

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

Институт машиностроения

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

«Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических материалов»
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Оценка возможности применения лазерной пайки на ОАО «АВТОВАЗ».

Студент _____ И.А. Гуренков _____

Научный _____ А.Ю. Краснопевцев _____
руководитель

Консультанты _____

Руководитель программы _____ д.т.н., доцент А.И. Ковтунов _____

« ____ » _____ 20 ____ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой _____ д.т.н. доцент В.В. Ельцов _____

« ____ » _____ 20 ____ г.

Тольятти 2016

Аннотация

Тема магистерской диссертации «Оценка возможности применения лазерной пайки на ОАО «АВТОВАЗ»».

Объект дипломного проекта – лазерная пайка, применяемая для соединения и герметизации протяжённых участков кузова.

Современные темпы производства требуют внедрения нового оборудования и способов для соединения деталей и узлов кузова. В магистерской диссертации рассказывается о способах соединения элементов кузова как на АВТОВАЗе, так и в зарубежном автомобилестроении. Освещаются области применения лазерных технологий в машиностроении. Была проведена лазерная пайка стальных образцов толщиной 0,8 мм на АВТОВАЗе и на фирме TRUMPF. А, также, были проведены следующие лабораторные испытания паяных образцов фирмы TRUMPF: на разрыв, на окрашиваемость, на коррозионную стойкость и металлография.

Целью магистерской диссертации является улучшение качества соединений деталей кузова и сокращение затрат.

Повышение качества осуществляется за счёт внедрения более современных технологий соединения деталей кузова, а уменьшение затрат происходит за счёт экономии на основном и дополнительном материалах.

В заключение магистерской диссертации приведены выводы по проделанной работе, а также даны рекомендации по оборудованию и применению лазерной пайки в кузове автомобиля.

Структура и объём работы.

Пояснительная записка состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка из 30 наименований, изложена на 96 листах формата А4, содержит 50 рисунков и 12 таблиц.

Содержание:

Введение.....	4
1 Способы соединения узлов кузова.....	7
1.1 Конструкция кузова легкового автомобиля.....	7
1.2 Требования к конструкции кузова легковых автомобилей.....	8
1.3 Эксплуатационные повреждения кузова.....	9
1.4 Материалы для изготовления кузова.....	11
1.5 Способы соединения узлов кузова, применяемые на ОАО «АВТОВАЗ»....	11
1.6 Способы соединения узлов кузова в автомобилестроении.....	17
1.7 Области применения лазерных технологий в машиностроении.....	25
1.8 Задачи магистерской диссертации.....	43
2 Методика исследований.....	44
2.1 Лазерная пайка на ОАО «АВТОВАЗ».....	44
2.2 Лазерная пайка на фирме TRUMPF.....	50
2.3 Лабораторные испытания паяных образцов.....	60
3 Результаты лабораторных испытаний паяных образцов.....	67
3.1 Результаты испытаний на разрыв.....	67
3.2 Результаты испытаний на окрашиваемость.....	69
3.3 Результаты коррозионных испытаний.....	71
3.4 Результаты металлографии.....	73
Заключение.....	81
Список использованной литературы и источников.....	83
Приложения.....	86

Введение

Одной из конкурентоспособных областей в России на данный момент является лазерная индустрия. В России есть много компаний, в основном постперестроечной волны, которые разрабатывают лазерное оборудование [1].

Сейчас ни одно из наиболее важных стратегических технологических направлений во всём мире не обходится без применения лазеров для обработки материалов. Лазерные технологии интенсивно используются в электронном и автомобильном машиностроении, космической, атомной, авиационной и судостроительной промышленности, а также медицине и фактически во всех направлениях оборонного комплекса [1].

Лазеры в технологии по обработки различных материалов в производстве, сейчас, определённо пользуются большим спросом, как у крупных предприятий, так и у небольших фирм. Ведь у них есть много преимуществ, которые прямо влияют на потребительские свойства продукции: повышают производительность, качество, обеспечивают экологическую чистоту, понижают себестоимость, а также достигают максимальные по сегодняшним меркам экономических и технических результатов. Одновременно с этим современные лазерные комплексы потребляют меньше энергии и позволяют легко изменять технологический процесс, а возможность унификации и гибкость лазерного оборудования практически не имеют аналогов [2].

Но внедрение и разработка лазерных установок в России медленнее, чем в индустриально продвинутых странах. Российские изготовители лазерного оборудования способны в основном удовлетворить почти любые потребности различных технологических производств. Потенциалом в разработке и производстве современных лазерных систем, обладает не так уж и много стран. В их число также входит и Россия. Однако, сейчас мы немного отстаем от Германии, Японии, США, как по практическому освоению лазерных технологий, так и по разработке новых, но ведь внедрение лазерных технологий в российскую промышленность будет способствовать улучшению качества и модернизации.

Именно лазерная технология играет главную роль в происходящих сейчас изменениях технологического уклада, связанные с повышением мобильности и гибкости производства, экономией электроэнергии, снижением затрат, а также, с выходом на новый уровень качества продукции [1].

Российские изготовители лазерной техники – 10–12 частных небольших фирм с малым количеством сотрудников. Однако, даже при невысоких финансовых возможностях, российским изготовителем до сегодняшнего дня удаётся производить конкурентные и современные лазерные системы для узких сегментов рынка (микробработка, маркировка, резка, импульсная сварка). Помимо того такие компании имеют хороший сервис для своего оборудования и активно участвуют в зарубежной торговле. Как и в других странах в России тоже возникла сеть предприятий, которые близки к заказчику и которые применяют самые последние лазерные технологические разработки [1].

Но даже если рост изготовления лазерных технологий идёт медленнее, всё же рост есть.

Сейчас спрос на лазеры от машиностроительного производства направлен для производства таких техпроцессов, как термообработка, резка, очистка, сварка, маркировка, пайка и др. Шаг за шагом лазеры внедряются в производство автомобильных компонентов, в основном для изготовления кузова. Автомобилестроение есть одна из важнейших отраслей для распространения и внедрения лазеров. Самой затратной и ответственной частью автомобиля является кузов. Именно на него уходит больше всего ресурсов, таких как металл, электроэнергия, время и другие. Поэтому наблюдается необходимость снижения таких затрат с одновременным обеспечением качества соединения.

Одним из направлений, которое приведёт к повышению качества и снижению затрат на изготовление кузова автомобиля, является лазерная пайка. Почти все немецкие автомобили последнего поколения имеют один или несколько лазерных паяных швов соединяющих детали кузова.

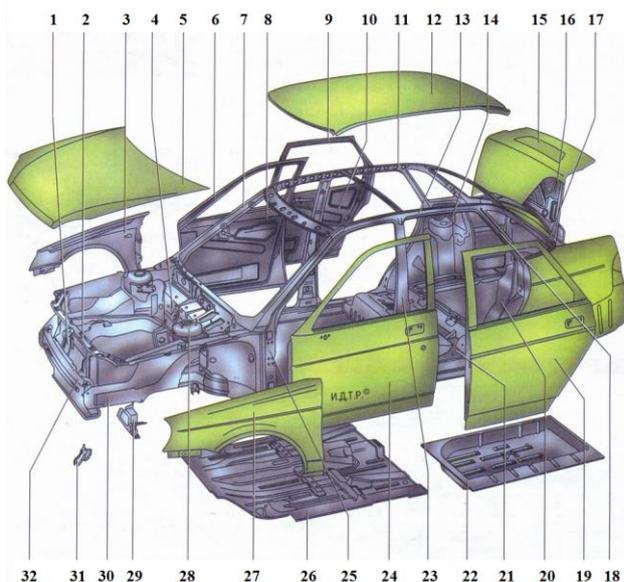
Поэтому магистерская диссертация посвящена процессу лазерной пайки, задача которой состоит в обосновании необходимости внедрения лазерной пай-

ки в производство российских автомобилей с целью улучшения качества соединений деталей кузова и сокращения затрат.

1. Способы соединения узлов кузова

1.1 Конструкция кузова легкового автомобиля

Рассмотрим конструкцию кузова легкового автомобиля на примере модели ВАЗ–2170, основные элементы которого представлены на рисунке 1.



1 – радиаторная рамка, 2 – верхняя поперечина передней части приоры, 3 – правое переднее крыло, 4 – щит передка, 5 – капот, 6 – правая передняя дверь, 7 – стойка ветрового окна, 8 – внутренняя панель передней двери, 9 – правая задняя дверь, 10 – внутренняя панель задней двери, 11 – правая боковина, 12 – панель крыши, 13 – левая боковина, 14 – опора пружины задней подвески, 15 – крышка багажника, 16 – внутренняя панель крышки багажника, 17 – рамка окна боковины, 18 – задняя стойка, 19 – левая задняя дверь, 20 – арка заднего колеса, 21 – средняя панель пола, 22 – ниша запасного колеса, 23 – центральная стойка, 24 – левая передняя дверь, 25 – передняя стойка, 26 – передняя панель пола, 27 – левое переднее крыло, 28 – опора пружины передней подвески, 29 – кронштейн, 30 – передний лонжерон, 31 – кронштейн проушины для буксировки, 32 – панель передка приоры

Рисунок 1 – Конструкция кузова легкового автомобиля

Назначение кузова легкового автомобиля определяется двумя функциями: кузов обеспечивает пассажирам и водителю комфорт и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Кузова легковых автомобилей являются несущим элементом конструкции, к ним крепятся элементы шасси и ходовой части. Это уменьшает массу автомобиля, снижает его общую высоту, а значит, и центр тяжести, делая автомобиль более устойчивым.

Основа кузова – каркас. Каркас кузова состоит из следующих элементов: силовые элементы – лонжероны, поперечины, стойки; пол, передок, боковины, панель задка, крышу с рамой ветрового окна. Большинство деталей кузова соединяются контактной сваркой, а нагруженные элементы каркаса дополнительно укрепляются полуавтоматической сваркой в углекислом газе.

1.2 Требования к конструкции кузова легковых автомобилей

Основные требования, которые предъявляют к кузову автомобиля:

- хороший обзор, отвечающий нормативам;
- функциональная и оптимальная форма кузова;
- высокая прочность каркаса;
- надежность сидений;
- деформируемость передней и задней частей кузова при авариях;
- достаточное пространство салона, багажника и моторного отсека;
- комфортный, безопасный и эргономичный интерьер;
- хорошая ремонтпригодность.

Так как основа кузова – это каркас, к нему предъявляются особые требования. Каркас кузова просчитывают так, чтобы при аварии энергия удара уменьшалась. Детали кузова, расположенные в салоне, не должны получить больших деформаций, иначе говоря, кузов должен снижать тяжесть аварии.

В конструкции кузова не должно быть мест, где скапливается влага (должен быть предусмотрен её отвод). Также не допускается и дребезжание корпуса и его скрипы.

1.3 Эксплуатационные повреждения кузова

Кузов любого легкового автомобиля подвержен статическим нагрузкам от груза и веса пассажиров, динамическим нагрузкам во время движения, а также подвержен скручиванию и изгибу при знакопеременных нагрузках от неровностей, которые есть на дороге, вибрациям от коробки передач, двигателя и трансмиссии [3].

При постоянной эксплуатации автомобиля со примерным пробегом 15-20 тыс. км в год, кузов рассчитан на около 10-15 лет службы.

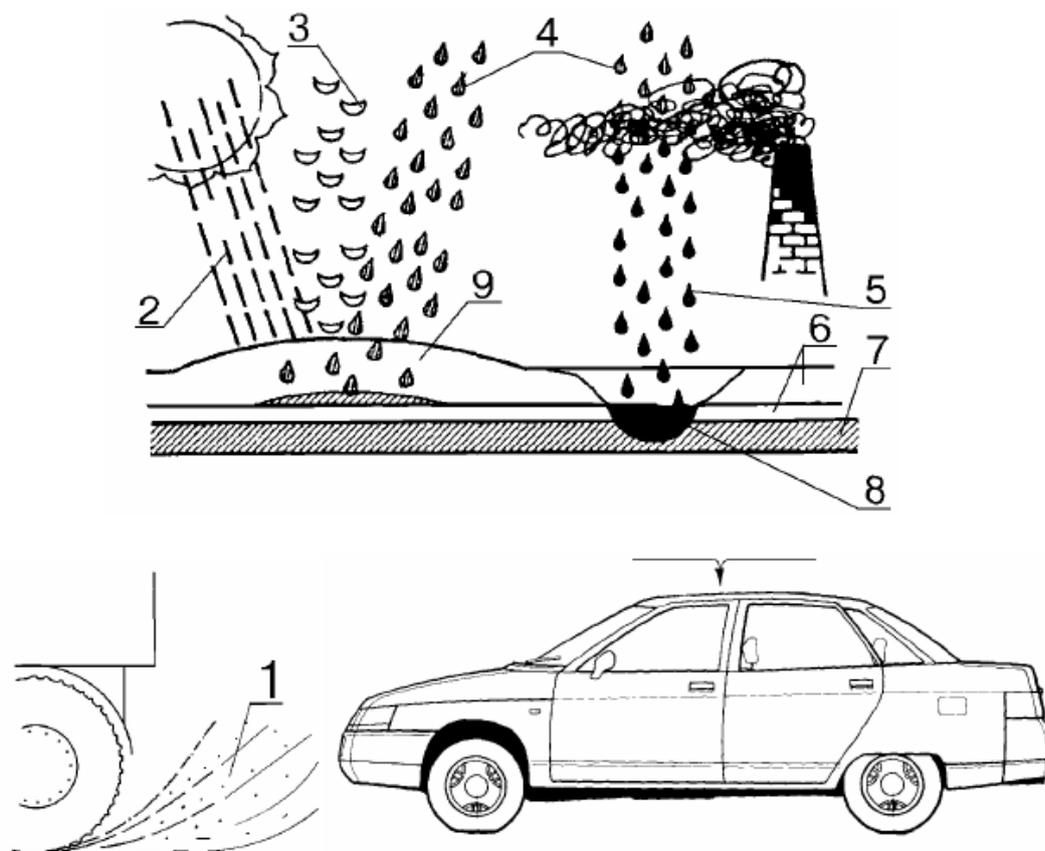
По мере износа кузова в нём появляются различного рода повреждения, такие как [3]:

- деформация;
- нарушение размеров и формы проемов дверей и окон;
- нарушение антикоррозионного и лакокрасочного покрытий;
- трещины по местам соединений стоек с кузовом;
- усталостное разрушение различных частей кузова;
- отрывы приваренных гаек и болтов;
- стуки и скрипы отсоединившихся в процессе эксплуатации деталей;
- разрушение точек сварки.

Основной причиной поломки кузовов при его эксплуатации, безусловно, является коррозия, которая разрушает металл из-за взаимодействия с окружающей средой. Особенно сильно она развивается в тех местах, которые труднодоступны для очистки и осмотра. Закрытые полости, пазухи, конструктивные карманы, зафланцовки, отбортовки, сварные швы и так далее. Туда периодически попадают пыль, влага, солевые растворы и находятся там довольно длительный период времени, постепенно делая металл ржавым. Загрязненность

среды выбросами в атмосферу от промышленных предприятий, выхлопами от газов автомобилей и солевыми растворами на дорогах сильно ускоряют коррозию. Основные воздействия среды и её последствия для защитного покрытия кузова показаны на рисунке 2 [3].

При полном отсутствии защиты лист автомобильной стали за год пребывания на открытом воздухе становится тоньше на 0,2-0,3 мм [3].



1 – щебень, песок, соль; 2 – ультрафиолетовое излучение; 3 – снег; 4 – дождь; 5 – кислотные осадки; 6 – покрытие кузова; 7 – металл; 8 – разъедание ЛКП и металла кислотами; 9 – вспучивание ЛКП.

Рисунок 2 – Факторы воздействия на защитные покрытия кузова и их последствия

1.4 Материалы для изготовления кузова

У кузова несущей конструкции, в отличие от кузова рамной, снижена на 40-45% масса, а также на 45-50% меньше себестоимость его изготовления. Для изготовления легкового кузова используется холоднокатаный лист из стали марок 08Ю или 08ЮП с хорошей вытяжкой, высокой прочностью, хорошей окрашиваемостью и свариваемостью [3].

Для тех деталей, которые работают в агрессивной среде (в основном это низ автомобиля), применяют сталь листовую с односторонним цинкованием. В автомобилях ВАЗа последних лет доля оцинковки составляет больше 50% веса самого кузова [4].

Кузов это самый дорогой узел автомобиля. На его изготовление расходуется примерно 0,5 т листового металла (это число включает отходы производства), также много и других материалов, энергии и труда рабочих.

1.5 Способы соединения узлов кузова, применяемые на ОАО «АВТОВАЗ»

Здесь давайте рассмотрим несколько наиболее применяемых способов соединения узлов кузова, которые применяются на ОАО «АВТОВАЗ».

Одним из самых применяемых способов соединения деталей кузова является контактная точечная сварка с использованием либо промышленного робота оснащённого клещами для сварки, либо подвесных клещей с использованием рабочей силы. На рисунке 3 показан пример и оборудование для контактной точечной сварки кузова автомобиля.

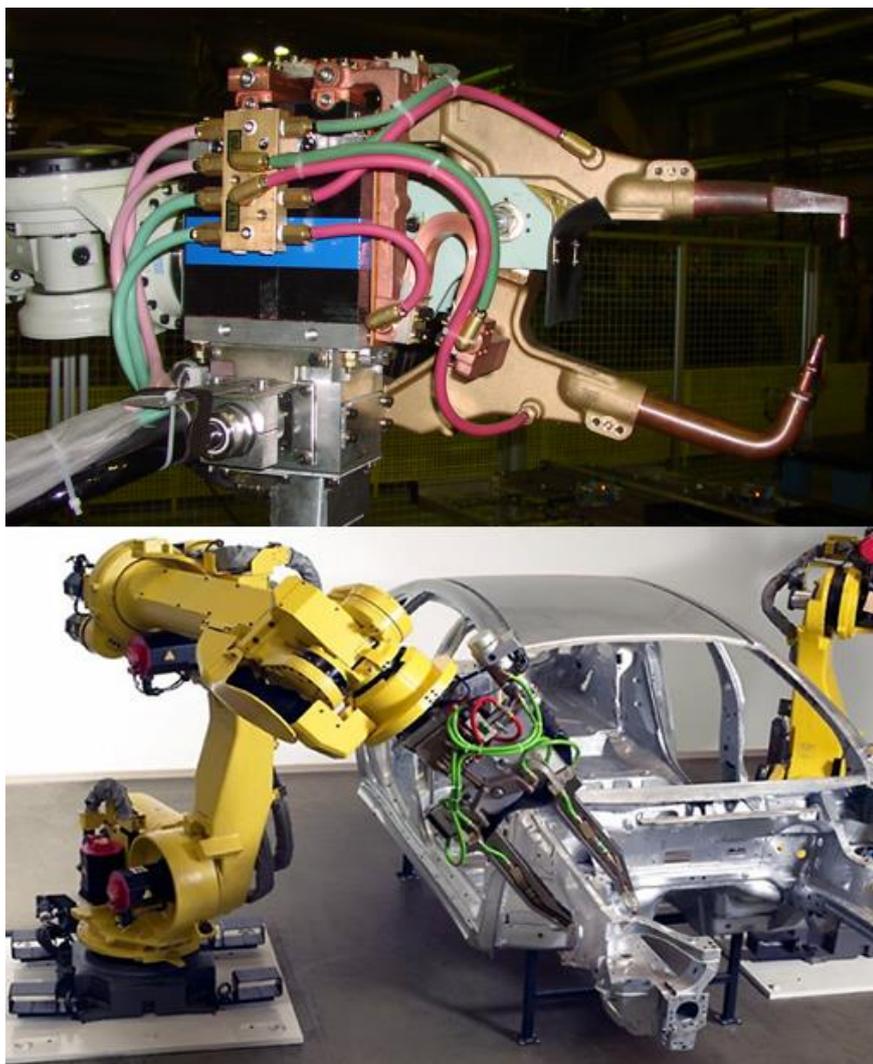


Рисунок 3 – Контактная сварка кузова автомобиля

Принцип контактной сварки основан на разогреве металла проходящим по нему током. Эта концепция иллюстрируется на рисунке 4. Когда цепь замкнута, электрический ток будет протекать через детали и электроды. При контактной сварке путь тока неоднороден, особенно большое сопротивление возникает в контакте между свариваемыми частями, поэтому путь тока и прилегающая к нему зона металла разогреваются особенно быстро, интенсивно; в дальнейшем, в ходе контактной сварки и соединения деталей в одно целое, сопротивление контакта постепенно исчезает [5].

Трансформатор или аккумулятор

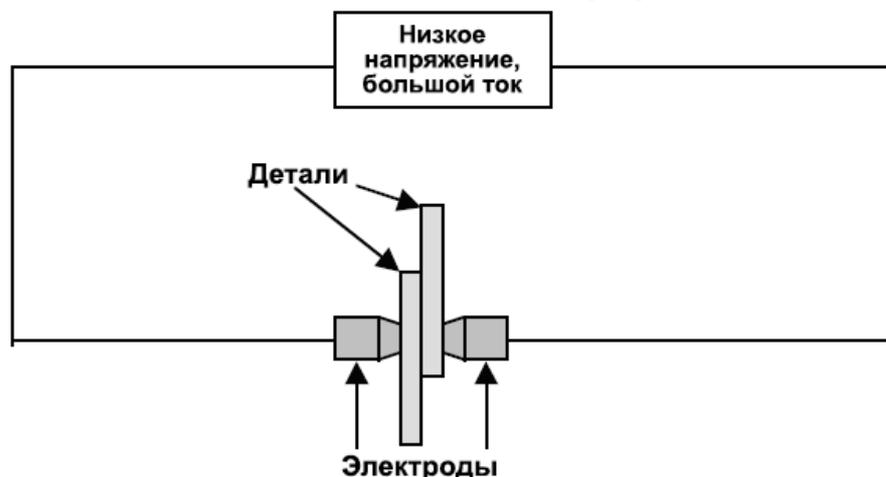


Рисунок 4 – Схема контактной сварки

Каждый электрод имеет своё электрическое сопротивление, есть также сопротивление контакта между электродами и деталями, сопротивление деталь-деталь. В случае, показанном на рисунке 4 ясно, что изделие является частью электрической цепи [5].

Контактная точечная сварка обладает рядом достоинств, которые обусловили её широкомасштабное применение в машиностроении. К ним относятся:

1. Высокая производительность.
2. Стабильное качество сварных соединений.
3. Не требуются расходные материалы.
4. Не требует дорогостоящих узлов слежения за стыком.
5. Низкие требования к качеству сопряжения поверхностей.

Несмотря на широкое применение контактной точечной сварки для соединения деталей кузова у неё также есть некоторые недостатки. К ним относятся:

1. Высокое потребление электроэнергии.
2. Относительная сложность оборудования.
3. Негерметичные соединения.

4. Лишние затраты на основной металл, так как нужен нахлест для сварки (до 20 мм).

5. Необходимость двухстороннего доступа оборудования к месту сварки.

Другим наиболее применяемым способом соединения деталей кузова является полуавтоматическая (механизированная) сварка в среде углекислого газа (CO_2). На рисунке 5 показана схема полуавтоматической сварки в среде углекислого газа.

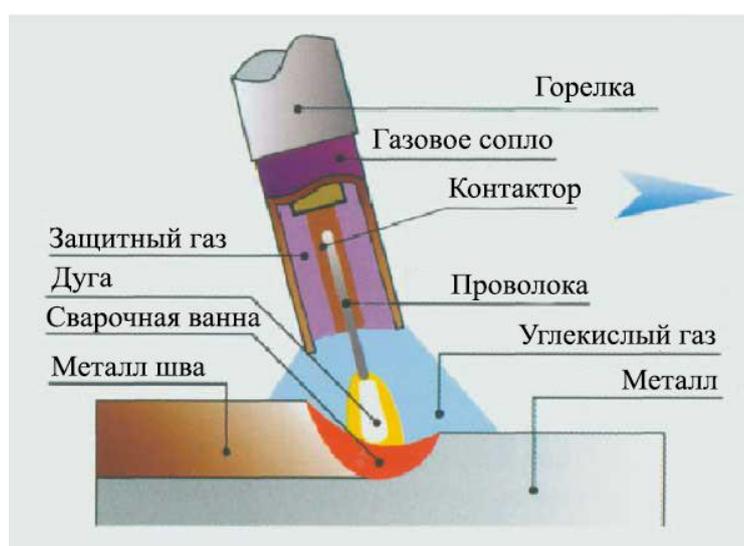
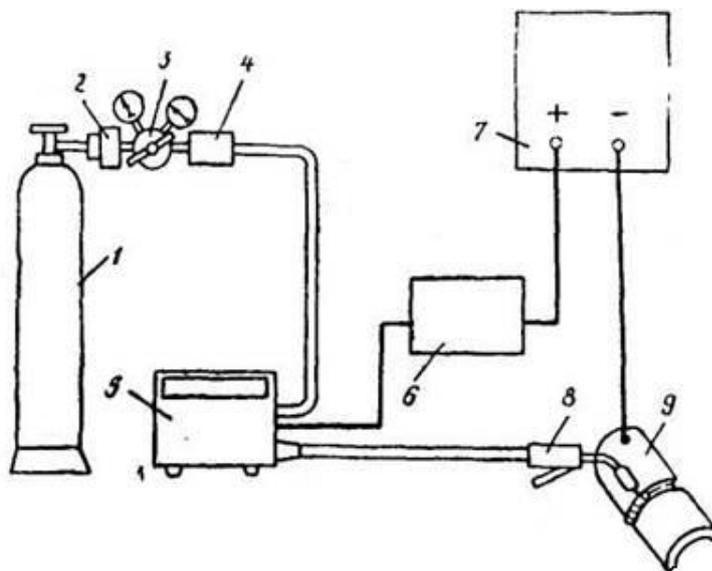


Рисунок 5 – Схема полуавтоматической (механизированной) сварки в углекислом газе

Полуавтоматическая сварка в углекислом газе, выполняется в основном плавящейся электродной проволокой, которая может быть как сплошного сечения, так и с порошковым наполнителем, в роли которого может быть флюс или легирующие элементы [6].

Этот способ сварки применяется на АВТОВАЗе для соединения и герметизации деталей кузова, которые не могут быть соединены при помощи контактной точечной сварки из-за невозможности подвести к ним сварочные клещи и для усиления особо нагруженных участков. Также данный способ применяют для доварки пропущенных точек после контактной сварки или для ис-

правления дефектов кузова. На рисунке 6 изображена схема поста для сварки в углекислом газе.



1 – баллон с углекислым газом; 2 – подогреватель; 3 – редуктор-расходомер; 4 – осушитель; 5 – механизм подачи проволоки; 6 – шкаф управления; 7 – источник питания дуги; 8 – шланговый держатель; 9 – свариваемое изделие

Рисунок 6 – Пост для полуавтоматической (механизированной) сварки в углекислом газе

У способа сварки в углекислом газе есть свои достоинства и недостатки.

К достоинствам способа относятся:

1. Высокая производительность.
2. Низкая стоимость защитного газа.
3. Невысокие требования к качеству сборки.
4. Обеспечение герметичности соединения.

К недостаткам способа можно отнести:

1. Сильное разбрызгивание металла.
2. Науглероживание и окисление металла шва.

3. Прожоги.
4. Бугристость металла шва, что в последствии ведёт к дополнительным затратам на механическую обработку шва.
5. Повышенное выделение дыма.
6. Нестабильность дуги.
7. Большие затраты на электроэнергию.
8. Выгорание защитного покрытия оцинкованных сталей.

Следующим способом соединения деталей кузова является высокотемпературная газопламенная пайка.

Этот способ пайки используется исключительно для герметизации стыков. Способ основан на нагреве основного металла и припоя до температуры пайки. В качестве присадочного материала используют латунную проволоку Л68 (температура плавления 938°C) или ЛК62-05 диаметром 3 мм. Так как пайка высокотемпературная для защиты металла от окисления применяют газовый флюс БМ-1, который подаётся в горелку вместе с кислородом и горючим газом (ацетилен).

На рисунке 7 показан пост ацетилено-кислородной пайки, который используется для газопламенной пайки на ВАЗе.



Рисунок 7 – Пост ацетилено-кислородной пайки

Пост ацетилено-кислородной сварки включает в себя шланги для ацетилена и кислорода, газовую горелку, баллон с газовым флюсом БМ-1. Ацетилен и кислород подаются по общей системе трубопроводов, это исключает применение баллонов с газом на постах.

Также газопламенную пайку применяют для устранения дефектов контактной сварки с применением латунного припоя и для устранения вмятин на корпусе с применением припоя ПОССу-18-2 и флюса 3 ВАЗ. Дефекты на корпусе устраняются облуживанием поверхности вмятины низкотемпературным оловянно-свинцовистым припоем с последующей механической зачисткой.

Достоинствами данного способа соединения деталей является:

1. Невысокая стоимость оборудования.
2. Герметичность соединения.

Недостатками данного способа соединения деталей является:

1. Применение вредного газового флюса БМ-1.
2. Пористость металла шва.
3. Взрывоопасность.
4. Грубый внешний вид шва.
5. Большая зона термического влияния.

1.6 Способы соединения узлов кузова в автомобилестроении

Наряду с такими распространёнными способами соединения как контактная сварка и полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа, также используются и другие способы соединений узлов кузова, такие как, дуговая пайка или MIG-пайка, плазменная пайка и сварка, гибридная лазерная сварка, лазерная пайка и сварка.

Дуговая пайка или MIG-пайка. Этот процесс часто используется в автомобилестроении, где так важно предотвратить коррозию деталей. Этот процесс отличается от MIG/MAG-сварки тем, что плавиться только присадочный материал при 1060°C. При MIG/MAG-сварке же плавится, как основной, так и при-

садочные материалы при 1650°C. На рисунке 8 показан увеличенный вид паяного шва [7].

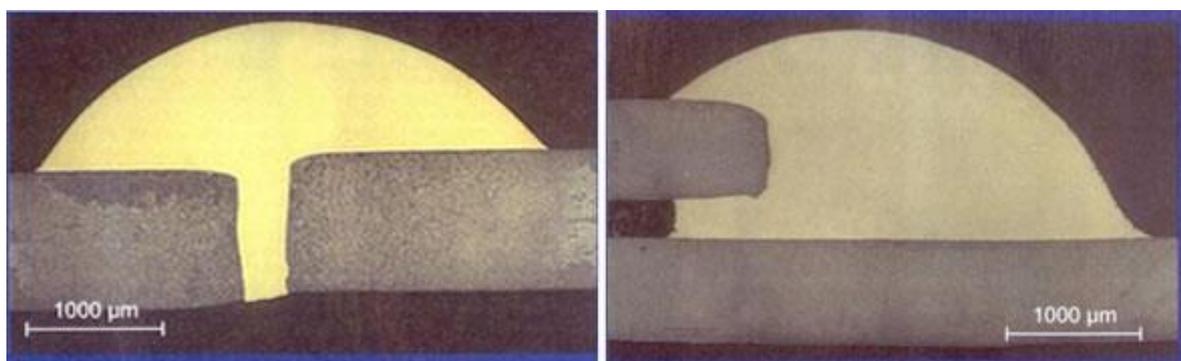


Рисунок 8 – Паяный шов при MIG-пайке

MIG-пайка даёт следующие преимущества:

1. Уменьшенный нагрев.
2. Уменьшенное испарение защитного покрытия.
3. Облегченная обработка мест сварки.
4. Обеспечение герметичности соединения.
5. Снижение металлоёмкости и повышение коэффициента использования металла.
6. Односторонний доступ оборудования к месту пайки.

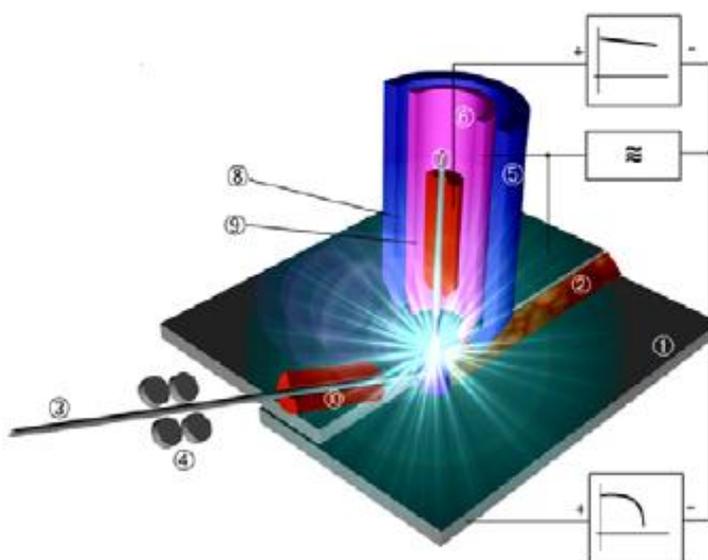
Качество MIG-пайки зависит от испарения цинка и его оксидов. Из-за этих испарений возникают различного рода дефекты, например трещины, пористость, нестабильность дуги, искры, прерывание процесса пайки.

Присадочным материалом здесь служит бронза различных марок. Различные тесты в различных направлениях производственной деятельности показали, что бронза – это отличный заполняющий материал. Помимо стандартных заполняющих материалов, у CuSi_3 есть ряд конкурентных сплавов, которые тоже могут быть использованы в зависимости от ситуации. Это хорошо известный CuAl_8 , а также CuSn_6 [7].

Радиографические тесты показали очень большое количество пор с проволокой SG2 (Св-08Г2С), что являлось следствием сильного испарения цинка. С проволокой CuSi3 поры практически отсутствовали, благодаря малой энергии нагрева и как следствие, сильное испарение цинка в ходе пайки не происходило [7].

Плазменная пайка и сварка. Плазменная дуга это весьма высокая температура и широкий диапазон для регулирования ее технологических свойств. Если сравнить с дуговой пайкой, то в связи с высокой проплавливающей способностью у плазменной пайки есть такие преимущества [8]:

1. Повышенную производительность;
2. Меньшую зону термического влияния;
3. Более низкие деформации при сварке;
4. Пониженный расход защитных газов;
5. Более высокую стабильность горения дуги;
6. Меньшую чувствительность качества шва от изменения длины дуги.



1 – материал; 2 – паяный шов; 3 – припой; 4 – подающий механизм; 5 – газовая горелка; 6 – плазменная горелка; 7 – вольфрамовый электрод; 8 – защитный газ; 9 – плазма

Рисунок 9 – Плазменная пайка

Плазменная пайка производится источником с импульсной или единой вольтамперной характеристикой. Необходимо также применение двух защитных газов: плазмообразующего и самого защитного газа.

Плазменная сварка отличается от пайки тем, что при сварке плавится как присадочный, так и основной материалы. Также у сварки большая зона термического влияния и большие деформации.

Гибридная лазерная сварка. Этот способ, схема которого представлена на рисунке 10, соединяет в одном технологическом процессе дугу и лазер. Одновременное использование двух этих методов позволяет объединить их достоинства и устранить недостатки [9].

Дуга, действующая на поверхности, создает достаточно широкий шов, который, в свою очередь, и заполняет зазоры. Она также переносит в расплавленный металл и дополнительный материал. Это позволяют сварщику напрямую влиять на металлургические свойства и на адгезию сварочных швов к поверхностям заготовок [9].

Лазерная сварка же позволяет достичь большей глубины проплавления и более высокой скорости, снижая подводимую энергию. Она также уменьшает деформации до такого уровня, который недоступен, если использовать дугу [9].

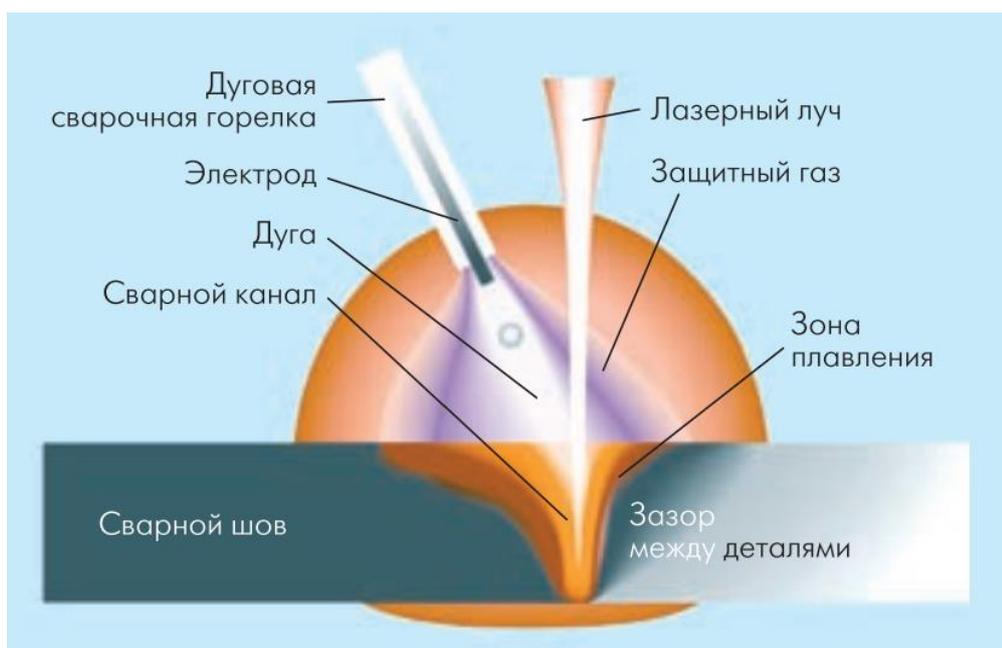


Рисунок 10 – Схема гибридной лазерной сварки

Благодаря качественным разработкам твердотельных лазеров, инженеры и исследователи в последнее время проявляют всё больший интерес к гибридной лазерной сварке. Применение новых источников лазерного излучения увеличили области применения гибридной лазерной сварки и вывели ее из узкой ниши судостроения, в которой она существовала ранее, на новые рынки [10].

Ведь с одной стороны даже очень толстые листы металла можно сварить за один проход, что в большинстве других технологий недостижимо по экономическим, а также технологическим причинам. Но с другой стороны, луч лазера должен быть хорошо сфокусирован на стыке деталей для обеспечения требуемой плотности мощности [7].

Другими словами, зазор между соединяемыми деталями нужно тщательно подготовить, а элементы хорошо закрепить, чтобы погрешности установки свариваемых поверхностей были в районе десятых долей миллиметра по всей длине свариваемых деталей [7].

Но не существует идеального сварочного оборудования. Все установки отличаются друг от друга. Однако после более глубокого анализа вы сможете убедиться, что использование гибридной лазерной сварки очень перспективно и выгодно. Производительность и стоимость оборудования побуждают усиленный интерес к данному способу. Эта технология по-новому решает проблемы изготовления металлоконструкций: это и двукратная экономия материалов, энергоресурсов и трудозатрат при работе с многослойными панелями и сварными держателями стальных конструкций в таких отраслях, как судостроение. Этот метод довольно часто окупает себя, например, если он применяется после сварки плавящимся электродом в защитном газе. Изготовитель технологического оборудования для резки и сварки компания ESAB, например, прогнозирует повышение производительности на 300–500%, а также снижении себестоимости продукции на 55% [7].

Самое очевидное преимущество гибридной сварки – увеличение производительности, ведь для углового сварного шва листовых металлов толщиной 5 мм она может производиться на скоростях до 4 м/мин. А с другой стороны, при

сварке плавящимся металлическим электродом в активном газе достигается скорость 0,6 м/мин. Стыковую сварку листового металла толщиной 10 мм можно выполнять со скоростью 2 м/мин, а теперь сравните эту величину со скоростью 0,5 м/мин, если применять дуговую сварку под флюсом [7].

Лазерная пайка и сварка. Это высокотехнологический процесс, который порой единственно возможный при некоторых видах работ. Схема лазерной пайки представлена на рисунке 11.

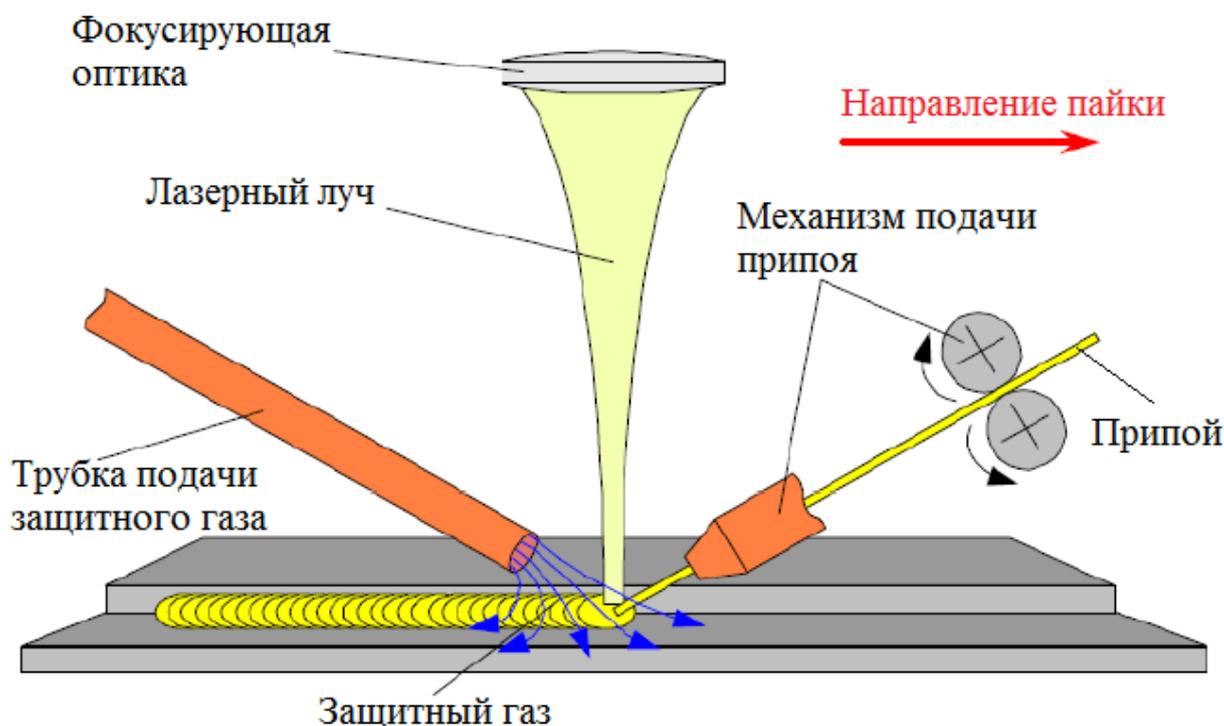


Рисунок 11 – Схема лазерной пайки

При лазерной пайке металлов источником нагрева служит лазерный луч. Большая концентрация тепловой энергии, высокая скорость лазерной пайки по сравнению с дуговыми способами сварки и незначительное тепловое воздействие на околошовную зону вследствие высоких скоростей нагрева и охлаждения металла существенно повышают сопротивляемость большинства конструкционных материалов образованию горячих и холодных трещин. Это обеспечивает высокое качество паяных соединений [11].

У лазерной пайки есть ряд конкурентных преимуществ перед другими способами соединения металлов [12]:

- улучшение качества продукции (уменьшение деформации или её отсутствие вследствие малого тепловложения);
- очень малая зона термического влияния, из-за большой скорости пайки;
- сокращение затрат на материалы из-за более экономного его использования;
- сокращение потребления электроэнергии;
- сокращение трудоёмкости за счёт увеличения скорости выполнения операции (до 10 м/мин против примерно 2 м/мин при контактной сварке);
- сокращение выбросов вредных веществ в окружающую среду и уменьшение количества отходов производства.

У лазерной пайки также есть и свои недостатки, но они в основном относятся к техническому аспекту:

- высокая стоимость оборудования;
- высокие требования к качеству сборки;
- использование дорогостоящих узлов слежения за стыком при автоматизации процесса.

До настоящего времени традиционно в конструкции кузовов автомобилей ВАЗ для соединения деталей применялись контактная и дуговая сварка. Лазерная пайка по ряду причин не использовалась. К таким причинам относились:

- высокая стоимость оборудования для лазерной сварки;
- неудовлетворительная сопрягаемость штампованных в условиях ПрП кузовных деталей (для лазерной пайки необходима минимизация зазоров до 0,1 мм и точная собираемость свариваемых деталей);
- использование дорогостоящих узлов слежения за стыком свариваемых деталей;
- отсутствие практического опыта использования лазерной сварки в отечественном массовом автомобилестроении.

На сегодняшний день ситуация на рынке лазерной техники значительно изменилась, появились новые системы слежения за стыком свариваемых деталей. Постепенно улучшается качество штамповки и собираемость узлов кузова. Известные мировые производители, такие как VW, Audi, Skoda, Seat, Mercedes, Renault, начали активно использовать лазерную пайку, в том числе на лицевых деталях для выполнения прецизионных видовых швов.

Замена контактной сварки на лазерную пайку даёт следующие преимущества:

- повышение жёсткости кузова;
- обеспечение герметичности соединения;
- повышение коррозионной стойкости кузова;
- снижение металлоёмкости и повышение коэффициента использования металла в конструкции кузова;
- односторонний доступ сварочного оборудования к месту сварки;
- уменьшение переходов при штамповке внутренних деталей за счёт отказа от вырубки технологических отверстий для доступа сварочных клещей, а, следовательно, и сокращение трудоёмкости на штамповку данных деталей;
- упрощение и удешевление штамповой оснастки для вырубки этих отверстий;
- сокращение затрат на ремонт и обслуживание вырубных штампов;
- исключение деталей облицовки сточного жёлоба и трудоёмкости на их установку;
- высвобождение производственных площадей за счёт замены сварочных роботов на одну станцию для лазерной сварки.

В 2013 году в моей выпускной квалификационной работе было приведено экономическое обоснование замены контактной сварки протяжённых участков на лазерную пайку. Данные по расчётам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Себестоимости изделия по расчёту длинномерных швов в рублях по состоянию на середину 2013 года.

Статьи затрат	Контактная сварка	Лазерная пайка
1. Материалы основные	59,6	54,53
2. Материалы вспомогательные	0,41	2,45
3. Покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты	-	-
4. Электроэнергия	4	0,32
5. Затраты на оборудование	2,7	9
6 Затраты на содержание приспособлений и инструмента	-	0,019
7. Затраты на содержание занимаемой под оборудование площади	0,0026	0,0013
8. Основная заработная плата	1,13	0,57
9. Дополнительная заработная плата	0,11	0,06
10. Отчисления на социальное страхование	0,45	0,23
11. Технологическая себестоимость	68,4	67,2
12. Цеховая себестоимость	70,7	68,34
13. Заводская себестоимость	72,5	69,25

1.7 Области применения лазерных технологий в машиностроении

На сегодняшний день спрос на лазеры исходящий от машиностроения направлен для выполнения таких техпроцессов, как термообработка, резка, маркировка, очистка, сварка, пайка и др. На рисунке 12 приведено примерное распределение по основным технологическим операциям.

Анализируя эту диаграмму, следует иметь ввиду, что количественные соотношения между различными сегментами и темпы их роста быстро меняются. Такие изменения связаны как с развитием отраслей, так и с прогрессом создания лазерных технологий. Так, например, когда появились мощные волоконные лазеры, возникли новые возможности для использования лазеров в технологических операциях машиностроения.

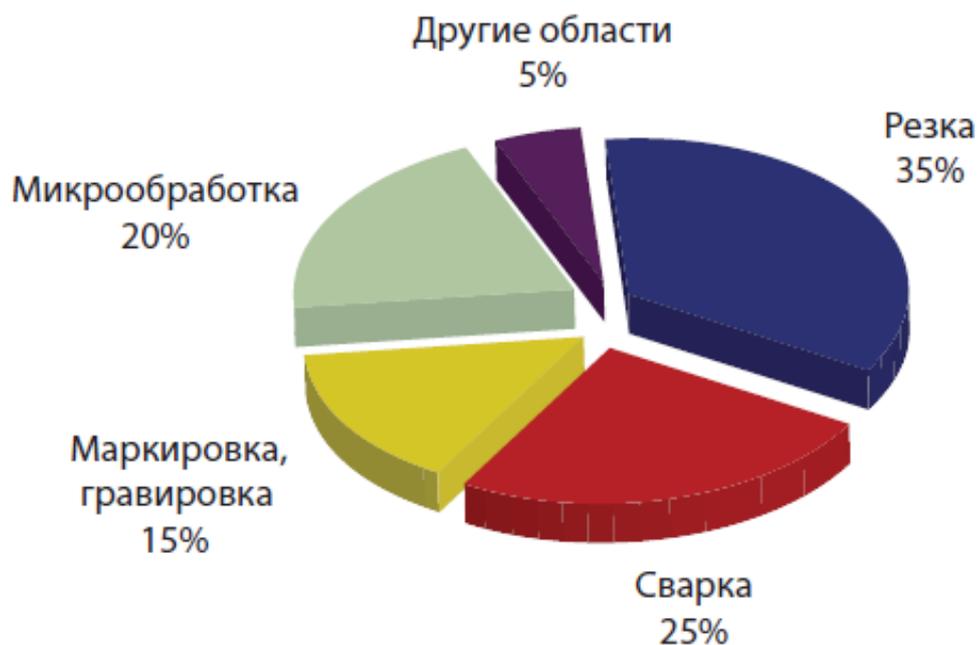


Рисунок 12 – Диаграмма распределения лазерных технологий по основным технологическим операциям

1.7.1 Раскрой и резка металлических и неметаллических материалов

На сегодняшний день лазерная резка применяется во всех отраслях промышленности от раскроя металла для корпусов разнообразных приборов до изготовления деталей машин, строительных конструкций, узлов летательных аппаратов, специальных изделий, судов [13].

Лазерная резка металлов. Действие лазерного излучения на обрабатываемый металл при его разрезании характеризуется общими положениями, которые связаны с отражением и поглощением излучения, распространением этой энергии по объему всего материала за счет теплопроводности и другими факторами, а также целым рядом специфических особенностей [13].

В той области, где идет воздействие лазерного луча на металл он нагревается до температуры разрушения – плавления. По мере дальнейшего поглощения излучения происходит плавление металла, и фазовая граница плавления перемещается вглубь материала. В то же время высокая мощность воздействия

лазерного луча способствуют дальнейшему увеличению температуры, которая достигает второй температуры разрушения – кипения, здесь металл начинает активно испаряться [13].

Исходя из этого, возможны два вида лазерной резки – это резка плавлением и резка испарением. Последний вид требует более высоких энергозатрат и применяется лишь для очень тонкого металла. Поэтому в большинстве случаев резку выполняют плавлением. При этом для большего сокращения затрат энергии, для увеличения толщины разрезаемого металла и скорости разрезания используют вспомогательный газ, который вдувается в зону реза для удаления продуктов разрушения металла. Обычно в качестве такого газа используют воздух, кислород, азот или инертный газ. Такая резка называется газолазерной. Схема лазерной резки представлена на рисунке 13 [13].

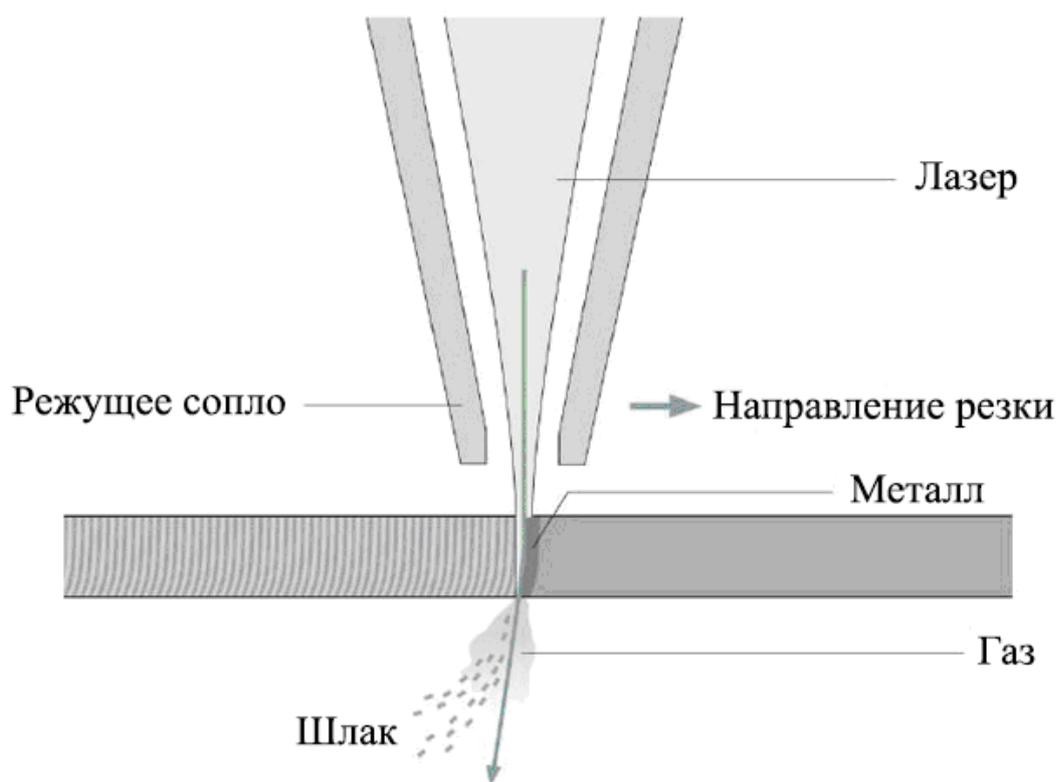


Рисунок 13 – Схема лазерной резки

К примеру, кислород во время газолазерной резки выполняет следующие функции [13]:

1. Сначала окисляет металл и снижает его способность отражать лазерное излучение;
2. потом металл начинает гореть в струе кислорода, в результате чего выделяется дополнительное тепло, усиливающее действие лазерного излучения;
3. В конце кислородная струя выдувает и уносит из области резки расплавленный металл и продукты сгорания, и одновременно обеспечивает приток газа непосредственно к точке реакции горения.

Для того, чтобы разрезать металл в основном требуется лазер мощностью от 450–500 Вт и выше, для цветных же металлов – от 1кВт и выше.

Таблица 2. Толщины разрезаемых листов при мощности лазера $P = 5$ кВт

Наименование	Толщина (мм)
Углеродистые и легированные стали	до 40
Нержавеющая сталь	25
Медь	5
Латунь	12
Сплавы алюминия	12

Лазерная резка неметаллов. С помощью CO_2 -лазеров имеется возможность обработки различных неметаллов, таких как дерева, фанеры, ДСП, ДВП, пластика, полиэфирного и акрилового стекла, оргстекла, линолеума, ламината, резины, кожи, ткани, асбеста, картона и других [13].

При разрезании поролонa нужно соблюдать повышенные меры пожарной безопасности, поскольку он легковоспламеним. По причине возгорания также невозможна или очень затруднена резка толстого пенокартона (при толщине более 10 мм) [13].

Также невозможен или очень сложен раскрой лазером таких материалов как стеклотекстолит, текстолит, гетинакс, поликарбонат, сотовый полипропилен, сотовый поликарбонат. Затруднено разрезание материалов, склонных к растрескиванию, например, стекла или керамики [13].

Таблица 3. Толщины разрезаемых листов при мощности лазера P=1,5 кВт

Наименование	Толщина (мм)	Скорость резки (м/мин)
Пластмасса	25	2
Фанера	10	3–4,5
Высушенная сосна	20	2
ДСП	20	1,5
ДВП	5	6
Стекло	1–8	5–0,5
Асбест, металлоасбест, паронит	4	1,5

Сфокусированное лазерное излучение позволяет произвести резку практически любых материалов независимо от их теплофизических свойств. Одновременно с этим можно получать узкие и качественные резы (шириной 0,1–1 мм) с достаточно малой зоной термического влияния. При лазерной резке деформации, возникающие во время обработки заготовки, так и после её остывания минимальны. В результате возможна резка с высокой степенью точности, в том числе маложестких и легкодеформируемых изделий. Благодаря довольно несложному управлению лазерным пучком можно автоматически обрабатывать плоские и объемные детали по очень сложному контуру [13].

Лазерная резка очень эффективна для стали толщиной до 6 мм, обеспечивая высокие качество и точность при достаточно большой скорости разрезания. Но для металла толщиной 20–40 мм лазерная резка применяется более реже кислородной или плазменной, а если толщина металла выше 40 мм – практически не используется [13].

1.7.2 Упрочняющая поверхностная обработка

На режимах, не вызывающих разрушения материала, реализуются различные процессы лазерной поверхностной обработки, схема которой представлена на рисунке 14[14].

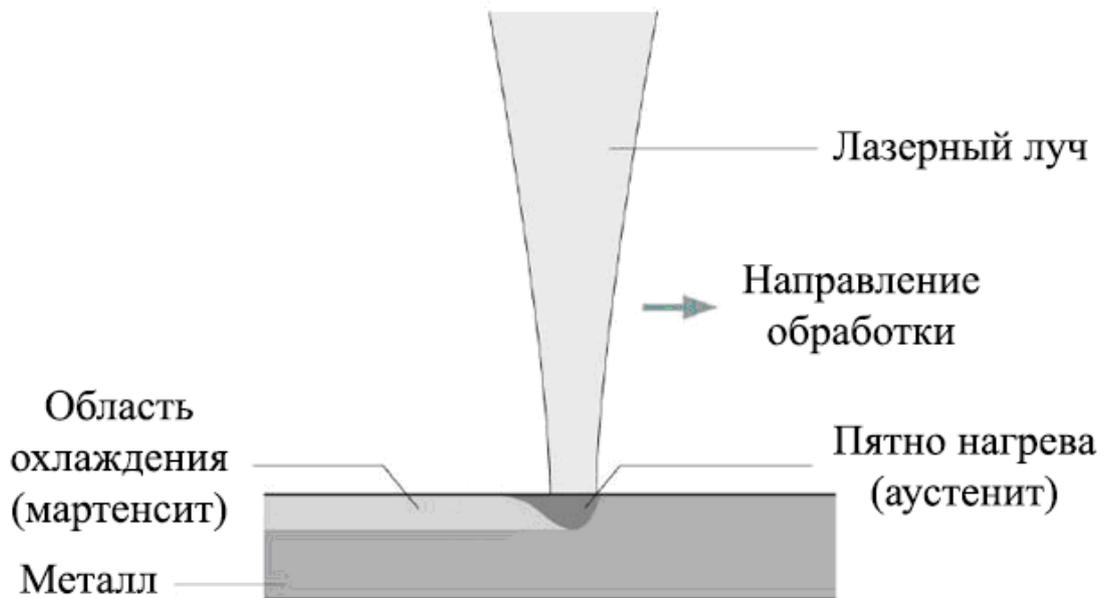


Рисунок 14 – Схема лазерного упрочнения

В основе этой поверхностной обработки лежат структурные и фазовые изменения в металле, которые возникают вследствие очень высоких скоростей его нагрева и последующего быстрого охлаждения в условиях лазерного облучения. Немаловажную роль при этом играют возможность насыщения поверхностного слоя элементами из окружающей среды, рост плотности дислокаций в зоне облучения и другие эффекты [14].

В зависимости от степени развития указанных явлений в материале различают несколько видов поверхностной лазерной обработки, которые описаны в таблице 4 [14].

Таблица 4. Виды поверхностной лазерной обработки [15]

Вид обработки	Плотность мощности 1 см ²	Скорость охлаждения °С	Глубина ЗТВ, мм
Упрочнение без фазового перехода	103-104	104-105	0,2-0,5
Лазерный отжиг (отпуск)	102-103	-	0.05-0,1
Упрочнение с фазовым переходом	104-105	105-106	1,2- 3,0
Лазерное легирование	104-106	104-106	0,2-2,0
Лазерная наплавка (напыление)	104-106	104-106	0,02-3,0
Аморфизация поверхности	106-108	104-106	0,01-0,05
Шоковое упрочнение	104-106	104-106	0,02-0,2

Упрочнение без фазового перехода происходит из-за структурных изменений в металле при плотности излучения, которое не приводит к расплавлению обрабатываемой зоны. При таком виде обработки сохраняется начальная шероховатость обрабатываемой поверхности. Быстрый локальный нагрев поверхности и последующее быстрое охлаждение за счет теплоотвода в глубь металла приводят к образованию в слое на поверхности стали специфической слаботравящейся, высокодисперсной, дезориентированной в пространстве структуры, которая имеет микротвердость, в 2–4 раза выше микротвердости основной матрицы. При небольших плотностях мощности, скоростях нагрева и охлаждения, не превышающих критических значений, может быть реализован режим отжига ранее уже закаленных материалов. Необходимость в данной операции может возникнуть, например, при отбортовке краев обоймы подшипника, изготовлении листовых пружин и тому подобного. Упрочнение с фазовым переходом основано на плавлении металла в облученной зоне. Этот вид упрочнения требует более высокой плотности излучения, что позволяет добиться зна-

чительной глубины упрочнения. Поверхность этого слоя имеет характерное для закалки после жидкого состояния дендритное строение. Затем идет зона термического влияния, а между ней и металлом основы расположена переходная зона. При таком виде поверхностной обработки, конечно, нарушается начальная шероховатость, что требует введения в техпроцесс дополнительной операции по шлифовке изделия [16].

При всех этих видах обработки не требуется специальной защитной среды, весь процесс производится на воздухе. При этом возможно частичное проникновение составляющих элементов воздуха в облучаемую зону [14].

При легировании посредством лазерного излучения для насыщения поверхности металла элементами легирования необходима специальная защитная среда (жидкостная, газообразная, твердая). В связи с чем на обрабатываемой поверхности образовывается новый сплав, который отличается по структуре и составу от основного [14].

Лазерная наплавка или напыление даёт возможность нанести на поверхность обрабатываемого металла слой другого материала, который улучшает эксплуатационные характеристики основного [14].

Другая разновидность лазерного упрочнения – аморфизация поверхности сплава в условиях быстрого облучения (очень коротким импульсом или сканирующим лучом). Высокие скорости теплоотвода, которые при этом достигаются, обеспечивают так сказать «замораживание» этого расплава, образование металлических стекол или аморфного состояния поверхностного слоя. В результате этого достигается высокая коррозионная стойкость, твердость, улучшенные магнитные характеристики и другие специфические свойства материала. Процесс лазерной аморфизации можно применить при обработке сплавов специальных составов, а также и других материалов, которые предварительно покрыты специальными составами, самостоятельно или совместно с основным материалом склонны к аморфизации [14].

Шоковое упрочнение достигается путём воздействия на металл мощного импульса излучения наносекундной длительности. Перед этим на основной ме-

талл наносится тонкий слой легкоплавкого металла. Воздействие мощного импульса вызывает взрывообразное испарение легкоплавкого металла, что приводит к возникновению импульса отдачи, в свою очередь генерирующего мощную ударную волну в материале. В результате этого происходит пластическое деформирование материала, а при нагреве поверхностного слоя также соответствующие изменения в структуре. Первые четыре вида лазерной поверхностной обработки в настоящее время получили большее распространение. Для практической реализации шокового упрочнения и аморфизации требуются дополнительные исследования. Все эти виды обработки можно осуществить с помощью как непрерывного, так и импульсного излучения, причем упрочнение без фазового перехода более подходит для не наносящей повреждения обработки поверхностей не очень больших размеров. Производительность процесса ограничивается не очень высокой частотой следования лазерных импульсов выпускаемого оборудования. Однако непрерывное излучение позволяет делать обработку с высокой производительностью для поверхностей больших размеров [17].

1.7.3 Поверхностная лазерная очистка материалов

Физические процессы, которые происходят при лазерной очистке поверхности, имеют большое разнообразие и зависят от мощности и плотности лазерного излучения на поверхности [18].

Общая схема процессов воздействия лазерного излучения на материалы применительно к очистке поверхности приведена на схеме рисунке 15.

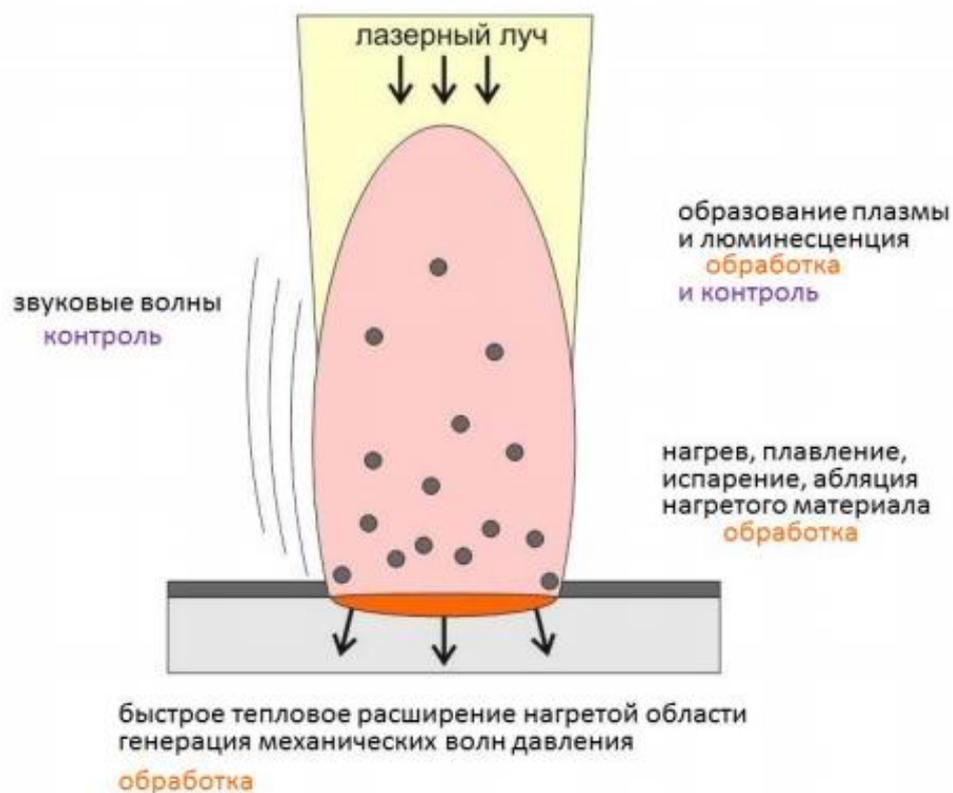
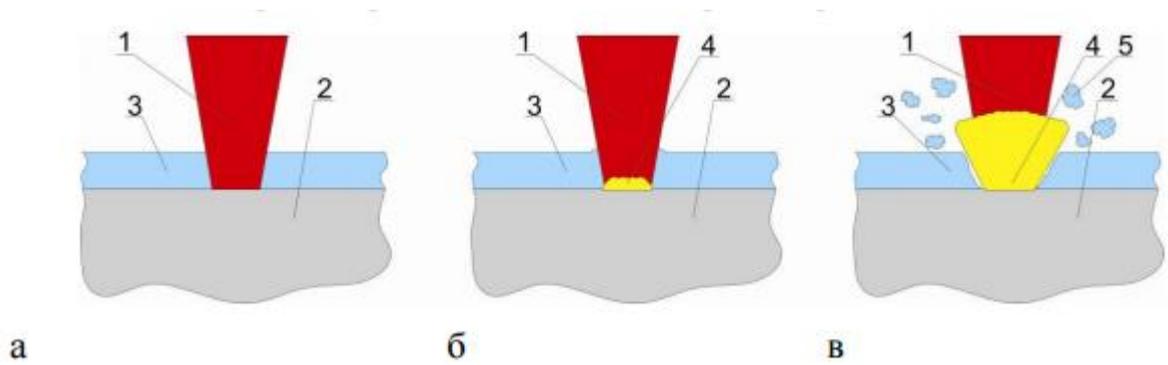


Рисунок 15 – Общая схема процессов воздействия мощного лазерного излучения на материалы

Процессы лазерного нагрева, абляции и испарения материала с образованием плазмы, а также быстрое тепловое расширение материала и возникновение ударных волн лежат в основе механизмов лазерной очистки, схема которой представлена на рисунке 16, в то время как свечение плазмы и акустический сигнал в воздухе могут быть использованы для контроля режимов и степени очистки. Поэтому, для очистки представляет интерес весь спектр процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом, причем не только на воздухе, но и в жидкой среде, где довольно часто процессы удаления загрязнений идут намного более эффективно и при меньших энергозатратах. Рассмотрим по подробно некоторые основные механизмы лазерной очистки [18].



1 – лазерный пучок, 2 – загрязненный материал, 3 – загрязнение, 4 – облако испаренного вещества, 5 – частицы загрязнения, удаленные с поверхности материала.

Рисунок 16 – Испарительный механизм лазерной очистки

Испарительные механизмы лазерной очистки. Сначала использовались в основном испарительные механизмы лазерной очистки поверхности материала, когда мощность и плотность излучения превышают значения, при которых начинается интенсивное испарение загрязняющих веществ с поверхности. При этом случае в физической основе процесса удаления поверхностных слоев лазером (окалины, ржавчины, окислов, лаков, загрязнений, красок, жиров и другого) лежит эффект испарения, иными словами перевода материала из твердой фазы в паро-газо-плазменную, при этом желательно снизить образование жидкой фазы [18].

Лазерный импульс, когда попадает на грязную поверхность, проходит через загрязнённый слой, практически не ослабевая, а затем поглощается в приповерхностном слое материала (рисунок 16,а) [18].

В момент, когда плотность и мощность лазерного излучения достаточны для того, чтобы нагреть материал (металл) до температуры, при которой начинается кипения на границе раздела загрязнение – основной материал, начинается интенсивное испарение материала (рисунок 16,б). Благодаря давлению разогретых до высоких температур паров слой загрязнения разрушается, а затем удаляется с поверхности материала (рисунок 16,в). Помимо этого, во многих

случаях давление разогретых паров газа разрушает загрязнённый слой не только в области прямого воздействия лазерного излучения, но и в ближайшей области, это повышает производительность очистки лазером [18].

Многие испарительные режимы промышленной лазерной очистки требуют очень высокой температуры, и часть этого тепла переходит в приповерхностный слой очищаемого материала. Это может вызывать повреждения этого слоя различного характера: начало химических реакций в приповерхностном слое (например, разложение термочувствительных материалов, окисление металла и другие), поверхностное испарение и плавление, механическое повреждение (образование сколов и трещин). Помимо этого, при воздействии высоких температур может быть вжигание веществ загрязняющих слоёв в верхний слой основного материала, далее очистка возможна, только если применить механическую очистку абразивным или другим инструментом [18].

Ударно-механическая лазерная очистка. В большинстве случаев лазерной очистки чтобы уменьшить тепловое воздействие на поверхностный слой основного материала используются режимы лазерной очистки при которых не происходит испарения слоя материала [19]. При этом очистка поверхности материалов от пленок, также как и от частиц грязи, проводится на маломощных режимах, чтобы не допустить разрушение поверхностных слоев или же возникновения в них недопустимых химических и физических изменений. В этих условиях наиболее предпочтительными физическими методами очистки являются ударно-механические, которые действуют на основе быстрого теплового расширения загрязняющих частиц, пленок или поверхностных слоев основного материала во время поглощения лазерного излучения и возникающей вследствие этого ударной волны в материале, а также удалением посредством взрывов имеющихся газов и образующихся паров [18].

Есть технологии и механизмы сухой, а также влажной лазерной очистки, где воздействие излучения приходится непосредственно на очищаемую поверхность (сухая) или на поверхность, которую предварительно покрыли тонким слоем жидкости (влажная).

Сухая очистка лазером начинается с быстрого теплового расширения поверхностного слоя основного материала вместе с удаляемым загрязнением под действием низкочастотных импульсов лазерного излучения, которое является причиной возникновения механических напряжений в загрязняющем слое, а также возникновению инерционной силы при прекращении импульса [20].

Основными термомеханическими механизмами удаления загрязнений здесь являются [18]:

1. «стряхивание» загрязнений с поверхности при термическом расширении подложки;
1. отрыв загрязнений от поверхности вследствие смещения центра массы пленки;
3. выброс фрагментов загрязнений с поверхности в результате действия в них термических напряжений сжатия.

Во время влажной лазерной очистки очищаемую поверхность до начала обработки покрывают тонким слоем жидкости и задача очистки состоит в том, чтобы испарить слой этой жидкости (напоминаем, что чтобы испарить водный раствор его достаточно нагреть до 100°C или чуть выше), кипение которой и разрушает загрязнения, а также устраняет их с поверхности. В момент поглощения лазерного излучения в основном материале жидкость, которая находится вблизи поверхности, нагревается до температуры, которая превышает температуру её кипения при нормальном атмосферном давлении, это необходимо для начала объемного (или пузырькового) кипения. При импульсном воздействии излучения после прекращения каждого импульса энергетическая подпитка пузырьков пара прекращается, и вследствие теплоотвода в окружающую их жидкость они уменьшаются в размерах и схлопываются. Такое совокупное схлопывание пузырьков приводит к тому, что возникает ударная волна в жидкости, которая, по мере распространения вглубь материала и вызывает разрушение загрязнённого слоя, а также выброс жидкости и образующихся продуктов очистки. Влажная очистка поверхности лазером от загрязнений, которые сильно поглощают излучение (к примеру, от металлической пыли) имеет свои особенно-

сти. При этом излучение поглощается в верхней части загрязняющих частиц, и от их вершин вдоль всей поверхности частиц формируется волна испарения жидкости, причем наиболее эффективное испарение имеет место быть в узкой области, вблизи изотермы на поверхности частиц, соответствующей температуре кипения. По окружности поверхности частиц образуется расширяющийся сверху и углубляющийся со временем паровой канал, давление паров в котором максимально в его нижней части. По мере того, как паровой канал расширяется, область эффективного испарения перемещается к нижней половине частиц, при этом перпендикулярная поверхности подложки составляющая сил давления F_n оказывается направленной вверх и в момент, когда $F_n > F_a$ выталкивает частицы с поверхности подложки. Само собой, что энергетические пороги при влажной очистке лазером в 2 а то и в 3 раза ниже, чем при сухой [18].

Основные области применения очистки поверхности лазером:

- Очистка металлопроката.
- Очистка труб.
- Очистка внутренних поверхностей труб теплообменников.
- Очистка поверхности лопаток турбин.
- Очистка деталей запорно-регулирующей арматуры.
- Очистка поверхности резьбы.

1.7.4 Лазерное маркирование и гравирование

Лазерная гравировка. Уже давно на смену механической гравировке пришла лазерная гравировка с удалением части поверхностного слоя материала по уже заранее составленной программе. Данный процесс обработки материалов (лазерная гравировка или маркировка) основан на процессах химических реакций веществ поверхностного слоя и испарения, которые возникают при взаимодействии с мощным лазерным излучением, и является одной из самых быстро развивающихся лазерных технологий [21].

Лазерная гравировка – это способ нанесения какого-либо изображения при помощи лазерного луча. Особенностью этого вида гравировки является возможность регулировать мощность луча. Поэтому можно наносить изображения на предмет, менять его цвет, придать ему какой угодно рельеф или просто изменить структуру поверхностного слоя материала. Лазерная гравировка позволяет сделать долговечное изображение или рельеф, которые не сотрутся под воздействием воды или растворителей [21].

Лазерная гравировка бывает двух видов [22]:

1. Векторная гравировка – это вид лазерной гравировки, при котором лазерный луч рисует изображение тонкими линиями;
2. Растровая гравировка – это гравировка, которая основана на точечном нанесении рисунка, при котором получается более точное изображение.

К достоинствам гравировки лазером относится высокая стойкость изображения к истиранию, а также то, что гравировка лазером делает любую вещь презентабельной и уникальной. Более того, такой вид гравировки предупреждает деформацию и повреждение материала, на который она наносится [22].

К недостаткам же данного вида гравировки можно отнести то, что не все материалы можно подвергать лазерному излучению, так как они могут получить нежелательные повреждения [22].

Область для применения лазерной гравировки довольно обширна, потому что она используется в промышленности (для гравировки изделий или инструмента), рекламной продукции, а также на различных сувенирах, наградах и часах. Материалы на которые можно нанести гравировку также довольно разнообразны; это картон, мрамор, драгоценные металлы, дерево и, даже, кожаные изделия [23].

Лазерная маркировка. Для распознавания продукции, нанесения на изделия его основной информации, а также с целью предотвращения краж готовой продукции осуществляется маркировка изделий. Обычно для таких целей используют печать на трафарете, механическую или ручную гравировку, клеймение, травление или пескоструйную обработку. В некоторых случаях требования

к созданию длительно сохраняющейся маркировки находятся на пределе возможностей существующих методов [24].

Новый простой метод маркировки изделий основан на применении лазеров. Как правило, лазеры, необходимые для маркировки готовой продукции, значительно дороже обычно применяемых для этой цели устройств (например, стальных штампов). Поэтому к лазерной маркировке следует прибегать лишь в тех случаях, когда требования к маркировке не могут быть достаточно хорошо выполнены обычными методами. Такая ситуация возникает в тех случаях, когда изделия имеют малые размеры или очень хрупки, а также при необходимости обеспечить высокую скорость маркировки [24].

Существует четыре типа лазерного воздействия на поверхность обрабатываемого материала, которые представлены на рисунке 17.

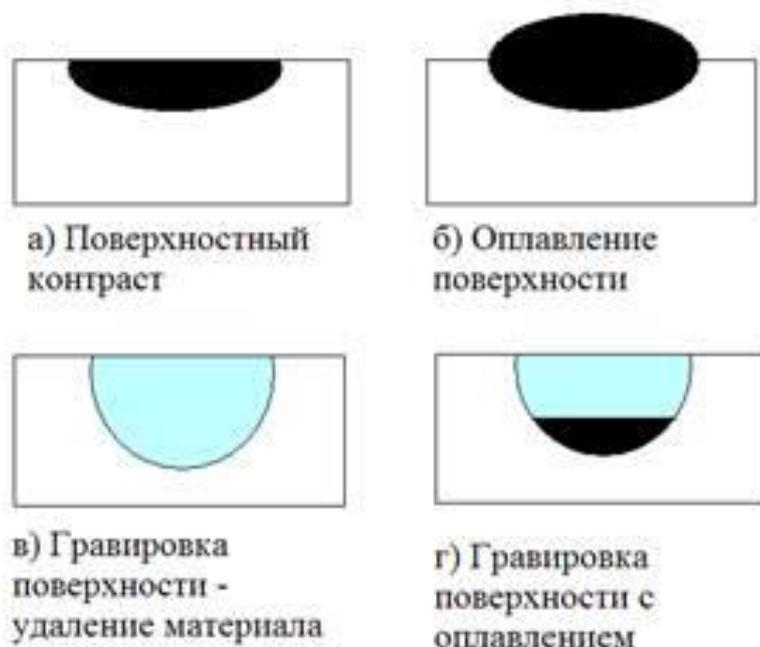


Рисунок 17 – Типы лазерного воздействия на материал

Создание поверхностного контраста – характеризуется высокими скоростями сканирования луча по поверхности и/или короткими продолжительностями пульсов. Цвет изменяется только на поверхности материала, которая поглощает свет. Это создаёт видимый контраст с необработанной поверхностью

материала. Данный тип известен как фотохимический эффект. Таким способом, например, зачастую маркируются этикетки товаров. При этом используется специальная термобумага, меняющая окраску под действием луча. Аналогичным способом работают некоторые факсимильные аппараты [24].

К преимуществам данного типа маркировки можно отнести [24]:

- низкую мощность, необходимую для создания рисунка;
- компактность оборудования, работающего по этой технологии;
- сверхвысокую производительность;
- возможность получения высокой разрешающей способности;
- бесконтактность обработки.

Недостатками являются:

- необходимость применять для маркировки специальные материалы;
- возможная порча отпечатка со временем под действием солнечного света, температуры и др.

Оплавление поверхности – более медленный процесс, при котором материал достигает температуры плавления и через химический распад, эффекты окисления или изменение в поверхностной морфологии обеспечивает видимую маркировку [24].

Редко применяется при маркировке металлических поверхностей из-за низкого контраста. Например, белая маркировка на темных пластмассовых поверхностях появляется из-за вспенивания пластмассы, обрабатываемой лазерным лучом. Лазерный луч плавит пластмассу, в которой создаются пузырьки газа из-за сгорания углерода с образованием CO_2 или непосредственно теплового разложения пластмассы. Пузырьки газа поднимаются у поверхности, но не покидают материал из-за отвердевания расплавленного пластика, образуя пену. К вспениванию склонны полиолефины и полиэтилены высокой плотности. Основным недостатком данного метода является низкая износостойкость маркировки [24].

Гравировка поверхности или полное удаление материала – самый медленный процесс маркировки, поскольку материал выпаривается. Маркировка

становится хорошо видимой, поскольку окружающий свет противопоставляет глубину канала рядом с немаркированным материалом [24].

Технология получила широкое применение во всех областях производства. В микроэлектронике она применяется для маркировки заготовок, изделий и оснастки на всех стадиях разработки и производства, например, для кремниевых пластин [24].

Значительную роль в данном типе маркировки играют параметры обрабатываемого материала. Наиболее существенные из них – теплопроводность, скрытая теплота испарения и коэффициент отражения лазерного излучения [24].

При медленном нагреве непрерывным лазером наиболее важным критерием является отвод тепла вглубь материала. В этом случае точка испарения получается достаточно большой. Для плоских образцов большую роль играет толщина. Если объем подводимой энергии превышает объем энергии, отводимой теплопередачей, происходит плавление материала. С увеличением интенсивности (т. е. перехода к импульсным лазерам), существенное влияние начинает оказывать вторичное излучение с поверхности и, как следствие, отвод энергии в окружающую среду. При достижении уровня 105 Вт/см^2 процесс начинает проявлять новые свойства. Это связано с тем, что над поверхностью образца создается облако плазмы, частично экранирующее поверхность. Потери энергии в этом случае могут достигать 40%. Для того, чтобы избежать возникновения такого явления, следует делать небольшую паузу при подаче импульсов лазера. Дальнейший рост удельной энергии излучения активизирует процесс механического разрушения материала совместно с термическим. В этом случае на поверхности происходит микровзрыв. Взрывы способствуют выдавливанию всего материала, находящегося в жидкой фазе, и разбрызгиванию его на значительные расстояния, сравнимые и даже иногда превосходящие диаметр пучка обработки [25].

Кроме того, резкий нагрев стимулирует протекание различных химических реакций в зоне воздействия. При работе без создания особой среды преобладают процессы окисления. Этот фактор играет существенную роль для мар-

кировки изделий, поскольку позволяет получать химические соединения цвета, отличного от основного материала. Зачастую этот слой прочно держится на поверхности и позволяет добиваться качественного изображения. Простое удаление материала чаще всего осуществляется на относительно небольшую величину и не позволяет добиться нанесения хорошо различимых символов [25].

1.8 Задачи магистерской диссертации

В современном автомобилестроении всё чаще применяются лазерные технологии для соединения различных узлов, ведь это высокопроизводительный способ, который обеспечивает хорошее качество. Исходя из этого, а также из выбранной темы магистерской диссертации «Оценка возможности лазерной пайки на ОАО «АВТОВАЗ» задачами являются:

1. Проведение лазерной пайки образцов на имеющемся на ОАО «АВТОВАЗ» оборудовании.
2. Проведение лазерной пайки образцов с привлечением сторонней организации.
3. Сравнение результатов лазерной пайки образцов ОАО «АВТОВАЗ» и сторонней организации.
4. Проведение лабораторных испытаний паяных образцов.

2. Методика исследований

2.1 Лазерная пайка на ОАО «АВТОВАЗ»

2.1.1 Краткая история предприятия

Возведение гиганта российского автомобилестроения – Волжского автомобильного завода (ВАЗ) – началось в 1967 году. После тщательной подготовки и выбора строительной площадки. 20 июля 1966 года ЦК КПСС и Совет министров, предварительно проанализировав 54 различных потенциальных участков, определилось с местом строительства – было принято решение построить новый крупнейший в Союзе завод легковых автомобилей в г. Тольятти (Самарская область). Строительство было оглашено ударной комсомольской стройкой. Совет министров назначил заместителя министра автопромышленности Полякова В.Н. генеральным директором строящегося завода, а Соловьева В.С. главным конструктором АвтоВАЗа. Впоследствии, тысячи людей, преимущественно молодежь, были направлены в Тольятти на стройку завода-гиганта. Технический проект строительства был подготовлен итальянским автомобильным концерном Fiat, с которым также был заключен контракт на поставку основного технологического оборудования и дальнейшее обучение специалистов [26].

Уже через два года после начала строительства начали формировать трудовые коллективы заводских цехов. Главным образом работать на ВАЗ шли те же молодые люди, которые его строили и производили монтаж оборудования. Завод планировался настолько большим и мощным, а сроки запуска были столь ограничены, что производственное оборудование для ВАЗ изготовлялось на 844 машиностроительных заводах СССР и 900 заводах других социалистических стран, а также компаниями ФРГ, Италии, Англии, Франции, США и других государств [27].

8 апреля 1986 года состоялся визит М. С. Горбачёва в Тольятти, где Генеральный секретарь ЦК КПСС посетил автозавод. Результатом этого визита бы-

ло решение о создании на базе флагмана отечественного машиностроения инжинирингового центра [26].

4 сентября 1986 года Правительством страны было принято решение о создании на автозаводе отраслевого научно-технического центра (НТЦ). В 1987—1994 годах были введены в строй его основные мощности: инженерный корпус, дизайн-центр, комплекс подготовки автомобилей к испытаниям, комплекс исследований электромагнитной совместимости, шумов и вибраций, аэроклиматический комплекс, корпуса опытно-промышленного и экспериментального производств. В 1996 году в НТЦ была принята в эксплуатацию полномасштабная аэродинамическая труба [26].

Первым руководителем научно-технического центра был В. В. Каданников (в 1986–1988 годах).

После вхождения в число акционеров ОАО «АВТОВАЗ» французской компании Renault, принято решение о вхождении НТЦ ОАО «АВТОВАЗ» в состав глобального инженерного альянса с Renault/Nissan.

2.1.2 Первые исследования лазерной пайки стали на ОАО «АВТОВАЗ»

Ещё до начала работы над магистерской диссертацией, на ОАО «АВТОВАЗ» уже проводились попытки лазерной пайки на имеющемся оборудовании. Ниже приведены фотографии полученных образцов.

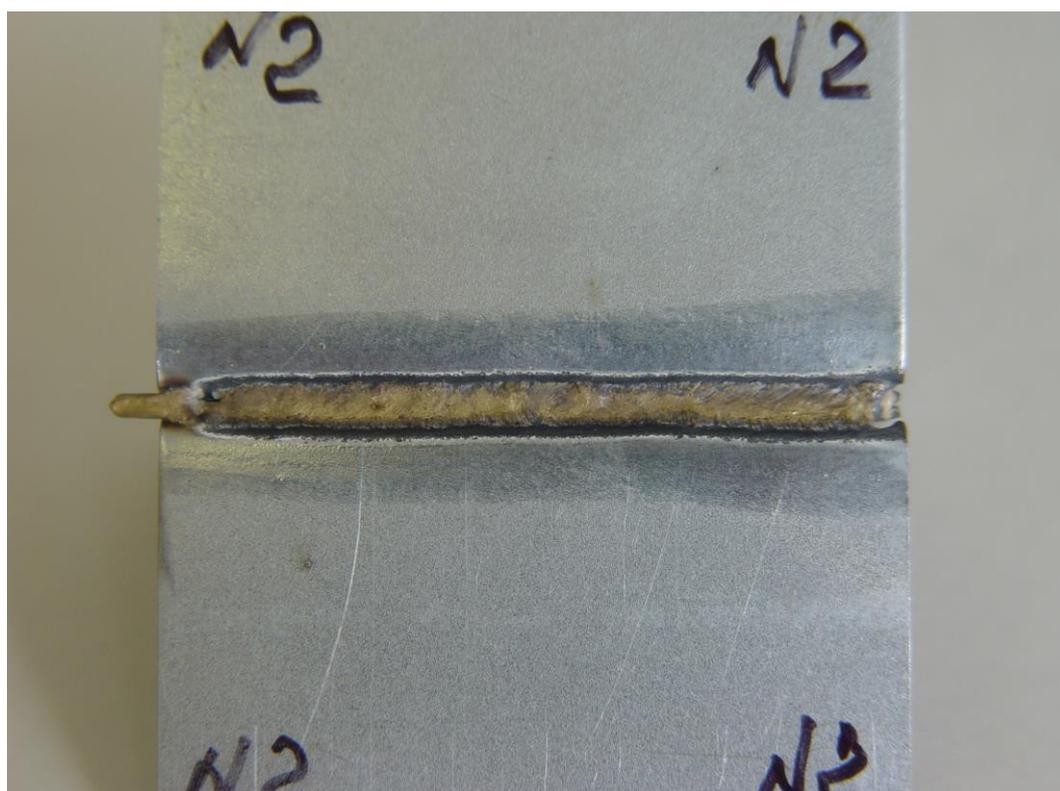
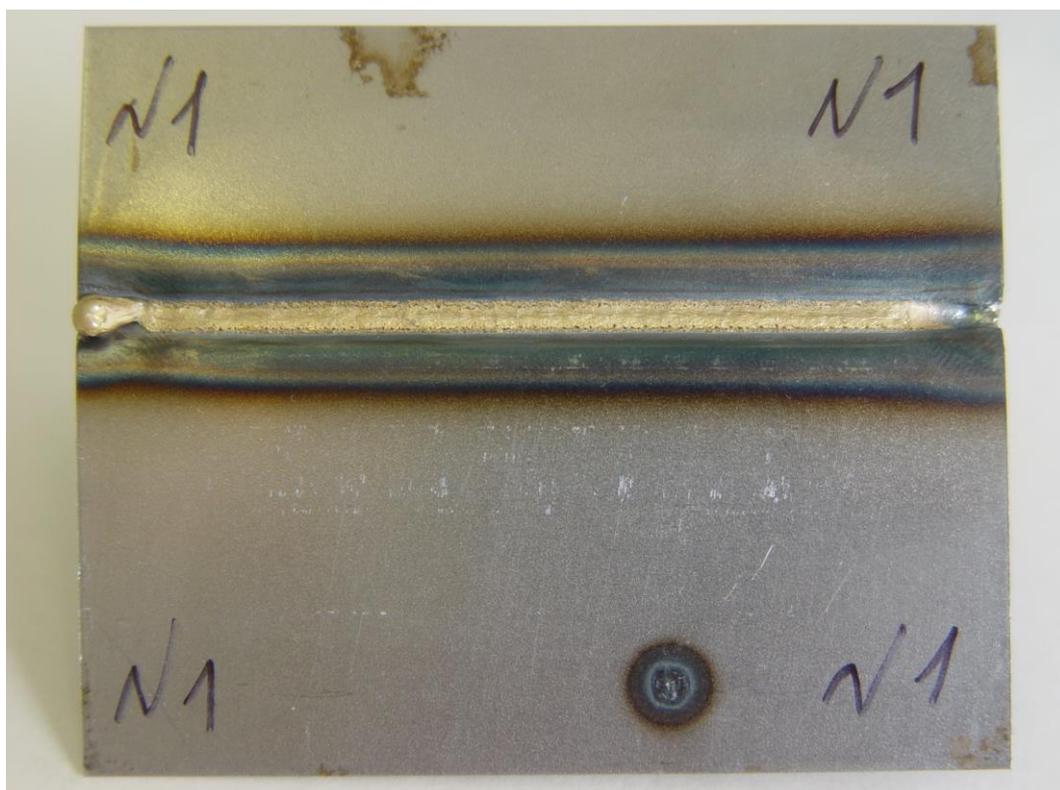


Рисунок 18 – Паяные образцы

На фотографиях видно, что качество пайки оставляет желать лучшего. Имеются цвета побежалости и испарение цинка. Также можно заметить, что

окончательный результат больше напоминает сварку, так как произошло оплавление основного материала.

2.1.3 Оборудование для проведения лазерной пайки ОАО «АВТОВАЗ»

Для проведения лазерной пайки для магистерской диссертации АВТОВАЗ предоставил CO₂-лазер ТЛ-1,5 мощностью 1,5 кВт, внешний вид которого представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 – CO₂-лазер ТЛ-1,5

CO₂-лазер ТЛ-1,5. Технологический быстропроточный CO₂ - лазер непрерывного действия (с замкнутой поперечной прокачкой рабочей смеси) предназначен для использования в качестве генератора мощного когерентного инфракрасного излучения в технологических комплексах по лазерной резке, сварке, пайке, наплавке, термоупрочнению и поверхностному легированию различных материалов.

Данный лазер уже долгое время используется в лаборатории сварки ОАО «АВТОВАЗ» для различных испытаний. Однако он имеет большие габариты и долго выходит на рабочие режимы.

Сборка под пайку осуществлялась в стенде, рисунок 20.



Рисунок 20 – Стенд сборки под пайку

2.1.4 Результаты лазерной пайки образцов ОАО «АВТОВАЗ»

Результаты пайки лазером ТЛ-1,5 представлены на рисунке 21.

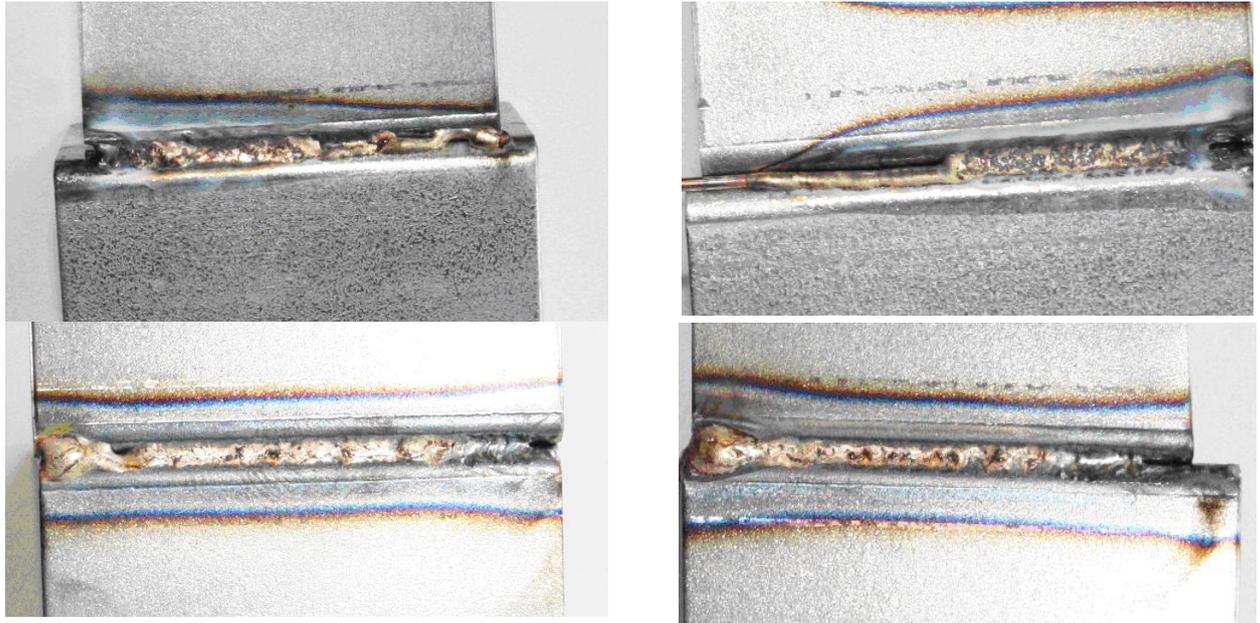


Рисунок 21 – Образцы паяные на ОАО «АВТОВАЗ»

Режимы пайки:

Мощность лазера – 1,5 кВт;

Скорость пайки – 1 м/мин.;

Диаметр лазерного луча – 3 мм;

Диаметр проволоки припоя – 0,8 мм;

Материал проволоки припоя – CuSi_3 .

На фотографиях явно видны дефекты такие, как поры, непропаи, нерасплавление припоя, оплавление основного металла, цвета побежалости. Эти дефекты возникли в результате неправильно подобранных режимах, использовании устаревшего лазера и отсутствия защитной среды.

2.2 Лазерная пайка на фирме TRUMPF

2.2.1 История компании TRUMPF

1923 г. – Христиан Трумпф с двумя партнерами приобрел мастерскую Julius Geiger GmbH в Штутгарте. Первая эмблема компании была основана на изделии мастерской - гибких валах [28].

Они первоначально применялись в стоматологии и печати. С развитием механического привода они также стали производиться и поставляться для промышленности - для обработки металла и дерева [28].

1927 г. – предприятие Julius Geiger GmbH насчитывало 70 работников.

Рост компании заставил переместиться в более просторные производственные помещения. В 1933 г. компания переезжает в пригород Штутгарта Вайлимдорф [28].

1934 г. – компания представляет первые ручные ножницы с механическим приводом для резки листового металла. Начиная с этого развивается широкий ассортимент электрического и пневматического инструмента [28].

1937 г. – компания получает название «TRUMPF & Co. vormals Julius Geiger GmbH».

1939 г. – на предприятии работают более сотни сотрудников. Во время Второй мировой войны TRUMPF продолжает производство электрических ножниц и гибких валов. Производственные мощности остаются неразрушенными. На TRUMPF занято около 20 французских рабочих. Они имеют такие же условия труда и такую же оплату, что и немецкие рабочие [28].

1947 г. – Христиан Трумпф принимает решение на изготовление стационарных высечных ножниц. Эти ножницы получают название «TRUMPF Aushauschere TAS» [28].

Исходя из новой области деятельности, в 1948 г. TRUMPF меняет эмблему. Эмблема с пиком используется на протяжении более 30 лет [28].

1950 г. – предприятие насчитывает 145 сотрудников и преодолевает миллионный рубеж оборота. Стационарные машины становятся причиной расширения и интернационализации компании [28].

1953 г. – TRUMPF присутствует на международных выставках и получает клиентскую базу за рубежом. Высечные ножницы распространяются во всем мире. Возникает необходимость во второй производственной площадке.

Партнером и управляющим директором компании становится Хуго Шварц. На этом посту он остается до 1978 г.

1955 г. – TRUMPF открывает второй завод в Геттингене в горах Швабского Альба [28].

1957 г. – от имени молодого инженера Бертольда Ляйбингера компания подает заявку на патент на координатную систему управления. Это техническое усовершенствование позволяет превзойти возможности ручного управления листом металла и обеспечивает сверхточную вибрационную высечку вырезов и контуров. Координатное управление становится первым шагом к числовому программному управлению движением подачи [28].

1960 г. – специальный журнал называет TRUMPF «королем высечки». Этот титул отражает деятельность и успехи компании в данной области. Первоначально вибрационная высечка редко использовалась для обработки листового металла. Компания TRUMPF признала преимущества этого процесса резки для обработки листового металла и применила его в стационарных станках, электрических и пневматических инструментах [28].

1961 г. – предприятие насчитывает 325 сотрудников и достигает оборота в 11 млн. марок. Бертольд Ляйбингер после приезда из США становится руководителем конструкторского отдела [28].

1963 г. – TRUMPF учреждает первый зарубежный филиал в Цуге, Швейцария. К 1967 г. численность работников предприятия возрастает до 440, а оборот - до 20 млн. марок [28].

1968 г. – TRUMPF представляет TRUMATIC 20 - первый станок для обработки листового металла с числовым контурным управлением. Это изделие

впервые обеспечивает полностью автоматический рабочий процесс вплоть до смены инструмента. Все сведения, необходимые для обработки заготовки, хранятся на перфоленте. TRUMATIC 20 производит сенсацию на 11-й европейской выставке станков в Париже [28].

1969 г. – компания учреждает дочернее предприятие в Фармингтоне, Коннектикут, США. Фармингтон становится вторым по величине филиалом компании и штаб-квартирой для рынка США [28].

1972 г. – офис TRUMPF переносится в Дитцинген. Условия производства и транспортная инфраструктура в Вайлимдорфе больше не подходят для компании [28].

1975 г. – TRUMPF насчитывает 800 сотрудников. Оборот компании достигает 73 млн. марок [28].

1978 г. – TRUMPF учреждает дочернее предприятие в Иокогаме, Япония. 30 лет спустя Япония является крупнейшим, после Германии и США, рынком для TRUMPF [28].

1978 г. – Бертольд Ляйбингер становится генеральным директором компании.

1979 г. – TRUMPF осваивает лазерную технику. Компания представляет свой первый комбинированный высечно-лазерный станок TRUMATIC 180 LASERPRESS, пока что оснащенный закупленным в США лазером. Мощность лазера составляет от 500 до 750 Вт [28].

1981 г. – выпущено тысячное изделие TRUMATIC 300.

1984 г. – компания насчитывает 1500 сотрудников и достигает оборота почти 300 млн. марок [28].

1985 г. – TRUMPF позиционирует себя как производитель лазеров, представляя первый углекислотный лазер собственной разработки и производства, TRUMPF LASER TLF 1000. Этот лазер имеет мощность излучения больше 1 кВт и является первым компактным лазерным резонатором с высокочастотным возбуждением [28].

1987 г. – TRUMPF демонстрирует следующую инновацию в данной области - планшетный станок лазерной резки с летучей оптикой, TRUMATIC L 3000. Здесь заготовка остается на месте, а обрабатывающая головка "летает" над листом металла [28].

1988 г. – в следующие несколько лет нововведения в области разработки лазеров вызвали необходимость создания отдельной компании - TRUMPF Lasertechnik GmbH [28].

1989 г. – на европейской выставке станков в Ганновере представлен первый "петлевой" лазер в составе TRUMATIC 240 LASERPRESS [28].

Количество работников достигает 2400, а оборот - 525 млн марок.

1992 г. – начинается деятельность TRUMPF в области твердотельных лазеров с участием компании Haas Laser GmbH из Шрамберга. Эта компания полностью вливается в группу TRUMPF [28].

1997 г. – выпущено десяти тысячное изделие TRUMATIC.

1998 г. – компания тихо отмечает свое 75-летие. Ориентация на будущее определяет мысли и действия [28].

Это относится и к расширению производственных мощностей. На главной производственной площадке в Дитцингене 20 ноября 1998 г. открывается новый завод лазеров, который обеспечивает производство в Германии.

2000 г. – в соответствии с требованиями глобализации и интернационализации организационно-правовая форма компании преобразуется в холдинг [28].

TRUMPF насчитывает 4800 сотрудников и достигает оборота в 1 млрд. евро.

2001 г. – станок лазерной резки TRUMATIC L 3050 обеспечивает наивысшую скорость резки даже на толстых листах [28].

2003 г. – открытие нового центра продаж и обслуживания в Дитцингене [28].

Впервые в мире компания представляет прототип дискового лазера с мощностью излучения 4 кВт. Благодаря высокому качеству пучка открываются совершенно новые области применения, например, сканирующая сварка.

2004 г. – компания выпускает десятитысячный углекислотный лазер линейки TLF [28].

2005 г. – 18 ноября, после более чем 40-летнего руководства, профессор Бертольд Ляйбингер передает бразды правления компанией следующему поколению семьи. Он становится председателем наблюдательного совета. Доктор Никола Ляйбингер-Каммюллер становится генеральным директором, а Петер Ляйбингер - заместителем директора [28].

2008 г. – 20-я международная ярмарка по обработке листового металла EuroBLECH стала для TRUMPF поводом продемонстрировать мировое первенство или новые разработки во всех технологиях. От высечки, комбинированной обработки и гибки до плоской и объемной лазерной резки и сварки - не было области, в которой компания не показала бы что-нибудь новое и удивительное. При этом главным принципом всегда оставалась эффективность машины [28].

2009 г. – TRUMPF демонстрирует первый мультикиловаттный промышленный лазер с высокопроизводительными лазерными диодами в качестве источника луча [28].

Открывается производственный центр по выпуску инструментов и центр лазерных технологий в Дитцингене [28].

2010 г. – TruLaser 5030 fiber представлен на международной выставке EuroBLECH 2010 в Ганновере [28].

2011 г. – представлен новый «рабочий союз» для представительств TRUMPF в Германии. Во главу угла в нем ставится новый подход к организации рабочего времени сотрудников. Это позволяет учитывать интересы работников на различных этапах их жизни [28].

В 2010/11 компания TRUMPF насчитывает 8.546 сотрудников и достигает годового оборота в 2,02 млрд. евро. Это на 51% больше чем в предшествующий год [28].

2012 г. – профессор Бертольд Ляйбингер решил покинуть пост председателя Наблюдательного совета TRUMPF 31.12.2012. Доктор Юрген Хамбрехт -

бывший председатель Наблюдательного совета BASF SE, был избран его преемником [28].

В 2011/12 году компания насчитывала около 9500 сотрудников по всему миру и достигла объема продаж в 2,3 млрд. евро [28].

В 2011/12 году TRUMPF инвестировала 193 млн. евро в разработку новых продуктов. Доля инвестирования исследований и разработок у нас составляет 8,3 процента, что выше среднего показателя по отрасли. В группе TRUMPF по всему миру в области исследований и разработок работают 1 352 сотрудников [28].

Благодаря своему международному присутствию компания TRUMPF является постоянной величиной на всех мировых рынках. Со своими 56 дочерними компаниями и филиалами групп представлена почти во всех европейских странах, в Северной и Южной Америке и Азии. Производственные мощности расположены в Германии, Китае, Франции, Великобритании, Японии, Мексике, Австрии, Польше, Сингапуре, Швейцарии, Чехии и США [28].

2.2.2 Образцы для лазерной пайки

Для лазерной пайки были подготовлены образцы, схема которых представлена на рисунке 22, а на рисунке 23 сами образцы, формой похожей на соединение панели крыши с панелью боковины, так как это наиболее доступное и протяжённое место, которое в полной мере показывает преимущества лазерной пайки. Образцы для пайки были изготовлены из оцинкованной и неоцинкованной стали марок 08Ю и 01ЮТ ГЦ соответственно.

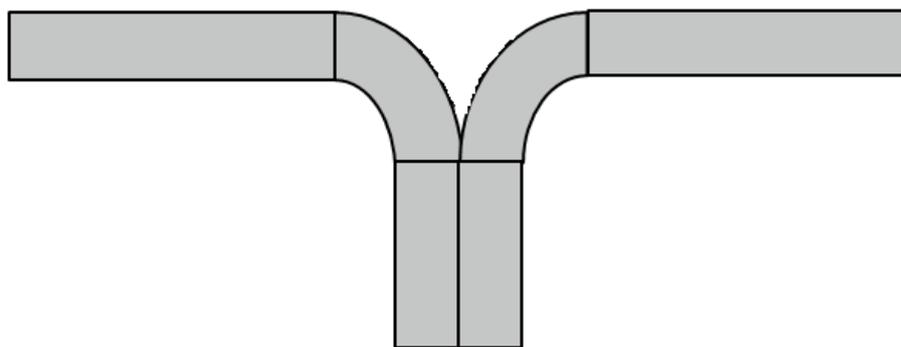


Рисунок 22 – Схема образца для лазерной пайки



Рисунок 23 – Внешний вид образцов до пайки

Таблица 5 – Химический состав в % стали 08Ю [29]:

С	Si	Mn	S	P	Al
до 0.07	до 0.03	до 0.35	до 0.025	до 0.02	0.02 - 0.07

Таблица 6 – Механические свойства при T=20°C стали 08Ю [29]:

Сортамент	Размер, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	d_5 , %
Лист термообработ. для особо сложной вытяжки, ГОСТ 9045-80	0.5-1.5	320	195	36

Таблица 7 – Химический состав в % стали 01ЮТ ГЦ [29]:

C	Si	Mn	S	P	Al	Cr	Ni	Ti	Cu	N	Fe
до 0.01	до 0.03	0.1- 0.18	до 0.012	до 0.01	0.02 - 0.05	до 0.03	до 0.03	0.09- 0.12	до 0.06	до 0.007	осталь ное

Таблица 8 – Механические свойства при T=20°C стали 01ЮТ ГЦ [29]:

Сортамент	Размер, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	d_5 , %
Прокат для хо- лодной штам- повки по ТУ 14- 106-632-2001	0.7 - 1.5	350	185	40

2.2.3 Оборудование для проведения лазерной пайки фирмы TRUMPF

Фирма TRUMPF использовала для пайки современный дисковый лазер TruDisk 3001 мощностью 3 кВт, внешний вид которого представлен на рисунке 24.



Рисунок 24 – Дисковый лазер TruDisk 3001

Дисковый лазер TruDisk 3001. Дисковый лазер TruDisk сочетает в себе преимущества твердотельных и диодных лазеров. Диодный лазер в качестве источника накачки поставляет энергию накачки, обеспечивая высокий уровень КПД. Принцип работы дискового лазера основан на использовании охлаждаемого кристалла в форме диска. Высокая эффективность охлаждения лазерной среды обеспечивается за счет большой площади поверхности диска в сравнении с его объемом. Поэтому средняя мощность излучения в пучке достигает высоких значений [30].

Сборка под пайку осуществлялась в стенде, представленном на рисунке 25.

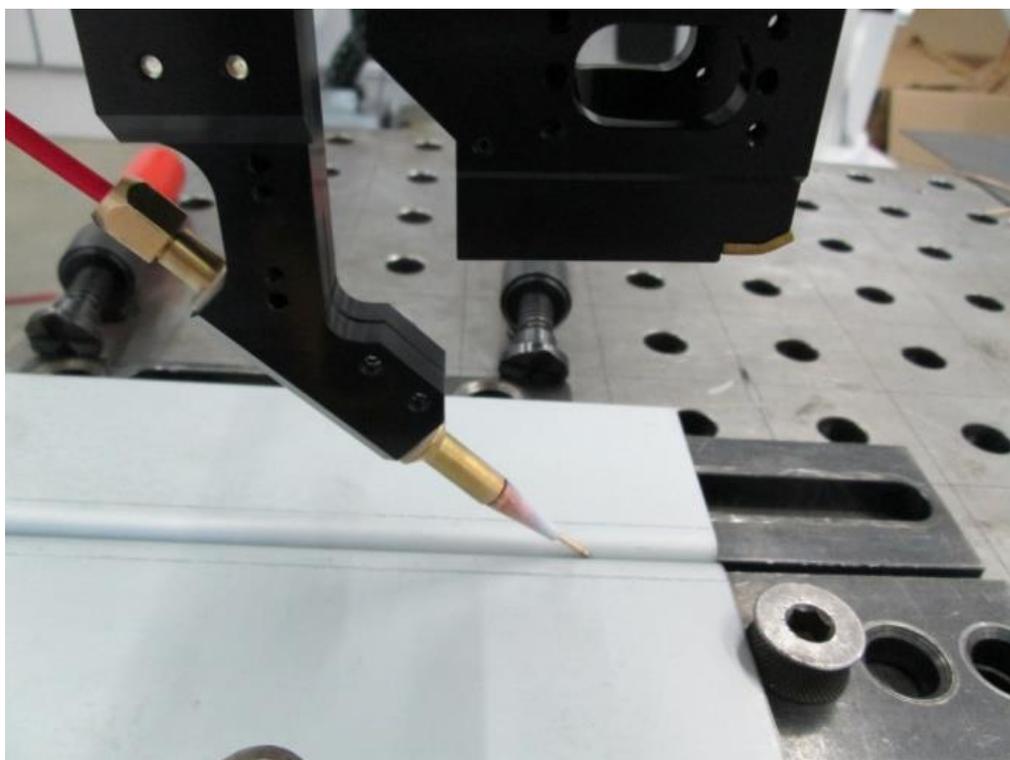


Рисунок 25 – Стенд сборки под пайку

2.2.4 Результаты лазерной пайки образцов TRUMPF

Результаты пайки лазером TruDisk 3001 представлены на рисунке 26.

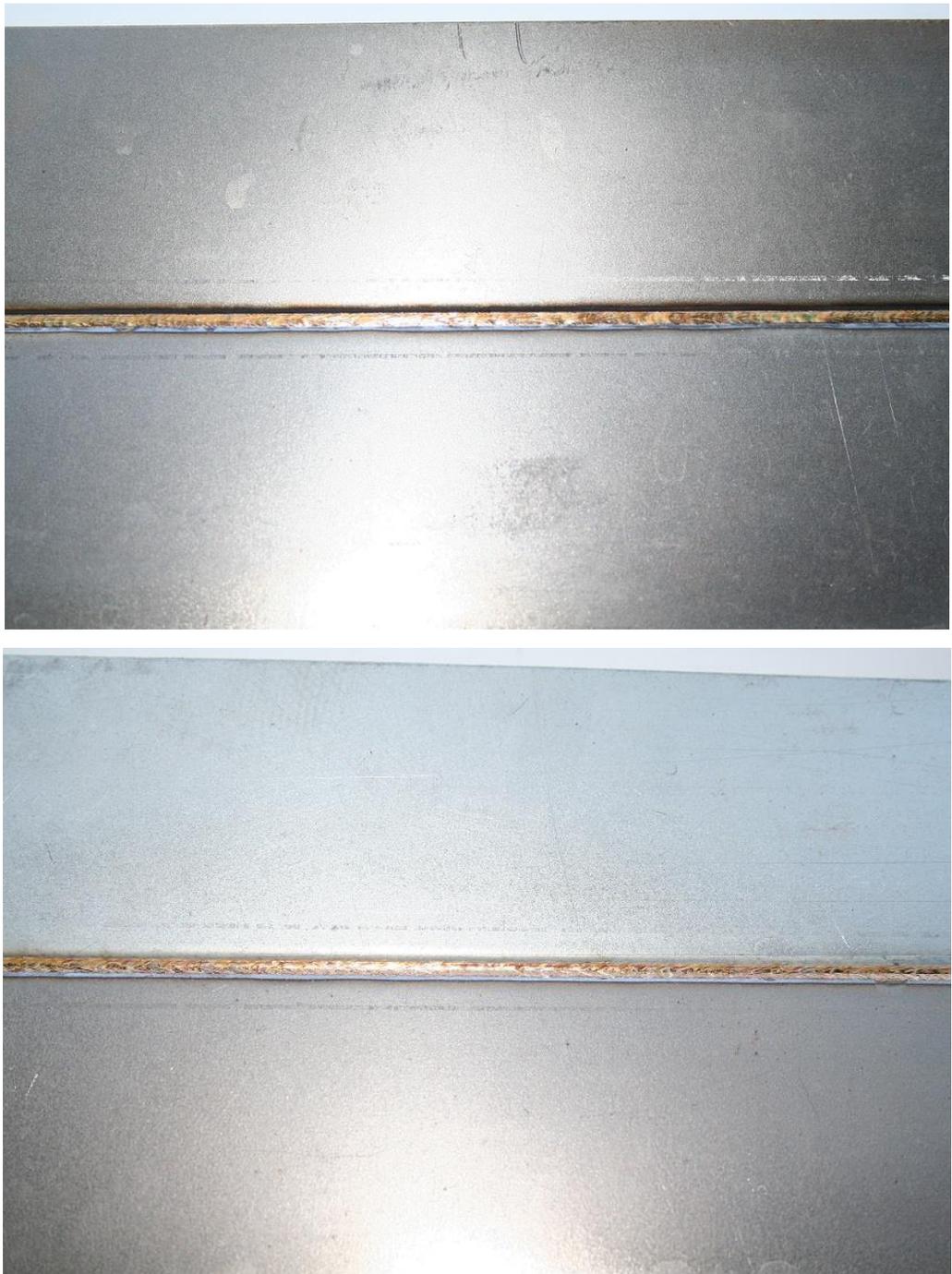


Рисунок 26 – Образцы паяные на фирме TRUMPF

Режимы пайки:

Мощность лазера – 3 кВт;

Скорость пайки – 3 м/мин.;

Скорость подачи проволоки – 3 м/мин.;

Диаметр лазерного луча – 2,5 мм;

Диаметр проволоки припоя – 1,2 мм;

Материал проволоки припоя – CuSi_3 .

На фотографиях виден ровный тонкий паяный шов без каких-либо дефектов. Такое высокое качество паяного шва было достигнуто путём точного подбора режимов пайки специалистами фирмы, применению новейшего лазера и защите зоны пайки от окружающей среды аргоном.

Итак, так как нам не удалось получить качественных паяных образцов на ОАО «АВТОВАЗ», то дальнейшим испытаниям были подвергнуты образцы фирмы TRUMPF.

2.3 Лабораторные испытания паяных образцов

2.3.1 Испытание на разрыв

Первое испытание, которое было проведено это - испытание на разрыв. Цель исследования: определить механическую прочность паяных швов на отрыв по ГОСТ 6996-66.

Для испытания были предоставлены образцы 08Ю+08Ю, 08Ю+01ЮТ ГЦ, 01ЮТ ГЦ+01ЮТ ГЦ размерами 0,76x15 мм.

Испытания проводились на универсальной разрывной машине Zwick/Roell Z150 представленной на рисунке 27, с применением микроскопа AxioObserver. D1m с программой анализа изображений Thixomet PRO, а также твердомер Micromet-II.

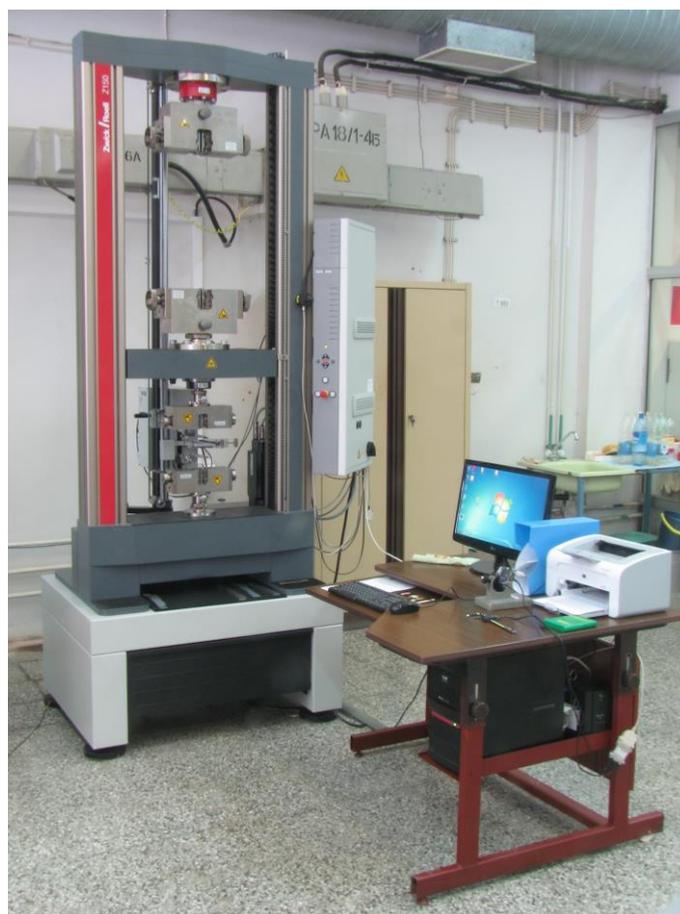


Рисунок 27 – Универсальная машина Zwick/Roell Z150

Технические характеристики:

Усилие испытания на растяжение/сжатие.....150 кН

Высота нагружающей рамы.....1734 мм

Общая высота.....от 2141 мм до 2161 мм

Ширина нагружающей рамы.....960 мм

Глубина нагружающей рамы.....317 мм

Общая глубина.....766 мм

Высота рабочей зоны, без приспособлений:

нижняя рабочая зона.....1535 мм

верхняя рабочая зона.....1545 мм

Ширина рабочей зоны.....640 мм

Вес:

с блоком электроники.....	750 кг
с типовым оснащением ок.....	850 кг
Установочная поверхность:	
чистая установочная поверхность.....	707 см ²
Поверхность под нагружающую раму.....	7354 см ²
Специфическая нагрузка на пол:	
в отношении типового оснащения.....	1,2 кг/см
с 50% защитных устройств.....	1.8 кг/см
Нагрузка на перекрытие:	
в отношении типового оснащения.....	0,12 кг/см
с 50% защитных устройств.....	0,18 кг/см
Температура окружающего воздуха.....	от + 10°С до + 35°С
Влажность воздуха.....	от 20% до 90%
Уровень шума.....	64 дВ(А)
Скорость траверсы.....	от 0,0005 до 900 мм/мин

2.3.2 Испытание на окрашиваемость

Второе испытание, которое было проведено это - испытание на окрашиваемость. Цель исследования: оценка окрашиваемости паяных швов лазерной пайкой фирмы TRUMPF, Германия, на образцах кузовной стали марки 08Ю и 01 ЮТ ГЦ с целью применения их в составе автомобилей LADA.

Для испытания были предоставлены образцы 08Ю+08Ю, 08Ю+01ЮТ ГЦ, 01ЮТ ГЦ+01ЮТ ГЦ.

Для проведения испытаний по определению окрашиваемости паяных швов катафорезной грунтовкой представленные образцы фосфатировали в лабораторных ваннах материалами фирмы Хеметалл, согласно методике испытаний D 39 1744. Качество фосфатного покрытия оценивали по внешнему виду фосфатного покрытия, полученного на образцах. Для получения однослойного покрытия зафосфатированные образцы окрашивали катафорезной грунтовкой

ENVIROPRIME DOTO ф. PPG-Helios на лабораторной установке фирмы Gorcott, представленной на рисунке 28, согласно методике испытаний D 59 1771.



Рисунок 28 – Лабораторная установка фирмы Gorcott

2.3.3 Коррозионные испытания

Третье испытание, которое было проведено это - испытание на коррозию. Цель исследования: сравнительные испытания образцов в камере нейтрального соляного тумана для определения фактической коррозионной стойкости паяных швов, после полного цикла окраски катафорезной грунтовкой.

На коррозионные испытания были предоставлены металлические образцы с паянными швами и окрашенные катафорезной грунтовкой. В соответствии с ТТМ 1.94.1103-2012 на лакокрасочное покрытие (ЛКП) продолжительность ускоренных коррозионных испытаний в камере нейтрального соляного тумана - 1500 часов.

Осмотр образцов проводился каждые 24 часа испытаний. В процессе осмотров оценивалось только изменение внешнего вида паяных швов.

Для проведения коррозионных испытаний паяных швов образцы поместили в камеру нейтрального соляного тумана производства WEISS TECHNIK модели SC1000, Германия, представленная на рисунке 29.



Рисунок 29 – Камера нейтрального соляного тумана WEISS TECHNIK SC1000

Рабочий объем испытательной камеры – 1000 см³.

Параметры испытательной среды – туман NaCl 5%, температура 35°C, время испытаний – согласно требованиям на испытываемый объект (материал).

Российские НД на проведение испытаний (на данном оборудовании):

- ГОСТ 9.308 м.1
- ГОСТ 9.401 м.Б
- ГОСТ 9.054 м.3

2.3.4 Металлография паяных образцов

Четвёртое испытание – это металлография по ГОСТ 2999-75. Цель испытания: определить геометрические размеры паяных швов, микротвердость, наличие дефектов в поперечном сечении. Для металлографии были подготовлены шлифы трёх образцов 08Ю+08Ю, 08Ю+01ЮТ ГЦ и 01ЮТ ГЦ+01ЮТ ГЦ. Исследования проводились с помощью микроскоп AxioObserver. D1m с программой анализа изображений Thixomet PRO, показанный на рисунке 30, а также твердомера Micromet-II.



Рисунок 30 – Микроскоп AxioObserver. D1m

Таблица 9 – Технические характеристики микроскопа AxioObserver:

Увеличение микроскопа	50x - 1000x (без конфокальных лазерных приставок и модулей Optovar)
Увеличение объективов	5x, 10x, 20x, 50x, 100x (опционально длиннофокусные, флуоресцентные, изолированные, мультииммерсионные)
Увеличение окуляров и поле зрения	W-PL 10x/23мм (опционально E-PL 10x/25мм)

Револьвер для крепления объективов	6-и позиционный
Револьвер для смены рефлекторов	6-и позиционный быстросъёмный
Осветитель штатный	HAL 12В/100Вт
Осветитель (опционально) с внешним БП	ХВО 75Вт (ксенон); НВО 12В/100Вт (ртуть); LED (сведиодный)
Ручной предметный стол с соосными ручками	двухкоординатный 130x85мм двухкоординатный поворотный 20x20мм/90°
Моторизованный предметный стол	двухкоординатный 120x100мм STEP двухкоординатный 130x85мм CAN
Доступные методы контраста	Светлое поле, тёмное поле, поляризация, ДИК, круговой ДИК, флуоресценция
Видео/Фото выход	переднее/верхнее/левое/правое расположение (требуется оптический адаптер)
Габаритные размеры ГxВxШ, мм	831(включая HAL 100)x425(без штатива на просвет)x294
Масса, кг	30

3. Результаты лабораторных испытаний паяных образцов

3.1 Результаты испытаний на разрыв

Таблица 10 – Результаты механических испытаний

Соединение	Номер образца	F_{\max} , Н	Характер разрушения
08Ю+08Ю	1.1	3301	По основному материалу
	1.2	3307	По основному материалу
	1.3	3339	По основному материалу
	1.4	3334	По основному материалу
	1.5	3347	По основному материалу
08Ю + 01ЮТ ГЦ	2.1	2658	По шву
	2.2	3388	По основному материалу
	2.3	2853	По шву
	2.4	3035	По шву
	2.5	2761	По шву
01ЮТ ГЦ + 01ЮТ ГЦ	3.1	3304	По основному материалу
	3.2	3302	По основному материалу
	3.3	3292	По основному материалу
	3.4	3296	По основному материалу
	3.5	3313	По основному материалу



Рисунок 31 – Паяные образцы 08Ю+08Ю после испытаний на разрыв

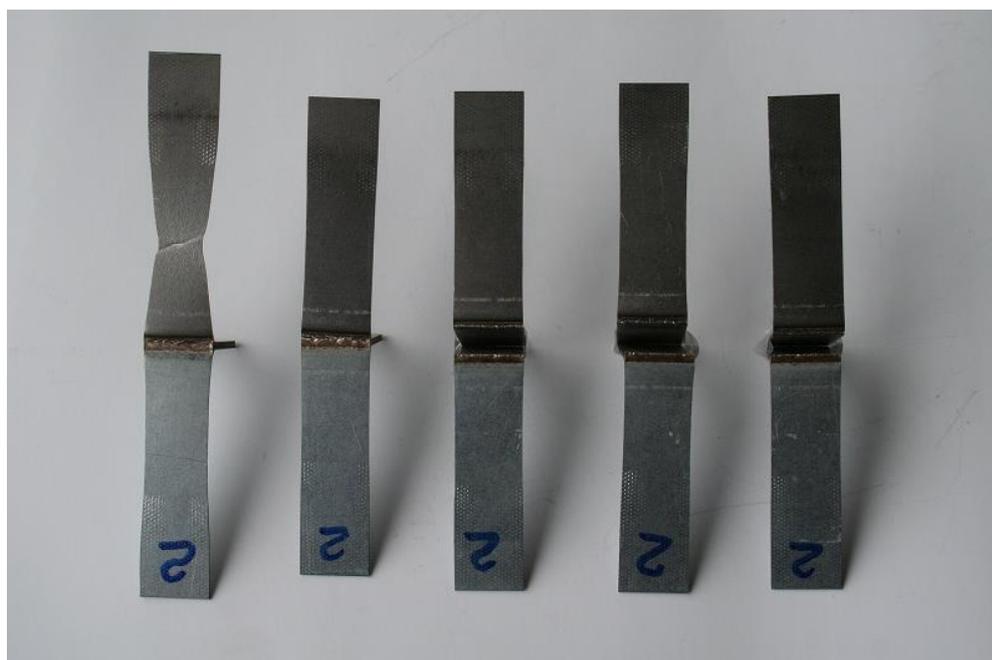


Рисунок 32 – Паяные образцы 08Ю + 01ЮТ ГЦ после испытаний на разрыв



Рисунок 33 – Паяные образцы 01ЮТ ГЦ + 01ЮТ ГЦ после испытаний на разрыв

3.2 Результаты испытаний на окрашиваемость

Таблица 11 – Результаты испытаний на окрашиваемость

Методы испытаний	Свойства	Требования	Результаты испытаний			
			1	2	3	4 (с образивной обработкой)
D 39 1744	Внешний вид зафосфатированного образца	Однородный, отсутствие окисления-пассивации	удов.	удов.	удов.	удов.
D 59 1771	Внешний вид катафорезного покрытия	Отсутствие точечной коррозии, состояние поверхности	удов.	удов.	удов.	удов.
ИЗ4200.37.10 1.0037-2014	Толщина покрытия катафорезной грунтовкой, мкм	13-25	19,2-20	28,1-28,6*	18,4-21,3 (08Ю) 26,2-29,5* (01ЮТ)	18,2-19,6 (08Ю) 25,8-28,6* (01ЮТ)
ISO2409:2013	Адгезия методом поперечного надреза	0 или 1	0	0	0	0

*- с учетом толщины предварительного покрытия.

Окрашенные образцы представлены на рисунке 34.



Рисунок 34 – Образцы после окраски

Заключение о результатах лабораторных испытаний на окрашиваемость:

1. Качество фосфатного и катафорезного покрытия, сформированного на образцах из кузовных сталей марок 08Ю и 01ЮТ ГЦ имеют удовлетворительные результаты по испытанным показателям.

2. Изменение внешнего вида паянных швов, полученных способом лазерной пайки на фирме TRUMPF, Германия как в состоянии поставки, так и с абразивной обработкой, в процессе окраски катафорезной грунтовкой не отмечено.

3.3 Результаты коррозионных испытаний

После 1500 часов испытаний на всех предоставленных образцах изменений внешнего вида швов, вздутий и отслоений ЛКП, не отмечено.

Внешний вид образцов после испытаний представлен на рисунках 35-38.

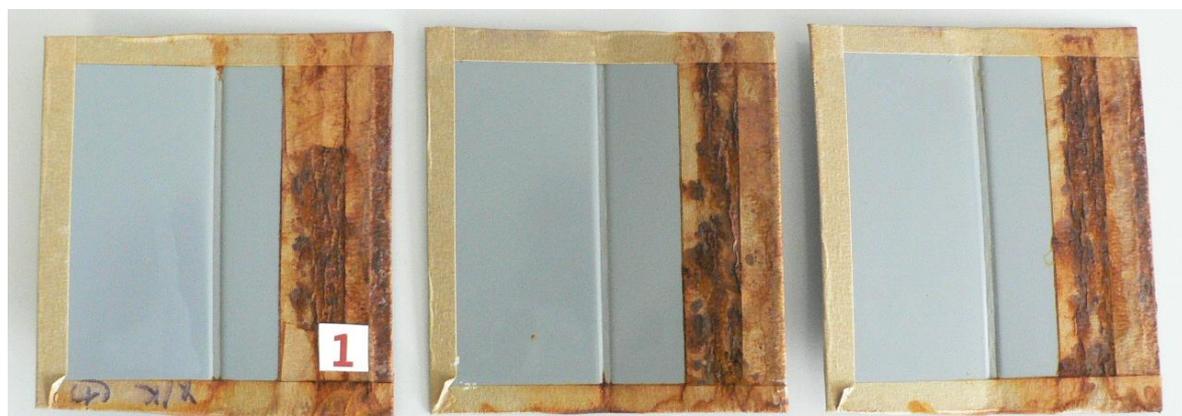


Рисунок 35 – Внешний вид паянных швов в соединении кузовных сталей марки 08Ю + 08Ю после 1500 часов испытаний в нейтральном соляном тумане



Рисунок 36 – Внешний вид паяных швов в соединении кузовных сталей марки 01ЮТ ГЦ + 01ЮТ ГЦ после 1500 часов испытаний в нейтральном соляном тумане

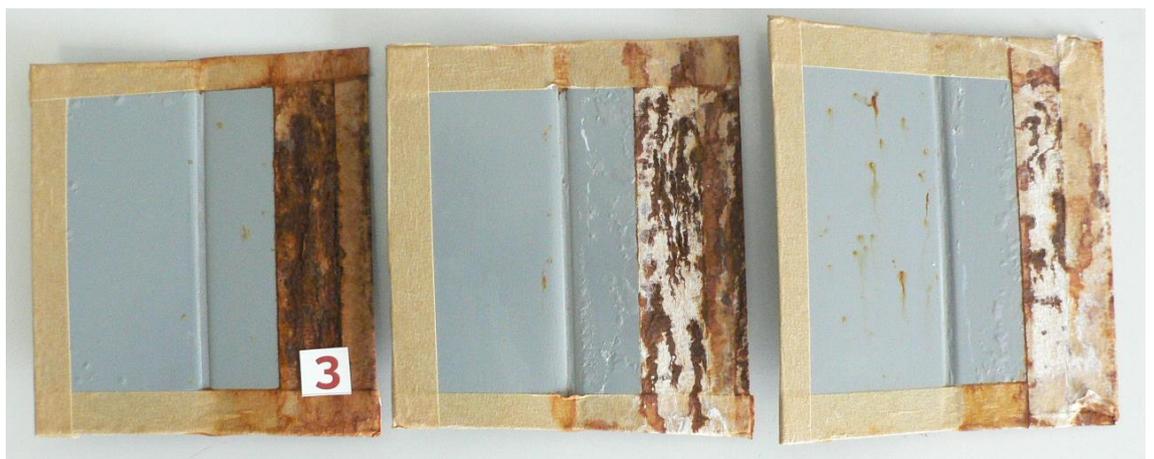


Рисунок 37 – Внешний вид паяных швов в соединении кузовных сталей марки 08Ю + 01ЮТ ГЦ после 1500 часов испытаний в нейтральном соляном тумане



Рисунок 38 – Внешний вид паяных швов в соединении кузовных сталей марки 08Ю + 01ЮТ ГЦ с абразивной обработкой шва после 1500 часов испытаний в нейтральном соляном тумане

Коррозионных поражений паяных швов и околошовного пространства, после 1500 часов испытаний в нейтральном соляном тумане, не отмечено. Состояние швов равнозначно, независимо от комбинации сопрягаемых металлических материалов.

3.4 Результаты металлографии

Таблица 12 – Проверенные параметры

Параметр	Обр.1 (08Ю+08Ю)	Обр.2 (08Ю+01ЮТ ГЦ)	Обр.3 (01ЮТ ГЦ +01ЮТ ГЦ)
Дефекты пайки	Не выявлены	Непропай в зоне а1, рисунок 41, (01ЮТ ГЦ) $\approx 0,28$ мм, в зоне а2, рисунок 41, (08Ю) $\approx 0,36$ мм.	Непропай в зоне а1, рисунок 42, (01ЮТ ГЦ) $\approx 0,36$ мм.
Твердость паяного шва, HV1	107; 106; 105.	155; 115; 129.	116; 113; 118.
Твердость соединяемых образцов кузовных сталей, HV1	ЗТВ образца со стороны параметра а1 (дет.1), рисунок 49: 174; 176; 173. ЗТВ образца со стороны	Образец со стороны параметра а1 (дет.1), рисунок 50 (01ЮТ ГЦ): основной материал	Образец со стороны параметра а1 (дет.1), рисунок 1: основной материал – 98,3; 99,2;

	параметра a_2 (дет.2), рисунок 49: 187; 192; 176.	– 106; 106; 107. ЗТВ - 114; 128; 128. Образец со стороны параметра a_2 (дет.2), рисунок 50 (08Ю): основной материал – 116; 109; 113. ЗТВ - 189; 192; 196.	104. ЗТВ - 107; 106; 105. Образец со сторо- ны параметра a_2 (дет.2), рисунок 1: основной матери- ал – 101; 97,4; 114. ЗТВ - 113; 106; 104.
Геометрические параметры, мм, рисунок 1	$a_1 \approx 0,89$; $v_1 \approx 2,21$; $c_1 \approx 0,75$; $a_2 \approx 1,09$; $v_2 \approx 0,86$. Рисунок 40. Радиус между швом и дет. 1 (08Ю) $\approx 0,23$ мм, рисунок 43. Радиус между швом и дет. 2 (08Ю) $\approx 0,43$ мм, рисунок 44.	$a_1 \approx 1,36$; $v_1 \approx 2,38$; $c_1 \approx 0,84$; $a_2 \approx 0,99$; $v_2 \approx 0,82$. Рисунок 41. Радиус между швом и дет. 1 (01ЮТ ГЦ) $\approx 1,58$ мм, рисунок 45. Радиус между швом и дет. 2 (08Ю) \approx 0,42 мм, рисунок 46.	$a_1 \approx 1,36$; $v_1 \approx 2,69$; $c_1 \approx 0,71$; $a_2 \approx 1,31$; $v_2 \approx 0,85$. Рисунок 42. Радиус между швом и дет. 1 (01ЮТ ГЦ) $\approx 1,28$ мм, рисунок 47. Радиус между швом и дет. 2 (01ЮТ ГЦ) $\approx 1,65$ мм, рисунок 48.

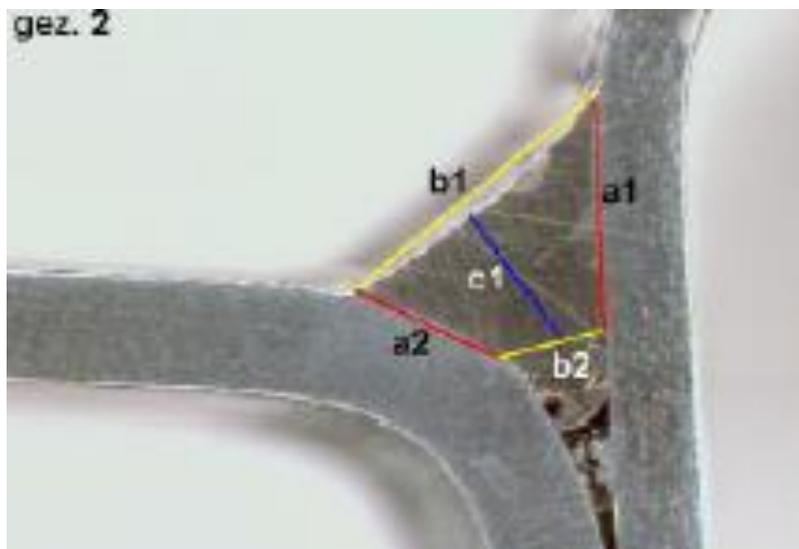
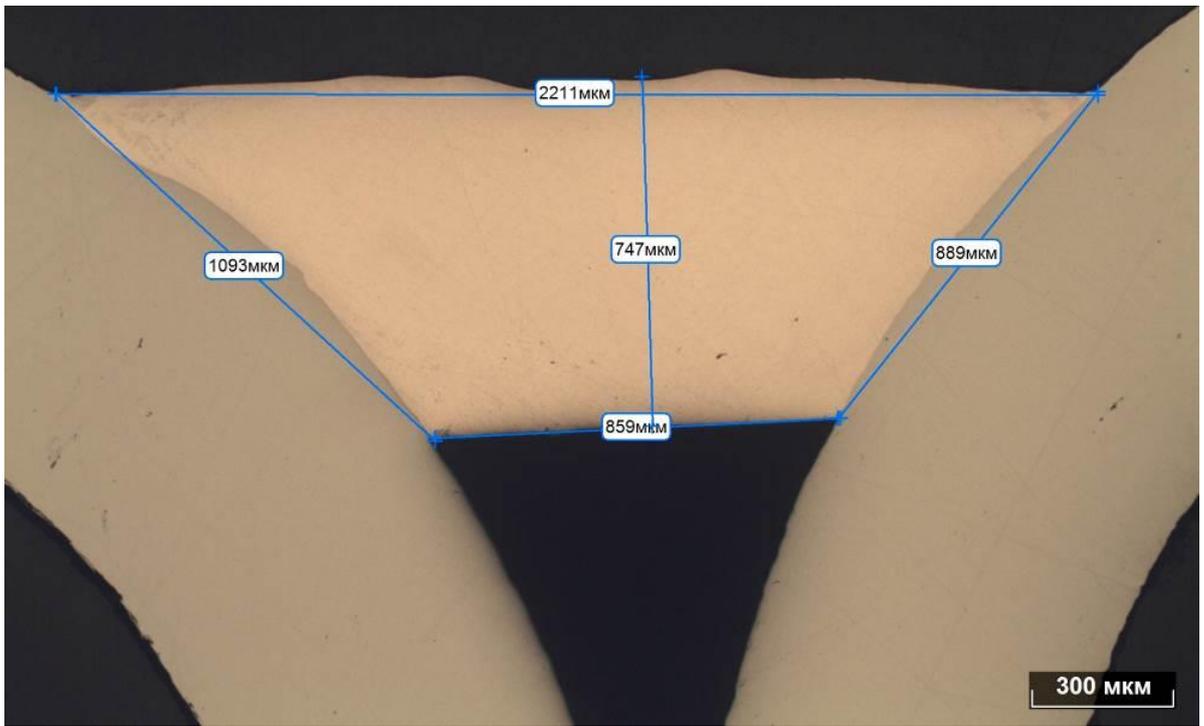
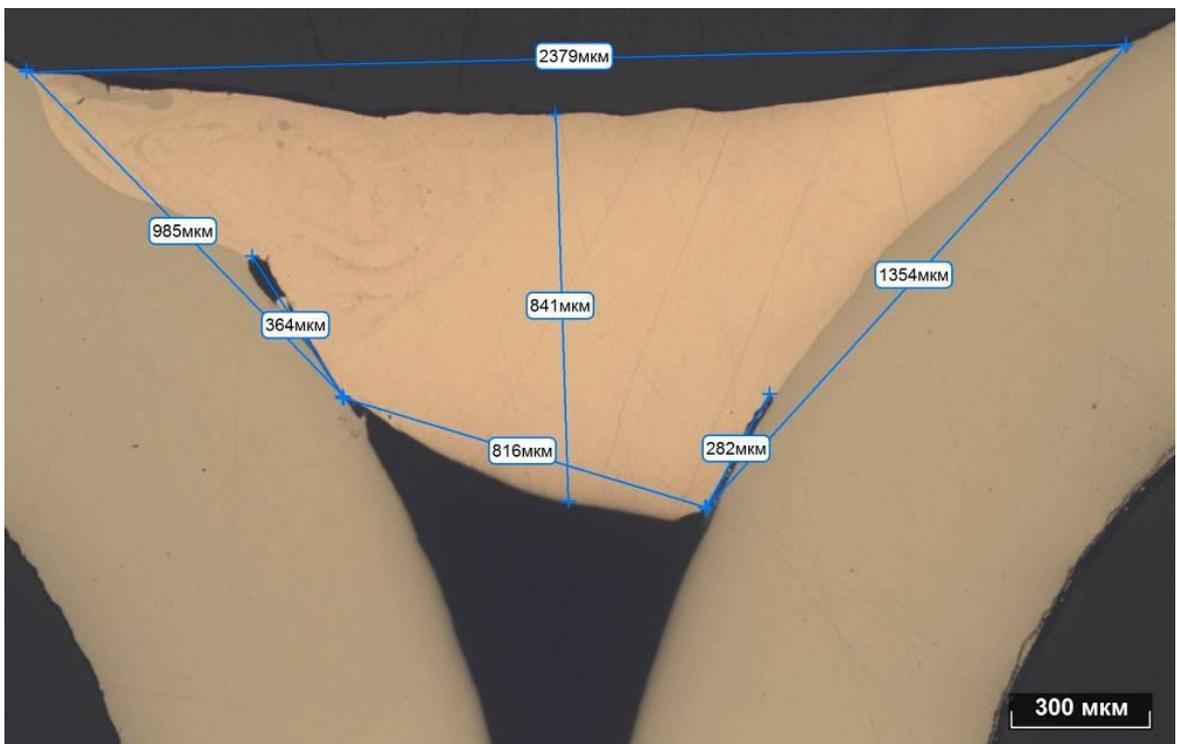


Рисунок 39 – Схема обозначения геометрических параметров паяного шва



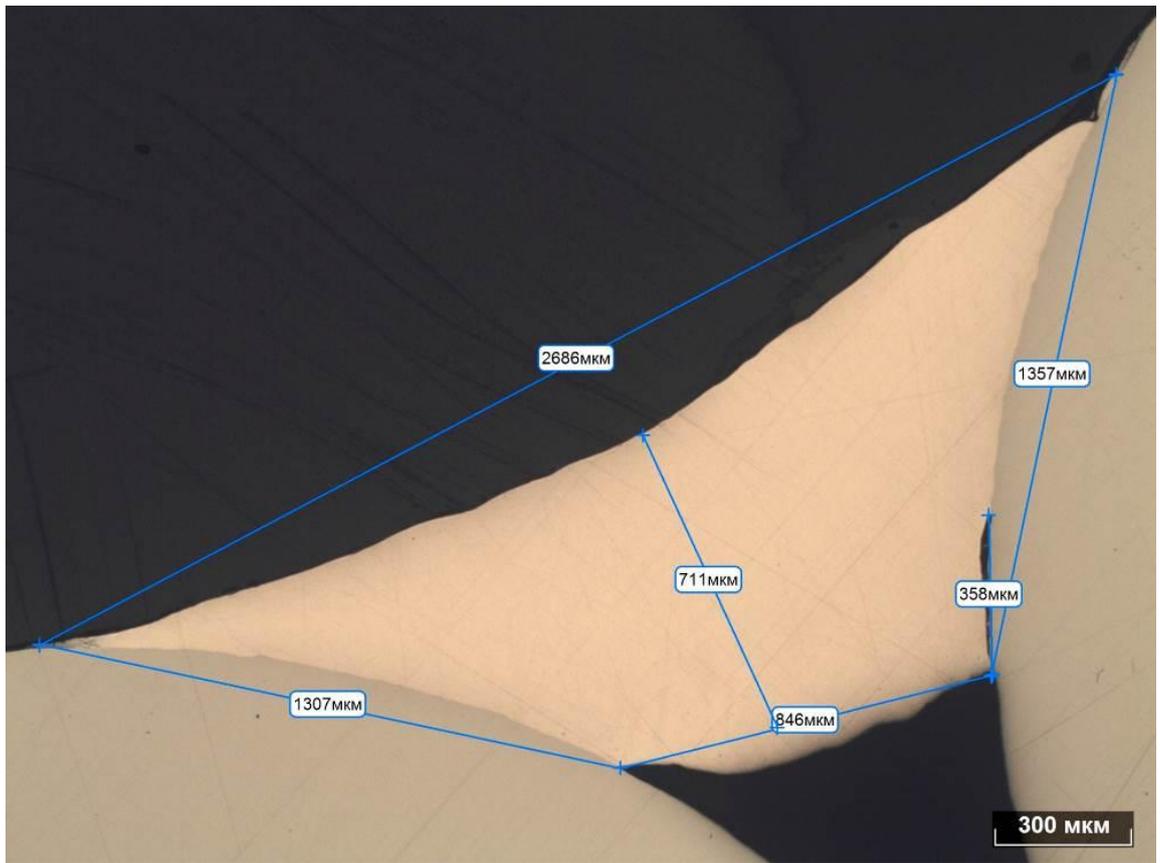
x50

Рисунок 40 – Поперечное сечение образца 1. Геометрические размеры шва



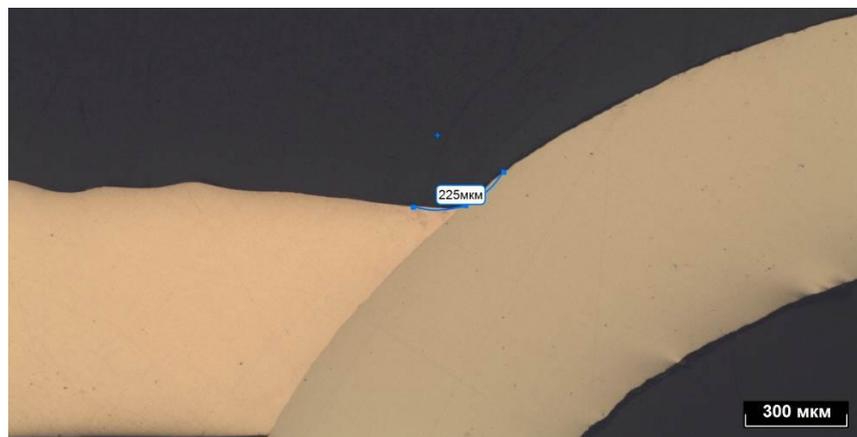
x50

Рисунок 41 – Поперечное сечение образца 2. Геометрические размеры шва



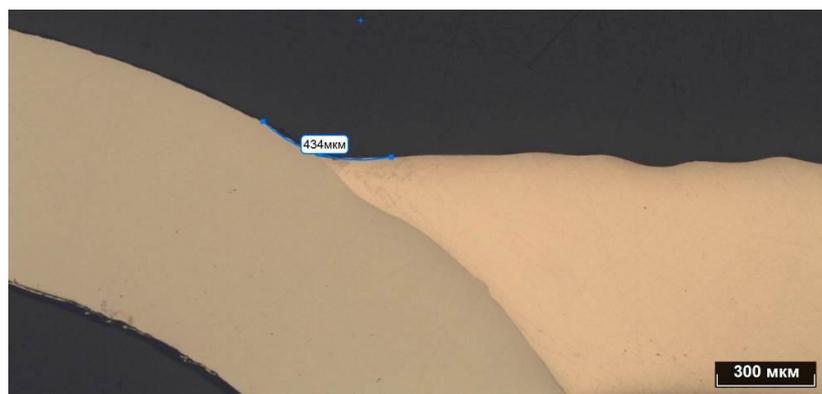
x50

Рисунок 42 – Поперечное сечение образца 3. Геометрические размеры шва



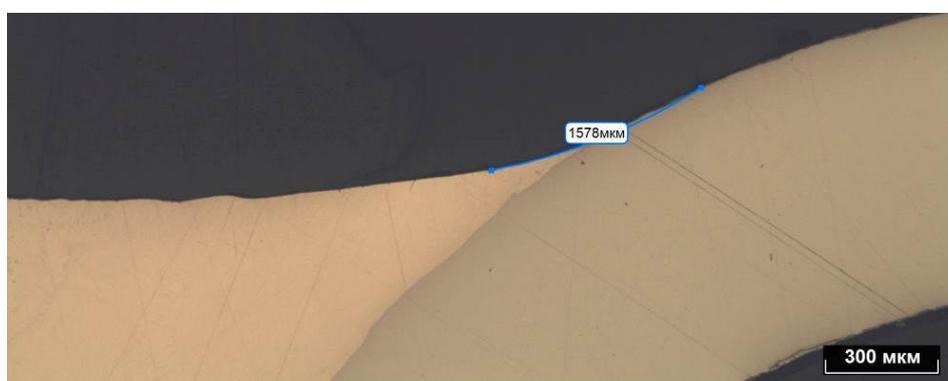
x50

Рисунок 43 – Поперечное сечение образца 1. Результат измерения радиуса между швом и деталью 1 (08Ю)



x50

Рисунок 44 – Поперечное сечение образца 1. Результат измерения радиуса между швом и деталью 2 (08Ю)



x50

Рисунок 45 – Поперечное сечение образца 2. Результат измерения радиуса между швом и деталью 1 (01ЮТ ГЦ)



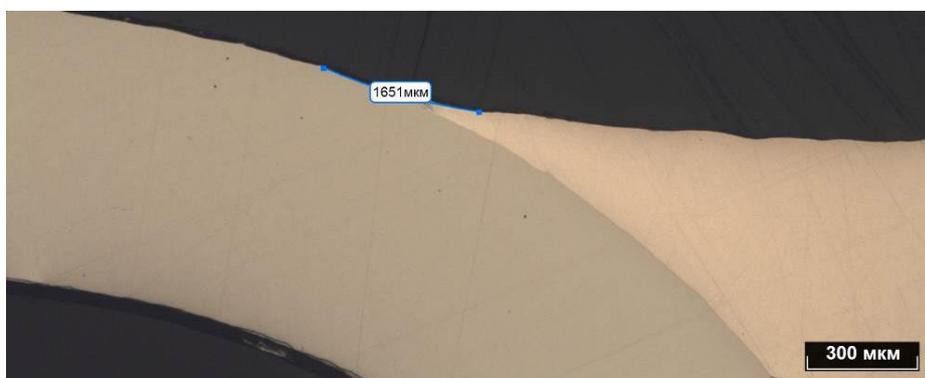
x50

Рисунок 46 – Поперечное сечение образца 2. Результат измерения радиуса между швом и деталью 2 (08Ю)



x50

Рисунок 47 – Поперечное сечение образца 3. Результат измерения радиуса между швом и деталью 1 (01ЮТ ГЦ)



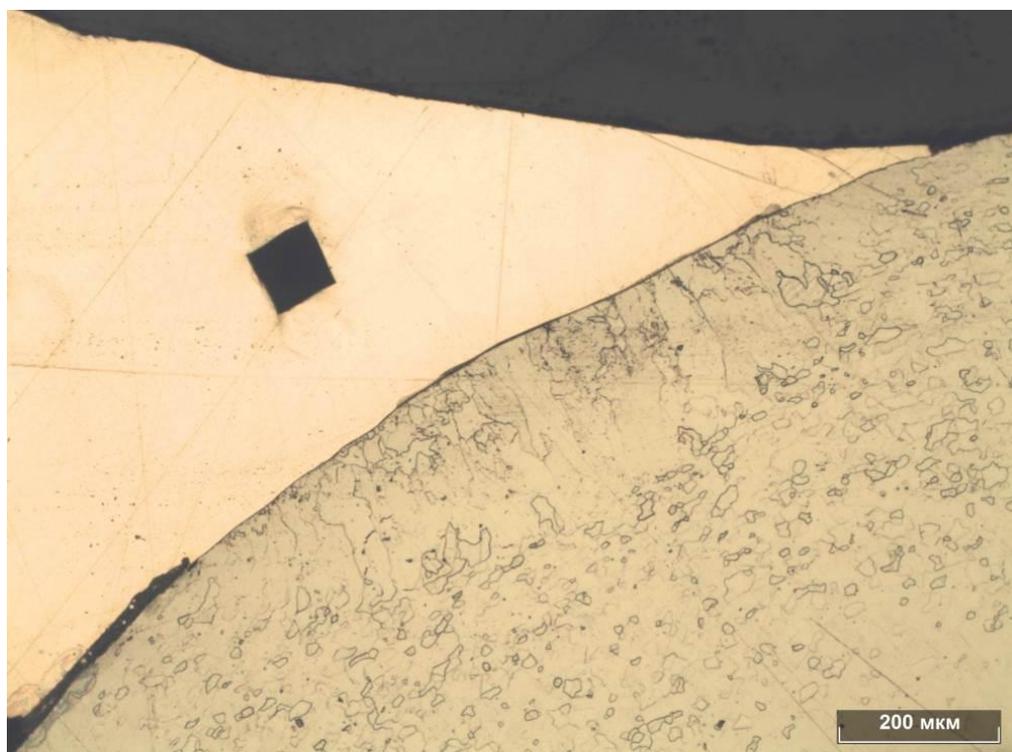
x50

Рисунок 48 – Поперечное сечение образца 3. Результат измерения радиуса между швом и деталью 2 (01ЮТ ГЦ)



x100

Рисунок 49 – Поперечное сечение образца 1. Микроструктура в ЗТВ деталью 1 (08Ю). Травление ниталом.



x100

Рисунок 50 – Поперечное сечение образца 2. Микроструктура в ЗТВ деталью 1 (01ЮТ ГЦ). Травление ниталом.

Заключение о результатах лабораторных испытаний:

1. На соединении кузовных сталей (08Ю+08Ю) дефектов пайки не выявлено;
2. На соединении кузовных сталей (08Ю+01ЮТ ГЦ) выявлены непропаи $\approx 0,28$ мм (в зоне стали 01ЮТ ГЦ) и $\approx 0,36$ мм (в зоне стали 08Ю);
3. На соединении кузовных сталей (01ЮТ ГЦ+01ЮТ ГЦ) выявлен непропай $\approx 0,36$ мм.

Протоколы по всем испытаниям находятся в приложении 1.

Заключение

Исходя из задач магистерской диссертации «Оценка возможности применения лазерной пайки на ОАО «АВТОВАЗ» можно сделать следующие выводы:

1. После проведения лазерной пайки стальных образцов толщиной 0,8 мм на предоставленном ОАО «АВТОВАЗ» оборудовании все паяные образцы получились с большими дефектами. Это явилось следствием невозможности использования защитного газа, так как он остужал зону пайки, а также из-за невозможности использования автоматического податчика проволоки.

2. После проведения лазерной пайки стальных образцов толщиной 0,8 мм с привлечением фирмы TRUMPF все паяные образцы получились с качественными ровными швами. Пайка производилась в Германии на высокотехнологичном оборудовании с применением защитной газовой среды, в качестве этой среды использовался аргон.

3. Сравнение результатов пайки этих двух организаций показало, что на ОАО «АВТОВАЗ» отсутствуют необходимые технические средства для проведения качественной лазерной пайки.

4. Результаты испытаний показали удовлетворительные результаты по всем показателям сочетаний марок стали 08Ю+08Ю и 01ЮТ ГЦ+01ЮТ ГЦ. Для сочетания 08Ю+01ЮТ ГЦ по испытанию на разрыв результаты неудовлетворительны, так как разрыв был по шву, а не по основному материалу как на других образцах.

В связи с вышеизложенным материалом можно дать следующие рекомендации. Для сочетания сталей марок 08Ю+01ЮТ ГЦ нужно подобрать другой режим пайки, который обеспечит должное качество и устранение непропаев, например увеличить мощность, либо уменьшить скорость. А в связи с неплохими результатами лабораторных испытаний, лазерную пайку можно

рекомендовать для применения на ОАО «АВТОВАЗ» для соединения и герметизации протяжённых участков кузова таких как: соединение панели крыши с панелью боковины и арок дверей. Для этого лишь необходимо закупить современное технологическое лазерное оборудование. Рекомендуемое к применению технологическое оборудование:

1. Промышленный робот KUKA KR 60-3.
2. Дисконный лазер TruDisk 3001.
3. Система слежения за стыком фирмы Scansonic ALO3.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитрий Сапрыкин. Возможность будущего роста: анализ перспектив российского рынка лазерных технологий в условиях кризиса / Дмитрий Сапрыкин // Ритм. – 2009. С. 19.
2. Голубенко Ю.В., Богданов А.В. Волоконные лазеры в технологиях машиностроения / Ю.В. Голубенко А.В. Богданов // Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана. – 2012. С. 18.
3. Омское независимое экспертно-оценочное бюро // autoekspertiza55.ru : Общие вопросы ремонта кузовов. URL: <http://autoekspertiza55.ru/Normativnaya-dokumentaciya/Obshchie-voprosy-remonta-kuzovov>
4. Прохоров Б. В. Автомобили ВАЗ. Ремонт кузовов. Часть 1. : ОАО НВП «ИТЦ АВТО». Тольятти., 2001.
5. Roberts Philip M. Industrial Brazing Practice : USA. 2004
6. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. : Учебник для проф. учеб. Заведений. М., 1997.
7. ТОВАРЫ И УСЛУГИ // sseastyle.ru : ООО «Сибирь-север-экспорт». URL: <http://sseastyle.ru/service/page883.html>
8. КЕМППИ // kempp.ru : Пайка MIG. URL: <http://kempp.ru/azbukasvarki/7/393>
9. К. Пауль, Ф Ридель Гибридная лазерная сварка – Объединяя усилия журнал «Фатоника» №1 2009 стр 2–5
10. LaserPortal.ru // laserportal.ru: Гибридная лазерная сварка. URL: http://www.laserportal.ru/content_396
11. svarkainfo.ru // svarkainfo.ru: Лазерная сварка: Сущность и основные преимущества сварки лазерным лучом. URL: <http://www.svarkainfo.ru/rus/technology/laser>
12. Техничко-экономический расчёт замены контактной сварки на лазерную пайку. – Лаборатория сварки ДТР ОАО «АВТОВАЗ».

13. О сварке // osvarke.com: Лазерная резка. URL: <http://www.osvarke.com/lazernaya-rezka.html>
14. Bestreferat.Ru // bestreferat.ru: Курсовая работа: Поверхностная лазерная обработка. 2007. URL: <http://www.bestreferat.ru/referat-93478.html>
15. allbest // revolution.allbest.ru: Виды поверхностной лазерной обработки. 2007. URL: http://revolution.allbest.ru/physics/00274531_0.html
16. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. Москва «Машиностроение» 1989г. -301с.
17. Рыкалин Н.Н. Лазерная обработка материалов. «Машиностроение» 1975г. -296с.
18. Вейко В.П., Смирнов В.Н., Чирков А.М., Шахно Е.А. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.
19. Вейко В.П., Шахно Е.А. Индуцированное лазером локальное осаждение тонких пленок. Оптический журнал, т.65, №10, 1998, с. 102–107.
20. Вейко В.П., Шахно Е.А. Физические механизмы лазерной очистки поверхности. Известия РАН, сер. физическая, т.65, №4, 2001, с.584–587.
21. Квант // laser-graver.kz: Лазерная гравировка. URL: <http://www.laser-graver.kz/pages.html?id=15>
22. Студия веб-дизайна «Креатив» // vkreative.ru: Лазерная гравировка. URL: <http://vkreative.ru/stati/lazernaya-gravirovka.html>
23. Н. Коденко, А. Иванов. Технология лазерной маркировки материалов // Журнал «Современная светотехника» №6, 2011.
24. Кузьмина Т. А. Лазерная гравировка как современный метод маркировки // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XVII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 2(17).
25. СибАК // sibac.info: Лазерная гравировка как современный метод маркировки. URL: <http://sibac.info/studconf/tech/xvii/36896>
26. avtorem.info // avtorem.info: История создания, развития компании АвтоВАЗ и автомобилей ВАЗ. Школа авторемонта. 2010. URL: <http://www.avtorem.info/istorija-avtovaza/istorija-sozdanija-razvitija-kompanii-avtovaz-i-avtomobilej-az.html>

27. LiveInternet // liveinternet.ru: История волжского автомобильного завода. 2012. URL: http://www.liveinternet.ru/users/tatiana_36/post232834949

28. TRUMPF // trumpf.com: История компании. URL: <http://www.ru.trumpf.com/ru/o-kompanii/kompanija/istorija/kompanii.html>

29. MetalData.info //metaldata.info: 01ЮТ. 2014. URL: <http://www.metaldata.info/reports/01ЮТ.pdf>

30. TRUMPF // trumpf.com: Дисковые Лазеры. URL: <http://www.ru.trumpf.com/ru/produkcija/lazery/produkcija/tverdotelnye-lazery/diskovye-lazery/trudisk.html>

ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ

