

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка и обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки)

Сварка и пайка новых металлических неметаллических неорганических материалов

(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Лазерная сварка применяемая при изготовлении кузовов автомобилей

Студент

И.Д. Бакаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

К.В. Моторин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия )

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

В.В. Ельцов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Состояние вопроса на сегодняшний день.....	5
1.1 Конструкция кузова современного автомобиля.....	5
1.2 Обзор применяемых сталей.....	10
1.3 Анализ возможных способов соединения деталей и сварки.....	13
1.4 Особенности лазерной сварки.....	39
2 Исследование производственного цикла предприятия.....	42
3 Выбор оборудования для каждой операции всего технологического процесса.....	52
4 Экономическое обоснование.....	65
4.1 Определение капиталобразующих инвестиций.....	65
4.2 Определение себестоимости изготовления металлоконструкций.....	73
4.3 Расчет основных показателей сравнительной эффективности.....	84
Заключение.....	89
Список использованной литературы.....	91

## ВВЕДЕНИЕ

Лазерные технологии широко используются в автомобильном машиностроении. Однако на настоящий момент российские автомобильные концерны отстают от мировой практики использования лазерных технологий. Очевидно, что внедрение новых технологических процессов в поточное производство связано с изменениями в проектной документации и в дизайне автомобиля, а также с применением новых конструкционных материалов и проведением огромного количества испытаний и согласований. Именно поэтому мировые и российские автомобильные концерны не имеют возможности быстро внедрять новые технологии в производство.

В автомобильной промышленности лазеры используют на стадии раскроя заготовки, а также для маркировки деталей, сварки и пайки. Первые два процесса получили распространение на российском автомобильном производстве. Технологии лазерной пайки и сварки остаются на стадии изучения и проработки. Производители автомобилей Volvo, Volkswagen, Audi широко используют лазерные технологии в производстве кузовов автомобилей. Как утверждает производитель Volkswagen : « Лазерная сварка – основа превосходного качества кузова. Volkswagen не монополист лазерных технологий в производстве кузовов. Пайка и сварка используются в моделях как европейский, так и на азиатских и американских марок. Заслуга Фольксвагена — в широком применении лазерных технологий в производстве массовых автомобилей, таких как Volkswagen Polo, Golf или Skoda Rapid.

Лазерная сварка имеет неоспоримые преимущества перед другими видами сварки. Во-первых, высокую производительность и низкую трудоемкость, что особенно важно при потоковом производстве. . Во-вторых, возможность сварки сталей и сплавов с получением качественного сварного соединения. В-третьих, незначительный, по сравнению с другими способами сварки нагрев деталей и малые деформации (в 3 - 5 раз ниже, чем при на

пример, дуговой сварке). В основном лазерную сварку используют для внутренних соединений.

Однако данный способ соединения имеет и свои недостатки, к основным можно отнести то что лазерная сварка – это чисто заводская технология, с достаточно дорогим оборудованием и повышенным требованием к сборке и подгонке деталей перед сваркой.

Качественно изготовленный кузов - это основная структура автомобиля, обеспечивающая безопасность, эксплуатационную надежность, неизменную геометрию и привлекательный внешний вид автомобиля. Всего этого в настоящее время можно добиться, используя лазерные технологии на производстве.

Поэтому магистерская диссертация посвящена процессу лазерной сварки, и основной ее целью является обоснование внедрения лазерной сварки в производство автомобилей, улучшение качества сварных соединений с помощью лазерной сварки и сокращения финансовых и временных затрат при изготовлении кузова автомобиля.

Для достижения этих целей в работе проведено подробное исследование лазерной сварки перед другими способами сварки. Разработан технологический процесс для лазерной сварки, а также, была проведена выборка оборудования для полного цикла производства кузова автомобиля.

## 1. Состояние вопроса на сегодняшний день

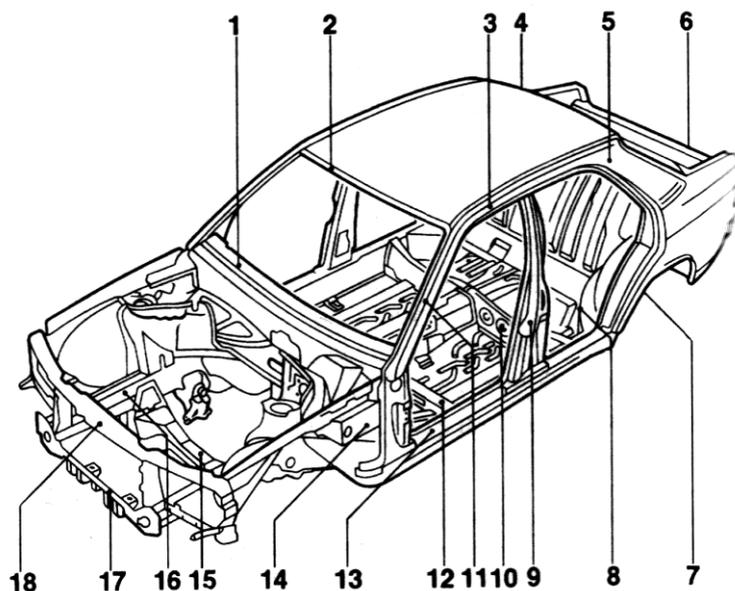
Изготовление кузовов - это один из самых сложных процессов в создании автомобилей. Для кузова изготавливают более сотни отдельных деталей, а затем соединяют в одну конструкцию. Конструкторам приходится постоянно идти на компромиссы, искать новые материалы и технологии изготовления, чтобы кузов был прочным, легким, дешевым и безопасным.

Конструкция кузова автомобиля должна отвечать многим требованиям. С одной стороны, кузов должен иметь как можно меньшую массу для экономии топлива и иметь хорошие аэродинамические характеристики, с другой стороны, для безопасности пассажиров крайне важны факторы пассивной безопасности, что обеспечивается жесткостью кузова. Для того чтобы удовлетворить данные требования, постоянно совершенствуются следующие направления проектирования конструкции:

- 1) использование легких сплавов на основе алюминия и магния;
- 2) применение высокопрочного листового материала;
- 3) оптимизация толщины используемых деталей и конструкций;
- 4) Постоянно разрабатываются новые технологии соединения деталей;
- 5) Ужесточение требований к сборке для получения максимально малых зазоров в соединениях[6].

В кузовостроении применяют следующие материалы: сталь, алюминий и различные виды пластмасс.

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



- 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 – надколесная ниша; 15 – поперечная балка опор двигателя; 16 – передний лонжерон; 17 – поперечина передняя; 18 – поперечина радиатора

Рисунок 1 – Конструкция кузова легкового автомобиля

Как правило, несущий кузов применяется при изготовлении легковых автомобилей. Как правило такие конструкции имеют достаточно высокую сопротивляемость механическим нагрузкам. Несущий кузов представляет собой конструкцию изготовленную из множества штампованных листов, стоек и лонжеронов усиливающих конструкцию соединенных точечной, дуговой или лазерной сваркой [6].

Вибрации шумы от двигателя, трансмиссии и ходовой части легко передаются на несущий кузов который в силу своей конструкции значительно их усиливает, из-за чего при ремонте поврежденных кузовов особое внимание уделяется восстановлению шумо-виброизоляции.

Как правило автомобильные кузова изготавливают из холоднокатаной легированной стали высокого качества, так как этот материал хорошо поддается штамповке, обработке и сварке.

Такие сорта стали как упрочняющиеся при термической обработке, легированные позволяют упростить изготовление и получить заданные свойства кузова, которые соответствуют современным требованиям безопасности. Автомобиль проектируется в виде прочной капсулы, окруженной податливыми зонами деформации.

Кузов автомобиля изготавливается в несколько этапов. На первом этапе из стальных листов штампуются отдельные детали. Далее они свариваются в крупные узлы и при помощи сварки собираются в единое целое. На всех современных заводах сварку ведут роботы, но иногда применяются такие ручные виды сварки как полуавтоматическая в среде защитных газов или контактная.

Для обеспечения пассивной безопасности были разработаны новые технологии получения заданных свойств стальных кузовов. Одна из них – технология Tailored blanks [8]. Эта технология позволяет получать заготовку для штамповки путем сварки встык по шаблону стальных листов разной толщины из различных сортов стали. В результате отдельные участки изготовленной детали обладают заданной прочностью и пластичностью [9].

Что бы добиться определенных параметров, многие конструкторы проектируют кузова, сочетающие детали из различных материалов. Это позволяет использовать их положительные качества. Примером такой гибридной конструкции может быть кузов автомобиля Mercedes-Benz CL, при изготовлении которого применяется сталь, алюминий, магний и пластик.

В настоящее время автопроизводители часто используют «крылатый металл» в производстве своих моделей Volvo, Peugeot, Renault, и другие. «Крылатым» его называют потому, что обычно из алюминия изготавливают самолеты [22,29,30].

Основными преимуществами использования алюминиевого кузова являются:

- Малый вес при сохранении жесткости конструкции;
- Материал хорошо поддается механической обработке;

- Возможность литья и штамповки деталей любой формы;
- Не большая стоимость технологических процессов;
- Простая и выгодная вторичная обработка сплава;
- Высокое сопротивление к образованию коррозии.

К основным минусам производства кузова из алюминия можно отнести:

- Соединение деталей требует использования дорогостоящих технологий
- Высокая цена связанная с значительными энергозатратами при производстве сплава;
- По сравнению с талью, низкая ремонтпригодность [9].

Во многих случаях выгодно применение сочетания в разных частях кузова стальных и алюминиевых сплавов рис 2.

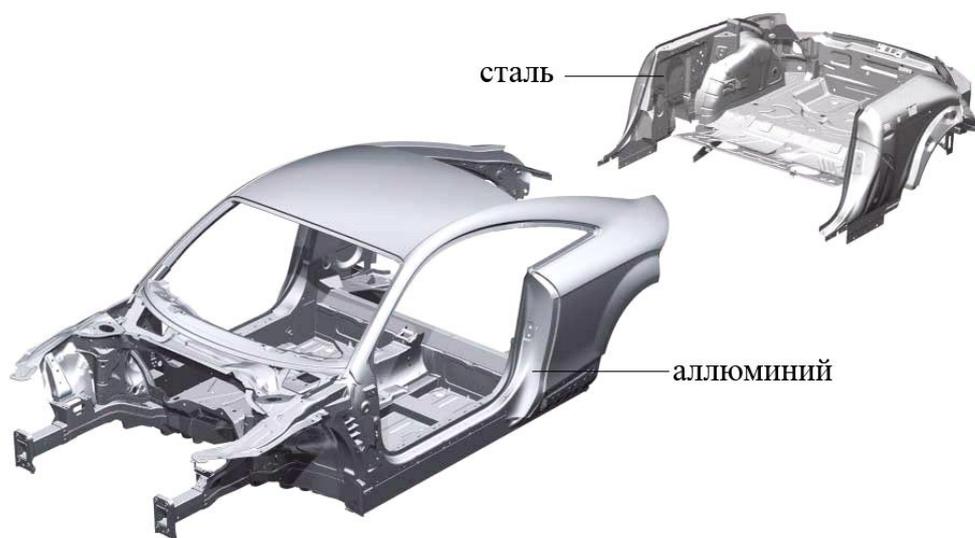


Рисунок 2 - Кузов Audi TT Coupe

Для достижения хорошей развесовки между передней и задней осью автомобиля многими конструкторами используется структура кузова в которой передняя часть кузова выполнена по большей части из алюминиевых сплавов, а задняя из стали. Таким образом значительно повышается комфорт и управление автомобилем.

Проблемой применения данной технологии является сложность соединения алюминиевых частей кузова с частями выполненными из листовой стали. К данным соединениям предъявляются высокие требования по прочности соединения и антикоррозионной устойчивости. В данном случае не применимы термические методы соединений и в частности сварка, так как данные способы соединений не могут гарантировать соединения соответствующей жесткости и надежности, служат источником контактной коррозии в силу разнородности соединяемых деталей. Однако для соединения данных частей кузова возможно использование не термических способов, таких как применение специальных болтов и заклепок в сочетании с склеиванием. [9].

Кузов современного автомобиля проектируют таким образом, что бы он имел возможность выдерживать нагрузки во время движения и обеспечивать высокую степень пассивной безопасности пассажиров в случае дорожнотранспортного происшествия. Пассивная безопасность выражается в способности сминаться и поглощать большое количество энергии в случае столкновения и минимизировать вероятность получения травм пассажирами автомобиля. Передняя и задняя часть кузова специально спроектированы таким образом что бы в случае столкновения относительно остальных частей, легко деформироваться и поглощать энергию удара, в тоже время остальная часть кузова, а в особенности стойки кузова и лонжероны, должны иметь высокую жесткость и сопротивляемость внешним механическим воздействиям.

Для достижения высокой жесткости кузова может быть применена и лазерная сварка, т.к. это автоматический процесс получения сварных соединений высокого качества. В большинстве случаев этот вид сварки применяют для соединения внешних панелей кузова так как в для данных соединений крайне важна высокая прочность и небольшой перехлест панелей.

Во время повседневной эксплуатации кузов современного автомобиля подвержен как динамическим знакопеременным нагрузкам во время движения по неровностям дороги, таким как скручиванию, изгибу, вибрации от двигателя и коробки передач, ударам от ходовой части, так и статическим от веса пассажиров и груза [3]. При постоянной эксплуатации, кузов рассчитан на 10-15 лет работы с среднегодовым пробегом 15-20 тысяч километров. 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;

Одной из основных причин выхода из строя кузова автомобиля является образования коррозии, вызывающей разрушения металла в связи с взаимодействием его с окружающей средой. Как правило коррозия образуется в местах повреждения лакокрасочного покрытия, а так же в местах постоянного скопления пыли, жидкости, и соляных растворов скрытых и труднодоступных для осмотра местах, таких как ниши, отбортовки, сварные швы и пазухи.

## 1.2 Обзор применяемых сталей

Технология проведения сварки с помощью лазера для различных сплавов металлов имеет свои особенности.

На пример, перед проведением работ со стальными изделиями их нужно обязательно очистить: снять окалину и оксидные слои до чистого металла.

Для предотвращения появления в сварочном шве пор оксидных пленок и трещин, изделие перед сваркой должно быть очищено и высушено, это особенно важно при сварке изделий из легированной стали. Так же зону сварки необходимо обезжирить.

Предварительная обработка нужна и изделиям из алюминия, магния и цветных металлов.

При изготовлении изделий из нержавеющей стали, недопустимо производить сварку внахлест из-за возникновения в зоне термического влияния статических напряжений, допускается сварка только

В связи с высокой скоростью, лазерная сварка исключает образования окисных соединений в сварочной ванне, в связи с чем она не требует создания защитной среды из инертных газов или вакуума.

Данное свойство особенно важно при сварке различных титановых сплавов используемых в ответственных конструкциях атомной и авиационной промышленности, так как благодаря высокой скорости сварки удается избежать образования зерен в зоне термического воздействия.

При использовании лазерной сварки возможна сварка широчайшего спектра марок сталей и сплавов, в таблице 1 показана характеристика сварки некоторых из них:.

Таблица 1 – характеристики сварки различных сталей и сплавов лазерной сваркой

Материал	Комментарии
Алюминий 1100	Высокое качество образованных швов
Алюминий 2219	Высокое качество образованных швов, возможна сварка без присадочного материала
Алюминий 2024/5052/6061	Высокое качество образованных швов, рекомендуется использование присадочного материала 4047 Al

Cu-Zn Brasses	Низкое качество сварных швов в связи с дегазацией цинка
Медь	Высокий коэффициент отражения
Hastelloy-X	Для предотвращения горячего крекинга, рекомендуется использовать высокий уровень импульса
Молибден	Высокая хрупкость сварных швов, рекомендуется только для неответственных конструкций
Inconel 625	Возможно образования пор в глубоких швах
Монель	Высокое качество образованных швов
Никель	Высокое качество образованных швов, дополнительные требования к очистке
Стали, углеродистая	Высокое качество образованных швов для сталей с содержанием углерода до 0,25%;
Сталь, оцинкованная	Тяжелые Zn выкипания причины пористости
Стали, 300 нержавеющая	Высокое качество образованных швов, за исключением 3030 и 303SE
Стали 400 нержавеющая	Высокое качество образованных швов, рекомендуется температурный отпуск
Сталь -4PH нержавеющая	Высокое качество образованных швов, рекомендуется температурный отпуск
Тантал	Высокое качество образованных швов, повышенное образование окислов
Титан	Высокое качество образованных

	швов, повышенное образование окислов
Вольфрам	Высокая хрупкость сварных швов, рекомендуется использование высокой энергии
Цирконий	Высокое качество образованных швов, повышенное образование окислов

### 1.3 Анализ возможных способов соединения деталей и сварки

#### Обзор технологий соединений деталей и их преимущества

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

Преимуществом резьбовых соединений являются минимальные затраты и удобство выполнения работ при ремонте или замене соединяемых деталей. Соединения с силовым соединением, например, резьбовые, составляют сегодня лишь незначительный процент от всех соединений деталей кузова. Резьбовые соединения не позволяют создать конструкцию, отвечающую требованиям, предъявляемым в части прочности и жёсткости кузова.

#### Герметическое соединение – клепка (рисунок 3)

При соединении штамповочными заклёпками наполовину полая заклёпка продавливается с помощью специального инструмента через верхний металлический лист. Нижний металлический лист не пробивается заклёпкой насквозь, а только деформируется. Полый стержень заклёпки расходится в стороны и образует своего рода головку, прижимающую нижний лист к верхнему.

#### Преимущества:

- не требуется предварительное высверливание отверстий

- нижний лист не пробивается насквозь
- более высокая прочность и меньший расход энергии по сравнению с точечной сваркой

Штамповочные заклёпки изготавливаются из стали. Если такими заклёпками должны соединяться алюминиевые детали, то на заклёпки должно быть нанесено цинк-никелевое покрытие, для предотвращения электрохимической коррозии.

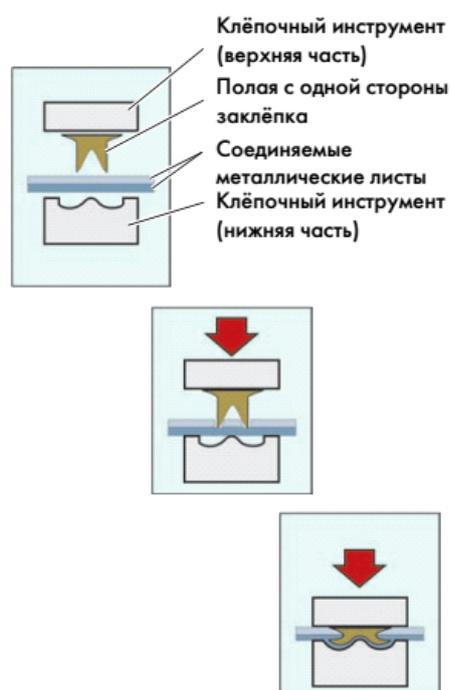
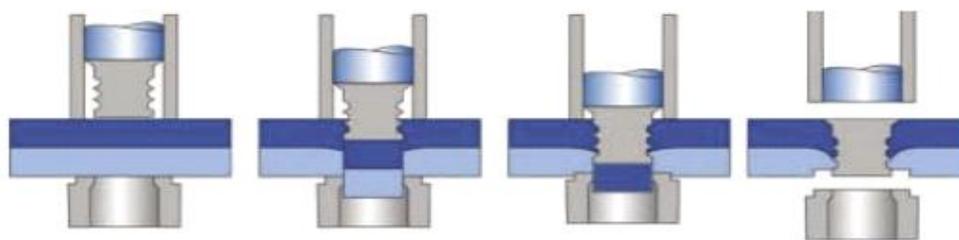


Рисунок 3 - Технология соединения при помощи клепок

Одним из новшеств в сборке кузовов являются заклепки с конической головкой. Заклепки (с конической головкой) изготавливаются из алюминия или нержавеющей стали со специальным покрытием. В отличие от обычных заклепок они полностью пробивают соединяемые листы [8].

Алюминиевые заклепки с конической головкой в отличие от стальных можно обрабатывать механически. Это применяется при соединении между собой деталей боковины кузова и водосточного желобка. Прочность соединения в этом случае выше, чем в соединении с обычными заклепками [7].

На рисунке изображен 4 процесс соединения заклепками с коническими головками.



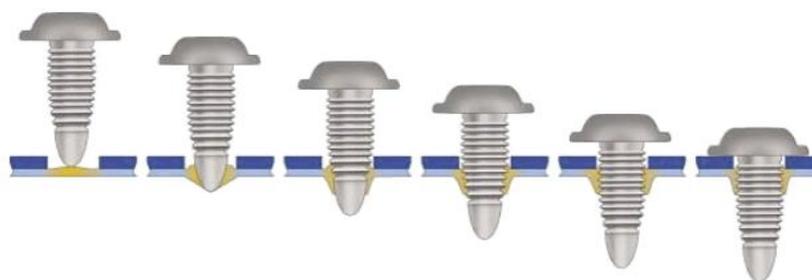
**Процесс соединения заклепками с конической головкой**

Рисунок 4 – Процесс соединения заклепками с коническими головками

### 3) Соединение панелей при помощи болтов Flow Drill

При применении данной технологии позволяет производить нетермические соединения широкого спектра материалов, в том числе, при доступе к детали только с одной стороны. Суть технологии заключается в использовании специальных болтов которые с усилием закручивается через специальное отверстие в одной из соединяемых деталей, при этом, наличие отверстия в второй детали не обязательно.

Материал нижнего слоя размягчается (важно давление и число оборотов), и болт закручивается [7]. На рисунке 5 показан порядок закручивания болтов Flow Drill .



**Порядок закручивания болтов Flow Drill**

Рисунок 5 – Порядок закручивания болтов Flow Drill

### 1.3.1 Лазерная сварка

Лазерная сварка применяется для соединения листовых деталей и пресованных профилей с литыми деталями.

При изготовлении кузова автомобиля эта сварка применяется преимущественно для соединения деталей, стыкуемых внахлестку, а именно:

- листа с листом,
- листа с литой деталью,
- литой детали с пресованным профилем.

При этом она успешно заменяет точечную сварку, заклепочные соединения и сварку в среде инертного газа.

К преимуществам лазерной сварки относятся:

- высокая производительность;
- высокая жесткость швов;
- возможность снижения массы (за счет сокращения ширины перекрытия фланцев);
- возможность сварки с односторонним доступом;
- сниженное коробление деталей благодаря меньшему нагреву;
- образование простого шва с гладкой поверхностью;
- возможность сварки без предварительной обработки соединяемых поверхностей.

Лазерная сварка кузова автомобиля, ее технология и подробное описание ее преимуществ предоставляет широкий выбор возможностей для проведения качественных ремонтных работ. По сравнению с другими сварками чистовая обработка лазерной минимальна. Например, на машинах немецкого автопроизводителя наблюдается соединение боковых панелей кузова с порожками и верхней частью стоек. При этом бесшовной сварки можно добиться только лазерным путем.

Лазерный луч расплавляет материал панелей, свариваемых друг с другом, также есть возможность при необходимости добавить сварочную проволоку. Использование сварочной проволоки в процессе работы

позволяет свариваемому шву защищаться инертным газом. Это осуществляется с той целью, чтобы предотвратить химические реакции металла с элементами окружающего воздуха. При обычных сварках в обязательном порядке проводятся процедуры по защите от коррозии, в то время как применение лазерной сварки устраняет угрозу без дополнительных работ.

Для лазерной сварки на производстве широко используют роботизированные комплексы компании KUKA. На рисунке 6 представлена CO<sub>2</sub> лазерная сварка крыши автомобиля.

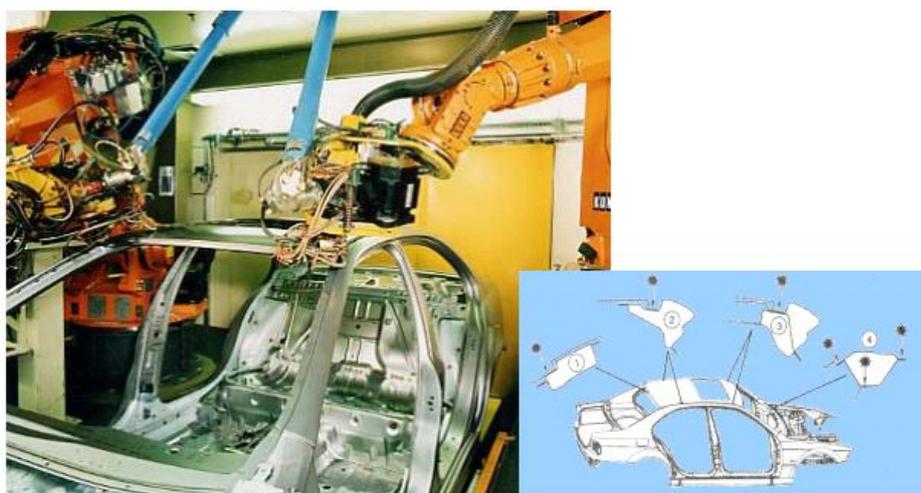


Рисунок 6 – CO<sub>2</sub> лазерная сварка крыши автомобиля

Производитель автомобилей Audi метод лазерной сварки использует для соединения алюминиевых деталей кузова. Чаще всего листовые детали привариваются к литым или прессованным деталям [7]. Лазерная сварка (со скрытым швом рисунок 7 в области крыши автомобиля является новинкой.



Рисунок 7- Лазерная сварка со скрытым швом

Чтобы добиться более качественных результатов лазерной сварки, необходимо тщательно очистить поверхности перед сваркой. На отдельных деталях качественной очистки поверхности можно добиться либо мойкой с последующим травлением либо с помощью технологии лазерной очистки.

Технология лазерной очистки позволяет удалить с поверхности все загрязнения при помощи кратковременного нагревания лазерным лучом с соответствующими характеристиками. Очищенные таким способом детали сразу же пригодны для лазерной сварки [7].

При лазерной сварке для расплавления материала используется энергия сфокусированного лазерного излучения. Лазерная сварка сначала применялась в кузовостроении только для изготовления заготовок Tailored Blanks [8]. Благодаря многочисленным преимуществам этого метода, он применяется теперь и при соединении кузовных деталей автомобиля:

- Лазерная сварка позволяет реализовать «практически беспереходное» соединение деталей — это особенно важно при соединении деталей из сверхвысокопрочных сталей. Несущие свойства материала, его способность выдерживать нагрузки, практически полностью сохраняются и в зоне сварного шва.

- Возможность выполнять сложные швы, например, при односторонней сварке. Использование присадочной проволоки позволяет, помимо стыковых, выполнять также и другие типы швов, например, угловые.
- При высокой скорости сварки одновременно достигается и очень высокое качество поверхности шва.
- Высокое качество поверхности лазерного шва сводит к минимуму необходимые затраты времени на его доработку, например, для последующего нанесения лакокрасочного покрытия.

### 1.3.2 Технология Tailored blanks

Английское выражение «Tailored» (раскроманные) указывает на то, что такие заготовки раскраиваются «точно по мерке». «Blanks» подразумевает здесь исходные заготовки. В целом выражение Tailored Blanks можно понять как «заготовки, раскроманные точно по мерке» [8].

Первоначально технология Tailored Blanks была разработана для создания заготовок большой ширины, которые нельзя было изготовить с помощью прокатной техники того времени. Сегодня в первую очередь используется то преимущество Tailored Blanks, что они позволяют объединить в одной заготовке стали разных сортов и разной толщины [8].

Тем самым Tailored Blanks позволяют лучше и точнее адаптировать структуру кузова к действующим в разных частях кузова нагрузкам. С их помощью можно изготавливать детали сложной формы и с конструктивными элементами, требующимися, например, именно в данной части детали [8].

Отдельные части заготовок переменной толщины Tailored Blanks соединяются друг с другом сваркой. После сварки выполняется формование заготовок, например, с помощью глубокой вытяжки [8]. На рисунке 8 показан пример соединения по технологии Tailored Blanks.

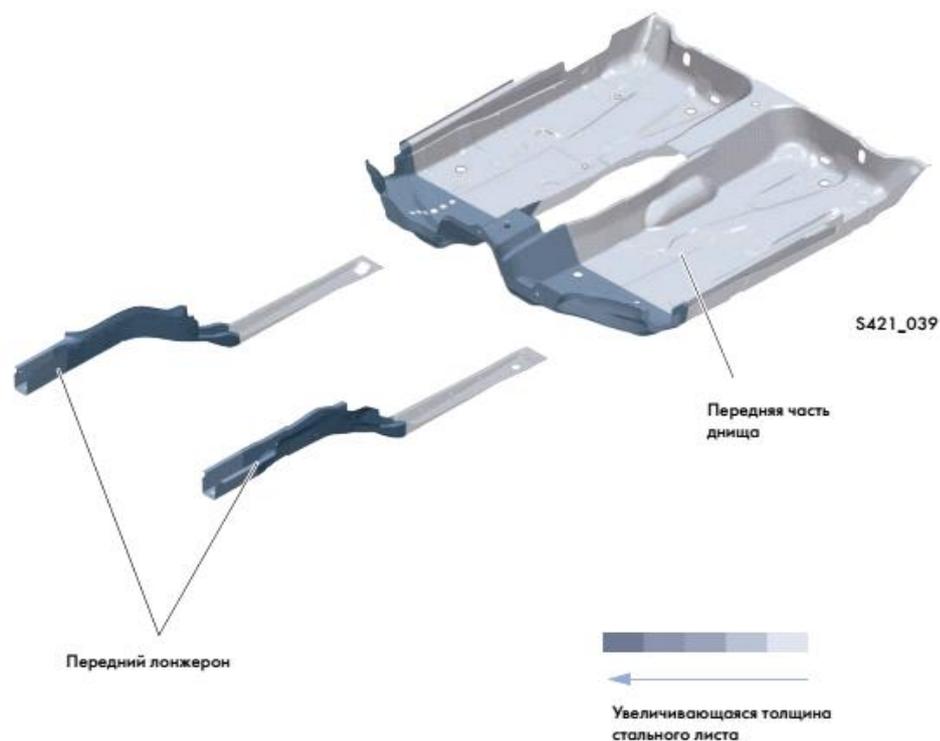


Рисунок 8 - Передняя часть днища и лонжерон по технологии Tailored Blanks

Для соединения отдельных компонентов заготовок Tailored Blanks используются различные методы сварки.

Так, раньше для этой цели часто применялась роликовая сварка с раздавливанием кромок шва. Сегодня её в большинстве случаев заменила современная лазерная сварка.

Чтобы обеспечить надлежащее качество шва при лазерной сварке, необходима тщательная предварительная подготовка свариваемых кромок. На рисунке 6 представлена схема лазерной сварки.

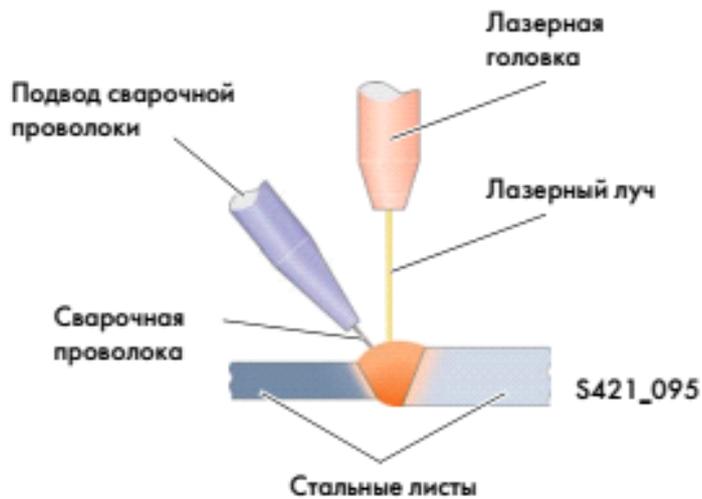


Рисунок 9 –Лазерная сварка

Помимо лазерной сварки, при изготовлении заготовок Tailored Blanks сегодня применяется уже и сварка токами высокой частоты ( рисунок 10).

При такой сварке свариваемые листы зажимаются со строго определённым зазором «х» по отношению друг к другу [8].

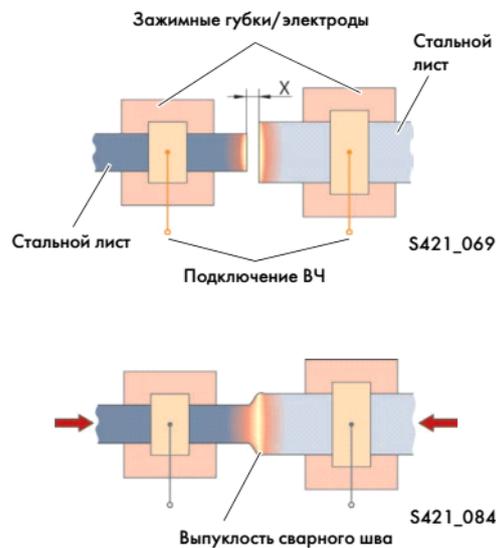


Рисунок 10 – Высокочастотная сварка

Ток высокой частоты подводится через зажимные губки/электроды непосредственно к свариваемым листам. Вследствие электродинамических эффектов сварочный ток концентрируется на кромках листов. При

достижении кромками необходимой температуры ток отключается, и нагретые кромки соединяемых деталей сжимаются вместе.

Высокочастотная сварка позволяет реализовать исключительно короткую продолжительность сварки. Требования к качеству подготовки свариваемых кромок ниже, чем при лазерной сварке. Хорошо свариваются также непрямо проходящие швы. Недостатком этого метода является остающаяся по завершении сварки выпуклость сварного шва. Её приходится удалять дальнейшей обработкой [8].

### 1.3.3 Контактная сварка

С помощью этого способа можно сваривать электропроводящие материалы. Протекающий в месте сварки электрический ток расплавляет материал и соединяемые части — без подвода стороннего материала — свариваются между собой. Контактная сварка всегда выполняется с использованием низкого напряжения и большого тока, так чтобы обеспечить энергию, достаточную для соответствующего нагрева материалов, и одновременно исключить потенциальный источник опасности.

Существуют разные виды контактной сварки, например:

- точечная контактная сварка
- стыковая контактная сварка

В кузовостроении точечная контактная сварка (рисунок 11) играет, как и прежде, очень важную роль. Новые, современные возможности электронного управления позволяют сваривать контактной сваркой, помимо прочего, особо высокопрочные стали и стали с покрытием. В современном кузовостроении встык между соединяемыми деталями дополнительно добавляется клей для повышения прочности, жёсткости и вибростойкости соединения. Кроме того, плёнка клея не допускает проникновения в стык посторонних веществ, например, воды или других жидкостей, и способствует предотвращению коррозии [8].

Разновидностью точечной контактной сварки является шовная контактная сварка, в которой электроды выполнены в виде дисков, которые могут вращаться. Соединяемые детали прокатываются между вращающимися дисковыми электродами и соединяются непрерывным швом.

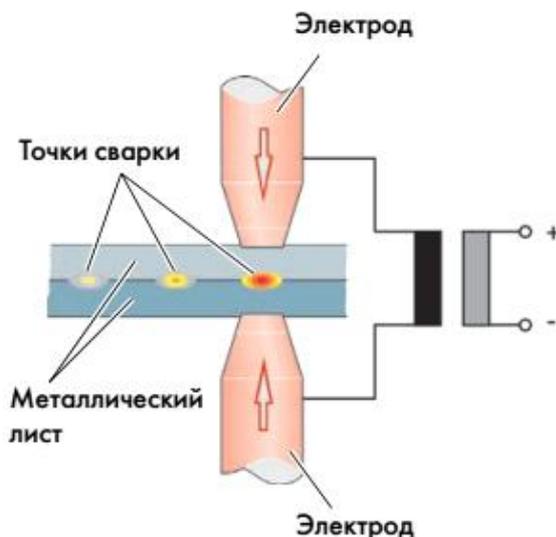


Рисунок 11 – Точечная контактная сварка

Широкое применение контактной сварке в автомобилестроении обусловлено рядом очень важных преимуществ, к которым относятся:

- Высокое качество производимых соединений.
- Высокая производительность.
- Отсутствует потребность в расходных материалах.
- Низкие требования к качеству сопряжения поверхностей.
- Не требует дорогостоящего оборудования для контроля сварных соединений.

К недостаткам контактной точечной сварки можно отнести:

- Достаточно высокая сложность применяемого оборудования.
- Относительно большой расход электроэнергии.
- Негерметичность производимых соединений.
- Необходимость в большом нахлесте деталей что приводит к повышенному расходу материалов.

- Необходимость иметь прямой доступ к обоим сторонам свариваемой поверхности.

Стыковая контактная сварка применяется только для не несущих соединений. При таком способе, соединяемые детали прижимаются друг к другу торцами; в месте контакта происходит расплавление и процесс сварки.

На рисунке 12 отображена автоматическая линия контактной точечной сварки автомобиля ВА-2190 на предприятии ООО «ОАГ» (г. Ижевск)

Основные технические данные автоматической линии:

- Производительность линии при 90% загрузке составляет 25шт\ч;
- Количество точек сварке выполняемых на каждом кузове 725 шт.;
- время выпуска (рабочий такт) 130с.;
- Количество одновременно работающих постов 18 шт.
- Габариты (ДхШхВ)98200×10500×5600 мм.

На данной автоматической линии применяются 24 робота, большая часть которых марки TUR-150 [3] конструкции ВМЗ, четырема роботами KR180L150-2К фирмы KUKA и клещами для контактной точечной сварки, также конструкции ВМЗ [3].

Данная линия состоит из следующих конструкций:

- ГЕО-тележка — для фиксации и перемещения кузовных деталей, изготовленная из сварная рама имеющая фиксаторы и ложементы. Движение обеспечивается за счет мотор-редукторов, и роликов для движения по направляющим.

- Гидравлический подъемник грузоподъемностью 3 т предназначен для перемещения ГЕО-тележки изготовленный из сварной рамы, на котором установлен мотор-редуктор со звездочкой на выходном валу.

- Стационарный стол — представляет собой двухуровневую сварную конструкцию, на которой установлены направляющие. Для перемещения ГЕО-тележки на верхнем уровне смонтированы два мотор-редуктора.

В состав данной линии также входят устройства для укладки и подъема скидов, роликовые столы, переключики основания, которые имеют электромеханические приводы на перемещение между, а также пневмопривод зажима основания. Сварка производится роботами установленными на полу и портале [3].



Рисунок 12 – Линия автоматической контактной сварки легкового автомобиля ВАЗ-2190

#### 1.3. 4Полуавтоматическая сварка MIG-MAG (Metal Inert/Active Gas)

MIG/MAG — Metal Inert/Active Gas — Полуавтоматическая дуговая сварка плавящимся электродом (проволокой) в среде инертного/активного защитного газа является одним из самых распространенных и универсальных методов сварки стали в промышленных условиях. Иногда этот метод сварки обозначают GMA (Gas Metal Arc). Применение термина «полуавтоматическая» не вполне корректно, поскольку речь идет об автоматизации только подачи присадочной проволоки, а сам метод MIG/MAG с успехом применяется при автоматизированной и роботизированной сварке.

Данный метод зачастую применяется при сварке нержавеющей, углеродистой и низкоуглеродистой сталей. С использованием газовых смесей, в состав которых входит углекислый газ, аргон, кислород, гелий, азот и другие газы.

В связи с простой автоматизацией и высокой производительностью данный способ сварки получил широкое распространение в Европе, США и Японии..

Принцип дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитном газе показан на рисунке 13.

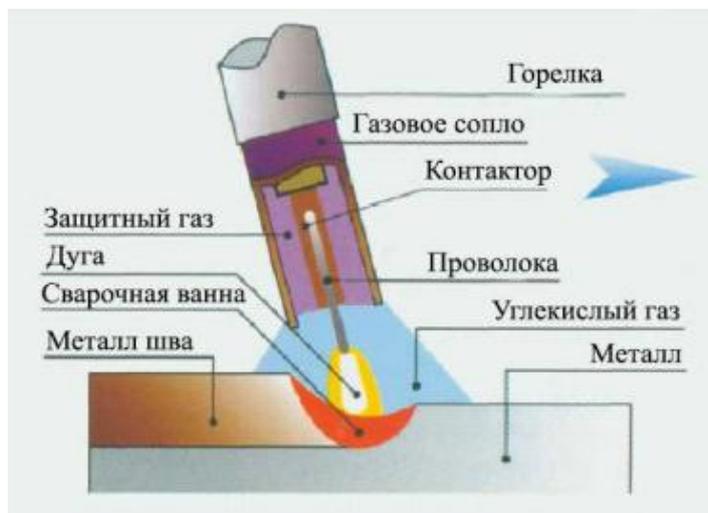


Рисунок 13 – Схема полуавтоматической сварки в углекислом газе

### 1.3.5 РТК Автоматическая дуговая сварка

РТК автоматической дуговой сварки поперечины панели приборов автомобиля ВА3-2190 с кантователем, поворотными столами и электромеханическим приводом изображенный на рисунке 14 на котором производится ручная сборка и автоматическая дуговая сварка был изготовлен для собственных нужд ВМЗ [3].

Основные технические характеристики РТК автоматической дуговой сварки поперечины панели приборов автомобиля ВА3-2190 имеет следующие технические характеристики:

- Количество одновременно свариваемых изделий – 22 шт.;
- Производительность при полной загрузке – 69 шт\ч.;
- Скорость сварки 10 мм\с.;
- Длина выполняемых сварных швов – 1280 мм.;



Рисунок 14 –РТК автоматической дуговой сварки поперечины панели приборов автомобиля ВАЗ-2190

На данном конвейере применяется автоматическая дуговая сварка в среде инертного газа, требующая очистки и смазки горелки через заданное число циклов. Эта производственная линия соответствует мировым стандартам автомобилестроения с учетом безопасности и эргономики производства. Конвейер представляет собой четыре поста на которых одновременно задействованы 7 роботов TUR – 15 с навесным сварочным и контрольным оборудованием. Единственная не автоматизированная операция всего цикла, это ручная закладка свариваемых деталей [3].

Первый пост автоматизированной линии состоит из промышленного робота TUR – 15 который производит автоматическую сварку и поворотного рабочего стола с электромеханическим приводом. Так же данный пост включает в себя две плиты с фиксирующей оснасткой для удержания деталей в процессе сварки.

Остальные посты оснащены двумя промышленными роботами TUR – 15 с комплектами автоматической дуговой сварки каждый, двумя кантователями с электромеханическим приводом на которых установлены удерживающие устройства.

Посты автоматической дуговой сварки огорожены типовыми секциями рамок с проволочной сеткой и калитками с датчиками контроля, брызгозащитными экранами и световыми барьерами в зонах погрузки и выгрузки. Все эти элементы являются комплексной системой безопасности от травмирующих факторов исполнительных узлов [3].

### 1.3.6 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 оптоволокна 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].

### 1.3.7 Гибридная лазерная сварка

В настоящее время в связи с расширением области применения к гибридной лазерной сварке проявляется все больший интерес. Данная технология была изобретена в восьмидесятых годах прошлого века, в тот момент когда технические характеристики CO<sub>2</sub>-лазеров позволили производить сварку с глубоким проплавлением [1]. Сутью данного процесса является то что лазерный луч не только расплавляет материал, но и частично

испаряет его, образуя узкий и глубокий капиллярный канал, окруженный расплавленным металлом (рисунок 15).



Рисунок 15 – Гибридная лазерная сварка

Из этой особенности данного способа исходят как достоинства, так и недостатки. С одной стороны, гибридная лазерная сварка позволяет производить сварку толстостенных изделий в один проход, что для других способов сложнодостижимо по технологическим и экономическим причинам. С другой стороны, для достижения требуемой для сварки плотности мощности необходимо добиться очень хорошей фокусировки лазерного луча [1].

В связи с вышеизложенным, гибридная сварка имеет высокие требования по сборке деталей перед сваркой и разделки кромок с погрешностью до десятых долей миллиметра. Данный вид сварки экономически целесообразно производить сварку достаточно тонких изделий с возможностью их перемещения, Это означает, что зазор между соединяемыми деталями необходимо тщательно подготовить, а компоненты хорошо закрепить, чтобы погрешности установки свариваемых поверхностей составляли десятые доли миллиметра по всей длине заготовки. К сожалению, данная технология экономически выгодна только в том случае

когда есть возможность перемещать свариваемую конструкцию, а ее листы остаются достаточно тонкими. В противном случае усилия и затраты направленные на достижения высокого качества изготавливаемой продукции и достижения высокой производительности экономически не целесообразны, ввиду увеличения расходов на производство [1].

Лучшее заполнение зазоров при сварке плавящимся электродом в защитном газе происходит из-за того что на поверхности расплавляется больше металла и используется присадочный материал.

К сожалению данный способ не может обеспечить большую глубину проплавления металла в связи с тем что сварочная дуга воздействует только на поверхность изделия. Для увеличения глубины проплавления необходимо производить предварительную механическую обработку заготовок для формирования V-образной фаски, после чего производить многослойную сварку для заполнения фаски присадочным материалом. Однако при использовании этого метода можно столкнуться с тем что, после многократного воздействия тепла на свариваемое изделие может произойти негативные структурнофазовые изменения металл в зоне термического влияния что приведет изменению механических свойств металла. Так же многократное температурное воздействие может привести к образования статических напряжений вблизи сварного шва, образованию трещин и короблений. Кроме того данный способ привлечет дополнительный расход присадочного материала и электроэнергии [1].

Для решения указанных выше проблем возникла технология которая объединила в себе электрическую дугу с лазерным лучем. В то время как электрическая дуга улучшает качество заполнения шва, лазерный луч обеспечивает достаточную глубину проплавления металла и высокую скорость сварки, что позволяет значительно уменьшить тепловое воздействие вблизи сварного шва и производить сварку в один проход. Еще одним заметным достоинством данной технологии является то что, плазма возникающая при работе лазера, имеет способность стабилизировать плазму

возникающую в дуговом разряде, что создает благоприятные условия для проведения дуговой сварки. [15,16].

К сожалению, распространению данной технологии помешало противоречие применения в ней твердотельного и CO<sub>2</sub>-лазера. Директор центра применения лазеров компании TRUMPF доктор Харпер (г. Дидинген, Германия), так описывает возникшую проблему: "Для работы дуги необходимо образование плазмы. Однако плазма мешает работе CO<sub>2</sub>-лазера, так как она сама поглощает его излучение. При этом необходимо учесть, что сам CO<sub>2</sub>-лазер так же создает плазму; его излучение ионизирует облако паров металл, выходящее из сварного канала. При сварке с помощью CO<sub>2</sub>-лазеров эта плазма разбавляется газами, на пример гелием, который плохо ионизируется. Но такое облако ионизированного гелия, возникающее между электродом и заготовкой, совсем не нужно в процессе сварки MAG. Это приводит к тому, что процессом гибридной сварки с CO<sub>2</sub>-лазерами сложно управлять [18]. Кроме того, CO<sub>2</sub>-лазер имеет и свои недостатки: его лазерный луч невозможно передать через оптоволоконный канал, невозможно использовать сетевую конфигурацию, кроме того, комплект оборудования Co<sub>2</sub>-лазера имеет достаточно большие габариты что затрудняет его транспортировку.

В настоящее время одной из передовых технологий в области лазерной сварки является твердотельный дисковый лазер, который лишен многих недостатков CO<sub>2</sub>-лазера, обладает высоким качеством параметров лазерного луча и очень слабо ионизирует облако паров металла или вообще вообще не ионизирует его. [1].

Наиболее важным преимуществом гибридной сварки является увеличение производительности, так для углового шва листовой стали толщиной 5 мм скорость сварки может достигать 4м\мин.

### 1.3.8 Сварка трением

Сварка трением – это подвид сварки давлением. Технология подразумевает нагрев свариваемых частей с помощью трения – для этого одна из них перемещается (вращается), при этом свариваясь с другой [11].

Сварка трением – это процесс, преобразующий механическую энергию движения одной из деталей в тепловую энергию. Для этого используется вращение; вращаться может либо одна из деталей, либо вставка между ними. Одновременно детали придавливаются друг к другу постоянным либо увеличивающимся давлением. Нагрев происходит непосредственно в месте соединения деталей.

После завершения сварочного процесса идет осадка и быстрое прекращение вращения. В сварочной зоне на стыках деталей протекают следующие процессы: при увеличении частоты вращения заготовок и воздействии сжимающего давления контактные поверхности притираются друг к другу. Жировые и контактные пленки, присутствующие на деталях в исходном состоянии, разрушаются; после чего на смену граничному трению приходит сухое. Отдельные микровыступы начинают контактировать друг с другом и деформироваться. Образуются ювенильные участки, где связи поверхностных атомов не насыщены – между ними тут же образуются металлические связи, которые за счет относительного движения поверхностей тут же разрушаются [11]. На рисунке 16 представлена технология сварки трением.

Способ сварки трением обладает следующими преимуществами:

- В связи с малым объемом нагреваемого слоя металла, в зависимости от свойств материала, цикл сварки может происходить сжатые сроки, за счет чего сварка трением может считаться высокопроизводительной, наравне с контактной стыковой сваркой.

- Данный вид сварки обладает достаточно большим коэффициентом полезного действия и энергоэффективностью в связи с

небольшим объемом нагреваемого материала, КПД может быть в 5-10 раз выше чем при стыковой сварке

- Образованные соединения обладают стабильно высоким качеством, относительно просто подобрать режим, при котором выполненное соединение будет равнопрочным с основным металлом изделия. Маловероятно образование таких дефектов как раковины, поры, инородные включения.

- Сварные соединения выполненные на одинаковых параметрах сварки, имеют очень сходные механические свойства, такие как ударная вязкость, угол изгиба, временное сопротивление. Показатели механических свойств в одной партии отличаются не более чем на 8-10%, что позволяет при потоком производстве использовать выборочный контроль качества, что крайне выгодно, поскольку неразрушающие методы контроля в условиях сварочных цехов практически отсутствуют.

- Возможность сварки без тщательной очистки как зоны сварки, так и прилегающего материала, существенно экономит время и финансовые операции на подготовку к сварке.

- Возможно производить сварку металлов и сплавов с разным химическим составом и механическими свойствами, при том что большинство других способов сварки в данном случае могут быть не применимыми.

- Сварка трением отличается отсутствием вредных воздействий на человека, таких как ультрафиолетовое излучение, брызг расплавленного металла, воздействия газов и т.д.

- Данный вид сварки имеет относительно высокую степень автоматизации процессов и может производиться без ручного труда.

Среди недостатков этого сварочного процесса можно выделить следующие:

- 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. Впрочем, этот недостаток не слишком существен: как показывает практика, в машиностроении используется до 70% деталей с круглым сечением (от общего количества деталей).

- Громоздкость оборудования. Поскольку процесс требует использования достаточно громоздкого оборудования, он осуществим лишь при использовании стационарных машин; приварить же малую деталь к массивной конструкции с помощью переносного оборудования практически невозможно.

- Искривление текстурных волокон в зоне сварки. Волокна около стыка располагаются радиально, выходя на наружную поверхность детали. Если деталь работает при динамических нагрузках, в этих местах может появиться очаг усталостного разрушения, при работе в агрессивных средах – очаг коррозии. Чтобы предотвратить появление дефектов, лучше всего сохранять на детали грат. Стоит упомянуть и о неудобствах при съеме грата, когда это требуется из конструктивных соображений. Для этого требуется дополнительное время на рабочем месте либо на сварочной машине [11].

Область применения сварки кузовных деталей автомобиля путем трения с перемешиванием довольно широка. К примеру, компания Mazda, использует СТП, чтобы прикрепить стальные шипы к алюминиевой панели внутри багажника в модели MX-5 Miata. Передний подрамник в автомобиле Honda Accord, который несет на себе вес двигателя и некоторые компоненты подвески, сделан на половину из стали и алюминия. Подробности конструкции являются секретом компании, хотя Honda все-таки призналась, что это первое их использование непрерывной, или линейной, сварки трением с перемешиванием в биметаллических структурных компонентах для производства автомобилей. Технология проста: две половины

соединяемых частей металла перекрывают друг друга, а их соединительные швы располагаются между ними. Барьер, устанавливаемый между сталью и алюминием, уменьшает вероятность биметаллической коррозии кузова автомобиля. По словам компании Honda, во время процесса СТП формируется новое железо-алюминиевое химическое соединение – Fe<sub>4</sub>Al<sub>13</sub> – а соединение между металлами такое же прочное, как при обычной сварке двух одинаковых металлов [10].

Модели автомобилей в которых сварка трением с перемешиванием была использована только в особых случаях:

2013 Honda Accord (передний подрамник)

2010 Toyota Prius (задняя дверь)

2007 Audi R8 (часть пространственной рамы)

2006 Mazda MX-5 Miata (багажник и капот)

2005 Ford GT (часть пространственной рамы)

2004 Mazda RX-8 (задняя дверь и капот)

2003 Lincoln Town Car L (элементы подвески)

2001 Volvo V70 (рама заднего сидения)

Метод СТП также набирает популярность среди автопроизводителей благодаря своей способности точечной сварки тонких листов алюминия, как в вышеупомянутом случае с панелями багажника MX-5. Сварка плавлением может перфорировать тонколистовой алюминий, но так как при СТП выделяется меньше тепла, такие повреждения менее вероятны. Кроме того, по сравнению со сваркой плавлением, при сварке трением с перемешиванием потребляется в два раза меньше электроэнергии [10].

Также, в отличие от обычной сварки кузова автомобиля, которая добавляет вес в виде швов из сварочной проволоки присадочного металла, СТП ничего не добавляет. Таким образом, данный метод сварки уменьшает вес готовой продукции, что особенно важно в современном автомобильном мире, когда идет борьба за высокую эффективность расхода топлива (про методы уменьшения веса в конструкции автомобилей читайте здесь).

Особенно это преимущество актуально для сборки электрических и гибридных автомобилей, так как такие модели, как правило, покупают не из-за внешнего вида, не из-за технических характеристик, а в надежде сэкономить на топливе. Учитывая этот факт, а также возможность сварки разнородных металлов, сварка трением с перемешиванием открывает большие возможности для использования алюминия во всех конструкциях автомобиля для максимального снижения веса. Глядя на успешные результаты применения СТП в производстве транспортных средств, можно с уверенностью сказать, что вскоре СТП будут использовать в автомобильной промышленности повсеместно [10].

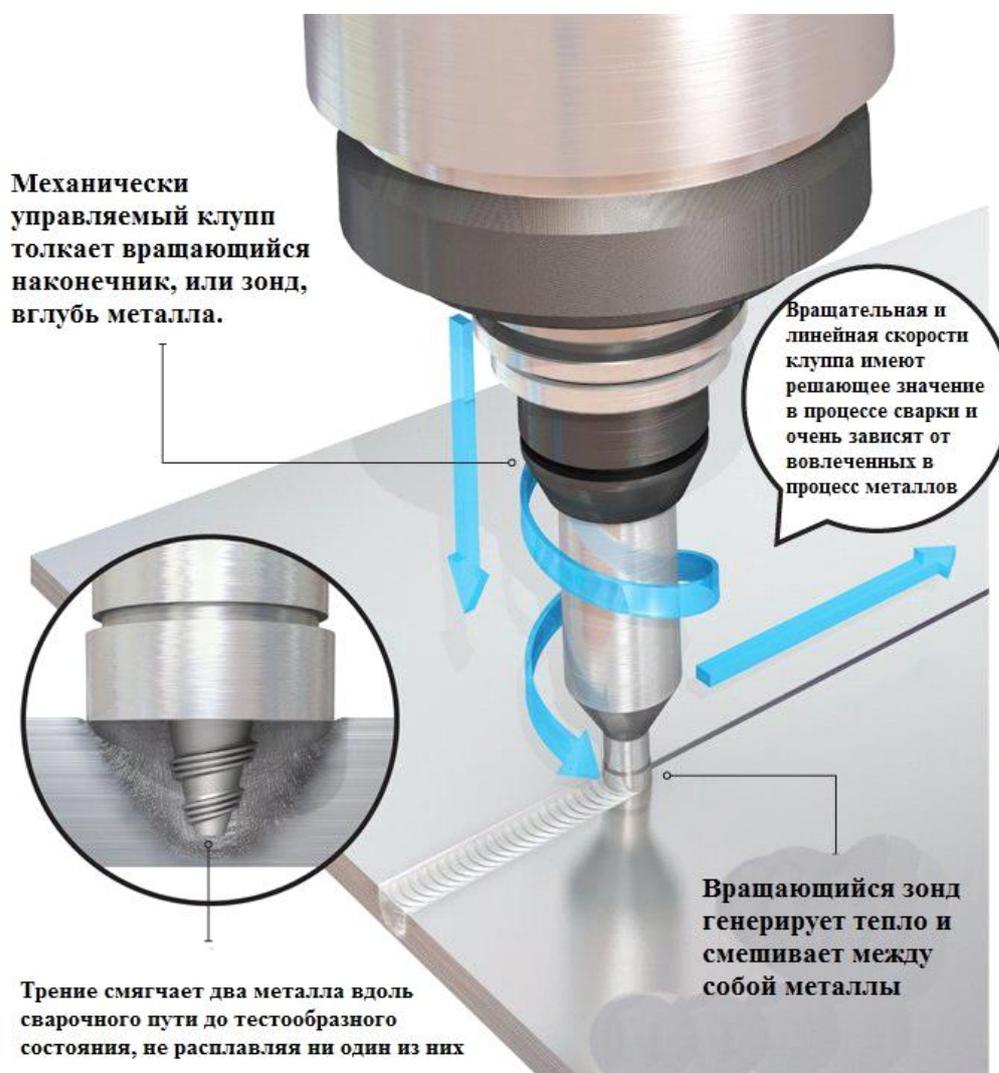
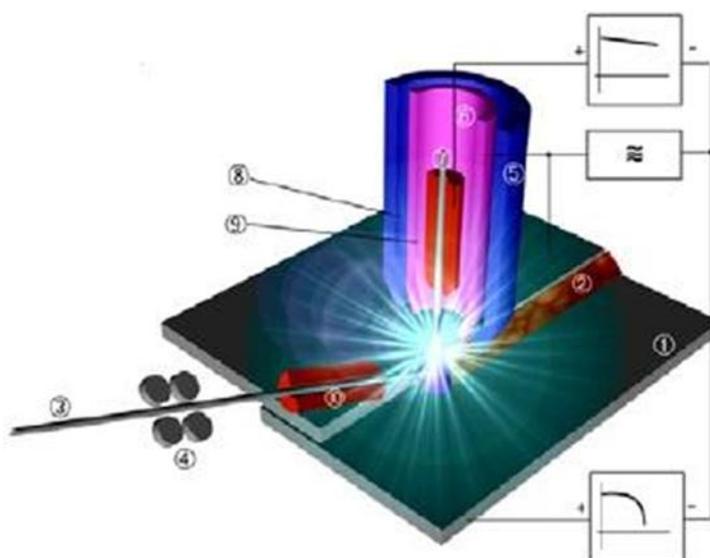


Рисунок 16 – Сварка трением

### 1.3.9 Плазменная сварка и пайка

Плазменная пайка отличается от других методов пайки высокой температурой и широкими возможностями по регулировке ее параметров и технологических свойств. По сравнению с дуговой пайкой, в связи с высокой проплавляющей способностью, плазменная пайка обладает следующими преимуществами[8]:

1. Более высокую производительность;
2. Малую зону термического воздействия;
3. Меньшую склонность к образованию статических напряжений;
4. Меньший расход инертных газов;
5. Лучшую стабильность горения дуги;
6. Меньшую зависимость качества наплавки от длины дуги.



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

Рисунок 17 – Процесс плазменной пайки [20]

Процесс плазменной пайки происходит при работе с источником обладающим импульсной или единой вольтамперной характеристикой. Для пайки так же необходимо использование плазмообразующего и защитного газа[27,29].

Процесс плазменной сварки отличается от плазменной сварки тем, что при сварке происходит расплавление как основного металла изделия, так и присадочных материалов. Так же лазерная сварка создает большую зону термического влияния, что приводит к образованию статических напряжений и деформаций.

Если рассматривать лазерную пайку перед другими способами соединения материалов, можно выделить ряд ее преимуществ [12]:

- уменьшение возможных деформаций и трещин, вследствие малого прогрева основного металла;
- в связи с высокой скоростью пайки, образуется малая зона термического влияния;
- малый расход материалов и электроэнергии ведет к уменьшению расходов на производство;
- Увеличение производительности за счет большей скорости пайки (до 10 м\мин);
- Уменьшение отходов производства и вредных выбросов в окружающую среду.
- Лазерная пайка так же имеет и свои недостатки, такие как высокие требования к сборке заготовок перед пайкой, высокая стоимость оборудования, при автоматизации процесса, требуется использование дорогостоящего оборудования.

#### 1.4 Особенности лазерной сварки

Прочная сварка кузова автомобиля проводится с применением лазера и представляет собой вполне автоматический процесс, что является основным достоинством использования лазерной сварки. Тот факт в особенности учитывается для случаев, когда требуется выполнить соединение наружных панелей кузова. Тут уже нужен не только лишь незапятнанный сварочный шов, да и как можно наименьший перехлест панелей.

Лазерная сварка может обеспечить высочайшую крепость соединений панели.

Для получения высокопрочной сварки кузова автомобиля, лазерная сварка походит как нельзя лучше, так как она представляет собой полностью автоматический процесс. По сравнению с другими видами сварки последующая чистовая обработка просто минимальна. Взять, например, автомобили немецкого концерна Volkswagen. Благодаря лазерной сварке, на машинах этого автопроизводителя боковые панели кузова соединяются с порожками и с верхней частью стоек кузова.

Одним из первых преимуществ, и, определенно, самым главным является то, что такой вид сварки обладает очень малой деформацией. Что как нельзя кстати, особенно в конструкциях автомобилей.

Помимо этого, лазерный шов нуждается лишь в минимальной последующей обработке, что положительным образом сказывается на финансовых затратах, которые в любом случае довольно ощутимо ударят по вашему карману, если вы предпочтете обычной сварке лазер.

Герметичность шва, которую дает лазер, чрезвычайно велика. Это особенно полезно, если он используется в морской или авиационной промышленности для сварки каких бы то ни было элементов кораблей или самолетов.

Далее, если вы приступите к покраске кузова автомобиля, или какой-либо другой детали, лазерная сварка оставляет после себя очень хорошее состояние поверхности, для последующей покраски. Это также экономит

вам деньги на разного рода подготовительных этапах, которые обычно производят специалисты перед тем, как красить либо весь кузов, либо какую-то его часть. Высокая прочность шва после такого вида сварки гарантирует вам долговечность использования деталей вашего автомобиля.

Материал панелей расплавляется лазерным лучом. Панели сваривают друг с другом, при этом есть возможность, если возникает такая необходимость, добавить в материал сварочной проволоки. Если в процессе работ использовать сварочную проволоку, то свариваемый шов защищается инертным газом.

Делается этого для того, чтобы предотвратить химическую реакцию металла с элементами окружающего воздуха. Характерно, что лазерная сварка используется только для сварки стальных деталей, в связи с чем пропадает необходимость производить дополнительные мероприятия для защиты сварных соединений от коррозии. В противном случае использовались бы обычные методы защиты от коррозии, которые широко используют знающие специалисты.

Например, Audi применяют такой метод при изготовлении кузовов модели A2. И, как уже говорилось выше, преимущественно при соединении больших по площади деталей из листового железа, в структуру кузова которых входят чугунные и профильные детали. Интересно, что в целом на модели A2 в структуре кузова почти тридцать метров лазерных сварных соединений! Но это того стоит, ведь лазерная сварка даёт уменьшение рабочего труда, которое обычно требуется на подобные виды работ. Кроме того, она дает очень точный разрез, позволяется существенно повысить качество сборки, а также обладает высокой гибкостью, что тоже немаловажно.

## 2. Исследование производственного цикла предприятия

Рассмотрим лазерную сварку на заводе в г. Калуге.

Лазерные сварка и пайка выходят на первый план, когда дело доходит до соединения боковин и верхних панелей кузова. Варят лазером боковины только для «Тигуанов», а пайку используют на всех собираемых моделях при соединении крыши и панели багажного отсека с боковинами кузова.

Отличия между сваркой и пайкой в том, что в первом случае в результате нагрева металлы между собой перемешиваются. Что касается лазерной пайки, то здесь используется специальная тонкая медная нить.

Лазерный луч калибруют таким образом, дабы его «талия» — самое узкое и, соответственно, самое горячее место — пересекалась с нитью в месте пайки. Происходит нагрев до температуры меньше температуры плавления металлов, а нить благодаря смачиванию накапливается в полость между метлами, скрепляя их. Пайка производится с точностью до 0,3 мм. В среднем, на каждом автомобиле, сходящем с конвейера, пять метров линий лазерной пайки.



Рисунок 18 – Тонкая золотистая полоска лазерной пайки на крыше седана

Polo

Сразу после пайки, как и на других участках конвейера, производится контроль качества. Роботизированная промышленная «рука», вооружившись фотоэлементами, изучает шов. Если вдруг находится изъян, за дело берется другой робот, который шлифовальной машинкой снимает незначительную часть латуни, делая шов гладким и чистым.

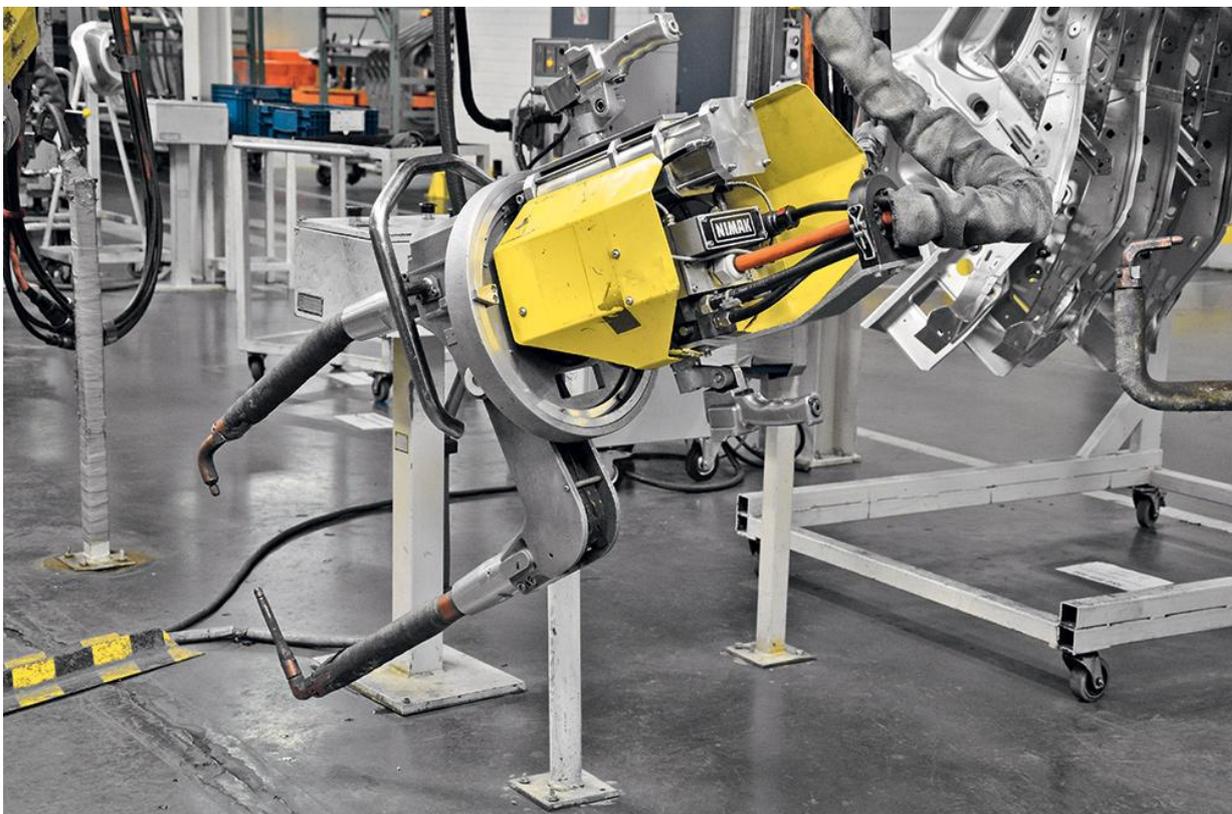


Рисунок 19– «Клещи» для контактной точечной сварки

Кроме того, экспертная группа выборочно изымает с производственной линии сваренные и спаянные лазером компоненты, чтобы изучить их в лабораторных условиях.

Выбранные детали разрезаются на части и запекаются в шайбе из композитного материала. Затем изделие полируется и изучается под микроскопом. Наконец, уже в покрасочном цехе шов покрывают слоем герметика.

Устройство калибруют, чтобы тонкая медная нить пересекалась в месте пайки с «талией» лазерного луча

Эта технология применяется на калужском заводе «Фольксваген» с самого его открытия. На предприятии расположено 5 герметичных кабин для лазерной пайки и 4 для лазерной сварки. Все они питаются от отдельных энергоисточников. Процесс полностью автоматизирован. Присутствие человека внутри боксов во время работы категорически воспрещено из соображений безопасности. Но благодаря видеокамерам, установленным в боксах, сотрудники могут наблюдать за производством.



Рисунок 20 – Множественные срезы пайки крыши седана Polo, запеченные в «шайбе» из композитного материала

Преимущество использования лазерной пайки при соединении крыши с боковинами кузова — в сплошном прочном шве, позволяющем наилучшим образом герметизировать стыки. Важно и то, что швы от лазерной пайки и сварки более долговечные, коррозиестойкие, обладают большим запасом прочности, не требуют тщательной обработки и затрачивают меньше времени в производстве, чем аналоги.

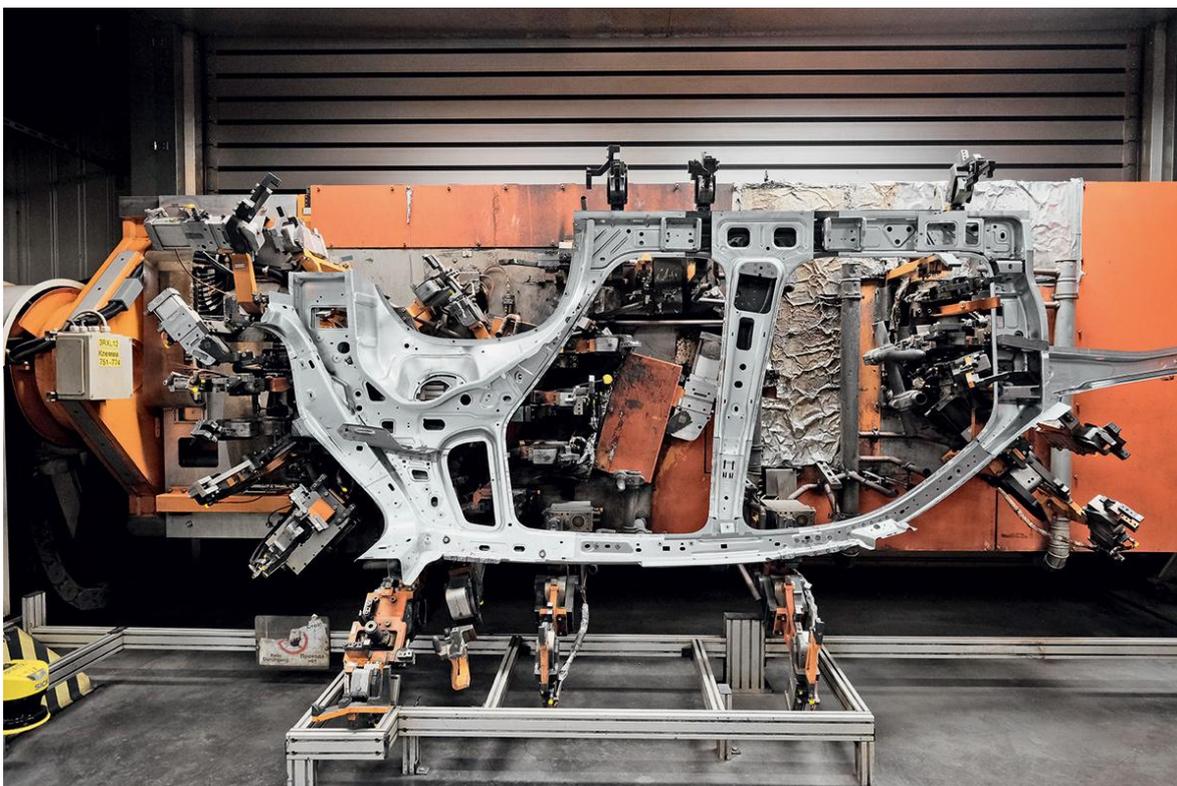


Рисунок 21– Боковина кузова Volkswagen Tiguan после лазерной сварки ждет, когда ее извлекут из бокса

Но есть и нюансы. Казалось бы, раз лазерные швы эстетичны, надежны и прочны, то почему бы не расширить использование технологии на весь процесс сборки кузова? Ведь на данный момент, несмотря на наличие девяти лазерных кабин, основные работы по сварке деталей кузова ведутся контактной точечной сваркой, производимой как роботами, так и людьми.

Теоретически увеличить объем сварки посредством лазера можно, закупив и установив больше дорогостоящего оборудования, но тогда производство станет нерентабельным. Сейчас лазер применяется настолько, насколько это необходимо как с экономической, так и с производственной точки зрения.

Как бы там ни было, после кузовного цеха кузов автомобиля отправляется в покрасочный. Там его погружают и проворачивают на 360 градусов в ваннах, где происходит процесс катафорезного грунтования, чтобы ни одна деталь не осталась «голой». Затем автомобилю придают цвет,

распыляя внутри и снаружи краску. Доля человеческого труда при окраске есть, но она минимальна. Окрашенный кузов сушится, а после отправляется в распределительную зону, где ожидает своей очереди попадания на конвейер в монтажный цех. Впереди еще «свадьба» — соединение кузова с двигателем, коробкой и шасси, монтаж комплектующих, тесты и различные проверки, прежде чем автомобиль покинет завод.

Лазерная сварка кузова автомобиля, ее разработка и подробное описание ее преимуществ предоставляет широкий выбор способностей для проведения высококачественных ремонтных работ. По сопоставлению с другими сварками чистовая обработка лазерной мала.

К примеру, на машинах германского автоконцерна наблюдается соединение боковых панелей кузова с порожками и верхней частью стоек. При всем этом бесшовной сварки можно достигнуть только лазерным методом.

Не считая того, лазерная сварка обладает максимально малой деформацией – это является важным нюансом для пикантных конструкций автомобиля. Лазерным швам требуется малая следующая обработка, что может положительным образом сказаться на денежных издержек, в любом случае они очень осязаемо стукнут по кармашку, если предпочесть обыденную сварку лазерной.

Плотность шва, которая дается лазером, очень велика. В особенности полезным будет его применение в авиационной и морской индустрии для сварочных работ частей самолетов либо кораблей. Если приступить к покраске кузова автомобиля, то лазерная сварка оставит после себя достаточно не плохое состояние поверхности для воплощения следующей покраски. Для этого не потребуются какие-либо предварительные этапы к сварке, которые, обычно, выполняются спецами перед покраской кузова либо его составной части. Плюс ко всему, высочайшая крепость и качество сварки может гарантировать долговечность использования деталей автомобиля.

Лазерный луч расплавляет материал панелей, свариваемых вместе, также есть возможность по мере надобности добавить сварочную проволоку.

Внедрение сварочной проволоки в процессе работы позволяет свариваемому шву защищаться инертным газом.

Это осуществляется с той целью, чтоб предупредить химические реакции металла с элементами окружающего воздуха. Лазерная сварка, но, применяется только для сварки деталей из стали, при всем этом не требуется защита от коррозии. При обыденных сварках в обязательном порядке проводятся процедуры по защите от коррозии, в то время как применение лазерной сварки избавляет опасность без дополнительных работ.

Приведем технологию на сборку и сварку лонжерона, она представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Технология сборки и сварки лонжерона

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции	Используемое оборудование и режимы
1	2	3	4
1	Доставка листа со склада и контроль качества поверхности металла.	Лист стандартного размера h 6000x1500 мм транспортируется зону правки и очистки поверхности. Транспортируемый металл проверяется на наличие окалины, ржавчины и других загрязнений	Мостовой кран, грузозахватные приспособления, подкрановые тележки
2	Правка	Произвести предварительную правку стандартного листа для удаления вмятин, волнистости, серповидности и др.	Листо-правильная машины серии WD UBR
3	Резка	Лист разрезается по размерам: полка - 2000x200 мм; стенка - 2000x300 мм	Резка производится при помощи установка лазерной резки Mitsubishi ML3015eX-Sm
4	Подготовка кромок	Выполнить подготовку кромок под углом 45 <sup>5</sup> с притуплением 1 мм	Подготовка кромок производится при помощи фаскосъемной машины вектор АВМ28

5	Контроль геометрических размеров	Осуществляется контроль формы и размеров деталей в соответствии с чертежами деталировки. а также проверяется чистота реза	Линейка и угольник
6	Правка	Удаление вмятин, волнистости и серповидности	Листо-правильная машины серии WD UBR
7	Сборка	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Установить нижнюю полку на плиту сборочно- сварочного приспособления между базовыми фиксаторами;</li> <li>• Установить стенку 1 на магнит упора;</li> <li>• Установить стенку 2 на магнит нажимного диска горизонтального пневмоприжима на расстоянии <math>20\pm 5</math>мм от торца;</li> <li>• Установить верхнюю полку вниз, прижав левый край к верхнему упору;</li> <li>• Включить вертикальный пневмоприжим;</li> <li>• Включить горизонтальный пневмоприжим для перемещения стенки до контакта с бобышками;</li> </ul> <p>Осуществить прихватку собранных элементов изделия согласно чертежа 01: катет прихватки 4мм, отступ от торца 50- 80мм; длина прихватки 20мм.</p> <p>Приварить выводные планки размером <math>100\times 50\times 6</math>мм, 16 штук.</p>	<p>Прихватки при сборке выполняются с помощью полуавтомата TAURUS 355. Параметры режима дуговой сварки прихваток в смеси газов плавящимся электродом: диаметр электродной проволоки <math>d_{Э.П} = 1,6</math> мм; сварочный ток <math>I_C=180</math>А; напряжение на сварочной дуге <math>U_d=25</math>В; вылет электродной проволоки <math>l_B=12</math>мм</p> <p>скорость подачи электродной проволоки <math>V_{Э.П}=280</math>м/ч; расход защитного газа <math>q_{з.г.}=9</math>л/мин</p>
8	Контроль сборки	Контролировать зазоры и взаимное расположение деталей	Линейка, мерительная рулетка, угольники, набор щупов.
9	Зачистка	Удаление брызг, окалины, шлака	Зачистка выполняется шлифовальной машинкой Bosch GWS26-230 JBVe
10	Сварка	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Установить изделие в захваты кантователя, закрепить его винтовыми прижимами;</li> <li>• Установить сварочную головку в свариваемый стык под углом <math>40^\circ</math> к вертикальной стенке;</li> <li>• Произвести пробное</li> </ul>	Сварка осуществляется установкой для сварки, сварочным автоматом АДГ-630. Параметры режима дуговой сварки в смеси газов плавящимся электродом;

		<p>перемещение сварочной головки и проконтролировать отсутствие смещения положения сварочной проволоки относительно центра разделки стыка свариваемых кромок, используя маршевую скорость аппарата;</p> <p>Настроить сварочный аппарат на режим сварки с вводных пластин, завершить сварку на выводных пластинах</p>	<p>диаметр электродной проволоки</p> <p>Св – 08ХН2ГМТА <math>d_{э.п}</math> =1,6мм;</p> <p>Сварочный ток</p> <p><math>I_c=300A</math>;</p> <p>напряжение на сварочной дуге <math>U_д=29В</math>;</p> <p>скорость сварки</p> <p><math>V_c=14м/с</math>;</p> <p>вылет электродной проволоки <math>l_B=18мм</math></p> <p>скорость подачи электродной проволоки <math>V_{э.п}=280м/ч</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ расход защитного газа (К-20), <math>q_{з.г.}=12л/мин</math></li> </ul>
11	Кантовка на 180°	Кантовать изделие на 180°. Повторить операции указанные в пункте 11	Вращатель ПКТБА-ВСУ-3
12	Удаление выводных планок	Удаление выводных планок	Угловая шлифовальная машинка с абразивным кругом Bosch GWS26-230 JBVe
13	Зачистка мест сварки планок	Удаление остаточных элементов прихваток, брызг и окалины	Угловая шлифовальная машинка с абразивным кругом Bosch GWS26-230 JBVe
14	Правка	Удаление грибовидности	Правильногибочный стан
15	Зачистка сварных швов	Удаление брызг, шлака	Зачистка выполняется шлифовальной машинкой Bosch GWS26-230 JBVe

16	Контроль готового изделия	На данном этапе производится визуальный контроль формы шва, отсутствие подрезов, трещин, наличие наружных и внутренних дефектов.	Линейки, мерительная рулетка. Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70.
17	Складирование	Готовый лонжерон отправляется на склад готовой продукции	Мостовой кран, подкрановая тележка

### 3. Выбор оборудования для каждой операции всего технологического процесса

#### Сварочный автомат АДГ-630

Двухдуговой сварочный автомат марки АДГ-630 способен выполнять целый ряд задач, таких как наплавка электродной проволокой в среде защитных газов и под флюсом, автоматическая однослойная и многослойная сварка.

Данное оборудование применяется при сварке угловых соединений, нахлесточных и стыковых, как с разделкой кромок, так и без. Способен выполнять прямолинейные и кольцевые швы, в том числе вне колеи шасси. На рисунке 22 представлен эскиз сварочного автомата.



Рисунок 22 – Сварочный автомат АДГ-630

Шасси данного сварочного автомата приспособлено к движению как по направляющей профильной линейке, так и непосредственно по свариваемому изделию.

Как преимущества, можно выделить следующие особенности сварочного автомата: возможность плавной регулировки движения тележки и подачи электродной проволоки, простота и надежность конструкции.

Технические характеристики автомата сварочного АДГ-630 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики автомата сварочного АДГ-630	
Напряжение питающей сети	3x380
Номинальный сварочный ток	630
Диаметр используемой сварочной проволоки	Стальная 1,6-2,4 Порошковая 1,6-3,2
Диапазон регулировки скорости подачи сварочной проволоки, м/ч	120 – 720
Диапазон регулировки скорости производства сварки, м/ч	12-120
Пределы регулирования времени растяжки дуги, с	0,5-1,2
Угол поворота сварочной головки относительно вертикальной оси, град.	±90°
Угол поворота сварочной головки вокруг горизонтальной оси, град.	±45
Угол наклона токоподвода относительно вертикальной оси, град.	+45° (углом вперед) -30° (углом назад)
Колесная колея, мм	185
Вместимость кассеты для сварочной проволоки, кг	15

Для питания автомата сварочного АДГ-635 выбираем 2 сварочных выпрямителя ВДУ-506.

Сварочный выпрямитель ВДУ-506 используется для ручной дуговой сварки покрытыми электродами на постоянном токе и используется в

комплекте с автоматами и полуавтоматами для сварки в среде инертных газов на постоянном токе. ВДУ-506 представляет собой регулируемый тиристорный выпрямитель с падающей или жесткой внешней характеристикой.

На рисунке 23 представлен эскиз сварочного выпрямителя ВДУ-506



Рисунок 23 - сварочный выпрямитель ВДУ-506

В таблице 5 представлены основные технические характеристики

Таблица 5 - основные технические характеристики сварочного выпрямителя ВДУ-506

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	ВДУ-506
Рабочее напряжение В	3x380
Потребляемая мощность, кВА	34
Частота сети, Гц	50
Номинальный сварочных ток, А (ПВ, ПН, %)	500 (60)
Напряжение холостого хода, не более, В	85

## Сварочный полуавтомат TAURUS 355

Сварочный полуавтомат TAURUS 355 относится к современным моделям полуавтоматических сварочных аппаратов с применением технологии EWM..

Сварочный полуавтомат имеет очень широкий спектр выполняемых задач, с высоким качеством сварки различных марок сталей и сплавов.

Внешний вид сварочного полуавтомата TAURUS 355 представлен на рисунке 24.



Рисунок 24 - Сварочный полуавтомат TAURUS 355

В таблице 6 представлены основные технические характеристики полуавтомата TAURUS 355.

Таблица 6 – Основные технические характеристики

Технические характеристики	TAURUS 355
Пределы регулировки сварочного тока	5-350А
Сила тока при ПВ100	350А
Напряжение холостого хода	79В
Напряжение сети	400 В (-25%;+20%)
Потребляемая мощность	15,0кВА
Скорость подачи сварочной проволоки	0,5-24 м/мин
Габариты источника (ДхШхВ). Мм	625 x 300 x 535
Масса источника	41 кг
Класс защиты	IP 23
Класс изоляции	Н

## Сварочная колонна ПКТБА-КСА 1,0 х 1,0

Сварочная колонна предназначена для позиционирования изделий для сварки, оснащена аварийным механизмом стопорения при обрыве цепи. Возможно перемещение консоли со сварочной плавно регулируемой скоростью. Внешний вид сварочной колонны представлен на рисунке 25. Размеры колонны приведены в таблице 7.



Рисунок 25 – Сварочная колонна ПКТБА-КСА 1,0 х 1,0

Таблица 7 – Размеры колонны ПКТБА-КСА

Характеризуемые величины	Значения
Общая ширина колонны, мм	900
Общая длина колонны, мм	2530
Общая высота колонны, мм	3297
Минимально возможная высота горизонтальной консоли от пола, мм	836

## Вращатель ПКТБА ВСУ-3

Требования, предъявляемые к вращателю:

- 1) Возможность установки необходимой скорости вращения и постоянство скорости вращения;
- 2) Обеспечение необходимой грузоподъемности, которая должна быть не менее 225 кг.

## ПКТБА- ВСУ-3

Планшайба имеет электропривод наклона в пределах от 0 до 90 градусов для обеспечения оптимального положения сварки, цифровую индикацию частоты вращения планшайбы, так же имеется возможность подключения пульта дистанционного управления. Внешний вид вращателя представлен на рисунке 26. В таблице 8 представлены основные технические характеристики.



Рисунок 26 - Вращатель ПКТБА-ВСУ 3

Таблица 8 – Технические характеристики ПКТБА- ВСУ-3

Технические характеристики	Параметры
Грузоподъемность, кг	400

Диаметр планшайбы, мм	800
Скорость вращения планшайбы, об/мин	0.063-3.15
Габаритные размеры ДхШхВ. мм	1060x830x800
Масса, кг	420

### Сборочная плита

Сборочная плита предназначена для сборки данной металлоконструкции (лонжерон). Эскиз сборочной плиты представлен на рисунке 27.

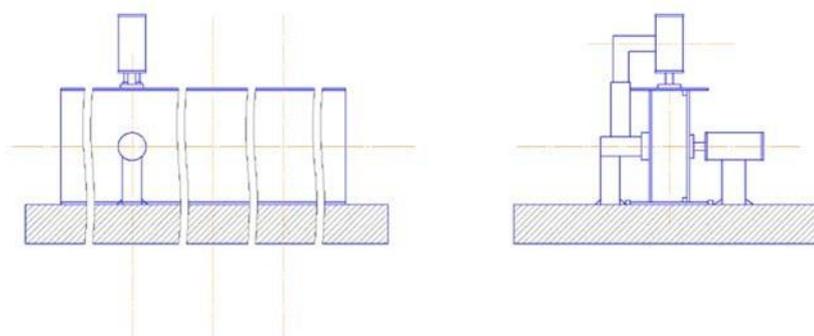


Рисунок 27 – Сборочная плита

Технические характеристики сборочной плиты приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики сборочной плиты

Характеризуемые величины	Значения
Габаритные размеры плиты, мм	2600x2000x200
Вес плиты. кг	1000

### Заготовительное оборудование

#### Установка лазерной резки Mitsubishi ML3015eX-S

Mitsubishi ML3015eX-S — установка лазерной резки с летающей оптикой, с ручной загрузкой паллеты, максимальный размер листа 3050×1525 мм.

Внешний вид установки лазерной резки Mitsubishi ML3015eX-S представлен на рисунке 28.



Рисунок 28 – 2D установка лазерной резки с летающей оптикой и ручной сменой паллеты Mitsubishi ML3015eX-S

Опционально оснащается автоматическим сменщиком паллет (2 шт.).

Номинальные (гарантированные) показатели резки:

- Углеродистая сталь: 20 мм.
- Нержавеющая сталь: 8 мм.
- Алюминий: 8 мм.

Основные технические характеристики установка лазерной резки

Mitsubishi ML3015eX-S:

Максимальный размер листа, мм	3050×1525
Нагрузка рабочего и сменного стола, кг	930
Перемещение по осям X/Y/Z, мм	3100×1565×150
Длина волны, мкм	10,6
Мощность лазера, Вт	2700
Пиковая мощность, Вт	3200
Низкое потребление резонаторного газа (смеси)	1л/час

## Фаскосъемная машина Вектор АВМ 28

Машина предназначена для снятия фаски с стальных листов и плит одновременно в трех положениях, имеет автоматическую подачу обрабатываемого листа или плиты. Для увеличения хода машины используются дополнительные направляющие.

Внешний вид фаскосъемной машины Вектор АВМ 28 представлен на рисунке 29.



Рисунок 29 - Фаскосъемная машина Вектор АВМ 28

Технические характеристики фаскосъемной машины Вектор АВМ 28 представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики фаскосъемной машины Вектор АВМ 28

Характеризуемые величины	Значения
Напряжение	230 VAC, 50-60HZ
Потребляемая мощность, кВт	6
Скорость вращения шпинделя, об/мин	2780
Максимальная ширина фаски, мм	37

Скорость подачи, мм/мин	250-300
Минимальная толщина листа, мм	10
Общая масса, кг	55

### Листоправильная машина серии WD UBR

Листоправильная машина тяжелого типа (листоправильные вальцы) серии WD изготовленная по технологии UBR предназначена для правки листового металла путем многократного перегиба. Эскиз листоправильной машины представлен на рисунке 28.

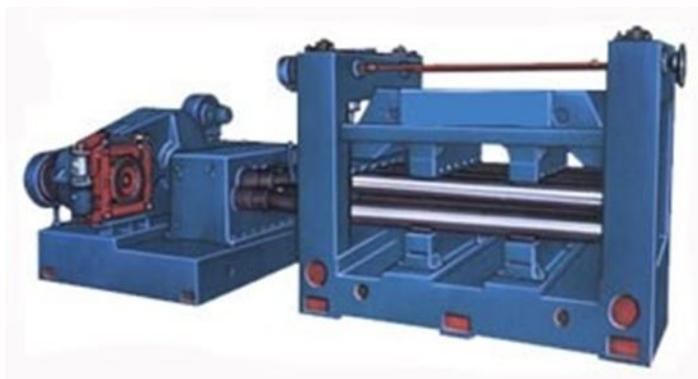


Рисунок 30 – Листоправильная машина серии WD UBR

В таблице 11 представлены технические характеристики листоправильной машины серии WD UBR.

Таблица 11 – Технические характеристики листоправильной машины серии WD UBR

Параметр	Ед. изм	Значение
Максимальный предел текучести	МПа	360
Максимальная толщина обрабатываемой заготовки	мм	32
Минимальная толщина обрабатываемой заготовки	мм	6
Ширина обрабатываемой заготовки	мм	80-1600
Количество правильных валков	шт	9
Диаметр правильных валков	мм	300
Ширина правильных валков	мм	1700

Точность правки лист толщиной 6-8	мм	3
Точность правки лист толщиной 9-32	мм	2
Скорость выполнения правки	м/мин	9
Мощность главного двигателя	кВт	180
Масса	кг	62000

### Углошлифовальная машинка Bosch GWS26-230 JBVe

Углошлифовальная машинка Bosch GWS26-230 JBVe применяется для шлифовки, зачистки и резки твердых материалов из камня, бетона и т.д., без использования воды. Эскиз углошлифовальной машинки Bosch GWS26-230 JBVe представлен на рисунке 29.



Рисунок 29 - Углошлифовальная машинка Bosch GWS26-230 JBVe

Технические характеристики углошлифовальной машинки Bosch GWS26- 230 JBVe:

Номинальная потребляемая мощность, Вт	2.600
Число оборотов при холостом ходе,	16.500
Резьба шлифовального шпинделя	M 14
Диаметр круга, мм	
230	
Масса без кабеля ,кг	6,4

## Контроль качества сварных соединений

По окончании производственного цикла проводится контроль качества выполненных изделий, проверка на соответствие механическим свойствам, размерам, правильности обработки, а так же, отсутствию дефектов (ГОСТ 30242-97, ДСТУ 3491-96) [8] .

### Дефекты сварных соединений:

- Наружные (подрезы, наплывы, незаваренные кратеры, прожоги, наружные трещины) – для контроля наружных дефектов выбран визуально - измерительный метод.
- Внутренние (поры, шлаковые включения; непровары, несплавления; трещины) – для контроля внутренних дефектов выбрана ультразвуковая дефектоскопия.
- 

Внешний осмотр выполненных сварных соединений производится как невооруженным глазом, так и при помощи технических приспособлений (Линейки, угольники, мерительная рулетка.). Преобразователи визуальной информации в телеметрическую позволяют контролировать состояние сварочной ванны расплавленного металла в процессе сварки, наблюдать за электронным лучом в вакуумной камере и др.

Ультразвуковая дефектоскопия (ГОСТ 14782-86, ДСТУ 4001,4002-2000) — метод, предложенный С. Я. Соколовым в 1928 году и основанный на исследовании процесса распространения ультразвуковых колебаний с частотой 0,5 — 25 МГц в контролируемых изделиях с помощью специального оборудования — ультразвукового дефектоскопа. Является одним из самых распространенных методов неразрушающего контроля.

Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 представлен на рисунке 32.



Рисунок 32 - Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70

Данным проектом для контроля наличия наружных и внутренних дефектов, предусмотрен визуально-измерительный метод контроля и ультразвуковая дефектоскопия (УЗК).

## 4 Экономическое обоснование

В ВКР спроектирован технологический процесс сборки и сварки лонжерона, изготавливаемого из стали марки 12ХН2 с применением автоматической сварки в среде защитных газов. При этом для сборки и сварки использовалась сварочная установка, в состав которой входили: сварочный полуавтомат АДГ - 635 с двумя источниками ВДУ-506, сварочный полуавтомат TAURUS 353 , баллон с углекислотой.

По базовому варианту работа выполнялась ручной дуговой сваркой.

Проектируемая технология предполагает замену ручной дуговой сварки лонжерона на автоматическую сварку в защитной смеси К-20 (Ar-80%; CO<sub>2</sub> – 20%).

### 4.1 Определение капиталобразующих инвестиций

Определение технологических норм времени расходуемого на сварку лонжерона.

Общее время отведенное на выполнение сварочной операции  $T_{шт-к}$ , ч., состоит из пяти компонентов и определяется по формуле:

$$T_{шт-к} = t_{осн} + t_{пз} + t_в + t_{обс} + t_n, \quad (1)$$

$T_{шт-к}$  – штучно-калькуляционное время на выполнение сварочной операции, ч.;

$t_{осн}$  – основное время, ч.;

$t_{пз}$  – время на подготовку и завершение операции, ч.;

$t_в$  – вспомогательное время, ч.;

$t_{обс}$  – время на обслуживание сварочного оборудования и рабочего места, ч.;

$t_n$  – время перерывов на отдых и прием пищи, ч.

Основное время ( $t_{осн}$ , ч) – это период времени в котором происходит непосредственное выполнение сварочной операции. Этот показатель можно рассчитать по следующей формуле:

$$t_{осн} = L_{шв}/V_{св} \quad (2)$$

где  $L_{шв}$  – сумма длин всех швов, м  $\Sigma L_{шв} = 8$  м;

$V_{св}$  – скорость сварки (проектируемый вариант), м/ч,  $V_{св} = 14$  м/ч;  $V_{св}$  – скорость сварки (базовый вариант), м/ч,  $V_{св} = 10$  м/ч Определяем основное время по формуле для обоих вариантов

$$t = 8/10 = 0,8 \text{ ч. (базовый вариант)}$$

*осн*

$$t = 8 / 14 = 0,57 \text{ ч. (проектируемый вариант)}$$

*осн*

Подготовительно-заключительное время ( $t_{нз}$ ) используется рабочим для выполнения таких действий как инструктаж, получение задания, получение и сдача инструмента, подготовка и осмотр оборудования и инструмента к работе и т.д. Для определения этого параметра необходимо разделить общий норматив времени  $t_{нз}$  на количество произведенных за смену деталей.

Примем:

$$t_{пз} = 10\% \text{ от } t_{осн}$$

$$t = \frac{0,8 \cdot 10}{100} = 0,08 \text{ ч. (базовый вариант)}$$

$$t_{пз} = 0,057 \text{ ч. (проектируемый вариант)}$$

Вспомогательное время ( $t_6$ ) используется оператором для производства побочных производственных процессов, таких как обслуживание сварочного оборудования  $t_9$ , осмотр, очистку кромок деталей, очистку швов, удаление окалины  $t_{кр}$ , установку клейма  $t_{кл}$ , установку изделия и его закрепление  $t_{уст}$  (3):

$$t_6 = t_9 + t_{кр} + t_{бр} + t_{уст} + t_{кл} \quad (3)$$

При работе с полуавтоматической и автоматической сваркой во вспомогательное время следует учитывать время на замену кассеты с электродной проволокой. Это время можно принять равным

$$t_9 = 5 \text{ мин} = 0,083 \text{ ч.}$$

Время зачистки шва или кромок  $t_{кр}$  вычисляют по формуле:

$$t_{кр} = L_{шв} (0,6 + 1,2 \cdot (n_C - 1)) \quad (4)$$

где  $n_C$  – количество слоев при сварке за несколько проходов;

$L_{шв}$  – длина шва, м,  $L_{шв} = 8 \text{ м}$

Рассчитываем время зачистки кромок или шва по формуле (5) для обоих вариантов

$$t_{кр} = 8 \cdot (0,6 + 1,2) = 14,4 \text{ мин.} = 0,24 \text{ ч.} \quad (5)$$

Сварка и в базовом и проектируемом варианте производится в один проход. Время на удаление шлака и брызг, и зачистку швов от  $t_{бр}$  рассчитываем по формуле

$$t_{бр} = L_{шв} (0,6 + 1,2 \cdot (n_C - 1)) = 14,4 = 0,24 \text{ ч.}$$

Время на клеймение изделия ( $t_{кл}$ ) принимают 0,03 мин. на 1 знак,  $t_{кл} = 0,21 \text{ мин.}$

Время на закрепление, перемещение и снятие изделия ( $t_{ycm}$ ) зависит от его массы, данные указаны в таблице 12.

Таблица 12 – Норма времени на закрепление, перемещение и снятие изделия в зависимости от его массы

Необходимые действия	Вес изделия, кг						
	5	10	15	25	до 40	до 50	до 100
	Время, мин						
	вручную				Грузоподъемным механизмом		
Установить, повернуть, снять, переместить сборочную единицу и транспортировать на место складирования	1,30	3,00	4,30	6,00	5,20	6,30	8,40

$$t_{ycm} = 0,14 \text{ ч.}$$

Таким образом рассчитываем значение  $t_g$  для обоих вариантов (оно одинаково)

$$t_g = 0,083 + 0,24 + 0,24 + 0,14 + 0,21 = 0,9 \text{ ч.}$$

Время на обслуживание рабочего места ( $t_{обс}$ ) используется для производства манипуляций с сварочным оборудованием, таким как задание определенных режимов сварки, наладку работы автомата и т.д. его принимаем равным:

$$t_{обс} = (0,06 \dots 0,08) \cdot t_{очн} \quad (6)$$

Производим расчет времени на обслуживание рабочего места ( $t_{обс}$ ) по формуле (6) для обоих вариантов

$$t_{обс} = 0,07 \cdot 0,8 = 0,056 \text{ ч.}$$

$$t_{обс} = 0,07 \cdot 0,57 = 0,039 \text{ ч.}$$

Время необходимое для перерывов на отдых и прием пищи зависит от положения, в котором сварщик выполняет работы. При сварке в удобном положении

$$t_n = 0,07 \cdot t_{осн} \quad (7)$$

Рассчитываем  $t_n$  по формуле для базового и проектируемого вариантов соответственно

$$t_n = 0,07 \cdot 0,8 = 0,056 \text{ ч.}$$

$$t_n = 0,07 \cdot 0,57 = 0,039 \text{ ч.}$$

Таким образом, расчет общего времени  $T_{ум-к}$  на выполнение сварочной операции по обоим вариантам производим по формуле (8):

$$T_{ум-к} = 0,8 + 0,08 + 0,9 + 0,056 + 0,056 = 1,89 \text{ ч.}$$

$$T_{ум-к} = 0,57 + 0,057 + 0,9 + 0,039 + 0,039 = 1,6 \text{ ч.}$$

$$T_{ум-к} = 1,89 \text{ ч. (базовый вариант);}$$

$$T_{ум-к} = 1,6 \text{ ч. (проектный вариант).}$$

Определяем *общую трудоемкость годовой производственной программы*  $T_{произв. пр.}$  сварных конструкций по операциям техпроцесса

по формуле (9):

$$T_{\text{произв. пр.}} = T_{\text{шт-к}} \cdot N, \quad (9)$$

где  $N$  – годовая программа, шт., в нашем случае  $N = 100$  шт.

$$T_{\text{произв. пр.}} = 1,89 \cdot 100 = 189 \text{ ч. (базовый вариант);}$$

$$T_{\text{произв. пр.}} = 1,6 \cdot 100 = 160 \text{ ч. (проектный вариант).}$$

Определение необходимого количества оборудования и его загрузки

Количество оборудования необходимого для производства техпроцесса определяется по данным техпроцесса.

Рассчитываем количество оборудования по операциям техпроцесса  $C_p$ , по формуле (10)

$$C_p = \frac{T_{\text{произв пр.}}}{\Phi_{\text{д}} \cdot K_n} \cdot 100 \quad (10)$$

$$C_p = \frac{189}{1914 \cdot 1,2} \cdot 100 = 0,8; \text{ примем } C_{\text{п}} = 1 \text{ шт. (базовый вариант);}$$

$$C_p = \frac{160}{1914 \cdot 1,2} \cdot 100 = 0,6; \text{ примем } C_{\text{п}} = 1 \text{ шт. (проектируемый вариант).}$$

Определение количества необходимого оборудования  $C_{\text{п}}$  рассчитывается путём округления расчётного количества в сторону увеличения до ближайшего целого числа. Необходимо учитывать что возможная перегрузка рабочих мест не может превышать 5– 6%. Таким образом, по базовой технологии используются четыре установки для ручной дуговой сварки. По новой измененной технологии для производства того же технического процесса будет достаточно работы двух установок для автоматической сварки в среде защитного газа.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования  $K_3$  производим по формуле (11):

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{II}} \quad (11)$$

$$K = 0,8 / 1 = 0,8 \text{ (базовый вариант);}$$

$$K = 0,6 / 1 = 0,6 \text{ (проектируемый вариант).}$$

#### Расчет капитальных вложений

Для проведения расчета балансовой стоимости оборудования необходимо знать цену приобретения выбранного в технологии оборудования. Для этого представляем исходные данные в виде таблицы 13.

Таблица 13 – Исходные данные

Показатели	Единицы измерения	Базовый вариант	Проектируемый вариант
Годовая производственная программа выпуска	шт.	100	100
Инверторный сварочный аппарат Ресанта САИ 250. Ц <sub>опт</sub>	руб/шт.	11130	
Сварочный автомат АДГ-630 с источником питания ВДУ-506 (2 шт)	руб/шт.	-	45090
Поворотная колонна	руб/шт.		1130000
Двухстоечный кантователь	руб/шт.	110000	110000
Сталь 12ХН2, Д <sub>н</sub>	руб./т	56500	56500
Сварочные электроды УОНИ-13/55, Ø 5 мм, Ц <sub>о.р.м.</sub>	руб./кг	50	
Сварочная проволока СВ-08ХН2ГМТА, Ø 12 мм, Ц <sub>орм</sub>	руб./кг		115
защитный газ СО <sub>2</sub> ; Ц <sub>зг</sub>	руб./л	-	
защитный газ (смесь К20). Ц <sub>зг</sub>	руб./л		0.5
Расход защитного газа	л/мин.		12
Тариф на электроэнергию, Ц <sub>эл</sub>	руб/кВт-час.	3,16	3,16

длина сварного шва	м	8	8
Положение шва		нижнее	нижнее
Условия выполнения работы		стационарные	стационарные
Квалификационный разряд электросварщика	разряд	3	4
Тарифная ставка, Тст	руб.	48	56
Масса конструкции	т	0,09	0,09

Произведем расчет балансовой стоимости оборудования при проектируемом и базовом варианте технологии изготовления металлоконструкции по формуле (12):

$$K_{обj} = C_{обj} \cdot (1 + K_{мз}), \text{руб} \quad (12)$$

Базовый вариант:

$$K_{обj} = 11130 \cdot (1 + 0,12) = 12465 \text{ руб.}$$

Проектируемый вариант:

$$K_{обj} = 45090 \cdot (1 + 0,12) = 50500 \text{ руб.}$$

Определяем по формуле (13) капитальные вложения в оборудование для выполнения годового объема работ по вариантам:

$$K_{об} = \sum K_{обj} \cdot C_{Пj} \cdot K_{зj}, \text{руб} \quad (13)$$

$$K_{об} = 12465 \cdot 1 \cdot 1 = 12465 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$K_{об} = 50500 \cdot 1 \cdot 1 = 50500 \text{ руб. (проектируемый вариант).}$$

Рассчитанные данные заносим в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчеты капитальных вложений по вариантам

Статьи расчетов	Базовый вариант	Проектируемый вариант
1	2	3
Оптовая цена единицы оборудования, руб. Окончание таблицы 23	11130	45090
Количество единиц оборудования, шт.	1	1
Балансовая стоимость оборудования (стоимость приобретения с расходами на монтаж и пусконаладочные работы), руб.	12465	50500
Суммарные капитальные вложения в технологическое оборудование, руб.	12465	50500

#### 4.2 Определение себестоимости изготовления металлоконструкций

Расчет технологической себестоимости металлоконструкций  
Технологическая себестоимость формируется из прямых затрат, связанных с расходом ресурсов при проведении сварочных работ в цехе. Расчет технологической себестоимости проводим по формуле (14).

$$C_{\text{т}} = MЗ + Z_{\text{э}} + Z_{\text{пр}} \quad (14)$$

$$C_{\text{т}} = 932,15 + 494,45 + 521,4 = 1948 \text{ руб (базовый вариант)}$$

$$C_{\text{т}} = 4342,3 + 309,05 + 518,4 = 5169,7 \text{ руб (проектируемый вариант)}$$

где  $MЗ$  - затраты на все виды материалов, основных, комплектующих и полуфабрикатов;

$Z_{\text{э}}$  - затраты на технологическую электроэнергию (топливо);

$Z_{np}$  - затраты на заработную плату с отчислениями на социальные нужды (социальный взнос - 30% от фонда оплаты труда).

Расчет материальных затрат

В данную графу затрат необходимо внести затраты на материалы, сырье, энергоресурсы на технологические цели.

Для расчета материальных затрат ( $MЗ$ , руб.) воспользуемся формулой (31).

$$MЗ = C_{o.m} + C_{эн} + C_{др}, \text{ руб} \quad (15)$$

Стоимость основных материалов ( $C_{o.m}$ , руб.) с учетом транспортно-заготовительных расходов рассчитывается по формуле (16).

$$C_{o.m} = [C_{к.м} + C_{св.пр.} + (C_{зг} + C_{св.фл.})] \cdot K_{тр} \quad (16)$$

Стоимость конструкционного материала ( $C_{к.м}$ )

Затраты на конструкционный материал, которым является сталь 12ХН2.

$$C_{к.м} = m_k \times Ц_{к.м}, \quad (17)$$

где  $m_k$  – масса конструкции, т;

$Ц_{к.м}$  - цена одной тонны конструкционного материала, руб.

$$C_{к.м} = 0,09 \cdot 56500 = 5085 \text{ руб.}$$

В результате расчетов, стало известно что стоимость конструкционного материала составляет 5085 руб. одинаковую для проектируемого и базового варианта.

Для расчета затрат на электродную проволоку Св-08ХН2ГМТА

воспользуемся формулой (33).

Исходные данные для расчетов:

$$L_{ШВ} = 8 \text{ м} = 800 \text{ см};$$

$$F_{НМ} = 70 \text{ мм}^2 = 0,70 \text{ см}^2;$$

$$V_{НМ} = 800 \cdot 0,70 = 560 \text{ см}^3;$$

$$M_{НМ} = 560 \cdot 7,8 = 4368 \text{ г} = 4,368 \text{ кг}$$

Производим расчеты  $C_{св.пр}$  на изготовление одной металлоконструкции по формуле (18):

$$C_{св.пр} = M_{НМ} \cdot \psi \cdot Ц_{с.п.} \cdot K_{тр}, \text{ руб. (18)}$$

$$C_{св.пр} = 4,368 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 1,05 = 275,18 \text{ руб. (базовый вариант – РДС)}$$

$$C_{св.пр} = 4,368 \cdot 1,02 \cdot 115 \cdot 1,05 = 537,98 \text{ руб. (проектируемый вариант – сварка в защитной смеси К-20)}.$$

Для расчета затрат на защитный газ воспользуемся формулой (19).

Исходные данные:

$$C_{др} = t_{осн} \cdot q_{зг} \cdot k_P \cdot Ц_{зг(фл)} \cdot K_T, \text{ (19)}$$

$$t_{осн} = 8/10 = 0,8 \text{ ч} = 48 \text{ мин. (базовый вариант);}$$

$$t_{осн} = \frac{8}{14} = 0,57 \text{ ч} = 35 \text{ мин. (проектируемый вариант);}$$

Расход защитного газа  $q_{зг} = 12 \text{ л/мин}$ .

$$C_{зг} = 35 \cdot 12 \cdot 1,1 \cdot 0,5 \cdot 1,05 = 242,5 \text{ руб. (проектируемый вариант – защитная смесь К-20)}.$$

Все виды топлива и энергии которые расходуются в процессе производства данной продукции включаются в статью «Топливо и энергия на технологические цели» ( $C_{эн}$ , руб.).

Для расчета затрат на электроэнергию на каждую операцию используем формулу

$$Z_э = Z_э \cdot W \cdot Ц_э, \text{ руб} \quad (20)$$

$$Z_э = 8 \cdot 19,656 \cdot 3,16 = 494,45 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$Z_э = 5 \cdot 19,656 \cdot 3,16 = 309,05 \text{ руб. (проектируемый вариант);}$$

Материальные расходы ( $MЗ$ ) на основные материалы на одно изделие (за исключением затрат на основной конструкционный материал) рассчитываются по формуле (15):

По базовому варианту:

$$MЗ = 185,75 + 249,5 + 496,90 = 932,15 \text{ руб.}$$

По проектируемому варианту:

$$MЗ = 3894,54 + 137,2 + 310,56 = 4342,3 \text{ руб.}$$

Для расчета численности производственных рабочих (сварщиков и сборщиков) определяется для каждой операции применяем формулу: (21):

$$Ч_{ор} = \frac{T_{произвр.}}{\Phi_{др} \cdot K_B} \quad (21)$$

$$Ч = 4 \text{ чел. (базовый вариант)}$$

$$Ч = 2 \text{ чел. (проектируемый вариант)}$$

Число рабочих округляется до целого числа с учетом количества оборудования. По базовой технологии работает четыре сварщика, по новой измененной технологии работают 2 сварщика.

При организации поточного производства количество основных рабочих рассчитывается исходя из числа единиц оборудования с учетом его загрузки, возможных невыходов по уважительным причинам и планируемого совмещения профессий. Исходя из этих данных, возможно определить необходимое суммарное количество основных рабочих  $Ч_{ор}$ .

Расчет заработной платы основных рабочих, отчислений на социальные нужды, налоговых выплат.

Данный раздел демонстрирует расчет основной и дополнительной зарплаты основных производственных рабочих, отчислений на социальные нужды (социальных взносов), т.е. налоговых выплат, которые включаются в себестоимость конечного продукта.

Для расчета расходов на оплату труда ( $З_{пр}$ ) воспользуемся формулой (38).

Воспользуемся формулой (23) для расчета основной и дополнительной заработной платы основных производственных рабочих ( $З_{пр}$ ) с отчислениями на социальное.

Тарифная ставка зависит от квалификации сварщика:  $T_{см}$  сварщика ручной дуговой сварки - 48 руб./час,  $T_{см}$  сварщика автоматической сварки - 56 руб./час.

$$З_{пр} = З_{П_0} + З_{П_д} \quad (22)$$

$$З_{пр} = P_{сд} \cdot K_{пр} \cdot K_{д} \cdot K_{сс} + D_{вр} \quad (23)$$

$$Тшт-к = 1,89 \text{ ч.} = 113,4 \text{ мин. (базовый вариант);}$$

Тшт-к = 1,6 ч. = 96 мин. (проектируемый вариант).

$$P_{сд} = 48 \cdot 113,4/60 = 90,2 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$P_{сд} = 56 \cdot 96/60 = 89,6 \text{ руб. (проектируемый вариант).}$$

Для определения доплаты за вредные условия труда воспользуемся формулой (24)

$$D_{вр} = \frac{T_{СТ} \cdot T_{ВР} \cdot (0,01 \dots 0,31)}{100 \cdot 60} \quad (24)$$

$$D_{вр} = 48 \cdot 113,4 \cdot 0,2/100 \cdot 60 = 0,18 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$D_{вр} = 56 \cdot 96 \cdot 0,2/100 \cdot 60 = 0,17 \text{ руб. (проектируемый вариант);}$$

$$З_{пр} = 90,2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 + 0,18 = 211,2 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$З_{пр} = 89,6 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 + 0,17 = 209,8 \text{ руб. (проектируемый вариант).}$$

Для расчета дополнительной заработной платы основных производственных рабочих при базовом и проектируемом варианте технологии воспользуемся формулой (25):

$$ЗП_{\delta} = K_{\delta} \cdot ЗП_{O} \cdot K_{сс}, (25)$$

$$ЗП_{\delta} = 1,13 \cdot 211,2 \cdot 1,3 = 310,2 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$ЗП_{\delta} = 1,13 \cdot 209,8 \cdot 1,3 = 308,6 \text{ руб. (проектируемый вариант).}$$

Необходимые расходы на заработную плату производственных рабочих при базовом и проектируемом варианте технологии, рассчитанные по формуле (26), составляют:

$$З_{пр} = 3П_0 + 3П_д, (26)$$

$$З_{пр} = 211,2 + 310,2 = 521,4 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$З_{пр} = 209,8 + 308,6 = 518,4 \text{ руб. (проектный вариант).}$$

Приведем расчетные данные технологической себестоимости  $C_T$  изготовления годового объема выпуска металлоконструкций ( $N= 100$  шт.) в таблицу 15.

Таблица 15 – Данные для расчета технологической себестоимости изготовления годового выпуска металлоконструкций

Статьи затрат	Базовый вариант	Проектный вариант
1	2	3
Затраты на основные материалы, $C_{ом}$ , руб.	1469	5877
Затраты на технологическую электроэнергию (топливо), $C_{эн}$ , руб.	49450	30950
Затраты на заработную плату с отчислениями на социальные нужды (социальный взнос), $З_{пр}$ , руб	52140	51690
Технологическая себестоимость годового выпуска, $C_T$ , руб.	19480	51690

#### Расчет полной себестоимости изделия

Для расчета полной себестоимости изготовления металлоконструкции необходимо произвести расчеты технологической и производственной себестоимости изготовления одной металлоконструкции.

Производственная себестоимость ( $C_{\text{ПР}}$ , руб.) обобщает в себе затраты на производство продукции, обслуживание и управление производством, расчет  $C_{\text{ПР}}$  проводят по формуле (27):

$$C_{\text{ПР}} = C_{\text{Т}} + P_{\text{пр}} + P_{\text{хоз}} \quad (27)$$

где  $C_{\text{Т}}$  – технологическая себестоимость, руб.;

$P_{\text{пр}}$  – общепроизводственные (цеховые)

расходы, руб.;  $P_{\text{хоз}}$  – общехозяйственные

расходы, руб.

Общепроизводственные расходы определяются по формуле (28).

$$P_{\text{пр}} = C_{\text{А}} + C_{\text{р}} + P_{\text{пр}}^* \quad (28)$$

В статью «Общепроизводственные расходы» ( $P_{\text{ПР}}$ , руб.) необходимо включить следующие расходы:

- Амортизация используемого оборудования;
- Необходимый ремонт основных средств производства;
- эксплуатация оборудования и коммунальные расходы;
- Оплата труда административного, технического и обслуживающего персонала;
- охрана труда персонала.

Затраты на амортизацию оборудования. Рассчитываем по формуле (29) затраты на амортизацию при проектируемом и базовом варианте технологии изготовления металлоконструкции приходящиеся на одно изделие:

$$C_{\text{А}} = \frac{K_{\text{об}} \cdot H_{\text{А}} \cdot n_0 \cdot T_{\text{шт-к}}}{100 \cdot \Phi_{\text{Д}} \cdot K_{\text{В}}} \quad (29)$$

$$C_A = \frac{12465 \cdot 14,7 \cdot 1,89}{100 \cdot 1914 \cdot 1,1} = 164,40 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$C_A = \frac{505008 \cdot 14,7 \cdot 1 \cdot 1,816}{100 \cdot 1914 \cdot 1,1} = 564,15 \text{ руб. (проектируемый вариант).}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание оборудования рассчитываем по формуле (30)

$$C_p = \frac{K_{об} \cdot D}{100} \quad (30)$$

$C_p = \frac{12465 \cdot 3}{100} = 3739,5$  руб./на производственную программу или 37,39 руб в расчете на одно металлоизделие (3739,5 руб./100 шт), - базовый вариант;

$C_p = \frac{505008 \cdot 3}{100} = 15150,24$  руб./на производственную программу или 151,50 руб./на металлоконструкцию (15150,24 руб./100 шт), - проектируемый вариант.

Расходы на содержание производственных помещений (отопление, освещение) определяются формуле (31):

$$P^*_{PP} = \frac{\%P_{PP} \cdot 3\Pi_0}{100} \quad (31)$$

$$P^*_{PP1} = \frac{52140 \cdot 10}{100} = 5214 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$P^*_{PP2} = \frac{51690 \cdot 10}{100} = 5169 \text{ руб. (проектируемый вариант).}$$

Общепроизводственные расходы определяются по формуле (31):

$$P_{\text{ПР}} = 164,40 + 3739,5 + 5214 = 9117,9 \text{ руб. (базовый в-т);}$$

$$P_{\text{ПР}} = 564,15 + 15150,24 + 5169 = 20883,39 \text{ руб. (проектируемый вариант).}$$

В статью «Общехозяйственные расходы» ( $P_{\text{ХОЗ}}$ , руб.) необходимо включить: отопление, освещение, расходы на ремонт и эксплуатацию основных средств, сигнализацию, содержание легкового автотранспорта, обязательное страхование работников от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний, расходы на оплату труда, командировочные; канцелярские, почтово-телеграфные и телефонные расходы, водоснабжение заводоуправления, на охрану, и связанные с управлением предприятия в целом.

Эти расходы целесообразно рассчитывать в процентах от основной заработной платы производственных рабочих при помощи формулы (32).

$P_{\text{ХОЗ}}$  при изготовлении одной металлоконструкции:

$$P_{\text{ХОЗ}} = \frac{\% P_{\text{ХОЗ}} \cdot ЗП_0}{100} \quad (32)$$

$$P_{\text{ХОЗ}} = \frac{25 \cdot 521,4}{100} = 130,35 \text{ (базовый вариант)}$$

$$P_{\text{ХОЗ}} = \frac{25 \cdot 518,4}{100} = 129,6 \text{ (проектируемый вариант)}$$

Производственная себестоимость годового выпуска металлоконструкций при базовом и проектируемом варианте технологии,  $C_{\text{ПР}}$  рассчитывается по формуле (33):

$$C_{\text{ПР}} = 19480 + 9117,9 + 13035 = 41632,9 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$C_{\text{ПР}} = 51690 + 20883,39 + 12960 = 85533,39 \text{ руб. (проектируемый вариант).}$$

Расчет коммерческих расходов. Для расчета данной статьи расходов ( $P_{\text{к}}$ , руб.), необходимо объединить расходы на производство или

приобретение тары, упаковку, погрузку продукции и доставку её к станции, участие в выставках, рекламу. Для этого расчета применяем формулу (34):

$$P_k = \frac{\%P_k \cdot C_{np}}{100}, \quad (34)$$

$P_k = 416,3$  руб. (базовый вариант);

$P_k = 855,3$  руб. (проектируемый вариант).

Полная себестоимость годового объема выпуска металлоконструкций ( $C_{\Pi}$ ) включает затраты на производство ( $C_{\Pi P}$ ) и коммерческие расходы ( $P_k$ ) и рассчитывается по формуле (35):

$$C_{\Pi} = C_{\Pi P} + P_k, \text{ руб}$$

$$C_{\Pi} = 41632,9 + 416,3 = 42049,2 \text{ руб. (базовый вариант);}$$

$$C_{\Pi} = 85533,39 + 855,3 = 86388,7 \text{ руб. (проектируемый вариант)}$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 16.

Таблица 16 – Калькуляция полной себестоимости годового выпуска изготавливаемых металлоконструкций по сравниваемым вариантам

Наименование статей калькуляции	Значение, руб.		Отклонения, руб.
	Базовый вариант	Проектируемый вариант	
1	2	3	4
Объем годового выпуска продукции, N. шт.	100	100	
1. Материальные затраты, МЗ:	93215	434230	341015
2. Заработная плата производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды, Зто	52140	51690	-450
3. Технологическая себестоимость Ст, руб.	194800	516970	322170

4. Общепроизводственные расходы, Р <sub>пр</sub>	9117,9	20883,39	11765,49
5. Общехозяйственные расходы, Р <sub>хоз</sub>	13035	12960	-75
6. Производственная себестоимость, С <sub>пР</sub>	41632,9	85533,39	43900,49
7. Коммерческие расходы, Р <sub>к</sub> ,	416,3	855,3	439
8. Полная себестоимость, С <sub>д</sub>	42049,2	86388,7	44339,5

#### 4.3 Расчет основных показателей сравнительной эффективности

Расчет основных показателей сравнительной эффективности целесообразно провести согласно варианту Б, так как он является случаем проектирования конструкторско-технологических усовершенствований, которые способны обеспечить выполнение запланированных сварочных работ металлоконструкций, используемых в качестве реализуемой товарной продукции, которая приносит прибыль.

Для наглядности примера рассчитем что годовой выпуск продукции (лонжерон) составляет 100 шт.

Годовое превышение (+) или экономия (-) по технологической себестоимости,  $\Delta C$  рассчитывается по формуле (36):

$$\Delta C = (C_{T1} - C_{T2}) N, \quad (36)$$

где:  $C_{T1}$ ,  $C_{T2}$  - технологическая себестоимость годового объема выпуска детали по сравниваемым вариантам (1 - базовый вариант; 2 - проектируемый вариант), руб.;

$N$  - годовой объем выпуска металлоизделий, шт.

В данном расчете годовая экономия по технологической себестоимости составит в соответствии с формулой (37):

$$\Delta C = (1948 - 5169,7) \square 100 = - 322,170 \text{ тыс. руб.}$$

технологическая себестоимость в проектируемом варианте превышает технологическую себестоимость в базовом варианте за счет расходов на вспомогательные материалы (сварочная проволока, газ)

Расчет прибыли от реализации годового объема металлоизделий по базовому и проектируемому вариантам,  $\Pi$ , руб. рассчитываем по формуле (38):

$$\Pi = B - C_{\Pi}, (38)$$

Сначала рассчитываем отпускную цену металлоконструкции ( $\Pi$ , руб.) по формуле (36) по базовому и проектируемому вариантам. Среднеотраслевой коэффициент рентабельности продукции,  $K_p$ , определяющий среднеотраслевую норму доходности продукции и учитывающий изменение качества металлоизделия (надежность, долговечность) в эксплуатации принимаем равным соответственно в базовом варианте - 1,3; в проектируемом - 1,5.

$$\Pi = C_n * K_p, \text{ руб} \quad (39)$$

$$\Pi_1 = 420,49 * 1,3 = 546,63 \text{ руб.}$$

$$\Pi_2 = 863,88 * 1,5 = 1295,66 \text{ руб.}$$

Рассчитываем выручку от реализации годового объема металлоизделий ( $B$ ) по формуле (40) по базовому и проектируемому вариантам:

$$B = \Pi * N, \text{ руб} \quad (40)$$

$$B_1 = 546,63 * 100 = 54663 \text{ руб.}$$

$$B_2 = 1295,66 * 100 = 129566 \text{ руб.}$$

Соответственно, прибыль от реализации годового объема металлоизделий в соответствии с формулой (41) по базовому и проектируемому вариантам будет равна разнице между выручкой и полной себестоимостью производственной программы выпуска металлоизделий

$$\Pi_1 = 54663 - 42049 = 12614 \text{ руб.}$$

$$\Pi_2 = 129566 - 86388 = 43178 \text{ руб.}$$

Изменение прибыли  $\Delta\Pi$  в проектируемом варианте в сопоставлении с базовым рассчитывается по формуле (42):

$$\Delta\Pi = \Pi_2 - \Pi_1, \text{ руб. (42)}$$

$$\Delta\Pi = 43178 - 12614 = 30564 \text{ руб.}$$

Определение точки безубыточности (критического объема выпуска металлоконструкций,  $N_{кр}$ ) проводим по формуле (43) по базовому и проектируемому вариантам:

$$N_{кр} = \frac{C_{ном}}{Ц - C_{пер}}, \text{ шт (43)}$$

$$N_{кр1} = \frac{42049,2 - 19480,0}{5466,3 - 1948} = 64 \text{ шт}$$

$$N_{кр2} = \frac{86388,7 - 51697,0}{1956,6 - 5169,7} = 44 \text{ шт}$$

Расчет рентабельности продукции,  $R$ , проводим по формуле (44):

$$R = \frac{\Pi}{C_n} * 100\% \text{ (44)}$$

$$R_1 = \frac{12614}{42049,2} * 100\% = 30\%$$

$$R_2 = \frac{43178}{86388.7} * 100\% = 50\%$$

Расчет производительности труда (выработка в расчете на 1 производственного рабочего (в базовых ценах), тыс. руб./чел.),  $P_{тр}$  производим по формуле (45) соответственно по базовому и проектируемому вариантам:

$$P_{mp} = \frac{B}{\chi_{OP}}, \text{ руб./чел (45)}$$

$$P_{mp1} = \frac{54663}{4} = 13665, \text{ руб./чел} = 1,366 \text{ тыс.руб./чел}$$

$$P_{mp2} = \frac{129566}{2} = 64783, \text{ руб./чел} = 6.478 \text{ тыс.руб./чел}$$

Расчет срока окупаемости капитальных вложений,  $T_{ок}$  производим по формуле (46):

$$T = \frac{\Delta K_0}{\Delta \Pi}, \text{ год (46)}$$

$$T = \frac{50500}{305644} = 1,65, \text{ год}$$

По результату проведенных экономических технико-расчетов, в качестве иллюстративного материала была составлена таблица 17 в которой сгруппированы результирующие показатели экономической эффективности.

Таблица 17 – Техничко-экономические показатели проекта

№ п/п	Показатели	Ед. измерения	Значение показателей		Изменение показателей (+,-)
			Базовый вариант	Проектируемый вариант	
1	2	3	4	5	6
1	Годовой выпуск продукции. N	шт.	100	100	
2	Выручка от реализации годового выпуска продукции. В	руб.	54663	129566	74903
3	Капитальные	руб.	12465	50500	38035

	вложения. К				
4.	Технологическая себестоимость металлоизделия. С*	руб.	19480	51690	32210
5.	Полная себестоимость годового объема выпуска металлоизделий. Сп	руб.	42049,2	86388,7	44339,5
6.	Прибыль от реализации годового объема выпуска. П	руб.	12614	43178	30564
7.	Численность производственных рабочих, Ч	чел.	4	2	-2
8.	Производительность (выработка в расчете на 1 производственного рабочего, в базовых ценах),	тыс.руб. чел.	1,366	6,478	5,112
9.	Рентабельность продукции. R	%	30	50	20
10.	Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений (T <sub>ок</sub> )	лет	1.65		
11.	Точка безубыточности (критический объем выпуска металлоизделий)	шт.	64	44	-20

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе была исследована технология лазерной сварки.

При разработке технологии лазерной сварки были решены следующие задачи:

- проведен анализ режимов, оборудования и технологий лазерной сварки;
- подобран и обоснован способ лазерной сварки;
- проведены необходимые расчеты режимов сварки;
- выбрано и обосновано сборочное и сварочное оборудование.
- посчитаны техникоэкономические показатели проекта.

В современном автомобилестроении всё чаще применяются лазерные технологии для соединения различных узлов, ведь это высокопроизводительный способ, который обеспечивает хорошее качество. Исходя из этого, а также из выбранной темы магистерской диссертации «Лазерная сварка применяемая при изготовлении кузовов автомобилей», основной ее целью является обоснование внедрения лазерной сварки в производство автомобилей, улучшение качества сварных соединений с помощью лазерной сварки и сокращения финансовых и временных затрат при изготовлении кузова автомобиля.

Для достижения этих целей в работе проведено подробное исследование лазерной сварки перед другими способами сварки. Разработан технологический процесс для лазерной сварки и выбрано оборудование для полного цикла производства кузова автомобиля.

Предложенный в проекте технологический способ сварки металлоизделия эффективен, прежде всего, в сфере эксплуатации за счет повышения долговечности сварных соединений конструкции металлоизделия.

В сфере производства изделия экономия по себестоимости обеспечена лишь за счет сокращения доли общепроизводственных и общехозяйственных

расходов в удельной себестоимости металлоизделия, поскольку эти затраты, оставаясь неизменными в целом по предприятию, списываются на себестоимость изделий пропорционально заработной плате производственных рабочих, численность которых в проектируемом варианте сократилась на 2 человека.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Положение о выпускной квалификационной работе, «Тольяттинский государственный университет», Тольятти 2017
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 2246-70. Проволока стальная сварочная. Технические условия. - Введ. 1973-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2002. - 35с.
7. ГОСТ 14771-76\*. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. - Введ. 1976-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 1976. - 39с.
8. ГОСТ 30242-03. Дефекты соединений при сварке металлов плавления. - Введ. 2003-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2003.
9. ГОСТ 2246-70. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. - Введ. 1971-01-01. - М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1971.-35с
10. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих (ЕТКС). Часть №1 выпуска №2 ЕТКС. Раздел ЕТКС «Сварочные работы», 2014. - 38с.
11. Шебеко, Л.П. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. - Введ. 1986. - М.: Изд-во стандартов, 1986. - 279 с.

12. В.С. Виноградов. Оборудование и технология дуговой автоматизированной и механизированной сварки. - Введ. 1997. -М.: Изд-во стандартов, 1997.-319с.
13. Прикладная экономика: учебник /Г.И.Журухин [и др.]; под ред. Г.И.Журухина, Т.К.Руткаускас. Екатеринбург: Изд-во ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2015. - 364 с.
14. Руткаускас, Т.К. Экономика предприятия: учеб, пособие /Т.К. Руткаускас, Г.И. Журухин. Екатеринбург: Изд-во ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2015. - 316 с.
15. E. V. Shun'ko. Langmuir Probe in Theory and Practice. Universal Publishers. Boca Raton. Florida, USA. 2009
16. Jeremiah Williams Handout for Plasma Physics: Plasma Probes. Physics Department, Wittenberg University. June 27, 2014
17. 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, 2006. — 644 с.: ил.
18. 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) 910-916
19. Yi Zhang, Shichun Li, Genyu Chen, Hairong Zhang, Mingjun Zhang. Characteristics of zinc behavior during laser welding of zinc <sup>11</sup> sandwich<sup>11</sup> sample. Optics & Laser Technology 44 (2012) 2340-2346
20. Genyu Chen, Mingjun Zhang, Zhi Zhao, Yi Zhang, Shichun Li. Measurements of laser-induced plasma temperature field in deep penetration laser welding. Optics & Laser Technology 45 (2013) 551-557
21. Barik Amit Kumar. Joining of dissimilar materials using Nd: YAG laser welding: thesis, bachelor of technology : roll no. 10603066. - National Institute of Technology, Rourkela, India, 2010.

22. J.M. Sanchez Amaya 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.

23 . 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, 2009. - 544 с.

24. ГОСТ 2246-70. Проволока стальная сварочная. Технические условия. - Введ. 1973-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2002. - 35с.

25. ГОСТ 14771-76\*. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. - Введ. 1976-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 1976. - 39с.

26. ГОСТ 30242-03. Дефекты соединений при сварке металлов плавления. - Введ. 2003-01-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2003.

27. В.В. Баженов, К.И. Минаева, В.И. Привезенцев // Герметизация корпусов приборов из алюминиевых сплавов импульсной лазерной сваркой. - Тезисы докладов "Сварка и пайка в производстве аппаратуры и приборов". Пенза. 1992 г.

28. Разработка и внедрение технологии лазерной сварки и резки в изготовлении узлов новой техники". Научно-технический отчет, - М.: МИП 1990 г.

29. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. - М.: Изд-во МИСИС, 2001. -416с.

30. Н.Б. Пугачева, Н.С. Мичуров, Е. Б. Трушина // Особенности строения сварных соединений алюминиевых сплавов. - Екатеринбург: Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, 2015.