

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

(код и наименование направления подготовки)

Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических
материалов

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Технология сборки и сварки кронштейна приемной трубы автомобиля
ВАЗ»

Студент

Д.В. Тентяков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Руководитель

к. т. н., доцент Г.М.Короткова

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

Тольятти 2020

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ конструкции	5
1.1 Общие сведения о системе выпуска газов автомобиля	5
1.2. Обзор современных конструкций глушителей легковых автомобилей	6
1.3. Свойства материалов используемых при изготовлении глушителей.	11
1.4 Типы сварных соединений в системе выпуска газов автомобиля	20
2. Характеристика и особенности сварного соединения кронштейна крепления приемной трубы глушителя	22
2.1 Характеристика сварного соединения	22
2.2. Особенности сварки деталей с большой разницей толщин	23
2.3. Способы обеспечения качественного сварного соединения при сварке кронштейна крепления трубы приемной.....	24
3 Анализ способов сварки	27
3.1. Сварка неплавящимся электродом.....	27
3.2 Анализ применения сварки неплавящимся электродом	31
3.3 Лазерная сварка.....	32
3.4. Виды лазерной сварки	43
3.5 Область применения лазерной сварки.....	47
3.6 Анализ применения лазерной сварки	50
4 Применение лазерной сварки в автомобильной промышленности	51
4.1 Применение лазерной сварки на ОАО «АВТОВАЗ»	52
4.2. Выбор оборудования для лазерной сварки	56
4.3. Технологический процесс сварки	63
Заключение	70
Список используемой литературы	72

Введение

Развитие науки и техники в современном мире ставит все новые задачи перед человечеством. За последнее столетие человечество достигло огромного прогресса в совершенствовании окружающего мира и изменении условий повседневного быта. Еще сто лет назад такие средства передвижения как автомобиль были доступны лишь небольшому количеству людей.

Однако развитие экономики, и средства производства позволило сделать данный вид транспорта доступным для каждого. Тем не менее, совершенствование технологий происходит, и по сей день, ставя новые вызовы для современных ученых, инженеров и конструкторов. Немаловажным, а зачастую, и решающим фактором становится забота о сохранении окружающей среды. Автомобиль является сложным техническим прибором, который в свою очередь состоит из множества систем. Одной из таких систем является система выпуска отработанных газов. Именно эта система отвечает за выбросы газов в окружающую среду. Человечество, заботясь о природе, с каждым годом ужесточает нормы токсичности выбросов отработанных газов, которые образуются в результате сгорания автомобильного топлива. Поэтому совершенствование данной системы является важной задачей при проектировании и изготовлении современных автомобилей.

Одним из наиболее важных процессов, который применяется при изготовлении системы выпуска отработанных газов является сварка. На данный момент сварочные технологии, применяемые при изготовлении данной системы, обеспечивают неплохое качество изделия. Однако и по сей день возникает ряд проблем. Эти проблемы связаны с качеством сварного соединения. В процессе производства зачастую возникают прожоги тонкостенных элементов системы выхлопа отработанных газов. В то же время, в условиях массового производства контроль качества производится

визуально. В таких условиях невозможно выявить недостаточный провар сварочного шва в сварном соединении. Впоследствии, при эксплуатации такое сварное соединение под воздействием различных нагрузок разрушается.

Наиболее остро такая проблема характерна для узла – кронштейн трубы приемной глушителя автомобиля ВАЗ. Его особенность состоит в том, что одной из деталей входящей в его состав является тонкостенная труба глушителя, а второй кронштейн, имеющий значительно большую толщину, чем толщина трубы. Как следствие при производстве данного узла часто встречаются прожоги, а при эксплуатации разрушение сварного соединения.

На данный момент проведено множество исследований по данной тематике. Однако, в полной мере проблема до сих пор не решена. В каждом отдельном случае, для решения проблемы прожогов более тонкой детали, или непроваров более толстой, применяются отдельные мероприятия, позволяющие решить эти проблемы. Универсального решения на данный момент нет. Это связано и с тем, что в некоторых случаях главным приоритетом может быть производительность процесса, или невозможность инвестиций в новые технологии.

Связи с этим поводится анализ способов сварки, которые представляется возможным применить для сварки узла глушителя в условиях массового производства. Кроме этого, необходимо учитывать возможность анализируемых способов автоматизировать процесс сварки.

Цель данной работы – заключается в том, чтобы решить следующие две проблемы.

1. Обеспечить высокое качество сварного соединения.
2. Обеспечить высокую производительность процесса сварки.

1 Анализ конструкции

1.1 Общие сведения о системе выпуска газов автомобиля

Система выпуска отработанных газов автомобиля предназначена для удаления, очистки, а также снижения уровня шума при сгорании автомобильного топлива, и представляет собой совокупность узлов и деталей, соединяемых непосредственно с двигателем на входе, и выпускной трубой на выходе. Как правило, система выпуска отработанных газов состоит из следующих узлов.

1. Кронштейн крепления приемной трубы
2. Прокладка
3. Приемная труба
4. Хомут соединения труб глушителей
5. Подушка подвески глушителей
6. Дополнительный глушитель
7. Основной глушитель



Рисунок 1 - Устройство системы отработанных газов

1.2. Обзор современных конструкций глушителей легковых автомобилей

Глушитель автомобиля предназначен для снижения уровня шума выхлопных газов в системе выпуска до соответствия с международными стандартами. Он представляет собой металлический корпус, внутри которого выполнены перегородки и камеры, образующие каналы со сложными маршрутами. Когда через последние проходят отработавшие газы, происходит поглощение звуковых колебаний различной частоты и преобразование их в тепловую энергию.

В системе выпуска отработавших газов двигателя глушитель устанавливается после катализатора (для автомобиля, работающего на бензине) или сажевого фильтра (для дизельных моторов). В большинстве случаев их предусматривается два.

1. Предварительный (резонатор глушителя) — предназначен для грубого подавления шума и стабилизации колебаний потока выхлопных газов, выходящих из двигателя. Он устанавливается первым, поэтому его часто называют «передним». Одной из его главных функций является распределение отработавших газов в системе.
2. Основной глушитель — предназначен для окончательного подавления шума.

На практике устройство глушителя автомобиля обеспечивает следующие приводящие к снижению шума преобразования выхлопа:

1. Изменение сечения потока выхлопа. Реализуется благодаря присутствию в конструкции камер различного сечения, что

позволяет поглотить шумы высокой частоты. Принцип технологии прост: вначале движущийся поток отработавших газов сужается, что создает некоторое акустическое сопротивление, а затем резко расширяется, в результате чего звуковые волны рассеиваются.

2. Перенаправление отработавших газов. Осуществляется перегородками и смещением оси трубок. При развороте потока выхлопных газов на угол от 90 градусов достигается гашение шумов высокой частоты.
3. Изменение колебаний газов (интерференция звуковых волн). Достигается за счет присутствия перфорации в трубках, по которым проходит выхлоп. Эта технология позволяет гасить шумы различных частот.
4. «Самопоглощение» звуковых волн в резонаторе Гельмгольца.
5. Поглощение звуковых волн. Помимо камер и перфорации в корпусе глушителя присутствует звукопоглощающий материал, изолирующий шумы.

В современных автомобилях используются два вида глушителей: резонансные и прямоточные. Оба могут устанавливаться в комплексе с резонатором (предварительным глушителем). В некоторых случаях прямоточная конструкция может заменять передний глушитель.

Устройство резонатора

Конструктивно резонатор глушителя, который также называют пламегасителем, представляет собой перфорированную трубу, находящуюся в герметичном корпусе, разделенном на несколько камер. Он состоит из следующих элементов:

- корпус (имеет цилиндрическую форму)
- теплоизоляционная прослойка (выхлопные газы имеют очень высокую температуру)
- глухая перегородка (для поворота потока газов)
- перфорированная труба
- дроссель (позволяет изменять сечение потока отработавших газов)

Конструкция резонансного глушителя

В отличие от предварительного глушителя, главный резонансный глушитель устроен сложнее. Он состоит из нескольких перфорированных труб, установленных в общем корпусе, которые разделены перегородками и находятся на разных осях (рисунок 2).

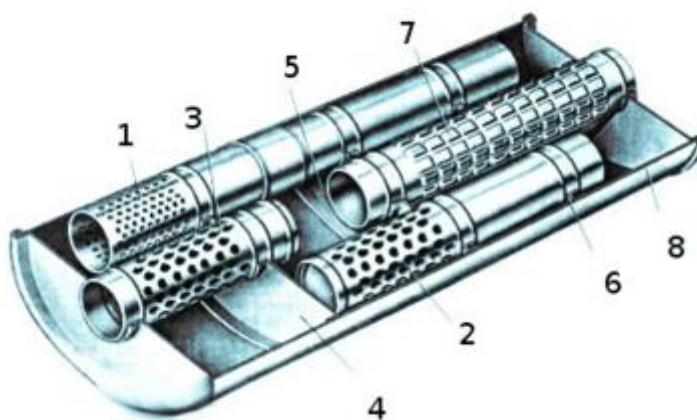


Рисунок 2 - Глушитель в разрезе

В состав резонансного глушителя входят следующие узлы.

1. передняя труба с перфорацией
2. задняя труба с перфорацией
3. впускная труба

4. передняя перегородка
5. средняя перегородка
6. задняя перегородка
7. выпускная труба
8. корпус (овального сечения)

Таким образом, резонансный глушитель использует все виды преобразования звуковых волн различных частот.

Особенности прямоточного глушителя

Основным недостатком резонансного глушителя является эффект создания противодавления, который возникает в результате перенаправления потока отработавших газов (при его столкновении с перегородками). В связи с этим многие автомобилисты выполняют «тюнинг» системы выхлопа, устанавливая прямоточный глушитель.

Конструктивно прямоточный глушитель состоит из следующих элементов (рисунок 3).

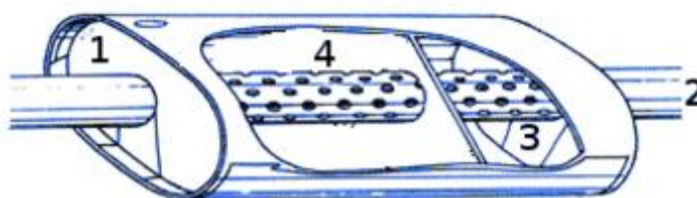


Рисунок 3 - Прямоточный глушитель

Прямоточный глушитель выполнен из следующих узлов.

1. герметичный корпус
2. выпускная и впускная труба
3. труба с перфорацией

4. шумоизоляционный материал — чаще всего используется стекловолокно, которое отличается устойчивостью к высоким температурам и хорошими звукопоглощающими свойствами

На практике глушитель-прямоток имеет следующий принцип работы: через все камеры проходит одна перфорированная труба. Таким образом, гашение шума путем изменения направления и сечения потока газов отсутствует, а подавление шумов реализуется исключительно благодаря интерференции и поглощению.

За счет беспрепятственного прохождения выхлопа через прямоточный глушитель возникающее противодавление очень мало. Однако на практике большого прироста мощности это не обеспечивает (от 3% до 7%). С другой стороны, у автомобиля появляется характерное для спортивных автомобилей звучание, поскольку присутствующие в нем шумопоглощающие технологии устраняют только высокие частоты.

От того, как работает глушитель, зависит комфорт водителя, пассажиров и пешеходов. Так при длительной эксплуатации повышенный шум может причинять серьезные неудобства. На сегодняшний день установка в конструкции прямоточного глушителя для автомобиля, перемещающегося в городской черте, является административным нарушением, которое грозит штрафами и предписанием о демонтаже устройства. Связано это с превышением норм шума, заданных стандартами.

1.3. Свойства материалов используемых при изготовлении глушителей

Как система выпуска отработанных газов автомобиля, в общем, так и автомобильный глушитель, в частности работают в агрессивных условиях эксплуатации. К характерным условиям эксплуатации глушителям относятся следующие факторы.

1. Работа в агрессивной коррозионной среде
2. Высокая температура нагрева
3. Большой перепад температур
4. Вибрация

Так же при разработке и проектировании автомобильных глушителей необходимо учесть такие факторы как, деформации и внутренние напряжения металла вследствие знакопеременных температурных перепадов, а также механических повреждений (ударов) в процессе езды автомобиля. Еще одним крайне важным свойством глушителя должно быть сохранение герметичности конструкции в процессе эксплуатации. Все эти факторы должны быть учтены при выборе материалов для изготовления глушителей.

В настоящее время применяется большой спектр как отечественных, так и иностранных материалов для производства глушителей. К ним относятся углеродистые, коррозионностойкие (нержавеющие), а также алюминизированные стали. Выбор материала осуществляется с учетом рыночной стоимости и планируемого срока эксплуатации изделия. В таблице 1 представлено сравнение потребительских свойств материалов автомобильных глушителей.

Таблица 1 - Сравнение потребительских свойств материалов автомобильных глушителей

Углеродистая сталь		Коррозионностойкая сталь		Алюминизированная сталь	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
1. Низкая стоимость 2. Хорошая обрабатываемость, свариваемость	1. Низкая коррозионная стойкость 2. Малый срок эксплуатации изделия	1. Высокая коррозионная стойкость 2. Высокая жаростойкость 3. Долгий срок эксплуатации	1. Относительно высокая стоимость	1. Высокая коррозионная стойкость 2. Высокая жаростойкость 3. Долгий срок эксплуатации 4. Эстетичный внешний вид изделия	1. Высокая стоимость изделия

В таблице 2 представлены марки сталей, используемых для производства автомобильных глушителей.

Таблица 2 - Марки сталей, используемых для производства автомобильных глушителей

Марка стали	Химический состав, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Ni	Cu	Nb
янв.12	<0,03	<1,0	<1,0	<0,04	<0,015	10,5-12,5	<0,65	-	-	-
янв.10	<0,05	<1,0	<1,0	<0,04	<0,03	16,0 - 18,0	0,15 - 0,80	-	-	-
янв.09	< 0,03	1	1	0,04	0,015	17,5-18,5	0,10-0,60	-	-	0,3-1,0
08X13	<0,08	0,8	0,8	0,03	0,025	13	-	0,6	-	-
08X12 T1	<0,08	0,8	<0,7	0,035	0,025	17-19	0,6-1,0	0,6	<0,3	-
08X17 T	<0,08	0,8	<0,8	0,035	0,025	16-18	<0,8	<0,6	<0,3	-
Ст08пс	0,05-0,11	0,05 - 0,17	0,35-0,65	<0,035	<0,04	<0,1	-	<0,25	<0,25	-

Далее будут представлены свойства наиболее часто используемых материалов.

Сталь 1.4512

«1.4512 - коррозионно - и жаростойкая стабилизированная титаном сталь по своим параметрам ближе всего к производимой в СНГ стали 08X13 и, по сути, является её улучшенным аналогом. В ней содержится сверхмалый процент углерода (0,03 - 0,08%), она не подвержена межкристаллитной коррозии и великолепно сваривается при помощи различных видов сварочного оборудования. Поскольку, по большинству характеристик 1.4512 соответствует стали 08X13, эти два материала во многих случаях взаимозаменяемы. В частности, это касается ГОСТ 5632, который предписывает изготавливать из стали 08X13 детали и изделия

промышленного и бытового применения, которые подвергаются действиям слабоагрессивных сред (солей, атмосферных осадков, органических кислот), ударных нагрузок и перепадам температур - клапаны гидравлических систем, трубы, лопатки паровых турбин, болты, клапаны и т. п. Сталь 1.4512 не только способна успешно заменять устаревшие стали с повышенным процентным содержанием никеля, но и в большинстве случаев превосходит их по свойствам и технологичности. Если сравнивать ферритные хромистые стали и никельсодержащие аустенитные марки, то первые имеют более низкий КТР (коэффициент термического расширения) и повышенную теплопроводность. Эти две характеристики обусловили преимущественное применение таких сталей (в основном, в виде трубного проката) в различных теплообменных агрегатах и установках типа охладительных градирен или систем с водяным или гликолевым заполнением. Благодаря невысокому КТР, может быть обеспечено надёжное и качественное фиттинговое крепление элементов системы с сохранением высокой скорости теплообмена, что особо важно для быстрого охлаждения резервуаров со скоропортящимися продуктами. Сварные трубопроводы и прочие металлоконструкции из ферритных хромистых сталей практически не меняют свои размеры при температурных колебаниях, имеют достаточную устойчивость к возможным утечкам рабочих жидкостей и разрушающим усталостным нагрузкам. Уникальность стали 1.4512 состоит также в том, что она может заменять отечественные марки «нержавейки», включённые Постановлением Госгортехнадзора РФ №20 от 18 апреля 1995 г. в список материалов, разрешённых для изготовления и ремонта сосудов, работающих под повышенным давлением. Согласно действующим «Правилам безопасной эксплуатации и устройства сосудов, работающих под давлением» ПБ 10-115-96 она допускается для применения при производстве конструкций и узлов нефтегазового оборудования (насадок и тарелок ректификационных колонн, деталей нефтяных сепараторов, рамок каплеулавливателей и пр.).

Одно из самых ценных эксплуатационных качеств экономлегированной стали 1.4512 - устойчивость к агрессивным газовым средам, в особенности к тем, где присутствует большое количество продуктов сгорания, образующихся в ходе сжигания топлива. Причём, материал совершенно не критичен как к виду топлива, так и к процессу самого сгорания (полное оно или неполное). Эта сталь не вступает в химическое взаимодействие ни с двуокисью углерода, ни с оксидом углерода, ни с сероводородом, ни с двуокисью серы, ни с соединениями азота и поэтому очень часто используется для изготовления труб и корпусов систем улавливания, рециркуляции, выхлопа и нейтрализации отработанных компонентов сгоревшего топлива. 1.4512 также является неременным конструкционным материалом, присутствующим в вытяжных коробах, заслонках, дымоходах и прочих элементах промышленного оборудования - там, где происходят сложные высокотемпературные окислительно-восстановительные каталитические реакции.» [2]

Основные свойства стали 1.4512

Все свойства стали 1.4512 можно разделить на несколько групп:

1. Свойства при высоких температурах.

Материал достаточно стабильно ведёт себя при термообработке и не упрочняется. Устойчив к образованию окалины до температуры 700 град. С. При высокотемпературном нагреве сохраняет все свои полезные механические свойства. Поскольку сталь 1.4512 проявляет высокую стойкость к окислению даже при нагреве до высоких температур, её можно использовать там, где марганцовистые и углеродистые стали по техническим условиям применять не допускается. Принятая классификация относит сталь 1.4512 к жаростойким, периодическая эксплуатация которых разрешена до 815 град. С, а непрерывная - при 700 град. С. Реальные допустимые

температуры эксплуатации необходимо уточнять в каждом конкретном случае. Наиболее приемлемые среды для использования стали 1.4512 - нейтральные и окислительные. В восстановительной среде применение этой марки недопустимо. При нагреве до 500 град. С включительно ползучесть материала не проявляется, после чего при высоких механических нагрузках начинается его быстрая деградация. В таких случаях в качестве замены 1.4512 лучше всего использовать стали с повышенной жаропрочностью.

2. Важнейшие физические свойства.

Плотность материала - 7800 кг/куб.м.; Модуль упругости - 200 ГПа; Усреднённый коэффициент термического расширения - 11,0 (при 100 град. С) - 12,4 (при 500 град. С); Удельная теплоёмкость - 460 Дж/кгК при 100 град. Сталь 1.4512 - ферромагнетик (хорошо магнитится).

3. Технологические свойства стали и рекомендации по её обработке.

Резка стали 1.4512 может вестись всеми распространёнными методами. Наиболее эффективны - гильотина, абразив с применением специальных беспрожоговых дисков с двуокисью кремния или оксидом алюминия (корундом) и безкислотная азотная плазменная резка. При пластической деформации 1.4512, особенно при изгибе, очень важно, чтобы величина минимального внутреннего радиуса изгиба поддерживалась равной двум толщинам материала. Деформированный металл не рекомендуется подвергать последующему обратному выгибу. Если же такая операция необходима, зону изгиба следует обязательно нагреть до 1500 град. С и гнуть материал при этой температуре. Иногда при резке изогнутой стальной заготовки появляются краевые трещины. Этого дефекта легко избежать, если резать металл с внешнего радиуса, а не с внутреннего. Трещинообразование можно устранить снятием концентратора напряжений путём подшлифовки вне шнегорadiуса. Сталь 1.4512 легко поддаётся сварке практически всеми

способами при обязательных последующих операциях очистки (протравливания) и пассивации. Соблюдение этой технологии гарантирует шву и зоне термического влияния длительное сохранение антикоррозионных свойств. Наиболее оптимальной для этого типа стали считается дуговая сварка в среде инертного газа. Энергетический режим - экономный. Сварочный инструмент при этом, как правило, располагают выше свариваемой поверхности. Наиболее оптимальный присадочный материал при дуговой электросварке - аустенитная проволока Св08Х25Н13БТЮ, Св-07Х25Н13 или аналогичная. Данная марка стали имеет сниженный деформационный наклёп относительно аустенитных сталей. Поэтому при её механической обработке использование спец инструмента и смазочно-охлаждающих жидкостей необязательно. Резание материала ведётся на низких скоростях, при небольшой подаче резца и постоянной подачи эмульсии. При сочленении деталей из стали 1.4512с помощью болтов полезно использовать прокладки из резины или другого водонепроницаемого материала.

Сталь 08Х17Т

«Сплав 08Х17Т характеризуется как жаропрочная нержавеющая коррозионностойкая сталь ферритного класса. Заменителями материала служат марки 12Х17 и 08Х18Т1. Сталь марки 08Х17Т широко используется для изготовления предметов, которые имеют свое назначение в окисленной среде и атмосферных условиях (за исключением морских, где представляется опасность точечной коррозии). Данный металл применяют при выпуске теплообменников и сварных конструкций, эксплуатация которых осуществляется при температуре не ниже -18 градусов. Из стали 08Х17Т также производят изделия, которые не подвергаются ударным нагрузкам. Сплав в значительной мере используют в машиностроении, строительстве и

топливной промышленности. Данный вид стали характеризуется, как ограничено свариваемый, а также подвергаемый отпускной хрупкости.» [3]

«Изделия, изготовленные из стали ферритного класса необходимо отжигать при температуре от 720 до 780 градусов в течение 1-2 часов. Данное условие рекомендуют соблюдать для предотвращения межкристаллитной коррозии, а также достижения максимальной пластичности. Выдерживают температуру, выходя из расчета 30 минут + 1 минута на 1 мм толщины материала. Все изделия требуют охлаждения в воде и на воздухе. Не допустим отпуск изделий при температуре в 450-550 градусов, ведь в таком случае материал получается не качественный и хрупкий. По причине того, что данный вид стали является ограничено-свариваемым, полноценные механические свойства будут обретыены только при сваривании изделий толщиной не более 3 миллиметров. Отпускная способность сплава может осуществиться при длительной выдержке температуры в 475 градусов» [4].

Виды изделий, выполняемые из стали 08X17T:

- трубы бесшовные: горячедеформированные без термической обработки (ГОСТ 9940-81), холоднодеформированные и теплодеформированные, с наличием термообработки.
- кованая сталь квадратная и круглая (ГОСТ 1133-71).
- круглая качественная сталь с отделкой поверхности (ГОСТ 14955-77).
- калиброванная круглая сталь (ГОСТ 7417-75).
- поперечные образцы (ГОСТ 5582-75) – отпуск или отжиг при температуре в 740-780 градусов.

- листы: холоднокатаные и горячекатаные (ГОСТ 7350-77) – отпуск или отжиг при температуре в 740-780 градусов, воздух.
- сталь квадратная калиброванная (ГОСТ 8559-75).
- профили фасонные из стали, высокая точность (ТУ 14-11-245-88)
- калиброванная и сортовая коррозионностойкая сталь, жаропрочная и жаростойкая (ГОСТ 5949-75).
- полосы кованые и горячекатаные произведенные из инструментальной стали (ГОСТ 4405-75).

1.4 Типы сварных соединений в системе выпуска газов автомобиля

Автомобильный глушитель в сборе – это конструкция, состоящая, в основном из однотипных элементов, таких как патрубки, фланцы и кронштейны. Корпус глушителя представляет собой согнутый в цилиндр и завальцованный лист металла. К основным технологическим операциям при изготовлении глушителей относятся такие операции как:

- Гибка
- Завальцовка
- Перфорация
- Сборка
- Сварка

Сварка является одной из наиболее важных операций при изготовлении систем выпуска отработанных газов автомобиля. При изготовлении данной конструкции выполняются несколько типов сварных соединений:

Фланец трубы приемной – приваривается кольцевым швом к патрубкам приемной трубы угловым швом со скосом кромок.

Патрубки приемной трубы – привариваются к переходнику кольцевым стыковым швом по диаметру с разделкой кромок или без неё.

Корпус глушителя – сваривается с патрубками кольцевым стыковым швом по диаметру с разделкой кромок

Кронштейны – привариваются к корпусу глушителя угловым продольным швом.

Особенностью приварки кронштейна крепления трубы приемной является большая разница толщин между свариваемыми деталями, а так же сварка двух цилиндрических поверхностей. Данные факторы затрудняют процесс получения качественного сварного соединения, ввиду склонности к образованию прожогов металла более тонкой трубы. Дополнительные

сложности возникают ввиду геометрических размеров свариваемых деталей, ограниченностью в выборе способа сварки. Материал свариваемых деталей обладает ограниченной свариваемостью.

«На рисунке 4 показаны варианты кронштейна трубы приемной глушителя автомобиля ВАЗ» [4¹].



Рисунок 4- Кронштейны трубы приемной глушителей автомобилей ВАЗ[4¹]

Таким образом, для надежной работы и долгого срока эксплуатации системы выпуска отработанных газов автомобиля, необходимо обеспечить высокое качество сварных соединений данной конструкции.

Одним из важных элементов является кронштейн крепления трубы приемной глушителя к днищу автомобиля. Однако именно здесь зачастую возникают дефекты сварки, ввиду большой разности толщин свариваемых деталей, а также других неблагоприятных факторов. Для предотвращения поломки системы выпуска газов необходимо провести исследования и выбрать оптимальный вид сварного соединения, способ и режим сварки, обеспечив при этом высокую производительность процесса.

2. Характеристика и особенности сварного соединения кронштейна крепления приемной трубы глушителя

2.1 Характеристика сварного соединения

Согласно ГОСТ 14771-76 сварку кронштейна крепления трубы приемной можно классифицировать как односторонний тип сварного соединения с отбортовкой двух кромок [14].

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер выполненного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых деталей, мм, для способов сварки				Условное обозначение сварного соединения
			подготовленных кромок	выполненного шва	ИН	ИНп	ИП	УП	
	С отбортовкой двух кромок	Односторонний			0,5 - 2,0	-	0,5 - 4,0	0,5 - 4,0	C1
					-	0,8 - 4,0	1,0 - 12,0	1,0 - 12,0	C28

Рисунок 5 – типы сварных соединений

Сварку производят без предварительной подготовки поверхностей свариваемых заготовок.

В условиях массового производства любые подготовительные мероприятия перед сваркой заготовок неизбежно ведут к увеличению затрат на производство, что не приемлемо в условиях конкуренции на автомобильном рынке. Исходя из этого, наиболее приемлемым способом решения проблем, возникающих при сварке деталей с большой разницей толщин - являются регулирование параметров технологии сварки данных деталей, а так же любые виды мероприятий, не ведущих к увеличению производственных издержек. К таким мероприятиям относится непосредственно регулирование параметров сварки деталей с БРТ, а так же смещение или изменение угла наклона сварочной дуги от более тонкой детали к более толстой.

2.2. Особенности сварки деталей с большой разницей толщин

Согласно исследованиям Казакова Ю. В. толстую «деталь можно схематизировать для тепловых расчётов как полубесконечное тело или плоский слой, а тонкую деталь - как пластину. Причём свариваемые массивную и тонкую детали можно считать деталями с большой разницей толщин, если при соединении встык или внахлёстку отношение ширины зоны расплавления B_p тонкой кромки толщиной 5, рассчитанное по предложенной формуле, $B_p/5 > 10$. Для хромоникелевых нержавеющей сталей этому условию, соответствует сочетание массивной детали толщиной более 1,5-2,0 мм с тонкой деталью, толщиной не более 0,5 мм.» [19]

«Главная трудность процесса сварки деталей с большой разницей толщин плавлением – неравномерность нагрева кромок деталей: тонкая кромка перегревается раньше, чем массивная деталь нагреется до температуры плавления, и, как следствие образуются прожоги. Поэтому основные усилия направлены на обеспечение равных теплофизических условий в зоне сварки для обеих деталей. При толщине тонкой детали менее 0,6мм сваркой плавлением без специальных приемов получить качественное сварное соединение практически невозможно. Для предупреждения перегрева тонкой детали применяют отдельный нагрев деталей. Так же, одним из возможных способов является импульсно-дуговая сварка деталей в среде аргона. Однако, импульсная дуга без специальных приемов и приспособлений не устраняет проблемы прожогов. Одним из приемов является применение теплоотводящих экранов, устанавливаемых на тонкую деталь вблизи зоны сварки. Несмотря на ряд недостатков, присущих отдельным способам и технологическим приемам, их применение позволило создать технологию сварки деталей с БРТ импульсной дугой, которая обеспечивает хорошее формирование шва» [19].

Качественное формирование шва при дуговой сварке деталей с большой разницей толщин обеспечивается при соблюдении следующей совокупности условий: источник тепла должен быть смещён на массивную деталь; тонкая кромка - зафиксирована относительно массивной детали; должен быть обеспечен отдельный нагрев тонкой кромки и массивной детали.

2.3. Способы обеспечения качественного сварного соединения при сварке кронштейна крепления трубы приемной

На рисунке 6 изображен кронштейн крепления трубы приемной. Данное сварное соединение относится к соединениям с большой разницей толщин.

Для формирования качественного сварного соединения, в условиях массового производства необходимо применить один или несколько технологических приемов, Выбрать наиболее подходящий способ сварки и определить оптимальные параметры режимы сварки. К параметрам режима сварки относятся величина сварочного тока, напряжение дуги, скорость сварки, вид защитной среды. Параметры режима сварки уточняются после выбора способа.

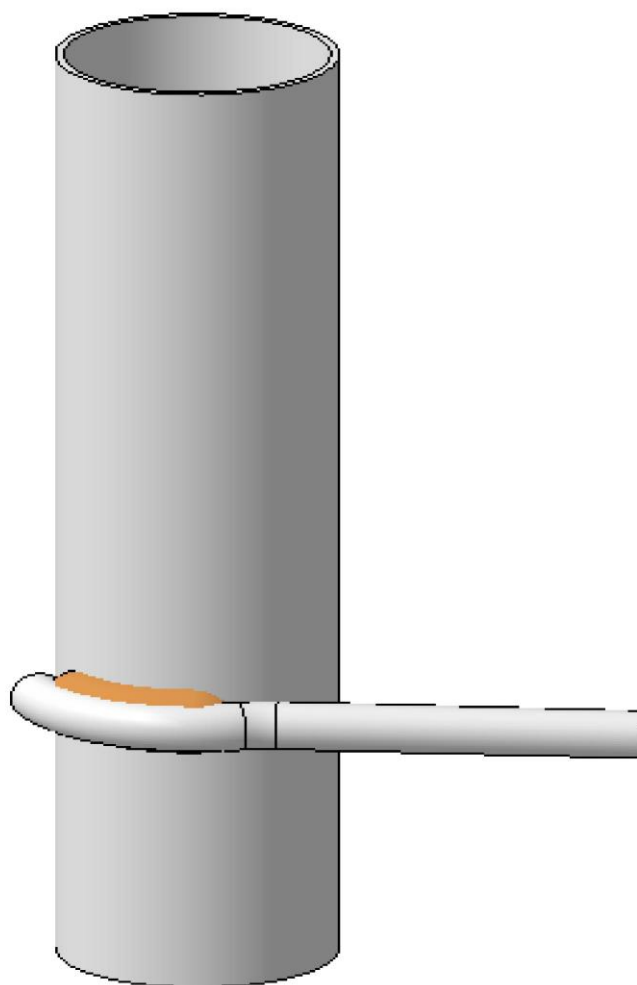


Рисунок 6 - Кронштейн крепления трубы приемной

К технологическим приемам относятся следующие приемы.

1. Раздельный нагрев деталей
2. Применение импульсной дуги
3. Применение теплоотводящих экранов
4. Смещение сварочной дуги к более толстой детали
5. Применение комбинации нескольких приемов

Выбор способа сварки в условиях массового производства ограничивается производительностью оборудования. В данном случае наиболее производительным является сварка плавлением.

Однако можно выделить несколько способов сварки, наиболее подходящих в данном случае.

1. Дуговая механизированная (или автоматическая) сварка плавящимся электродом (проволокой) в среде защитных газов.
2. Дуговая механизированная (или автоматическая) сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов.
3. Лазерная сварка.

Необходимо учитывать наличие возможности автоматизации (роботизации) процесса.

Таким образом, на сегодняшний день существует много различных способов и решений применяемых для сварки деталей с большой разницей толщин. Однако ни один из имеющихся способов не может быть универсален. В каждом конкретном случае необходим анализ путей решения проблем, возникающих при сварке деталей с БРТ. В случае, когда одним из решающих факторов является высокая производительность процесса, процесс поиска усложняется и сужается круг потенциально возможных решений. Под производительностью процесса понимаются так же и вспомогательные операции, такие как подготовка свариваемых поверхностей, позиционирование заготовок, время на наладку и обслуживание оборудования. К примеру, в современном автомобилестроении, расчет времени выполнения той или иной операции ведется не в секундах, а в сантиминутах, так это позволяет более точно вести расчеты производственных процессов. Из этого следует, что необходим тщательный анализ существующих и перспективных технологических решений, видов и способов сварки и иных факторов, способных помочь при решении проблем сварки деталей с БРТ.

3 Анализ способов сварки

3.1. Сварка неплавящимся электродом

«Сварка неплавящимся электродом в инертных газах (в международной аббревиатуре TIG — Tungsten Inert Gas) получила более широкое распространение, чем сварка плавящимся электродом» [6,7]. Схема процесса приведена на рисунке 7. Дуга 1 горит между изделием 6 и электродом 3, изготовленным из материала, имеющего высокую температуру плавления (обычно из вольфрама). Электрод расположен в горелке 4, через сопло которой вдувается защитный газ 2. Присадочный материал 5 подается в зону дуги со стороны и в электрическую цепь не включен.

Сварка может быть ручной, когда горелка и присадочный пруток находятся в руках сварщика (рисунок 7), и автоматической, когда горелка и присадочная проволока перемещаются без непосредственного участия сварщика.

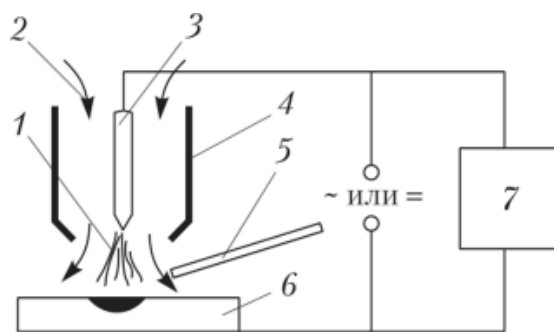


Рисунок 7 - Схема процесса сварки в защитных газах неплавящимся электродом

«При этом способе сварки зажигание дуги обычно осуществляется бесконтактным способом. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, аргон обладает достаточно высоким потенциалом ионизации, поэтому ионизировать дуговой промежуток за счет искры между изделием и

электродом достаточно сложно (при сварке плавящимся электродом в аргоне после того, как проволока коснется изделия, в зоне дуги появляются пары железа, которые имеют потенциал ионизации в 2,5 раза ниже, чем аргон, что позволяет зажечь дугу). Во-вторых, касание изделия вольфрамовым электродом приводит к загрязнению и интенсивному оплавлению электрода. Поэтому при сварке неплавящимся электродом для зажигания дуги параллельно источнику питания обычно подключается осциллятор (позиция 7) (рисунок 7). Осциллятор подает на электрод высокочастотные высоковольтные импульсы, которые ионизируют дуговой промежуток и обеспечивают зажигание дуги после включения сварочного тока. Если сварка производится на переменном токе, осциллятор после зажигания дуги переходит в режим стабилизатора и подает импульсы на дугу в момент смены полярности, чтобы предотвратить деионизацию дугового промежутка и обеспечить устойчивое горение дуги.» [23]

Поджигание дуги с помощью осциллятора называется HF Tig. У некоторых аппаратов предусмотрена программа, обеспечивающая зажигание дуги касанием, — Lift Tig [28].

«При сварке на постоянном токе на аноде и катоде выделяется неодинаковое количество тепла. При токах до 300 А 70 % тепла выделяется на аноде и 30 % — на катоде, поэтому практически всегда используется прямая полярность, чтобы максимально проплавлять изделие и минимально разогревать электрод. Все стали, и титан свариваются на прямой полярности. Алюминий обычно сваривается на переменном токе для улучшения разрушения оксидной пленки.» [23]

«Основная область применения сварки неплавящимся электродом — соединения из легированных сталей и цветных металлов. При малых толщинах сварка может выполняться без присадки. Данный способ сварки

обеспечивает хорошее качество и формирование сварных швов, позволяет точно поддерживать глубину проплавления металла.» [23]

«Достоинством этого способа сварки является также то, что, манипулируя горелкой и присадочным прутком, сварщик обеспечивает качественный прогрев кромок, точно контролируя этот процесс, не допуская прожогов и непроваров. Это очень важно при сварке тонкого металла, особенно при одностороннем доступе к поверхности изделия, а также при сварке первого (корневого) прохода при сварке труб.» [23]

«Следует отметить, что при использовании гелия (He) вместо аргона увеличивается температура дуги, а, следовательно, и глубина проплавления металла. Силы поверхностного натяжения расплавленного металла в атмосфере гелия меньше, поэтому перенос металла более мелкокапельный, лучше формирование шва, что особенно важно при сварке в вертикальном и потолочном положениях. Однако, как отмечалось раньше, затраты при сварке в гелии выше, так как он дороже аргона примерно в 6 раз. Иногда применяют смеси аргона и гелия» [27].

Область применения сварки неплавящимся электродом обширна [23,25,27, 28].

Современное название метода — сварка TIG (от немецкого Tungsten Insert Gas), буквально: сварка неплавящимся вольфрамовым стержнем в облаке инертного газа. Этот процесс проводится плавящимся электродом — сварочной проволокой. Имеет обозначение MIG/MAG. Схема процесса

Общая схема процесса сварки TIG

Электрическая дуга в процессе сварки методом TIG образуется между неплавящимся электродом и заготовкой или сварочной ванной. С целью защиты используется облако инертного газа. Тепловой поток, вызываемый электродугой, расходуется на оплавление кромок соединяемых деталей и (или) присадочного материала (проволоки). Пруток или проволока подаются в зону сварки вручную или автоматически.

Подача газа осуществляется через специальную насадку — горелку. Формирование шва осуществляется по мере остывания ванны расплавленного металла. Данный способ является достаточно сложным по исполнению, особенно, неопытными сварщиками. В процессе заняты обе руки: одна направляет горелку, другая — подает в зону электродуги присадочную проволоку. Необходимо соблюдать расстояния между электродом и заготовкой, присадочным материалом и дугой. Нарушение приводит к некачественному шву.

Сфера применения затрагивает те отрасли промышленности, где применяются высоколегированные или цветные металлы и сплавы: космическая; авиационная; медицинская; автомобильная и другие. Метод ТИГ позволяет соединять почти все металлы: черные; углеродистые и легированные стали; нержавеющей сталь; никель; алюминий, магний, титан; медь и сплавы на ее основе; золото, серебро. Кроме соединений, можно выполнять наплавку, увеличивая общую толщину металла. Несмотря на достаточно сложный процесс, способ применяется в бытовых условиях. Например, ремонт кузова автомобиля или радиатора, заварка выпускного коллектора. Режимы TIG-сварки ТИГ - режим осуществляется на однополярном (DC, Direct Current) или переменном (AC, Alternating Current) токе.

К преимуществам и недостаткам относится следующее.

К преимуществам способа сварки в - ст в защитной среде относится следующее.

1. Прогрессивный способ сварки металлов методом ТИГ обладает рядом несомненных потребительских преимуществ:
2. Образование высококачественного шва за счет надежной защиты облаком газа от негативных влияний окружающего воздуха.

3. Ограничение теплового влияния на металл в зоне шва — снижает возможность образования термических напряжений в теле детали.
4. Нет эффекта разбрызгивания металла.
5. Высокая производительность.
6. Отсутствует необходимость обработки шва.
7. Достаточно быстрое освоение и приобретение навыков работы по ТИГ-методу.
8. Широкий перечень свариваемых металлов.

Недостатки способа сварки w – ст в среде защитного газа.

1. Ограничение применения на открытом воздухе. Сильный ветер или его порывы сдувают защитный газ из зоны расплавленного металла, что приводит к нарушению процесса. Шов получается некачественным.
2. Необходимость более тщательной подготовки поверхности заготовки, по сравнению с другими способами.
3. Осложнен процесс соединения под острым углом наклона горелки к плоскости детали.
4. В зоне зажигания электродуги возникает черный след, который требуется зачищать.

3.2 Анализ применения сварки неплавящимся электродом

При выборе способа сварки кронштейна трубы приемной глушителя, прежде всего, стоит руководствоваться двумя основными характеристиками — это качество сварочного соединения, а так же производительность процесса. Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов обеспечивает довольно высокое качество сварного шва, а так же является довольно технологичным процессом. Однако производительность данного процесса невелика, в сравнении с другими

способами сварки. А это имеет решающее значение в условиях массового производства, так как, в конечном итоге повышает стоимость конечного продукта, а именно автомобиля. К тому же, для такого вида сварки необходим высокий уровень квалификации сварщика. Из этого следует, что данный вид сварки не может быть применен для изготовления рассматриваемого узла.

3.3 Лазерная сварка

«Лазер открывает возможность развития технологических процессов обработки материалов в ряде областей машиностроения и приборостроения.

Высокие плотности мощности лазерного излучения, существенно превосходящие другие источники энергии, позволяют не только значительно увеличить производительность обработки, но и получить качественно новые результаты, недоступные традиционным методам обработки.

Одним из применений лазера в машиностроении является соединение элементов сваркой.

Самое широкое применение в промышленности находит электродуговая сварка, выполняемая различными автоматами и вручную. Для защиты расплавленного металла от воздействия газов (кислорода, водорода, азота и др.), оказывающих вредное влияние на механические свойства сварных соединений, используется сварка под флюсом, в среде защитных газов (аргона, гелия, углекислого газа и др.). Распространена также контактная сварка, осуществляемая с использованием джоулевой теплоты. Также, находят свое применение диффузионная сварка и сварка трением, выполняемые пластическим деформированием ювенильных поверхностей, а также ультразвуковая сварка и сварка взрывом и др. Большую перспективу

обеспечивает развитие электронно-лучевой сварки, выполняемой в вакуумных камерах.

Фундаментальные исследования процесса лазерной сварки металлов, выполненные в ИЭС им. Е. О. Патона, МВТУ им. Н. Э. Баумана и в других организациях, позволили установить характерные особенности процесса, обеспечивающие сочетание высокой производительности и повышенного качества сварных соединений» [5]

«Механизм формирования сварного соединения при лазерной сварке металлов с глубоким проплавлением характеризуется наличием парогазового канала, что является принципиальным отличием от сварки металлов» [20] малых толщин. Основные параметры режимов лазерной сварки металла с глубоким проплавлением: мощность лазерного излучения, скорость сварки, параметры фокусирующей системы.

Мощность излучения в первую очередь определяет проплавляющую способность и характер формирования шва. Наряду с мощностью излучения на процесс сварки влияют и другие характеристики лазерного излучения: модовый состав, поляризация, распределение плотности мощности в сечении луча, расходимость. В связи с этим при переходе от одной модели лазера к другой оптимальное значение мощности для сварки может существенно меняться [9,11,12].

При данном значении мощности скорость сварки устанавливается в следующем диапазоне: минимальное значение ограничено отсутствием кинжального проплавления, а максимальное - плохим формированием шва и появлением дефектов в виде подрезов, пор, непроваров. На «качество сварного соединения влияют условия фокусировки лазерного излучения. Для сварки лазерное излучение фокусируется в пятно диаметром 0,5. .. 1,0 мм. При меньшем диаметре пятна повышенная плотность мощности приводит к

значительному перегреву расплавленного металла шва, интенсификации процессов испарения металла и вследствие этого в шве появляются дефекты. При диаметре сфокусированного лазерного излучения более 1,0 мм снижается эффективность процесса сварки.» [32]

«Геометрические параметры шва зависят от режима лазерной сварки. Оптимальной для сварки с глубоким проплавлением является кинжальная форма поперечного сечения с коэффициентом формы шва, значительно большим чем единица. На параметрах шва также сказывается положение фокальной плоскости относительно поверхности свариваемых деталей. Максимальная глубина проплавления достигается при расположении фокуса под поверхностью материала. Оптимальная величина этого смещения фокуса зависит от свойств материала, толщины деталей и режимов сварки.» [25]

«Продольное сечение сварочной ванны имеет специфическую форму (рисунок 8). Поверхность фронта кристаллизации отличается наличием выступа твердой фазы, который делит ванну на две характерные части. Нижняя часть ванны значительно заглублена и имеет малую протяжённость в продольном и поперечном сечениях, тогда как верхняя часть более широкая и вытянута вдоль шва.» [8]

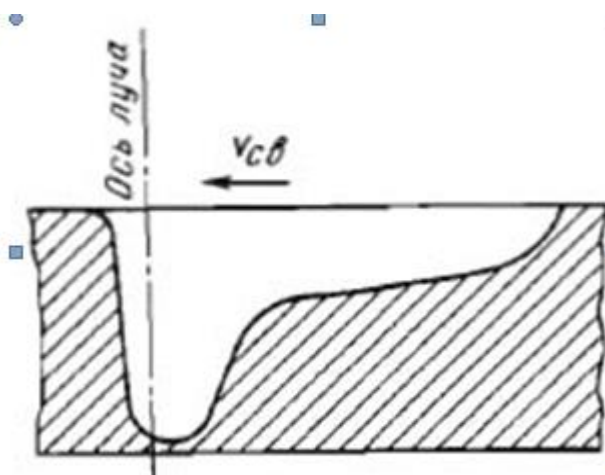


Рисунок 8 - Продольное сечение ванны при лазерной сварке

Анализ подобной формы продольного сечения свидетельствует о наличии двух процессов проплавления металла при лазерной сварке. Первый процесс определяет эффект глубокого проплавления и заключается в образовании парогазового канала при воздействии лазерного излучения высокой плотности и мощности. Это условие обеспечивает локальное заглубление сварочной ванны в месте воздействия лазерного излучения. Второй процесс представляет собой поверхностное плавление за счет теплопроводностных свойств металла. Преимущественное развитие того или иного из указанных процессов определяет очертание сварочной ванны и зависит в первую очередь от режимов сварки. » [32]

Большое влияние на проплавляющую способность лазерного излучения оказывают условия фокусировки. Наряду с оптимизацией фокусирующих систем для достижения минимального размера сфокусированного излучения необходимо обращать внимание на угол сходимости сфокусированного излучения.

Расчет основных параметров лазерной сварки металла, обеспечивающих большую производительность вместе с высоким качеством сварного соединения, затруднён сложным характером их взаимосвязи. Поэтому в основном используют экспериментально полученные зависимости, а также справочные данные.

Принципиальной особенностью лазерного источника нагрева является высокая степень концентрации энергии, обеспечивающая сварку на повышенных скоростях по сравнению с дуговыми источниками. Этим достигается незначительное тепловое воздействие на ОШЗ, высокие скорости нагрева и охлаждения металла сварных соединений. Данные специфические условия лазерной сварки решающим образом влияют на технологическую прочность, под которой в теории сварочных процессов понимают

сопротивляемость металла сварного соединения образованию горячих и холодных трещин. Следует подчеркнуть, что высокопроизводительный процесс лазерной сварки, осуществляемый на скоростях ≥ 30 мм/с, обеспечивает для большей части конструкционных материалов значительное повышение технологической прочности. Таким образом, лазерный процесс улучшает свариваемость металлов, т.е. достигается возможность получения высококачественных сварных соединений из конструкционных материалов, плохо свариваемых дугowymi источниками теплоты.

Выполнение лазерной сварки на скоростях 25 . . .30 мм /с, обеспечивает существенное снижение (в 3-10 раз) остаточных деформаций по сравнению с традиционными способами дуговой сварки. Вследствие малой ширины зоны пластических деформаций при лазерной сварке металла значения сжимающих напряжений в околошовной зоне оказываются на 40...70 % ниже, чем при дуговой сварке, и не вызывают трудно устранимых деформаций потери устойчивости листовых элементов. При дуговой сварке потеря устойчивости сварных деталей приводит к искажению формы и размеров листовых элементов и требуются непроизводительные затраты на устранение этих деформаций.

Металл шва при лазерной сварке следует защищать от окисления, используя газовую, флюсовую либо газифлюсовую защиту. Газовая защита осуществляется подачей защитного газа через сопло непосредственно в зону воздействия лазерного излучения на материал подобно дуговой сварке. Специфика лазерной сварки обуславливает применение специальных сопл (рисунок 9) и составов защитных газов, обеспечивающих как надёжную защиту, так и эффективное проплавление. На рисунке 9, а - г представлены некоторые варианты конструкций сопл, обеспечивающие наряду с защитой расплавленного металла шва также защиту ОШЗ. При сварке со сквозным

проплавлением для ряда высокоактивных металлов требуется также защита корня шва.

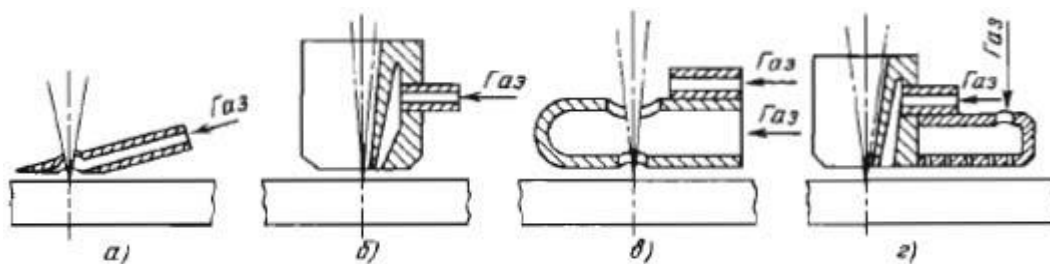


Рисунок – 9 Конструкции защитных сопл.

В качестве защитных газов при лазерной сварке могут быть использованы те же газы, что и при дуговой. Однако следует учитывать их различное влияние на экранирующее действие факела, а значит, и на эффективность проплавления. Газы, имеющие более высокие потенциал ионизации и теплопроводность, обеспечивают максимальную эффективность проплавления.

Качество защиты обеспечивается соответствующим расходом газа. При недостаточном расходе защита шва не эффективна, а излишний расход приводит к не оправданным экономическим потерям. Приблизительно можно ориентироваться на следующие экспериментально установленные расходы газов, обеспечивающие надлежащую защиту шва, м³/с: (50 .. .60)10⁻⁵ He, (15 .. .20) 10⁻⁵ Ar, (45 .. .50) 10⁻⁵ смеси 50 % He и 50 % Ar [29].

Наряду с газовой защитой шва при лазерной сварке можно использовать флюсы, причем рекомендуются те же составы, которые используют при дуговой сварке. При лазерной сварке целесообразны флюсы в виде обмазок.

Важным технологическим приемом при лазерной сварке с глубоким проплавлением является использование присадочного материала. Это даёт

возможность регулировать в широких пределах химический состав шва, обеспечивая требуемые свойства сварных соединений, исключить такие дефекты, как неравномерность проплавления, горячие трещины, холодные трещины, поры в корне шва, а также снизить требования к точности сборки деталей под сварку.

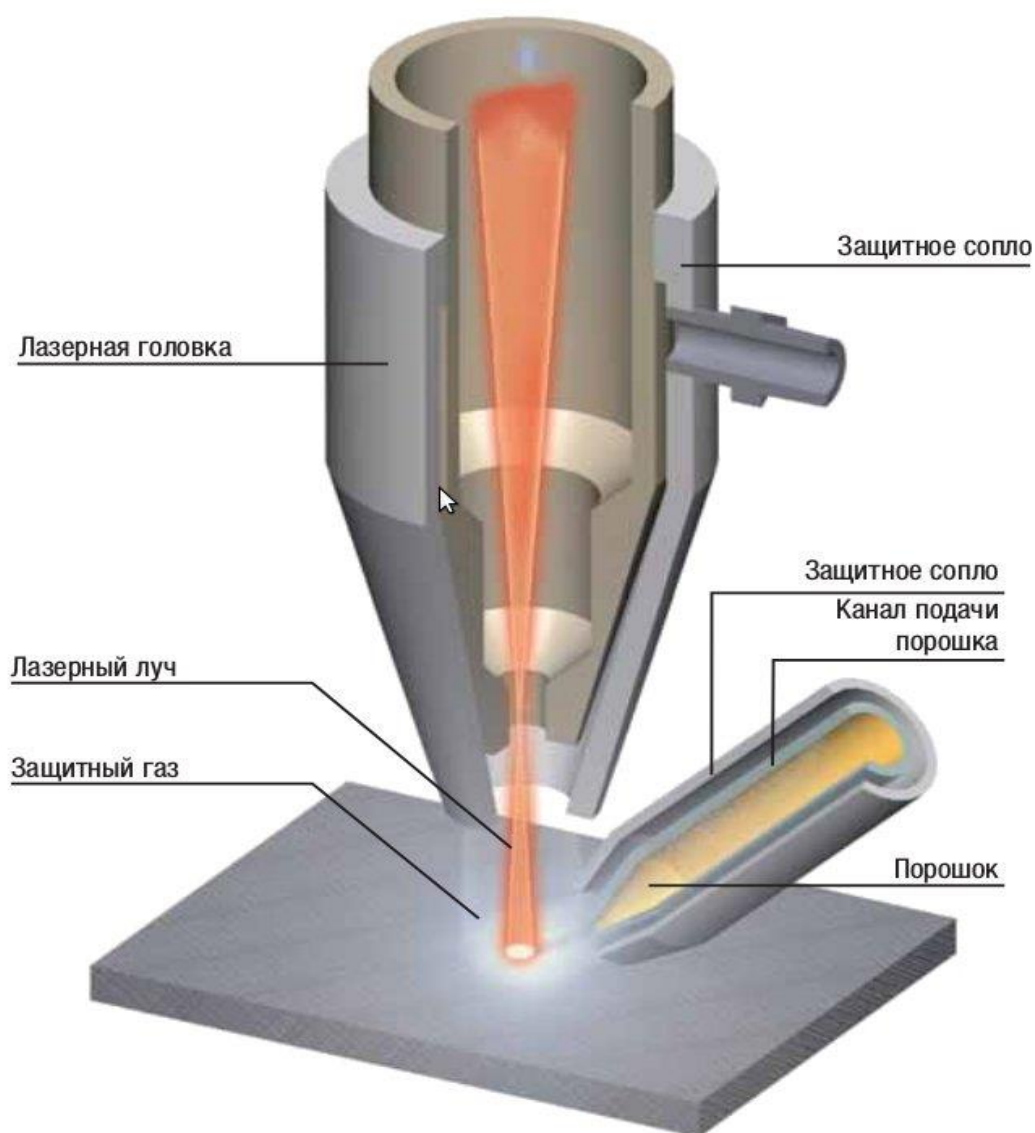


Рисунок 10 – Лазерная головка с подачей присадки

Лазерная сварка металла с присадкой выполняется теми же приёмами, что и дуговая. Особенность заключается в использовании присадочной

проволоки малого диаметра (до 1,0 мм) и точной подаче её под лазерное излучение с помощью специальных механизмов.

При лазерной сварке с глубоким проплавлением наиболее распространенными дефектами являются неравномерность проплавления корня шва, наличие полостей по высоте проплава. Увеличение скорости сварки при несквозном проплавлении приводит к снижению пикообразования в корне шва. Уменьшение пикообразования и пористости в шве достигается отклонением лазерного луча от вертикали на 15 и 170 по направлению движения луча. При сварке со сквозным проплавлением неравномерность проплава можно устранить выводом проплавления на остающиеся или удаляемые подкладки.

Одним из важных направлений в разработке технологии лазерной сварки является повышение эффективности процесса. Перспективным представляется использование импульсно-периодических режимов сварки. При частоте следования импульсов 0,4 - 1 кГц и при длительности 20 - 50 мс глубина проплавления может быть увеличена в 3-4 раза по сравнению с непрерывным режимом. Оценка термического КПД процесса проплавления при сварке показывает, что при импульсном воздействии эта величина в 2-3 раза выше, чем при непрерывном излучении. Однако, следует учитывать, что импульсно-периодическая сварка требует точного наведения луча на стык, высокого качества подготовки стыкуемых кромок, обеспечивает малую скорость сварки, уступающую в несколько раз сварке непрерывным излучением.

Повышение эффективности сварки непрерывным излучением достигается за счет осциллирования сфокусированного лазерного излучения. При этом способе сфокусированный луч периодически заглубляется в сварочную ванну вследствие колебания фокальной плоскости относительно

поверхности образца. Суть этого способа лазерной сварки состоит в том, что при увеличении скорости перемещения фронта плавления и испарения на передней стенке канала проплавления глубина проникания излучения в материал увеличивается. Повысить скорость перемещения фронта плавления и испарения можно увеличением плотности мощности на передней стенке канала. Однако при фиксированном положении фокуса относительно поверхности свариваемых деталей с углублением канала плотность мощности снижается по его высоте, за счет чего и уменьшается скорость перемещения фронта плавления и испарения в глубине канала. Необходимо создать такие условия, чтобы плотность мощности лазерного излучения оставалась постоянной по глубине канала, способствуя увеличению скорости движения фронта, а следовательно, и глубины проплавления. С этой целью предлагается осциллированные сфокусированного излучения по высоте канала. Для этого используют специальные механические или пьезоэлектрические сканаторы фокусирующей системы (линзы или объектива), обеспечивающие варьирование частоты в диапазоне 0 - 150 Гц с амплитудой колебания, равной толщине свариваемых деталей [24,26].

Осциллированные сфокусированного излучения обеспечивает при сварке большей части конструкционных материалов (сталей, алюминиевых и титановых сплавов) увеличение глубины проплавления на 40 %. Ширина шва при этом возрастает на ≈ 30 %, а коэффициент формы шва увеличивается на 10...15%. Одновременно с этим эффектом осциллированные сфокусированного излучения уменьшает колебания глубины проплавления и улучшает формирование шва, в том числе и его внешний вид. Осциллированные существенно повышает термический КПД: на 60...80 % по сравнению с общепринятой схемой лазерной сварки с неизменным расположением фокуса излучения по отношению к поверхности свариваемых деталей.

«Эффективность проплавления может быть увеличена подачей непосредственно в зону сварки дополнительного потока газа под определенным давлением. Дополнительный поток влияет на параметры плазмы в области взаимодействия излучения с материалом и на гидродинамические процессы в канале проплавления. При этом в качестве дополнительного одинаково эффективно можно использовать любой газ : например, аргон обеспечивает тот же эффект, что и гелий. Эффект увеличения глубины проплавления достигается при оптимальном давлении и расходе дополнительного газа. Последующее увеличение расхода приводит к ухудшению формирования шва, появлению в нем крупных пор, раковин. Еще больший расход газа вызовет выдувание жидкого металла, процесс сварки может перейти в процесс резки. » [32]

Разработан способ лазерной сварки с применением импульсной подачи дополнительного газа, обеспечивающий повышение эффективности проплавления при сварке. Характер изменения расхода газа определяет перемещение плазмы с поверхности изделия вглубь канале, а развитие приповерхностной плазмы ограничивается наличием постоянной составляющей газового потока. Оптимальная частота подачи газа зависит от мощности лазерного излучения, скорости сварки и свойств свариваемого материала. При этом способе обеспечиваются повышение глубины проплавления на 30 - 40 % и значительная стабилизация проплавления, что является важным фактором, в особенности при сварке с несквозным проплавлением.

Эффективность лазерной сварки может быть повышена совмещением лазерного источника нагрева с другими, менее дорогостоящими источниками теплоты. Был проведен ряд исследований, выполненных по процессу лазерно-дуговой сварке. Суммарный эффект от проплавления при этом оказывается выше, чем сумма эффектов воздействия каждого источника в

отдельности. При мощности дуги, сопоставимой с мощностью лазерного излучения, достигается максимальный эффект. В частности, скорость сварки при этом может быть повышена в несколько раз. Следует отметить экономичность лазерно-дуговой сварки по сравнению с лазерной, так как повышение эффективности процесса сварки достигается дополнительным введением относительно дешёвого источника энергии в виде электрической дуги. Необходимо усилить внимание к разработкам и исследованию процессов сварки, основанным на сочетании лазерного источника теплоты с другими - дешевыми и менее дефицитными. Такое сочетание может обеспечить сохранение и усиление положительных сторон лазерного процесса сварки (высокая степень концентрации энергии, отсутствие вакуумных камер и др.) наряду с увеличением энергетической эффективности и улучшением технико-экономических показателей.

Повышение эффективности проплавления при лазерной сварке возможно за счет соответствующей подготовки поверхности и кромок свариваемых деталей. Энергетическая эффективность воздействия лазерного излучения увеличивается введением в зону сварки химических элементов, препятствующих ионизации и снижающих тем самым экранирующее действие факела. Этот эффект достигается при нанесении на поверхность свариваемых деталей перед сваркой специальных покрытий, содержащих элементы с низким потенциалом ионизации (калий, натрий) [21].

Специфические особенности протекания процесса лазерной сварки, заключающиеся в большой концентрации энергии, высокой скорости сварки, малом объёме сварочной ванны, высокой скорости кристаллизации металла шва, обеспечивают возможность сварки в различных пространственных положениях. Это существенно расширяет технологические возможности процесса лазерной сварки.

3.4. Виды лазерной сварки

СО₂ лазерная сварка: для данного вида лазерной сварки в качестве рабочей среды используется смесь диоксида углерода, гелия и азота. Для получения лазерного луча необходима ионизация молекул газа. Этого добиваются при помощи электрического разряда постоянного или переменного тока высокой частоты. Существует несколько систем классификации СО₂-лазеров, например, по способу отвода тепла и по скорости прокачки газа [30].

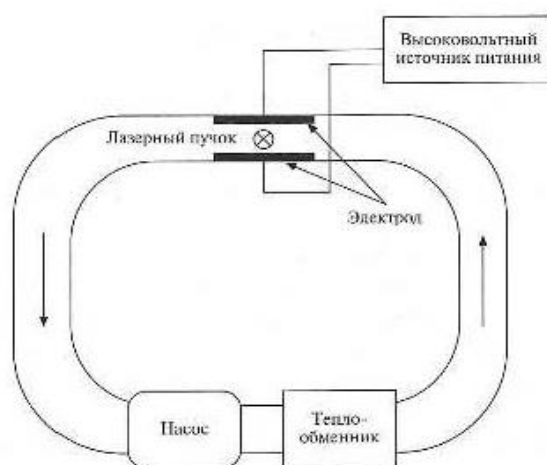


Рисунок 11 - Схема СО₂ лазера

СО₂ лазерная сварка достаточно широко применяется в автомобильной промышленности. Применяется при изготовлении различных частей силовых агрегатов, коробок передач, ступиц и валов. В авиационной промышленности данный вид сварки был применен для сварки обшивки фюзеляжей самолетов.

Сварка дисковым лазером: лазер на тонких дисках отражает цилиндрическую форму лазера. Активный материал может иметь и прямоугольную форму. Отличительной особенностью такого лазера является толщина активной среды, которая во много раз меньше поперечного размера накачиваемой активной области. Сердцем лазера является активный элемент

– тонкий диск, выполненный из алюмоиттриевого граната, легированного ионами иттербия. Диск опирается на теплоотвод, который рассеивает тепло и охлаждает диск, эффективно устраняя недостатки стержня.



Рисунок 12 - принцип работы активного элемента дискового лазера.

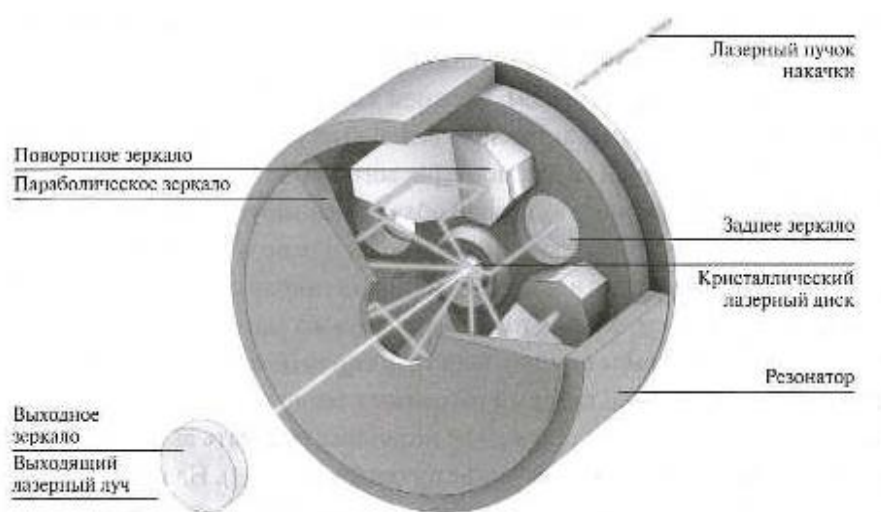


Рисунок – 13 схема резонатора дискового лазера

Гибридная лазерная сварка: сущность гибридной лазерной сварки состоит в объединении электрической дуги с лазерным лучом. Известно, что дуговая сварка плавящимся электродом в среде защитного газа расплавляет больше материала на поверхности, а применяемые присадочные материалы лучше заполняют зазоры. Тем не менее глубина проплавления сварного шва при дуговой сварке сравнительно небольшая из-за того что дуга воздействует только на поверхности. В то время как дуга улучшает качество заполнения шва, лазер увеличивает глубину проплавления и скорость сварки, что существенно повышает производительность процесса. Также плазма, образуемая при работе лазера, стабилизирует плазму, возникающую в дуговом разряде, что создает условия стабильного процесса дуговой сварки.

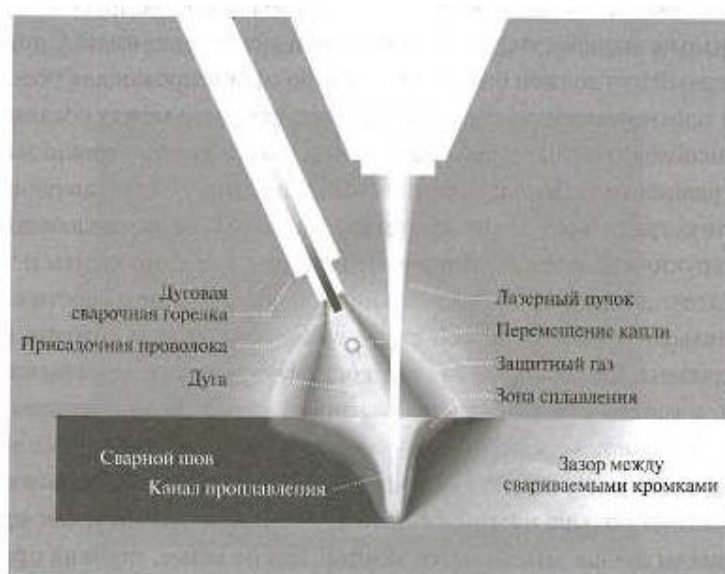


Рисунок 14 - принцип лазерной гибридной сварки

Другим большим преимуществом гибридной лазерной сварки является дополнительный подогрев свариваемых деталей дуговой сваркой, что ведет к более плавному охлаждению, что приводит к снижению таких негативных эффектов как трещины и низкая твердость.

Лазерная гибридная сварка применяется для следующих узлов и деталей [22].

- Сварка осей грузовых автомобилей
- Сварка столбов
- Сварка панелей в судостроении
- Строительство трубопроводов
- Строительство локомотивов
- Производство ребристых труб
- Производство теплообменников [22].

При гибридной лазерной сварке лазер и дуга расположены предпочтительно таким образом, чтобы они могли компенсировать и дополнять друг друга в процессе сварки, что характеризуется зоной общего взаимодействия с характеристиками отличными от характеристик дуговой и лазерной сварки по отдельности. При этом так же существует расположение, при котором лазер и дуга выступают в качестве отдельных источников нагрева в процессе сварки. В последнем, в свою очередь, возможно несколько конфигураций. При параллельном расположении существует расстояние в любом вертикальном или горизонтальном направлении между обоими источниками нагрева. При последовательном расположении первичные и вторичные источники нагрева перемещаются вдоль одной и той же траектории на определенной рабочей дистанции, и вторичный источник тепла может либо вести за собой, либо следовать за первичным источником нагрева. Первый включает предварительный нагрев зоны сварки. Это повышает эффективность процесса лазерной сварки, поскольку кромки свариваемых изделий локально подогреваются и энергетические потери за счет теплопроводности уменьшаются. Для сравнения, второй действует как короткодействующая термическая обработка сварного шва после сварки, что улучшает микроструктура металла в сварном шве. Таким образом, есть

значительная разница между параллельным и последовательным процессом. В последовательном расположении дополнительная энергия рассеивается в области сварного шва, а при параллельном только снижает тепловой поток через сварной шок. Возможность временно переместить рабочую зону позволяет гибко влиять на скорость охлаждения с целью избежание дефектов при сварке.

Одним из главных достоинств лазерной гибридной сварки является существенное увеличение скорости сварки для изделий и тонкого листа, и исключение тщательной подготовки для толстолистовых изделий.

Гибридная лазерная сварка гарантирует начальное проплавление шва независимо от интенсивности и выходной мощности в лазерном луче. В этом процессе лазер обеспечивает формирование беспористого гладкого шва без зазоров, а дуговая головка добавляет присадочные материалы, которые влияют на металлургию процесса и адгезию сварного шва к боковым стенкам заготовок. Объединение высокой скорости сварки и автоматического управления процессом приводит к высокой производительности всего технологического процесса.

3.5 Область применения лазерной сварки

Лазерная сварка применяется для работы с различными видами материалов:

- в производстве изделий из цветных металлов,
- при работе с различными видами нержавеющей сталей,
- сварка пластика и пластиковых деталей,
- работа с чугунными заготовками,

- сварка алюминиевых деталей и изделий из титана и многие другие [12].

Одним из главных преимуществ лазерной сварки является возможность работы с очень тонкими или небольшими изделиями. В зависимости от толщины изделия может использоваться лазерная микросварка, мини-сварка или макросварка. Виды сварки отличаются глубиной проплавления: до 100мкм, от 0,1 до 1мм и более 1мм соответственно.

Возможность работы с небольшими деталями позволяет применять лазерную сварку в таких областях, как

- производство устройств высокой точности,
- оборонная промышленность,
- авиакосмическая отрасль,
- производство и ремонт ювелирных украшений,
- автомобильная промышленность и многие другие [22].

Лазерная сварка предполагает использование специального луча (лазера) в качестве энергетического источника для расплавления свариваемого материала. Лазерный луч испускается специальным источником света и отличается монохромностью и одинаковой длиной волны всех фотонов в потоке. Благодаря этому лазерный луч легко настроить с помощью специальной оптической системы для увеличения мощности. В результате в процессе сваривания легко расплавляются любые материалы.

Лазерная сварка имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами сварки:

1. формирование очень узкого и высокого шва,

2. обеспечение глубокого провара изделия без наплывов с обратной стороны,
3. сваривание без перегрева изделия для сохранения его целостности и формы,
4. возможность работы с очень тонкими материалами, а также с высокоточным оборудованием и конструкциями,
5. работа без дополнительной обработки после сварки или правок,
6. высокая производительность и скорость проведения сварочных работ,
7. высокая безопасность работы сварщика при ведении лазерной сварки, а также повышенная экологическая безопасность,
8. простое обучение процессу.

Кроме того, при лазерной сварке зона термического влияния имеет узкую зону, поскольку сварка производится с высокой скоростью нагрева и охлаждения, которые также снижают неблагоприятные изменения структуры и свойств металла в ней;

- в сравнении с электронно-лучевой сваркой, лазерная сварка не требует использования вакуумных камер, что значительно сокращает время на выполнение работ и снимает ограничение габаритов изделий;
- острая фокусировка луча и возможность передачи его на значительные расстояния дает возможность сваривать в тяжело доступных местах;
- лазерная установка может использоваться для сварки на нескольких рабочих местах, поскольку луч лазера можно отклонять с помощью зеркала;

- не происходит деформация изделий, если есть, то небольшая. Высокая концентрация энергии дает возможность получать ширину сварных швов в 2-5 раз меньше, с большим на порядок соотношением глубины провара к ширине шва, что дает возможность уменьшить деформацию деталей до 10 раз.

Существенным недостатком лазерной сварки может быть:

1. высокая стоимость оборудования,
2. более низкий КПД по сравнению с другими методами.

3.6 Анализ применения лазерной сварки

Лазерная сварка является сравнительно молодым и перспективным способом соединения материалов. Однако, данный способ сварки имеет ряд несомненных преимуществ перед другими способами. Во-первых, она обеспечивает высокое качество сварного соединения, за счет минимального теплового воздействия на металл при сварке, а также околошовную зону. Как следствие свариваемые детали наименее подвержены деформациям после процесса сварки. Лазерная сварка обеспечивает высокую прочность конструкции. Во-вторых, может производиться с более высокой скоростью, что увеличивает производительность процесса. К тому же, данный способ сварки является высокотехнологичным. Он позволяет вести сварку в различных пространственных положениях и может быть применен к любым типам сварных соединений. Исходя из вышесказанного, применение лазерной сварки целесообразно для изготовления кронштейна приемной трубы глушителя.

4 Применение лазерной сварки в автомобильной промышленности

Современные лазерные источники с высокой яркостью - это ключ к высокоэффективному производству в автомобилестроении. Улучшенное качество и высокая энергетическая эффективность позволили лазерным методам конкурировать с другими традиционными сварочными технологиями. Например, с контактной точечной сваркой.

Важным преимуществом лазерной сварки является то, что она предоставляет возможность вести сварку на очень коротких участках, что означает снижение веса изделия, свободу дизайнерской мысли, удобство одностороннего бесконтактного доступа к зоне сварки и, при этом, высокую производительность.

В связи с современными тенденциями к созданию автомобилей с облегченной конструкцией, трендами нового дизайна, стремлением совместить высокую эффективность с экологичностью, появляется все больше новых задач в автомобилестроении.

В современной концепции автомобиля, например для облегченного кузова, Audi A6/A7 используется сложная композиция из комбинаций материалов различных классов включая алюминиевые панели, литые части и экструзионные профили со стальными панелями.

С одной стороны, к высокопрочным материалам, используемым в деталях с повышенным риском разрушений, предъявляются повышенные требования по безопасности. С другой стороны, постоянно растут экологические требования, такие как сокращения выбросов в атмосферу углекислого газа, что заставляет сокращать потребление топлива и подталкивает к использованию электродвигателей.

Однако, одним из возможных решений может служить снижение веса автомобиля. Так, кузов является одной из основных частей автомобиля, который во многом и определяется его будущий вес. С этой точки зрения, снижение массы автомобильного кузова поможет решить эти проблемы. При разработке конструкции облегченного кузова все чаще используются сочетания материалов разных классов. И здесь незаменимым становится использование лазерной сварки.

4.1 Применение лазерной сварки на ОАО «АВТОВАЗ»

Лазерная сварка не очень широко применяется на ОАО «АВТОВАЗ». Однако этот способ сварки является очень перспективным и может быть применен для множества узлов автомобиля.

1. Сварка и пайка элементов кузова одной толщины из однородных материалов;
2. Сварка и пайка элементов разной толщины из однородных материалов;
3. Сварка и пайка элементов кузова одной толщины из разнородных материалов;
4. Сварка и пайка элементов разной толщины из разнородных материалов.

На рисунках 15 и 16 обозначены узлы и детали, для которых применяются современные способы сварки.



Рисунок 15 – Перспективные направления применения лазерной сварки на автомобилях ОАО «АВТОВАЗ»

Для изготовления автомобиля применяются стали различных классов толщин и марок.

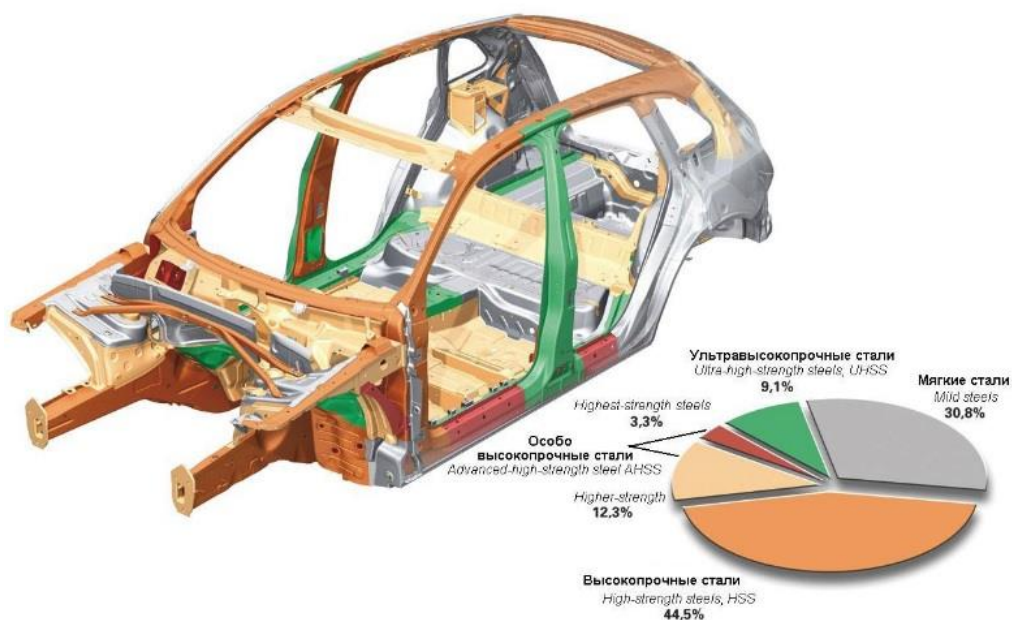


Рисунок 16 – Соотношение сталей, применяемых для изготовления автомобиля

Поэтому применение лазерной сварки на ОАО «АВТОВАЗ» несет следующие преимущества:

- Возможность лазерной сварки листовых заготовок одного сортамента и толщины.

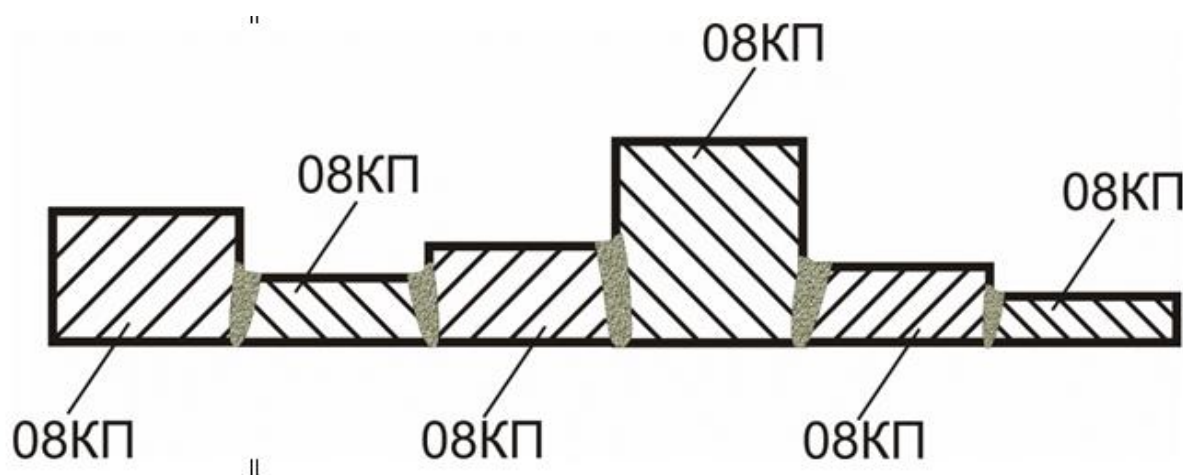


Рисунок – 17 листовые заготовки одного сортамента и толщины.

- Возможность лазерной сварки листовых заготовок разного сортамента одной толщины.
- Возможность лазерной сварки листовых заготовок одного сортамента переменной толщины.
- Возможность лазерной сварки листовых заготовок разного сортамента переменной толщины.

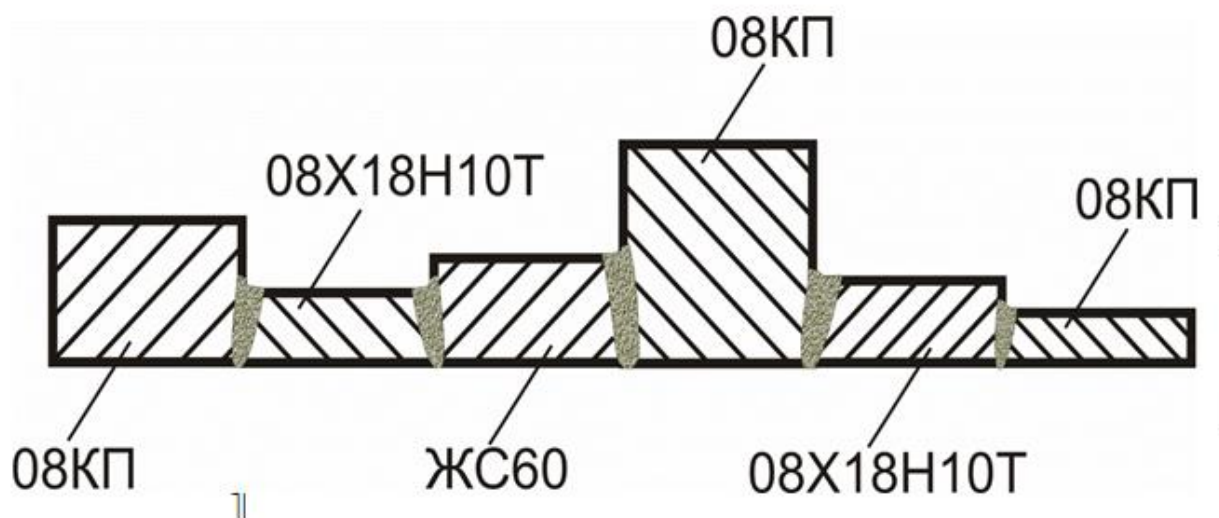


Рисунок 18 - листовые заготовки разного сортамента переменной толщины

- Возможность лазерной сварки деталей кузова.
- Возможность лазерной пайки деталей кузова

Таким образом, есть возможность получения деталей равнопрочной конструкции (двери, крыша, лонжероны и т.д.).

4.2. Выбор оборудования для лазерной сварки

Методы сварки лазером классифицируют по нескольким признакам. Разновидность отличаются по техническим характеристикам и экономическим аспектам. Эти особенности учитываются при выборе конкретной установки.

Каждый вид различается плотностью мощности. Проводится процесс при $E=1-10 \text{ МВт/см}^2$. Если уменьшить этот показатель, то другой вид сварки будет более экономически пригодным, к одному из таких относится электродугуговая. Применяют три главных режима, которые отличаются по нескольким параметрам.

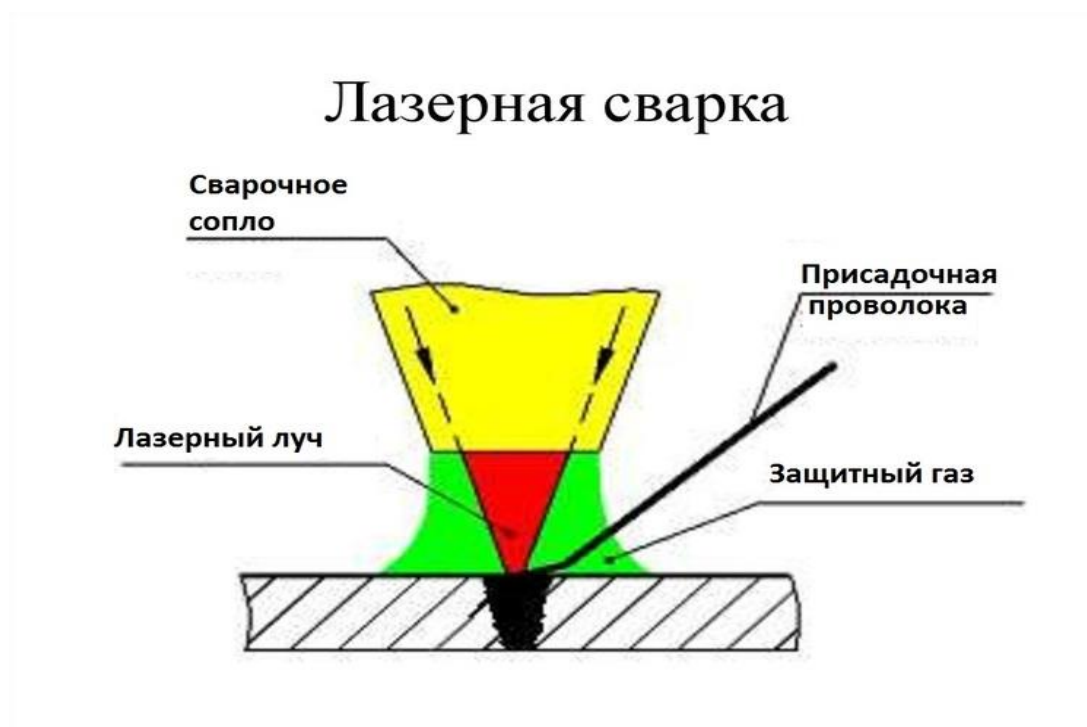


Рисунок 19 - Конструкция лазера с применением защитного газа.

Схема рабочей области включает в себя несколько важных элементов. Лазерный луч выходит из сопла, присадочная проволока обеспечивает усиление шва, а защитный газ противостоит негативным условиям окружающей среды.

Рациональный метод выбирается по конкретным условиям, что позволит получить желаемый результат с минимальными экономическими затратами.

Важно параметры режима сварки конструкционных сталей лазером выбирать индивидуально. Это напрямую зависит от конкретных условий и поставленных задач.

По экономическим показателям.

Первым экономическим аспектом считается скорость сваривания. Он регулирует производительность. Использование лазерных установок непрерывного типа осуществляется на скоростных режимах, которые в 15 раз интенсивнее, чем у простых видов сварки [10].

Такой фактор, как сокращение затрат металла. Например, обработку детали толщиной 30 мм реализуют за 1 проход без подготовительных мероприятий и использования присадок. Для сварки ручного вида требуется два- три заходов.

Концентрированный лазерный луч локального действия – это последний фактор. Благодаря такому действию есть возможность получить сварное закрепление в области с небольшой площадью и сложно доступных местах.

По технологическим показателям.

Сварка лазером разделяется на метод небольших толщин и обработку глубокого действия. Последнюю разновидность, как правило, используют без присадок, хотя для улучшения степени проплавления и повышения качества свариваемости в зону воздействия подают присадочный материал.

Оборудование необходимое для лазерной сварки металлов при проведения точечной или сплошной лазерной сварки необходимо:

- лазер с источником питания;
- блок оптической фокусировки;
- механизм перемещения луча в рабочей зоне;
- приспособления для подачи инертных газов для защиты рабочей области.

Известно , что по конструкции активного излучателя все аппараты лазерной сварки разделяют на два типа: газовые и твердотельные [10].

На рисунке 20 и 21 приведен внешний вид комплект оборудования для лазерной сварки, который приобретен для проведения исследовательских работ по сварке лазером. Установки работают в непрерывном и импульсном режимах, легко настраиваются на заданные параметры.



Рисунок 20 - Аппарат для лазерной сварки ЛТА4-1



Рисунок 21 - Аппарат для лазерной сварки ЛТСК435-20

Оба типа могут работать как в импульсном, так и в непрерывном режиме.

Лазеры с твердым активным элементом излучают световой поток как непрерывно, так и дискретными импульсами (рисунок 21). Активный излучатель делают из розового искусственного рубина, смешивая оксид алюминия и ионы хрома. Торцы стержня полируют, создавая на них зеркальные поверхности, отражающие свет. Ионы хрома, облучаемые излучением лампы накачки, переизлучает свет на частоте работы лазера.

Функционирование их проходит следующим способом.

Стержнеобразный активный элемент помещен вместе с лампой накачки внутри рабочего корпуса.

Энергия периодических вспышек лампы накапливается в активном элементе, фокусируясь и отражаясь от торцевых зеркал.

По достижении порогового значения интенсивности светового пучка он проходит излучение рабочего импульса.

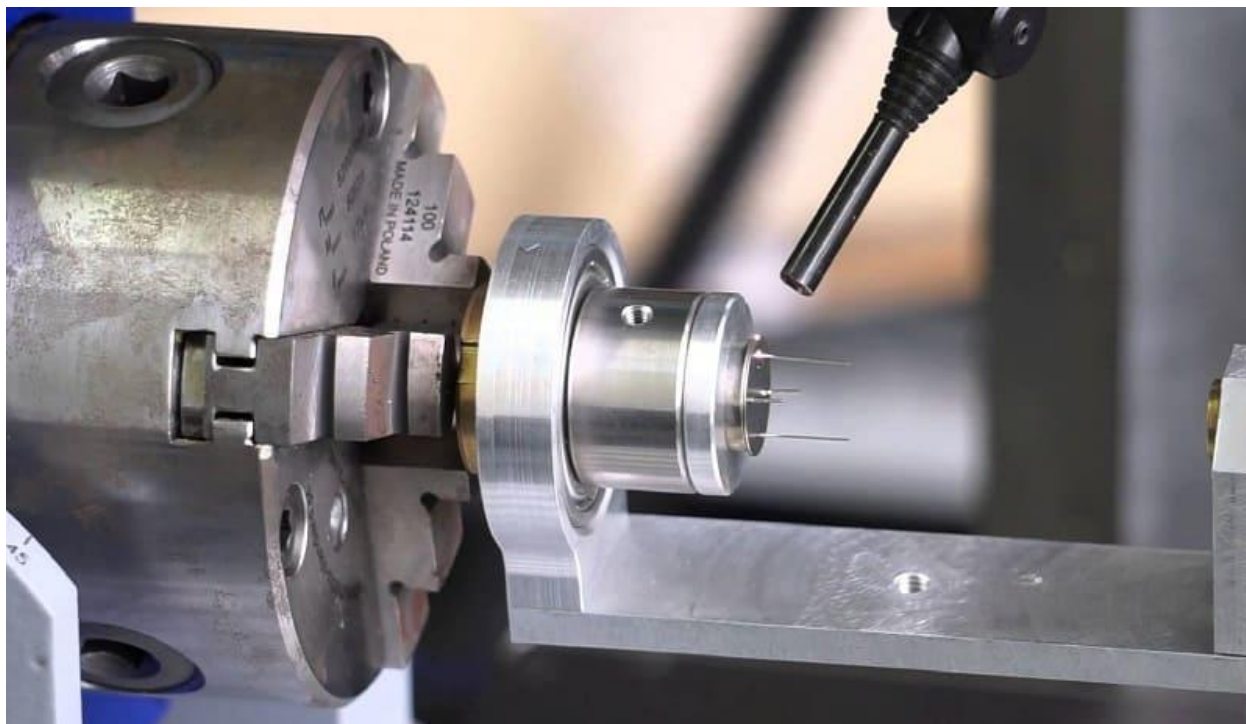


Рисунок 22 - Лазер с твердым активным элементом

Аппараты с твердым активным телом работают на волне длиной 0,69 микрон. Мощность их достигает нескольких сотен ватт.

Установки с газообразным активным телом потребляют более высокое напряжение, и позволяет развивать большую мощность — до десятков киловатт [10]. Лампа накачки облучает в таких приборах не твердотельный стержень, а газовую смесь в колбе. Для смеси используют углекислый газ, азот и гелий. Она находится под давлением в несколько атмосфер. Два (или более) электрода периодически инициируют электрический разряд в газовой

смеси. Импульс так же усиливается многократным отражением от торцевых зеркал. Когда интенсивность достигает порогового значения, когерентный импульс проходит через полупроницаемое зеркало и сквозь оптическую систему направляется в рабочую зону (рисунок 23).

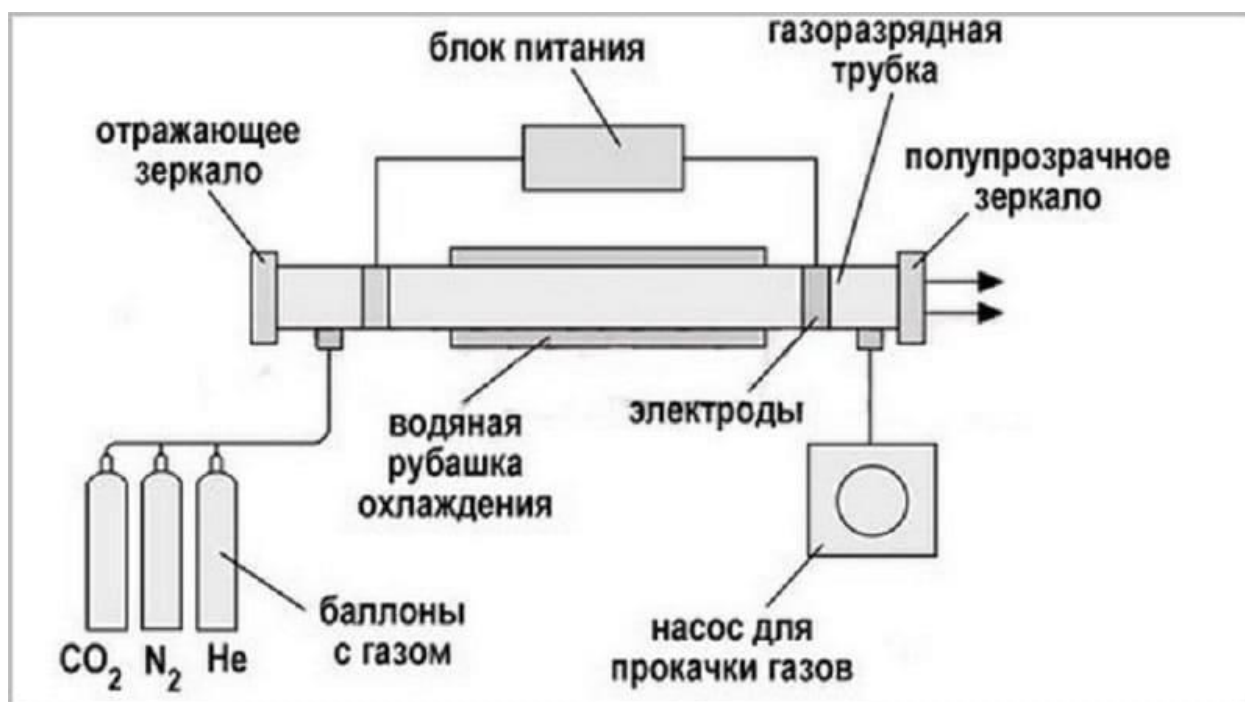


Рисунок 23 - Схема аппарата с элементом на основе газовой среды.

Газовые установки работают с длинами волны около 10 микрон. Практический коэффициент полезного действия доходит до 15%.

4.3. Технологический процесс сварки

Технологический процесс сварки кронштейна трубы приемной должен в первую очередь соответствовать двум критериям. Первый – это обеспечивать хорошее качество сварного соединения, без наличия дефектов. Второй – это обеспечивать высокую производительность процесса. На основе анализа различных видов и способов сварки выглядит перспективным применение гибридной лазерной сварки. Данный вид сварки удовлетворяет оба критерия процесса изготовления кронштейна трубы приемной глушителя автомобиля.

«Как показали в своих работах Уильям Стин и др объединение лазерного излучения с электрической дугой позволяет разрабатывать новые сварочные технологии, имеющие значительные преимущества, по сравнению с лазерной сваркой. К этим преимуществам относятся, в первую очередь, глубокое проплавление, низкий уровень остаточных деформаций и снижение требований к стыковке свариваемых кромок» [34].

Гибридная лазерная сварка в большой степени нивелирует недостатки как лазерной, так и дуговой сварки. Гибридная лазерная сварка несомненно обладает рядом преимуществ, однако, для их достижения необходимо правильно выбрать ряд параметров.

- «Лазерная мощность. Увеличение этого параметра, как правило, повышает глубину проплавления. При гибридной лазерно-дуговой сварке это явление усиливается из-за уменьшения отражательной способности металла, нагретого дугой.» [25]
- «Скорость сварки. Со снижением скорости сварки глубина проплавления увеличивается из-за повышения энергии, вкладываемой

на единицу длины шва. Кроме того, стабильность подачи и плавления сварочной проволоки улучшается на более низких скоростях сварки.»

- «Относительное расположение сфокусированного лазерного излучения и дуги плавящегося электрода. Расстояние между осью лазерного излучения и концом проволоки является одним из наиболее важных параметров оптимизации гибридной лазерно-дуговой сварки. Его обычно выбирают небольшим (до 2 мм). Кроме того, важными факторами формообразования сварных швов являются положение дуговой горелки впереди или сзади по ходу сварки, а также угол ее наклона. » [25]
- «Положение фокуса. Максимальная глубина провара при лазерно-дуговой сварке обычно получается при фокусировке лазерного пучка под поверхность свариваемых листов на глубину 2...4 мм. » [25]
- «Угол наклона электрода. Глубина провара возрастает с увеличением угла электрода к поверхности заготовки до 50 градусов. Поток газа, выходящего из дуговой горелки, отклоняет парогазовый факел, образованный лазерным излучением, и уменьшает потери лазерной энергии (особенно при использовании CO₂-лазеров). Поэтому угол наклона электрода к поверхности заготовки часто составляет порядка 40-50 градусов. » [25]
- «Состав защитного газа. Как правило, применяют инертный газ (гелий, аргон или их смеси). При использовании CO₂-лазеров требуется защитный газ с более высоким потенциалом ионизации для препятствования образованию плазмы, способной отклонять или поглощать лазерное излучение. Поэтому для лазерной сварки гелий предпочтительнее аргона. Однако, легкость гелия является недостатком, поэтому его часто используют в смесях с более тяжелым

аргоном. Кроме того, для увеличения глубины проплавления добавляют химически активные газы, такие как кислород и двуокись углерода. » [25]

- «Модуляция мощности дуговой составляющей. Обычно для питания сварочной дуги используется постоянный ток. Также часто используют импульсный режим для уменьшения разбрызгивания при сохранении глубокого проплавления. Повышение сварочного напряжения способствует расширению шва, что снижает коэффициент формы шва (отношение глубины провара к его ширине) для одной и той же мощности лазера. Поэтому напряжение на дуге (и скорость подачи проволоки) повышают при необходимости сварки неплотно прилегающих кромок. Сварочный ток, как правило, прямо пропорционален диаметру сварочной проволоки. Увеличение сварочного тока способствует повышению глубины провара и коэффициент формы шва. » [25]
- «Стыковка свариваемых кромок. Для лазерной сварки допустим зазор между кромками до 0,2 мм. Большие зазоры приводят к таким дефектам, как провисание шва или отсутствие сплавления. Гибридная лазерно-дуговая сварка позволяет соединять детали с зазорами до 1 мм и больше (при высоких скоростях подачи проволоки). » [25]
- «Подготовка кромок. Для обычной лазерной сварки необходимы кромки с параллельными прямыми краями и узким зазором. Для дуговой сварки применяют разделку кромок (чаще всего V-образную). В случае гибридной лазерно-дуговой сварки требования к подготовке кромок ниже, чем для лазерной сварки. Разделку кромок, как правило, применяют для толщины материала превышающей 8-10 мм. » [25]

Основной проблемой, относящейся к качеству сварного соединения в процессе приварки кронштейна к трубе являются прожоги, так как труба имеет малую толщину относительно толщины привариваемого кронштейна. Данная проблема будет решена следующим образом. Будет применена гибридная лазерная сварка, с двумя последовательными источниками нагрева. Первый источник – лазер. Он будет направлен на тонкую деталь – трубу. За счет очень гибкой настройки тепловложения в металл в зоне сварки будет достигнуто расплавление трубы толщиной 1мм на глубину 0,6-0,8мм, что не будет приводить к прожогам. Вторым источником тепла – электрическая дуга. Способ сварки – дуговая сварка проволокой в среде защитных газов (углекислый газ). Дуга направляется на кронштейн, имеющий толщину 5мм. Расплавленный металл из сварочной ванны, полученной от электрической дуги, в процессе сварки заполняет зазор между свариваемыми деталями, перемешиваясь с расплавленным металлом от лазерного источника нагрева. Таким образом, исключается возможность прожога тонкой трубы, вследствие ограниченного тепловложения.

На рисунке 24 приведена схема гибридной сварки с последовательным расположением источников нагрева, где 1 – источник лазерного излучения, 2 – источник сварочной дуги, 3 – лазерный луч, 4 – пятно нагрева поверхности детали, 5 – сварочный шов. Схема иллюстрирует расположение лазерного излучения и сварочной дуги [32,34].

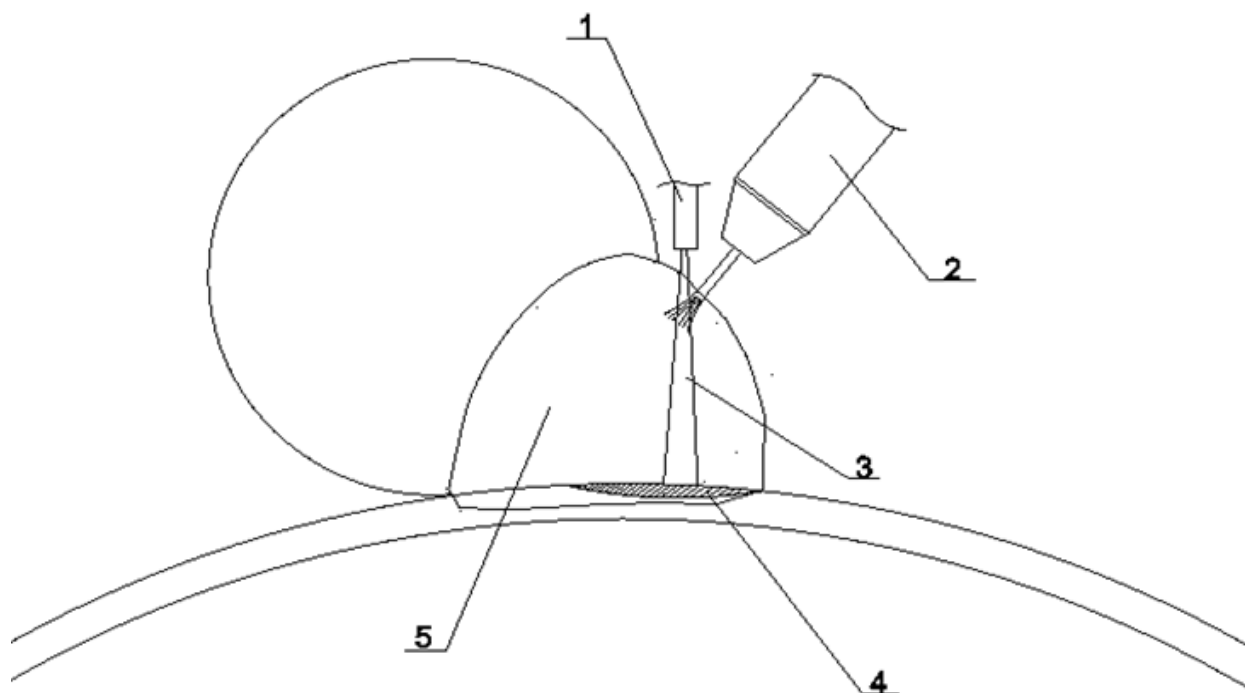


Рисунок 24 – Принципиальная схема гибридной сварки с последовательным расположением источников нагрева

При выборе режима сварки дугового источника тепла необходимо исходить из того, нет необходимости в очень глубоком проплавлении кронштейна, так как основной задачей является недопущение прожога тонкой детали. В то же самое время количество расплавленного металла в сварочной ванне должно быть достаточным для заполнения зазора между свариваемыми изделиями. В такой ситуации выглядит целесообразным выбор режима дуги с более низкими значениями силы тока и напряжением сварочной дуги. Данные параметры хорошо известны и широко применяются во многих областях промышленности, включая автомобилестроение.

Толщина свариваемого материала, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа, л/м	Вылет электрода, мм
1,5	0,8-1,0	95-125	19-20	220-300	6-7	8-10
1,5	1,2	130-150	20-21	150-200	6-7	10-13
2,0	0,8-1,0	120-150	20-21,5	250-400	6-8	9-11
2,0	1,2	130-170	21-21,5	150-250	6-8	10-13
2,0	1,0-1,2	180-200	22-23	280-400	8-9	9-13
3,0	1,2-1,4	200-220	22-23	380-420	8-9	10-13
3,0	1,2-1,4	290-300	23-25	460-490	10-11	10-13
4,0	1,2-1,4	300-350	25-30	490-680	11-12	10-13
5,0	1,2-2,0	250-300	28-30	--	14-16	12-20
6,0-8,0	1,2-2,0	280-300	28-30	--	16-18	14-20
8,0 и более	1,2-2,0	280-300	28-30	--	16-18	14-20

Рисунок 25 - Выбор режимов сварки проволокой в среде углекислого газа.

Исходя из таблицы, выбираем параметры режима дуговой сварки. Однако стоит учитывать в нашем случае нет необходимости проплавления кронштейна диаметром 5мм на всю толщину. В данном случае вполне достаточным будет проплавление на глубину до 2 мм. Таким образом, параметры режима сварки дугой будут такими, как приведено ниже.

- Сварочный ток, А – 120.
- Напряжение дуги, В – 20.
- Диаметр сварочной проволоки, мм – 0,8.
- Скорость подачи проволоки, м/ч – 400.
- Расход газа, л/м – 7.
- Вылет электрода, мм – 9.

Сварочной проволокой, которая применяется при изготовлении кронштейна приемной трубы автомобильного глушителя является проволока

марки Св08Г2С. Данная марка сварочной проволоки обеспечивает хорошие характеристики сварного соединения и успешно применяется на ОАО «АВТОВАЗ».

При лазерной сварке мощность источника, как правило, подбирается эмпирическим и опытным путем для каждого отдельно взятого случая. Однако, и в общем случае существуют некоторые рекомендации по подбору мощности источника. В таблице (рисунок 24) представлена мощность источника в зависимости от толщины и типа свариваемой стали.

Мощность	Нержавеющая сталь	Углеродистая сталь	Оцинкованная сталь	Алюминий	Латунь Бронза
500 Вт	0,5 - 0,8 мм	0,5 - 0,8 мм	0,5 - 0,8 мм	-	-
750 Вт	0,5 - 1,2 мм	0,5 - 1,2 мм	0,5 - 1,0 мм	-	-
1000 Вт	0,5 - 1,5 мм	0,5 - 1,5 мм	0,5 - 1,2 мм	0,5 - 1,5 мм	0,5 - 1,0 мм
1500 Вт	0,5 - 3,0 мм	0,5 - 3,0 мм	0,5 - 2,5 мм	0,5 - 2,0 мм	0,5 - 1,5 мм

Рисунок 26 – Выбор мощности источника лазера

В нашем случае для расплавления трубы толщиной в 1мм подходит источник мощностью 750Вт. Однако, более точные значения параметром сварки должны быть получены экспериментально - опытным путем

Заключение

Автомобилестроение – это огромная отрасль промышленности. Зачастую, именно здесь появляются передовые и инновационные решения производственных задач. Однако, и в данной области часто возникает ряд нерешенных проблем. Ключевыми задачами является повышение качества продукции и снижение затрат, которое может быть достигнуто различными способами.

Данная выпускная квалификационная работа призвана решить эти задачи. В ходе работы были проведен анализ существующих методов производства трубы приемной глушителей автомобилей на конкретном предприятии, а именно ОАО «АВТОВАЗ».

Был проанализирован ряд способов, повышающих производительность и качество сварного соединения. Принципиальной проблемой, которая решалась в ходе работы была проблема большой разницы толщин свариваемых заготовок. В ходе поиска решения найден, и проработан ряд научных источников по данной тематике, таких как: научные статьи, диссертационные работы, публикации в различных научных изданиях и журналах, электронные ресурсы и др. Был предложен ряд решений, способных потенциально решить проблему, обозначенную в данной работе. На основе анализа данных решений был выбран наиболее подходящий способ.

Однако, в ходе дальнейшей проработки, на основе ранее известного, был предложен, абсолютно новый, не применявшийся ранее способ сварки данного изделия – гибридная лазерная сварка. Гибридная лазерная сварка известна еще с начала 1980-х годов. В данной работе предложен принципиально иной способ применения данного вида сварки. А именно –

использование лазерного источника тепла для предварительного расплавления металла. Этот способ позволит принципиально решить образование дефектов в таких типах сварных соединений, как детали с большой разницей толщин.

В результате, данный способ позволит одновременно повысить качество сварного соединения и производительность процесса. И как следствие снизить временные и финансовые затраты предприятия на производство изделий. А конечный потребитель получит более качественный продукт, отвечающий современным требованиям безопасности. Предложенный способ гибридной лазерной сварки может быть реализован как механизированный процесс, и так же есть перспектива для полной автоматизации, а также более широкого его применения. Так как довольно часто возникает необходимость соединения деталей с большой разностью толщин, данная проблема характерна для многих отраслей производства и является, предметом научных исследований и по сей день.

Таким образом, данная работа позволит решить поставленные задачи.; повысить качество сварного соединения при большой разнице свариваемых толщин и повысить производительность. Полученное решение может быть внедрено на производственном предприятии, применяющем сварку деталей с большой разницей толщин.

Список используемой литературы

1. Система выхлопа отработанных газов автомобиля// Электронный ресурс https://amastercar.ru/articles/engine_car_27.shtml
2. Принцип устройства автомобильного глушителя// Электронный ресурс <https://techautoport.ru/dvigatel/vypusknaya-sistema/glushitel.html>
3. Характеристика материала AISI 409. // Электронный ресурс <http://balticinox.abiatectest1.of.by/ru/catalog/~showobj/id/AISI409>
4. .Коррозионностойкие стали// Электронный ресурс <http://specural.com/articles/12/stal-08h17t-harakteristiki-primeneniye-analogi.html>
- 4¹ Тентяков Д.В. Свара деталей с большой разницей толщин //Сб. материалов XIV и XV студ. науч.-техн.конф. «Сварка-пайка-обработка металлов давлением» /под ред. В.В.Ельцова, А.С.Климова .- Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019.- С. 135-136.
5. Казаков Ю.В. Сварка деталей с большой разницей толщин: Автореферат. // Электронный ресурс <https://dlib.rsl.ru/viewer/01003065461#?page=8>
6. Сварка неплавящимся электродом. Сущность процесса.// Электронный ресурс https://studref.com/528926/tehnika/svarka_neplavyaschimsya_elektrodom
7. Что такое ТИГ сварка. Сущность способа. // Электронный ресурс <https://wikimetall.ru/metall Obrabotka/svarka-tig.html>
8. Лазерная сварка металла. // Электронный ресурс <http://weldzone.info/technology/lazernaya-svarka/857>

9. Лазерная сварка. Преимущества и недостатки. // Электронный ресурс <https://weldering.com/lazernaya-svarka>
10. Оборудование для лазерной сварки: технология и устройства. // Электронный ресурс <https://svarka.guru/vidy/thermo/lazernaja.html>
11. Андрей Горбунов. Лазерная сварка металла. // Электронный ресурс <https://stankiexpert.ru/spravochnik/svarka/lazernaya-svarka-metalla.html>
12. Катаяма С. Редактор оригинального издания: Справочник по лазерной сварке: Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015 - 704с.+34с. ISBN 978-5-94836-420-9
13. ГОСТ 28915-91. Сварка лазерная импульсная. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
14. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
15. ГОСТ 11969-79. Сварка плавлением. Основные положения и их обозначения.
16. ГОСТ 29273-92. Свариваемость. Определение.
17. ГОСТ 23870-79. Свариваемость сталей. Метод оценки влияния сварки плавлением на основной металл.
18. ГОСТ Р ИСО 17659-2009. Сварка. Термины многоязычные для сварных соединений.
19. Казаков Ю. В. Сварка деталей с большой разницей толщин : автореферат дис. д. т. н. Тольяттинский гос. Ун-т, Тольятти, 2007. – 34с
20. Сварка деталей с большой разницей толщин. // Электронный ресурс <http://tekhnosfera.com>

21. Эффективность лазерной сварки. // Электронный ресурс <http://mash-xxl.info>
22. Ю. Г. Козырев Применение промышленных лазеров. // Электронный ресурс <http://dlib.rsl.ru>
23. Сварка неплавящимся электродом. // Электронный ресурс <https://studref.com>
24. Технологические процессы лазерной сварки. // Электронный ресурс <http://studentlibrary.ru>
25. Аргонодуговая сварка — реферат. // Электронный ресурс <http://referat911.ru>
26. Лазерная сварка металлов: преимущества и недостатки. // Электронный ресурс <https://svarka.guru>
27. Сварка неплавящимся электродом, Сущность процесса. // Электронный ресурс <https://studref.com>
28. Liu, L. M. Song, G., and Wang, J. F. Investigations of laser-TIG hybrid of magnesium alloys, Materials Science Forum, 488-489, 361-364, 2005
29. Katayama, S., Uchiumi, S., Mizutani, M., Wang, J., and Fujii, K., Penetration and porosity prevention mechanism in YAG laser hybrid welding. Welding international, 21, 25-31. 2007
30. Fellman, A., and Kujanpaa, V., The effect of shielding gas composition on welding performance and weld properties in hybrid CO₂ laser gas metal arc welding of carbon manganese steel, Journal of Laser Applications, 18, 12-20, 2006

31. Kim, T., Suga, Y., and Koike, T., Welding of thin steel plates by hybrid welding process combined TIG arc with YAG laser, JSME International Journal Series A, 46A, 202-207, 2003.
32. Процессы лазерной сварки и резки. // Электронный ресурс <http://elibrary.ru>
33. Jasna, U., Hoffmann, J., : Nd-YAG-Laser-MSG-Hybridschweiben von Aluminiumlegierungen im Schiffbau, DVS-Berichte, Vol. 225, pp. 187-192, 2003.
34. Промышленные применения гибридной лазерно-дуговой сварки. // Электронный ресурс https://www.researchgate.net/publication/298730978_Industrial_application_of_hybrid_laser-arc_welding_Review