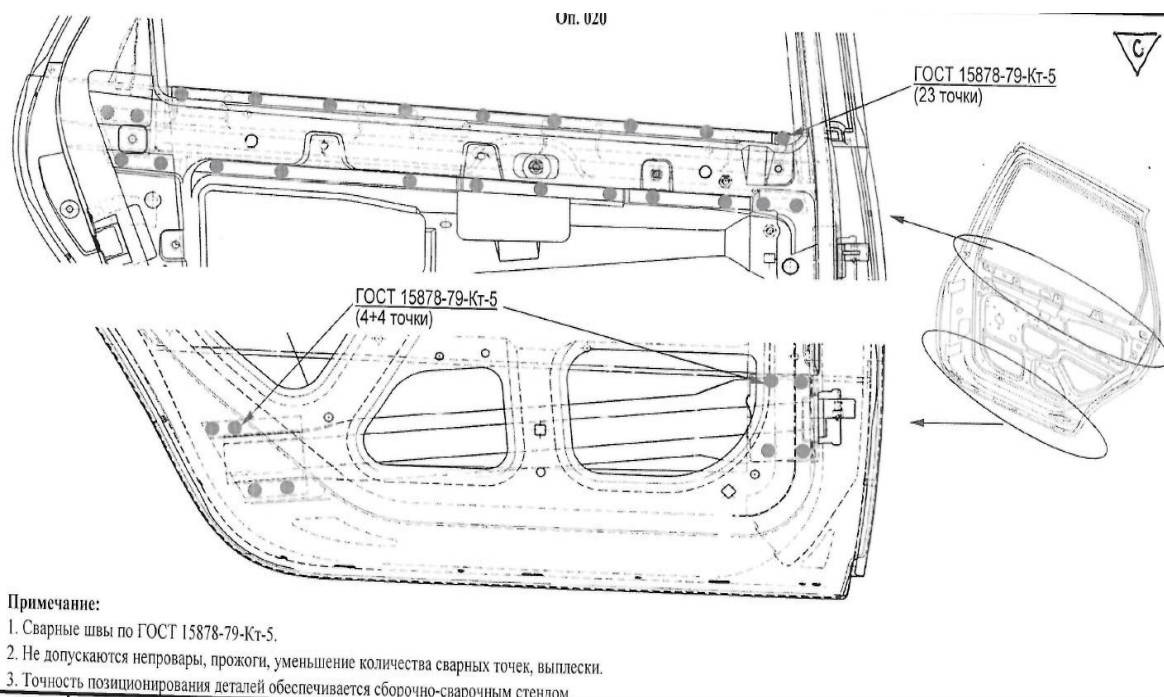


Рисунок 26 – Расположение точек сварки для второго поста на внутренней панели задней двери. Сварка внутренней панели с брусом безопасности передней двери в сборе и усилителем внутренней панели задней двери.

Все детали на данном poste изготовлены из стали марки 01ЮТ ГЦ.

Ниже в таблицах 1 и 2 приведены химический состав и механические свойства данного материала. Выбор данного материала обусловлен его качественными свойствами к штамповке и сварке.

Таблица 1 – Химический состав в % стали 01ЮТ ГЦ [3]:

C	Si	Mn	S	P	Al	Cr	Ni	Ti	Cu	N	Fe
до 0.01	до 0.0 3	0.1- 0.18	до 0.01 2	до 0.01	0.02 - 0.05	до 0.03	до 0.03	0.09- 0.12	до 0.0 6	до 0.00 7	остал ь ное

Таблица 2 – Механические свойства при T=20°C стали 01ЮТ ГЦ [3]:

Сортамент	Размер, мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$d_5$ , %
Прокат для холодной штамповки по ТУ 14-106-632-2001	0.7 - 1.5	350	185	40

Визуальный осмотр сварных точек.

Метод проведения контроля:

Визуальный контроль внешнего вида сварных точек проводится в соответствии с рисунком 27.




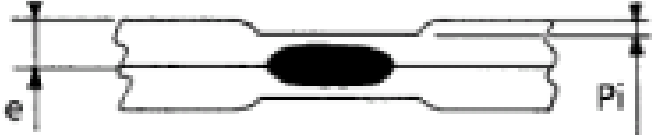

<b>Непригодность внешнего вида на точке сварки</b>	
<b>Точка контактной сварки с выплесками</b>	
<b>Прожог точки контактной сварки</b>	
<b>Деформированная точка контактной сварки</b>	
<b>Углубленная точка контактной сварки (со слишком большой глубиной отпечатка)</b>	
<b>Трещина в точке контактной сварки</b>	

Рисунок 27 - Внешний осмотр сварных точек на пригодность.

Контроль производился для внутренней панели задней двери LADAG RANTA 2191 на 78 сварных точках.

Контроль проводился 3 раз в сутки в течении 4-х месяцев.

Результаты контроля приведены в таблице 3, где указано количество несоответствий для каждой из точек в процентном соотношении. За период 67 рабочих дней, для каждого из 201 образца. Всего за период ведения контроля проведено 15678 осмотров с целью проведения контроля.



Таблица 3 - Визуальный контроль внешнего вида сварных точек для внутренней панели задней двери LADAGRANTA 2191.

№ точки	Ср. знач. Брака в %	№ точки	Ср. знач. Брака в %
1	0,57	41	0,62
2	0,94	42	0,23
3	0,19	43	1
4	0,16	44	0,36
5	0,25	45	0,82
6	0,14	46	0,91
7	0,66	47	0,76
8	0,1	48	0,73
9	0,31	49	0,11
10	0,94	50	0,31
11	0,19	51	0,1
12	0,59	52	0,68
13	0,64	53	0,32
14	0,89	54	0,9
15	0,67	55	0,94
16	0,81	56	0,37
17	0,93	57	0,22
18	0,38	58	0,31
19	0,55	59	1
20	0,88	60	0,73
21	0,76	61	0,69
22	0,3	62	0,62
23	1	63	0,72
24	0,39	64	0,95
25	0,61	65	0,46
26	0,18	66	0,18
27	0,45	67	0,33
28	0,59	68	0,37
29	0,14	69	0,92
30	0,64	70	0,76
31	0,38	71	0,19
32	0,21	72	0,59
33	1	73	0,64
34	0,41	74	0,89
35	0,42	75	0,39
36	0,77	76	0,61
37	0,8	77	0,18
38	0,31	78	0,45
39	0,72		
40	0,63	Общее	0,54

Из визуального контроля сварных точек был сделан вывод, что основным внешним дефектом является прожог сварных точек. Данный дефект вызван отклонением настройки оборудования, и при возникновении данной проблемы. Параметры программы робота редактировались оператором, до привода механизма в соответствие.

Тем не менее среднее значение дефекта при контроле сварных точек составило 0, 54%, что соответствует стандарту требований к качеству на АО "АВТОВАЗ". Согласно стандарту завода, внешний дефект точек не должен превышать 1%.

После проверки внешних дефектов, был проведен контроль качества расположения сварных точек относительно краев деталей и друг друга в соответствии с рисунком 28.

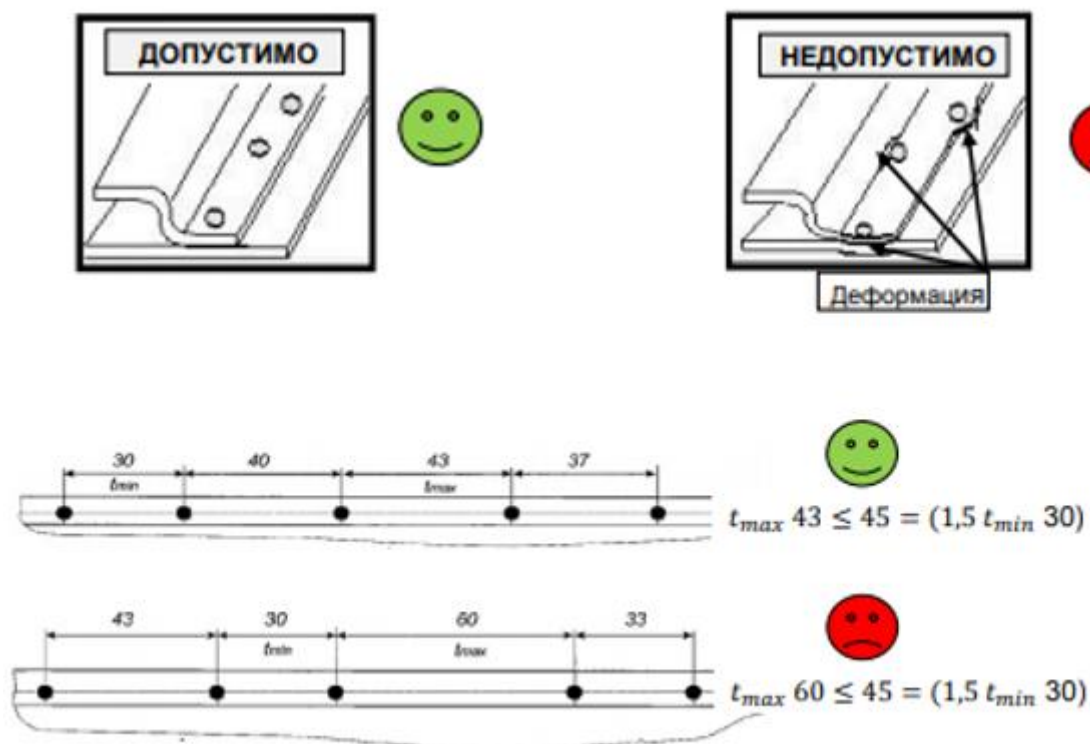


Рисунок 28 - контроль положения сварных точек.

По результатам замеров дефекты не были обнаружены, что говорит о точности работы как оборудования, так и его программного обеспечения, задающее роботу координаты точек.

Неразрушающий контроль.

После базирования внутренней панели на специальном стенде, проводился неразрушающий контроль методом УЗК на оборудовании ЕРОСН 650

Контроль проводился следующим образом:

1 раз в сутки в течении 4-х месяцев.

Выборка: по 3 сборки в 1 отбор (100% сварных точек детали).

Подготовка к контролю:

Откалибровать ЕРОСН 650 согласно И 14000.37.101.095-2018 и согласно И 14000.37.101.095-2018

Взять инструмент для контроля: гель или вазелин технический (ТУ 0255-195-05757887) мягкая кисть (ТУ 9677-010-039.64.767) трикотажное полотно (ГОСТ 28554)

Перед началом работы обработать сварочную точку кистью, смазанную гелем или техническим вазелином.

Установить преобразователь на контролируемую сварочную точку (согласно карте сварки) Установка преобразователя на сварочную точку

На экране дефектоскопа выдается результат в виде осциллограммы как показано на рисунке 29.

После окончания контроля УЗК удалить следы геля/вазелина с помощью трикотажного полотна (ГОСТ 28554)

*Запись результатов контроля*

Результаты контроля записывались как:

ОК- отсутствуют дефекты внешнего вида, положения, присутствует литое ядро.

НОК- присутствуют дефекты внешнего вида или положения, точка отсутствует или непровар.



Установка зонда при УЗК

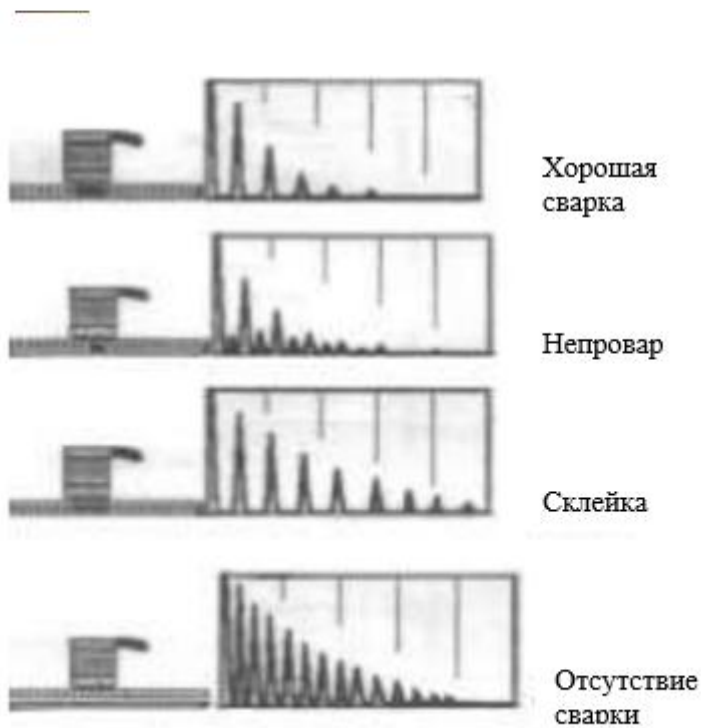


Рисунок 29 - Правила при ведении УЗК

Основными дефектами при неразрушаемом контроле методом ультразвука явились склейки и небольшое количество непроваров. В зонах расположений сварных точек отсутствия сварки не обнаружено.

Результаты контроля за 4 месяца приведены в таблице 4

Таблица 4 – Процент брака для каждой точки на карте сварке

выявленного методом УЗК.

№ точки	Ср. знач. Бракa в %	№ точки	Ср. знач. Бракa в %
1	0,6897	41	0,682
2	1,1374	42	0,253
3	0,2299	43	1,1
4	0,1936	44	0,396
5	0,3025	45	0,902
6	0,1694	46	1,001
7	0,7986	47	0,836
8	0,121	48	0,803
9	0,3751	49	0,121
10	1,1374	50	0,341
11	0,2299	51	0,11
12	0,7139	52	0,748
13	0,7744	53	0,352
14	1,0769	54	0,99
15	0,8107	55	1,034
16	0,9801	56	0,407
17	1,1253	57	0,242
18	0,4598	58	0,341
19	0,6655	59	1,1
20	1,0648	60	0,803
21	0,9196	61	0,759
22	0,363	62	0,682
23	1,21	63	0,792
24	0,4719	64	1,045
25	0,7381	65	0,506
26	0,2178	66	0,198
27	0,5445	67	0,363
28	0,7139	68	0,407
29	0,1694	69	1,012
30	0,7744	70	0,836
31	0,4598	71	0,209
32	0,2541	72	0,649
33	1,21	73	0,704
34	0,4961	74	0,979
35	0,5082	75	0,429
36	0,9317	76	0,671
37	0,968	77	0,198
38	0,3751	78	0,495
39	0,8712		
40	0,7623	Общее	0,6296

На рисунках 30,31 и 32 приведены примеры основных типов спектров полученных при контроле образцов.

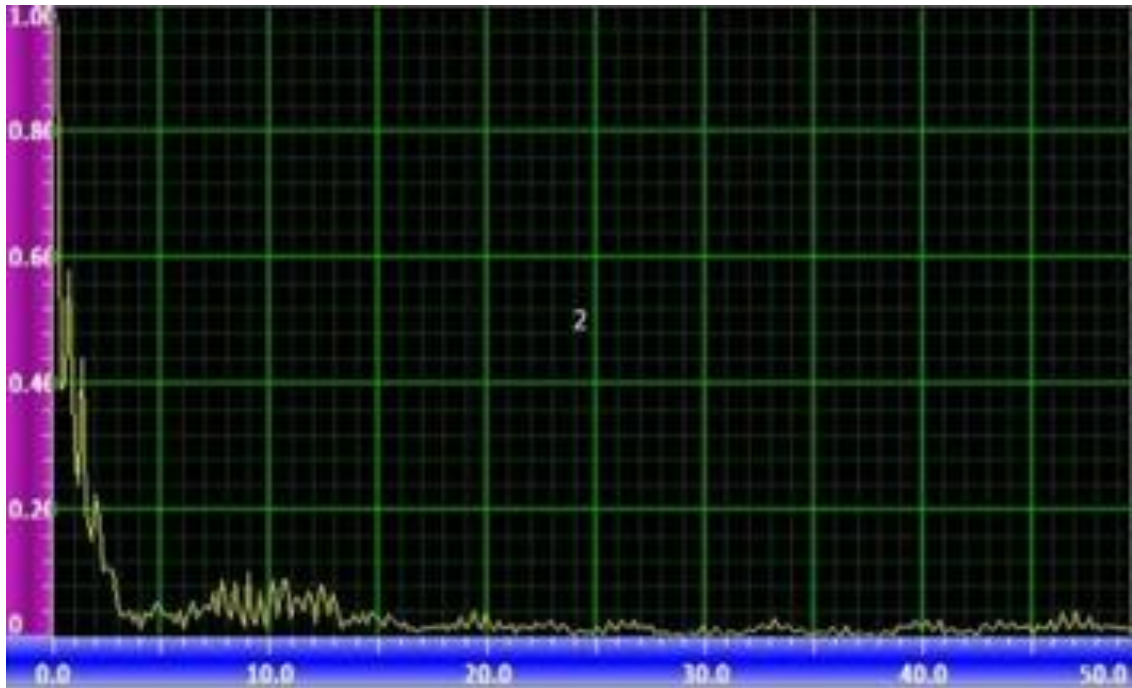


Рисунок 30 – Спектр сварной точки с дефектом. Малое зерно сварной точки (непровар)

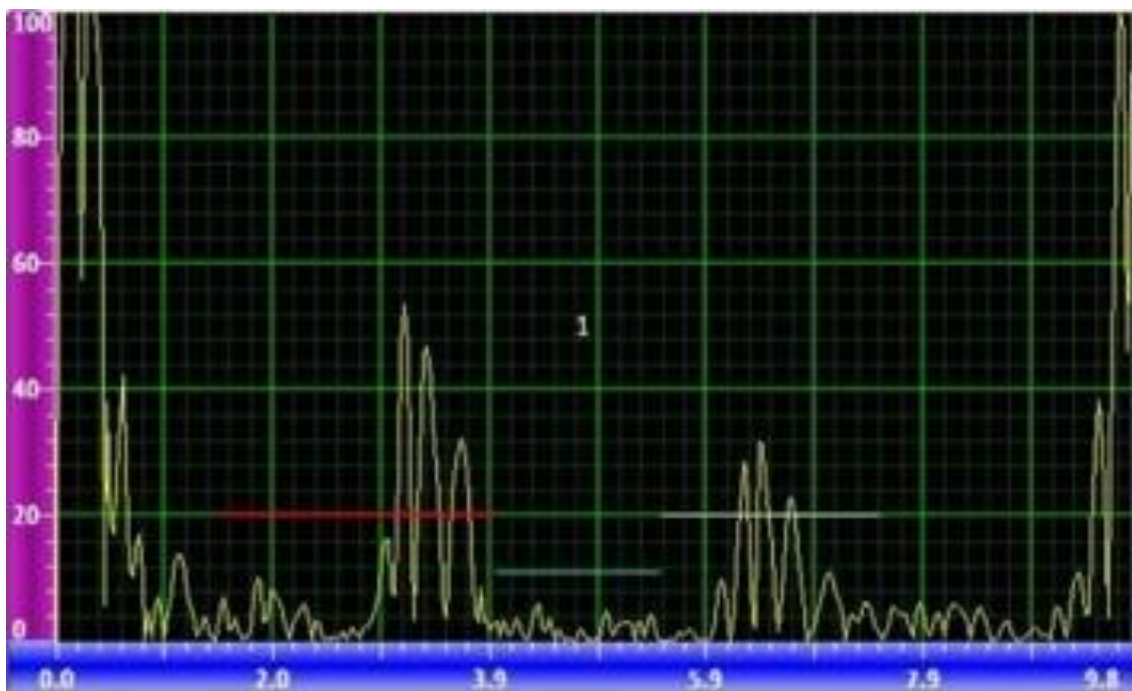


Рисунок 31 – Спектр сварной точки без дефекта. Хорошая сварка

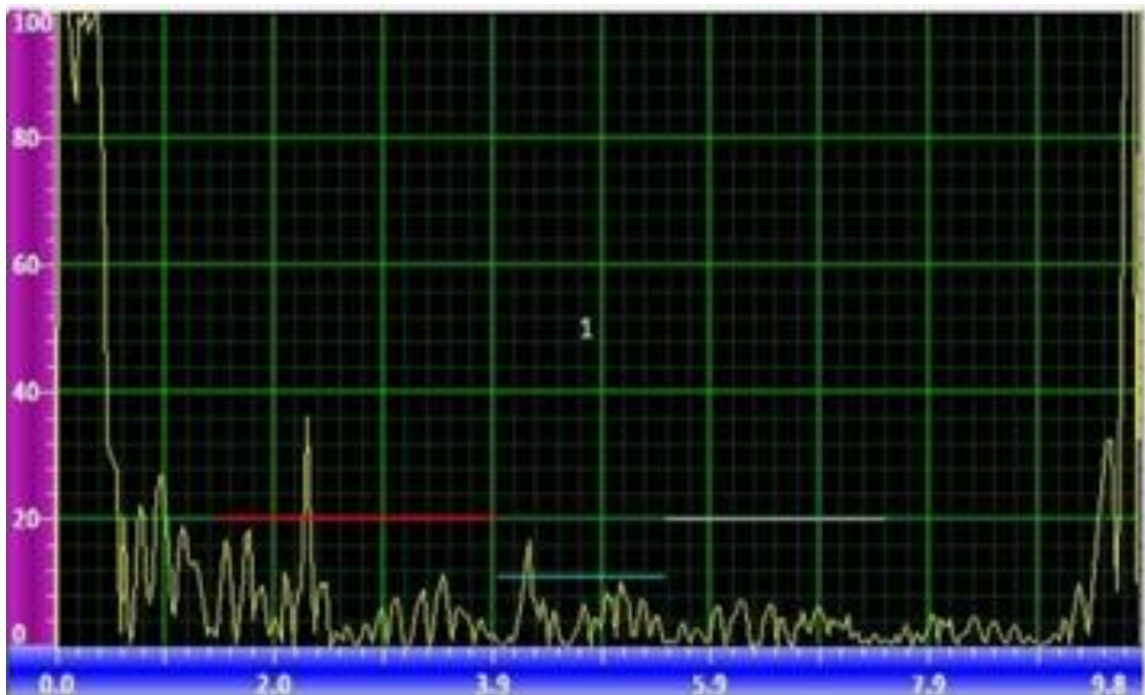


Рисунок 32 – Спектр сварной точки с дефектом. Прожиг

Следует отметить, что контролю подвергались и точки, забракованные на этапе визуального контроля. Тем не менее по результатам УЗК

#### *Разрушающий контроль*

##### Общие сведения

Методика для проверки прочности сварных точек; между двумя сварными листами и двумя точками сварки вставляется зубило. Для того, чтобы не деформировать изделие, сила удара регулируется в зависимости от контролируемых участков поверхности и толщины листов. Такому испытанию не подвергаются точки, внешний вид и геометрия которых важны (контрольный замер геометрических параметров и т.п.). Такие точки определяются на начальной стадии каждого проекта. После контроля деформация устраняется так, чтобы не оставалось ощутимых следов. Хотя эта операция кажется очень простой, выполняющие ее операторы должны пройти специальную подготовку, т.к. она требует определенной квалификации и знания изделия. Качество выпускаемых изделий не должно ухудшаться от выполненного контроля. Нормированное время для выполнения: 20 секунд на каждую точку Средства для выполнения испытания требуется:

- молоток,
- зубило,
- контрольная карта операций с указанием каждой контролируемой точки,
- лист записи результатов контроля Данный контроль выполняется в потоке или вне потока.

#### Ограничения:

А) Зона, влияющая на внешний вид или подвержена нагрузкам при сборке и эксплуатации. В этом случае деформации неприемлемы;

Б) Толщина листового металла для контроля сварных точек необходимо прикладывать большие усилия, при этом недопустимы дефекты, которые невозможно быстро исправить (разрыв металла, неисправимые деформации и т.п.). Увеличение толщины листов ведет к снижению точности контроля, т.к. общая прочность ряда точек сварки может создавать впечатление, что сварная точка проварена, а по факту может быть непровар. В результате производственного опыта установлен допустимый предел толщины для самого тонкого листа: не более 1,5 мм.

#### Доступность

Конструкция кузова или сборочной единицы в отдельных случаях накладывает ограничения на применимость неразрушающего контроля. Отсюда необходимость проводить такой контроль как можно ближе к началу технологического маршрута.

#### Тип измерения

Проверка наличия расплавленной сердцевины (ядра) в сварной точке. Если ее нет (непровар), то произойдет разъединение листов.



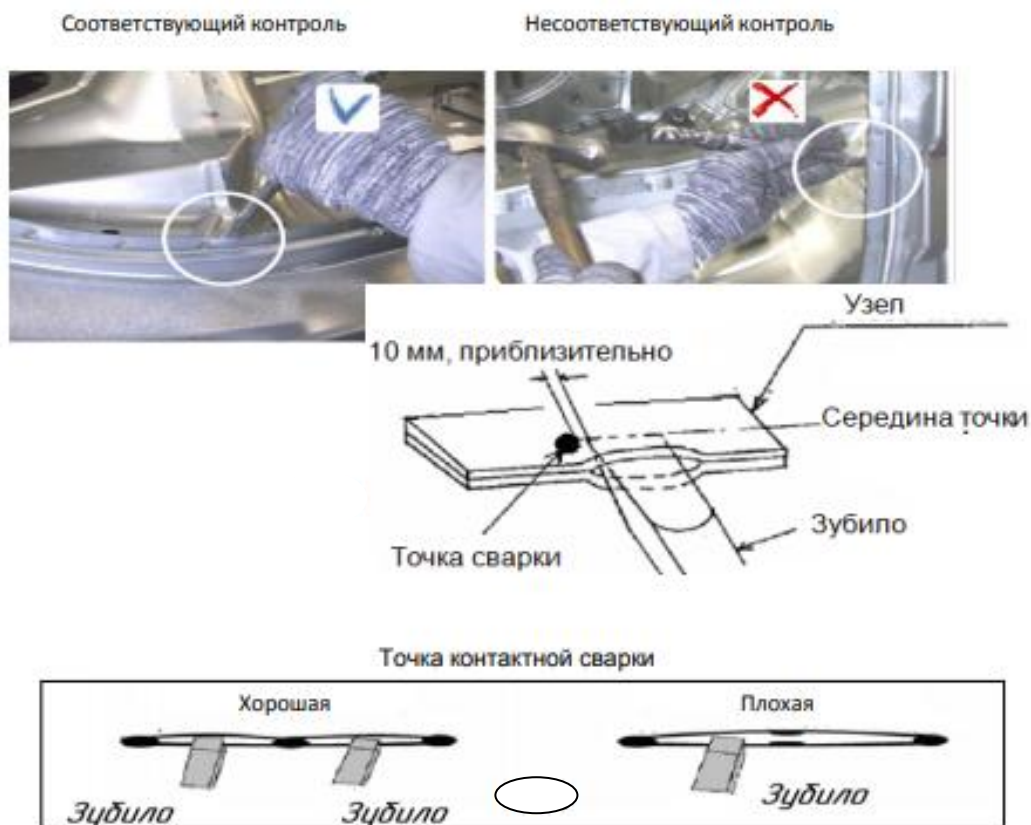


Рисунок 33 – Условия разрушающего контроля для внутренней панели задней двери LADAGRANTA 2191.

Процесс выполнения работ:

- 1) Взять молоток и зубило;
- 2) Вставить зубило между сварочными точками;
- 3) Выдернуть зубило из зоны контроля, поворачивая его вправо и влево;
- 4) Выровнять деформацию после проведения контроля. Подбить

молотком деформированную область так, чтобы не осталось ощутимых следов.

Качество изделия не должно страдать от выполненного испытания.

Инструменты для проведения контроля:

Молоток 0,5 кг. (ГОСТ 2310-77);

Зубило (854-2810-4002-01 или 02-7819-4019).

Ведение контроля осуществлялось в соответствии с рисунком 33. Так как проверка происходила после УЗК, из уже осмотренных точек предварительно отбирались точки с непроварами и с качественным сварным соединением, к которым можно беспрепятственно подобраться зубилом. из 78 точек были выбраны 40, для разрушающего контроля.

Результаты проведения контроля приведены в таблице 5. Образцы непрошедшую проверку дополнительно проходили осмотр методом макроскопии. Основные явления при разрушении приведены в рисунке 34.

Таблица 5 – Процентное соотношение образцов от общего числа для каждой точки, непрошедшие испытание на разрыв.

№ точки	Ср. знач. Брака в %	№ точки	Ср. знач. Брака в %
1	1,2	21	2,4
2	0	22	1,2
3	0	23	0
4	0	24	0
5	0	25	0
6	1,2	26	0
7	1,2	27	0
8	0	28	0
9	0	29	1,2
10	2,4	30	0
11	1,2	31	0
12	1,2	32	0
13	0	33	3,6
14	0	34	1,2
15	0	35	1,2
16	0	36	0
17	0	37	0
18	0	38	0
19	1,2	39	0
20	1,2	40	0

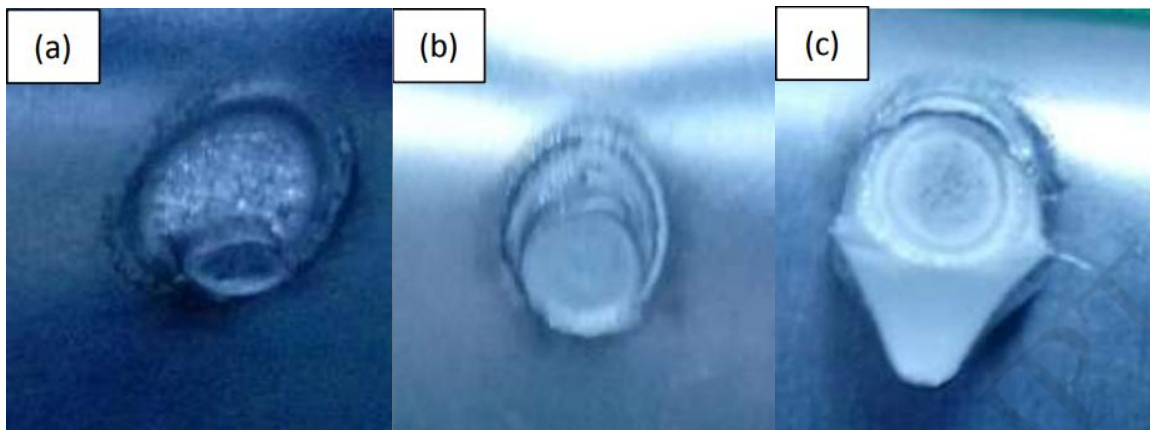


Рисунок 34 – Макроскопия разорванных точечных соединений сварки:

а)частичное межфазное разрушение с небольшой зоной вытяжки, б)частичное межфазное разрушение с большой зоной вытяжки, с) межфазное разрушение по границе сварной точки с вытяжкой металла по границе.

*Геометрические замеры.*

3Д замеры кузова производились на Координатной измерительной машине PROPremium 16/21. Данные выводились в программу GEOM, где были произведены расчеты допусков зазоров и перепадов между дверью и боковиной кузова. Результаты представлены на рисунке 41.

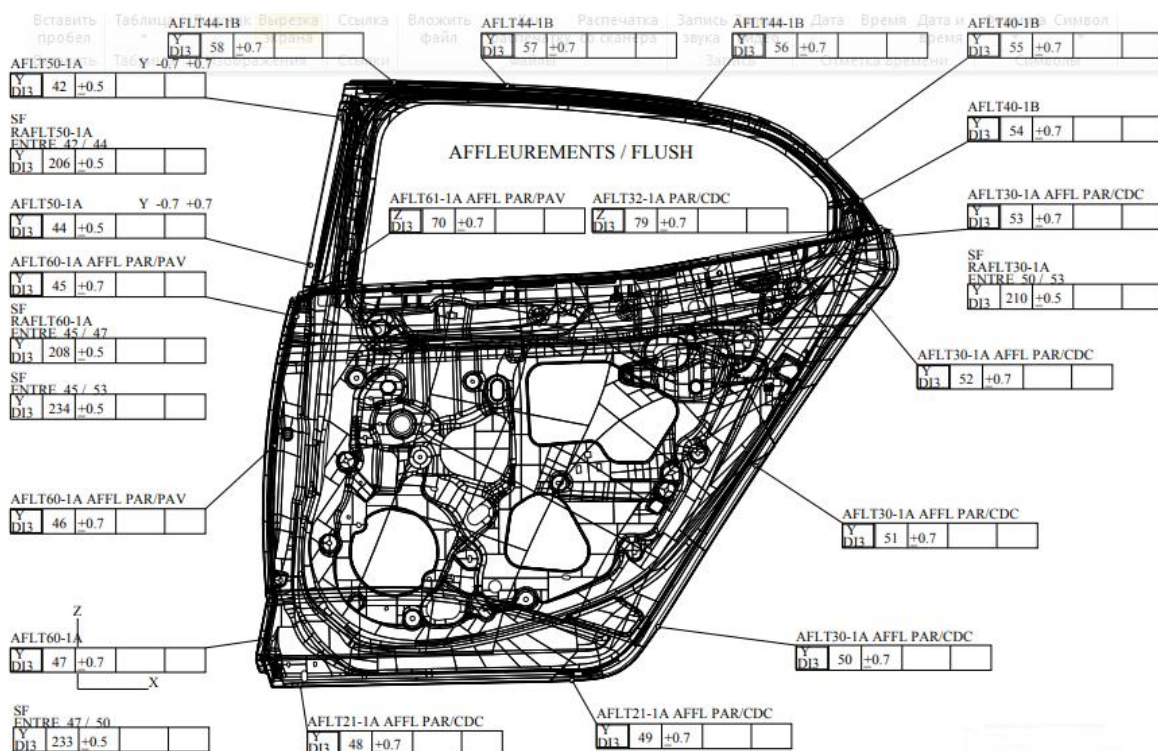


Рисунок 41 – Результаты расчета допусков на зазоры и перепады в программе GEOM.

В среднем показатели допусков относительно стандартов прописанных для производства автомобиля снизились на 0,4 мм.

Сравнение результатов исследования.

Полученные результаты были сопоставлены с данными полученными из Ижевска, где процесс точечной сварки проходил вручную. В среднем для точечной сварки значение TNC при переходе на автоматическую сварку упало на 48,92%

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе было исследовано влияние автоматизации сварки на качество сборки кузова.

При проведении исследования были решены следующие задачи:

- проведен анализ технологии и методов контроля точечной сварки
- проведены исследования в области качества изделия после операции сварки
- проведено сравнение результатов исследования между автоматизированным процессом и ручным

В современном автомобилестроении всё идет к автоматизации технологии для соединения различных узлов, ведь это высокопроизводительный способ, который обеспечивает хорошее качество. Исходя из этого, а также из выбранной темы магистерской диссертации.

Основной целью данной работы является обоснование внедрения автоматизации сварки на всей линии производства кузова автомобилей, улучшение качества внешних характеристик кузова.

Для достижения этих целей в работе проведено подробное исследование точечной сварки. Произведено исследование влияния автоматизации на качество изготавливаемого кузова на примере внутренней панели задней двери.

Результаты исследования были сопоставлены с данными из Ижевска, и на их основе были сделаны следующие выводы:

- Автоматизация точечной сварки позволяет уменьшить допуски на зазоры до 0,4 мм.
- Автоматизация производства способствует снижению брака почти в 2 раза от текущих показателей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Положение о выпускной квалификационной работе, «Тольяттинский государственный университет», Тольятти 2019
2. А.И. Акулов. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И.Акулов, Г.А.Бельчук, В.П.Демянцевич. - М.: Машиностроение, 1977. - 432с.
3. В. Г. Сорокин, А.В. Волосникова. С.А. Марочник сталей и сплавов / под общ.ред. В.Г.Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. -640с.
4. ГОСТ 19521-74. Сварка металлов. Классификация. - Введ. 1975.01.01. - М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1980.-35с.
- 5 . Сварочные материалы для дуговой сварки : справочное пособие : в 2 т. Т. 1 Защитные газы и сварочные флюсы / Б.П. Конищев [и др.] ; под общ. ред. Н. Н. Потапова. - М.: Машиностроение, 1989. - 544 с.
6. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. - Введ. 1976-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 1976. - 39с.
7. ГОСТ 30242-03. Дефекты соединений при сварке металлов плавления. - Введ. 2003-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2003.
8. ГОСТ 2246-70. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. - Введ. 1971-01-01. - М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов,1971.-35с
9. Шебеко, Л.П. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. - Введ. 1986. - М.: Изд-во стандартов, 1986. - 279 с.
10. В.С. Виноградов. Оборудование и технология дуговой автоматизированной и механизированной сварки. - Введ. 1997. -М.: Изд-во стандартов,1997.-319с.
11. E. V. Shun'ko. Langmuir Probe in Theory and Practice. Universal Publishers. Boca Raton. Florida, USA.2009
12. Jeremiah Williams Handout for Plasma Physics: Plasma Probes. Physics Department, Wittenberg University. June 27,2014

13. Григорянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки: учеб пособие для вузов / Под ред. Григорянца. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 44 с.
14. T. Sibillano, D. Rizzi, A. Ancona, S. Saludes-Rodil, J. Rodriguez Nieto, H. Chmelickova, H. Sebestova Spectroscopic monitoring of penetration depth in CO<sub>2</sub> Nd:YAG and fiber laser welding processes. *Journal of Materials Processing Technology* 212 (2012) 910-91с.
15. Y. Zhang, S. Li, G. Chen, H. Zhang, M. Zhang. Characteristics of zinc behavior during laser welding of zinc <sup>11</sup> sandwich<sup>11</sup> sample. *Optics & Laser Technology* 44 (2012)2340-2346с.
16. G. Chen, M. Zhang, Z. Zhao, Y. Zhang, S. Li. Measurements of laser-induced plasma temperature field in deep penetration laser welding. *Optics & Laser Technology* 45 (2013) 551-557с.
17. B. A. Kumar. Joining of dissimilar materials using Nd: YAG laser welding: thesis, bachelor of technology : roll no. 10603066. - National Institute of Technology, Rourkela, India, 2010. 171с.
18. J.M. Sanchez, A. Titania, Ensayos Y Proyectos Industrials S.L. Laser welding of light metal alloys: aluminium and titanium alloys - Spain M R. Amaya-Vazquez, F.J. Botana University of Cadiz, Spain ,2014. 54 с.
19. ГОСТ 30242-03. Дефекты соединений при сварке металлов плавления. - Введ. 2003-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2003.
20. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. - М.: Изд-во МИСИС, 2001.- 416с.
21. Н.Б. Пугачева, Н.С. Мичуров, Е. Б. Трушина // Особенности строения сварных соединений алюминиевых сплавов. - Екатеринбург: Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, 2015.
22. C. Kong, M. Wang, A. S. Haselhuhn, D. R. Sigler, H. Wang, B. E. Carlson The robustness of Al-steel resistance spot welding process. 2018 г.

[электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612518316165>.

23. L. Huaa, B. Wanga, X. Wanga, X. Hea, S. Guana, In-situ ultrasonic detection of resistance spot welding quality using embedded probe, 2018 г., [электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013618305429>.

24. X. Wang, Y. Yan, X. Gu. Spot welding robot path planning using intelligent algorithm. 2018 г. [электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.04.014>.

25. K. Zhou, P. Yao. Overview of recent advances of process analysis and quality control in resistance spot welding Modeling Course for Virtual University by Features, 2018 г. [электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327019300573>.

26. K. Kishore, P. Kumar, G. Mukhopadhyay. Resistance spot weldability of galvanized and bare DP600 steel. 2018 г. [электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.04.005>

27. Liu, Z., Sun, K., Song, G., He, C., Wu, B., 2016. Damage localization in aluminum plate with compact rectangular phased piezoelectric transducer array. *Mech. Syst. Signal. Process.* s 7071, 625-636.

28. Martín, Ó., Pereda, M., Santos, J.I., Galán, J.M., 2014. Assessment of resistance spot welding quality based on ultrasonic testing and tree-based techniques. *J. Mater. Process. Technol.* 214 (11), 2478-2487.

29. Moghanizadeh. A., 2016. Evaluation of the physical properties of spot welding using ultrasonic testing. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 85 (1-4), 535–545.

30. Wang, B., Hua, L., Wang, X.K., Song, Y.K., Liu, Y.L., 2016. Effects of electrode tip morphology on resistance spot welding quality of DP590 dual-phase steel. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 86 (9-12), 1917-1926.