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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей в машиностроении»
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технология лазерной сварки корпуса автомобиля LADA Vesta

Обучающийся С.А. Увередин
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель Д.Э. Советкин
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты к.э.н., доцент О.М. Сярдова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при изготовлении узлов кузова автомобиля. . Во введении выполнено обоснование актуальности выбранного направления исследования и сформулирована цель выпускной работы. По результатам литературного обзора выполнено обоснование эффективности применения лазерной сварки при построении современного автомобилестроительного производства. На основании анализа принципов лазерных излучателей для построения проектной технологии предлагается применить твердотельный Nd:YAG лазер, позволяющий обеспечить необходимую мощность излучения. Для автоматизации процесса предложено применить два промышленных робота, одни из которых позиционирует сварочную головку, а второй выполняет укладку деталей и прием сваренного узла. Предлагаемый комплекс может быть применен для изготовления типовых кузовных узлов, изменение конструкции которых потребует лишь перепрограммирования комплекса и смены сборочного узла кондуктора. Это расширяет сферу потенциального применения предлагаемых решений. Применение безлюдной технологии позволяет устранить проблему опасности оборудования для лазерной сварки. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Также в оценочном разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса сварки, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований, проведение которых предполагается в ходе выполнения магистерской диссертации.

Содержание

Введение 5
1 Анализ исходных данных и известных решений вопросу сварки кузовных деталей автомобиля 7
1.1 Описание типовой детали кузова автомобиля. 7
1.2 Сведения о материале изделия 9
1.3 Особенности базовой технологии сварки. 13
1.4 Обоснование выбора способа сварки. 15
1.5 Постановка задач на выполнение квалификационной работы 20
2 Проектная технология лазерной сварки деталей кузова автомобиля . . . 21
2.1 Особенности построения оборудования для лазерной сварки. . . 21
2.2 Особенности построения операций технологического процесса лазерной сварки. 25
3 Промышленная безопасность производственного участка. 30
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи 30
3.2 Идентификация негативных производственных факторов. 32
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов. 33
3.4 Пожарная безопасность производственного участка 35
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка. 37
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений. 39
4.1 Исходные данные для экономического расчёта. 39
4.2 Фонд времени работы оборудования. 41
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. . 42
4.4 Заводская себестоимость. 44
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам. 50
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей. 52

Заключение 54
Список используемой литературы и используемых источников. 55
.

Введение

При изготовлении легкового автомобиля самой дорогостоящей конструкцией, производство которой требует максимальных затрат трудоемкости и мощностей, является кузов, стоимость которого может достигать до половины стоимости автомобиля. От особенностей конструкции кузова в значительной мере зависит внешний вид автомобиля, его привлекательность, ходовые качества и безопасность эксплуатации [21]. Современные разработку в области проектирования и изготовления кузовов автомобилей обеспечили снижение аэродинамического сопротивления автомобиля и позволили улучшить его эстетические параметры, повысить комфортность и безопасность. При этом, если ранее «для изготовления кузовных деталей автомобиля применялась низкоуглеродистая сталь, то в настоящее время все большую роль играет сталь повышенной прочности и алюминиевые сплавы, применение которых позволяет уменьшить массу автомобиля, повысить» [21] его динамические и экономические параметры. При этом замена материала для изготовления элементов кузова вызывает необходимость внесения изменений в технологию производства кузова. Поскольку при изготовлении кузовов значительная роль отводится сварочным процессам, то именно процесс сварки и претерпевает существенные изменения а само сварочное производство становится основным потребителем инноваций в области построения технологических процессов.

До недавнего времени лидирующее положение среди способов сварки при производстве кузовов автомобилей занимала контактная точечная сварка, обеспечивающая минимальный объем расплавляемого металла и характеризующаяся самыми высокими экономическими показателями по сравнению с другими способами сварки. Возможность практически полной автоматизации позволяет применить этот способ сварки при построении роботизированных линий и линий на основе многоэлектродных сварочных машин, получить самую высокую среди альтернативных способов

производительность [9]. Однако переход на сварку перспективных сталей и легких сплавов, а также на сварку конструкций кузова с изменяющейся толщиной заставил вести поиск новых способов сварки для построения технологического процесса изготовления элементов кузова легкового автомобиля. В частности, для сварки предложено применять источники энергии высокой концентрации – сварку лазером [7], [8], [18]. Применение лазерной сварки позволяет повысить производительность и получить минимальное тепловое воздействие на основной металл, что снижает перегрев металла и его деформации при сварке, обеспечивая высокую точность изготовления элементов кузова автомобиля [1]. Применение лазерной сварки, как и точечной, может происходить по локальным зонам расплавления металла, что позволяет существенно уменьшить расход электрической энергии. Также следует принимать во внимание, что малый размер сварочной ванны при лазерной сварке обеспечивает её стабильное удержание при всех пространственных положениях, что упрощает применение средств роботизации по сравнению с дуговой сваркой [20]. Поскольку при изготовлении деталей кузова автомобиля скорость время пребывания металла в расплавленном состоянии при выполнении лазерной сварки очень мало, процессы окисления металла не могут сколько-нибудь существенно повлиять на качество сварного соединения. Однако применение этого перспективного способа сварки в настоящий момент имеет ограниченный характер, в связи с чем высока актуальность выбранного направления исследования и цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности изготовления кузовных деталей автомобиля за счёт внедрения лазерной сварки.

Выполнение выпускной квалификационной работы позволит повысить конкурентные преимущества отечественного автомобилестроения на внутреннем и внешнем рынке. Не вызывает сомнения, что применение лазерных технологий при сварке кузова автомобиля обладает существенными перспективами.

1 Анализ исходных данных и известных решений вопросу сварки кузовных деталей автомобиля

1.1 Описание типовой детали кузова автомобиля

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается сварка типовой детали кузова автомобиля, которая представлена на рисунке 1. Данная деталь носит название сойка заднего крыла наружная в сборе и предназначена для создания силового каркаса автомобиля. Поперечное сечение узла представляет собой изделие коробчатой формы. Узел включает в себя две заготовки, которые соединены между собой при помощи контактной точечной сварки. Первая заготовка – стойка заднего крыла наружная. Вторая заготовка – стойка заднего крыла внутренняя. Эксплуатация изделия проходит при температурах от -40 до +40 °С в условиях действия статических и динамических нагрузок, которые возникают при движении автомобиля и при стоянке автомобиля. Также следует принимать во внимание, что рассматриваемый узел придает жесткость кузову при эксплуатации и при возникновении внештатных ситуаций.

Рассматриваемый узел изготавливается из материалов, соединение которых при помощи сварки не вызывает затруднений. Конструкция изделия предусматривает его рациональную разбивку на два составляющих элемента, каждый из которых может быть выполнен с применением штамповки из листовой заготовки. Заготовки не содержат значительного числа ранее приваренных элементов, что не приводит к усложнению технологии сборки и сварки. На лицевой поверхности изделия не присутствует сварных соединений, что существенно упрощает технологию сварки узла. Конструкция узла позволяет выполнить беспрепятственный подвод сварочных электродов к заготовкам, что упрощает выполнение контактной точечно сварки. Расстояние между сварными точками не заставляет опасаться значительного шунтирования сварочного тока при сварке.

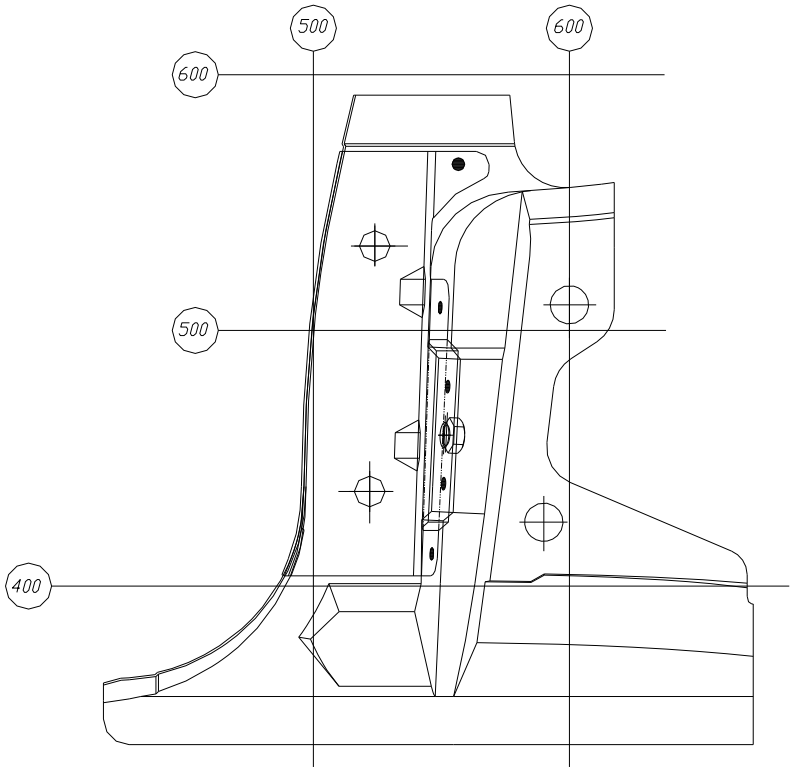


Рисунок 1 – Типовая деталь кузова автомобиля – стойка заднего крыла наружная в сборе

Толщина свариваемых деталей составляет 1+1 мм. Сварная точка представлена на рисунке 2. Сварка деталей проходит с выполнением точек в количестве 16 штук. Сварное соединение должно соответствовать ГОСТ 15878-79.

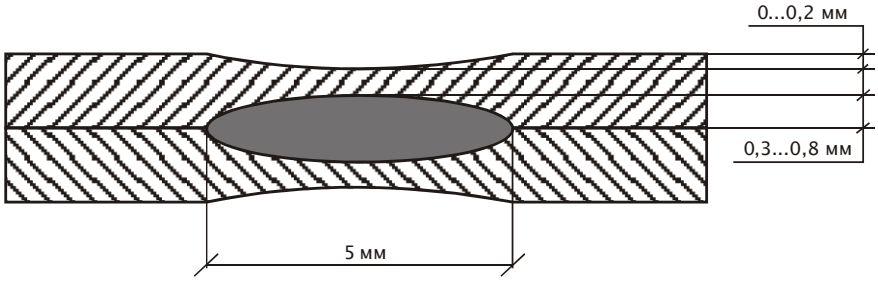


Рисунок 2 – Параметры сварной точки

На основании проведенного предварительного анализа конструкции рассматриваемой детали можно сделать заключение о высоком потенциале конструкции детали в плане автоматизации её сварки. Таким образом, данная деталь может быть рассмотрена для построения проектной технологии роботизированной лазерной сварки.

1.2 Сведения о материале изделия

Рассматриваемый сварной узел выполнен из заготовок, для которых применяется сталь 08Ю, в состав которой водит углерод в количестве до 0,07 %, марганец в количестве 0,2…0,35 %, никель в количестве до 0,06. Рассматриваемая сталь в качестве добавки содержит алюминий в количестве 0,02…0,07 %, который позволяет повысить штампуемость стали. Вредными примесями в рассматриваемой стали выступают сера и фосфор .Содержание серы ограничено 0,025 %, содержание фосфора ограничено 0,02 % [13]. В процессе контактной точечной сварки под действием термического цикла происходит некоторое упрочнение стали, в результате кратковременного нагрева наблюдается превращение перлита и феррита в аустенит, в результате в зоне термического влияния возможно превращение ферритно-перлитной структуры стали в аустенитную. В состоянии поставки микроструктура стали, представленная на рисунке 3, представляет собой зерна феррита, которые вытянуты в направлении проката, которые окружены сеткой цементита. В процессе выполняемой при производстве листового проката отжига сталь приобретает высокую пластичность, которая необходима для последующей вытяжке при штамповке. По сравнению с поставкой стали в нагартованном состоянии предел прочности при этом уменьшается в полтора раза, а относительное удлинение увеличивается в три раза [3], [19].

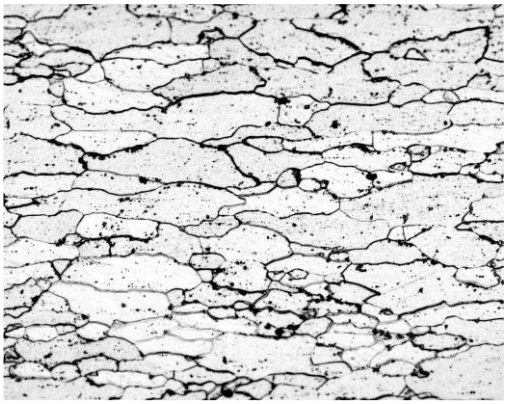


Рисунок 3 – Микроструктура стали 08Ю в состяонии состоянии поставки (увеличение 100 раз)

При проведении исследования штампуемости сварных соединений заготовок из стали 08Ю рассматривали случай сварки неплавящимся электродом в аргоне и лазерной сварки. Дуговую свару проводили на медной водоохлаждаемой подкладке. Лазерную сварку вели без применения принудительного охлаждения. «Параметры режима сварки при выполнении эксперимента представлены в таблице 1. Образцы испытывались на статическое растяжение согласно ГОСТ 6996-66. Для проведения испытания были изготовлены образцы двух типов, которые представлены на рисунке 4 – без ослабления сечения и с ослаблением сечения» [10]. Для испытания применялась разрывная машина UTS-100, которая представлена на рисунке 5. «О высоком качестве сварных соединений можно судить по тому, что при испытаниях на разрыв образцов без ослабления сечения не наблюдалось разрушений по сварному шву или по зоне термического влияния. На рисунке 6 представлен внешний вид образцов после проведения испытаний. Результаты испытаний образцов с ослабленным сечением представлены в таблице 2» [19].

Таблица 1 – Параметры режима сварки при проведении испытаний образцов

Сочетание толщин	Лазерная сварка		Дуговая сварка	
	Мощность луча, кВт	Скорость сварки, м/час	Мощность дуги, кВт	Скорость сварки, м/час
0,8+0,8 мм	1,0	100	1,8	60
0,8+1,0 мм	1,0	90	2,0	60
1,2+1,5 мм	1,0	70	2,6	60
1,5+1,5 мм	1,0	60	2,7	48

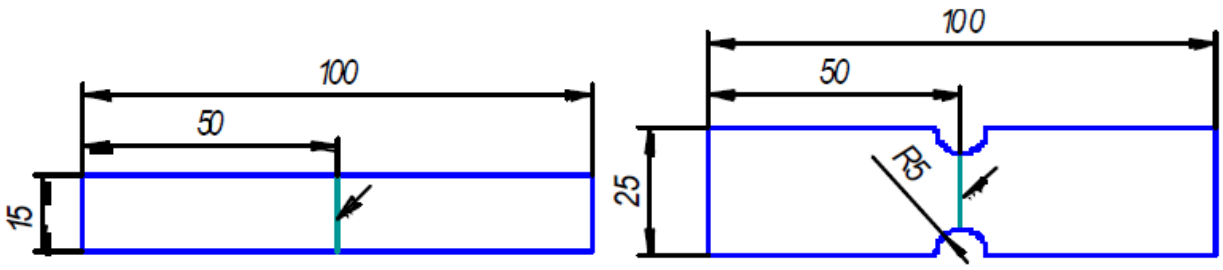


Рисунок 4 – Применяемые для исследований сварные образцы

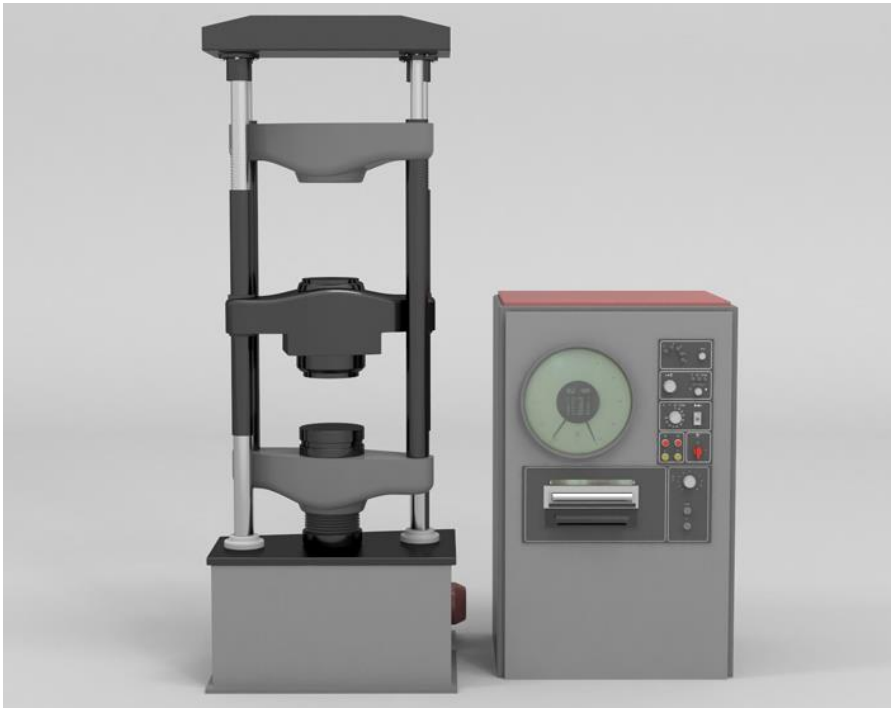


Рисунок 5 – Разрывная машина UTS-100

Рисунок 6 – Внешний вид образцов после проведения испытаний с указанием мест разрушения

Таблица 2 – Результаты испытания на разрыв образцов с ослабленным сечением, выполненных с применением дуговой и лазерной сварки

Сочетание толщин	Предел прочности, Н/мм^2	
	Лазерная сварка	Дуговая сварка
0,8+0,8 мм	381	515
0,8+1,0 мм	383	503
1,2+1,5 мм	414	511
1,5+1,5 мм	394	512

Микроструктура металла сварных соединений представлена на рисунке 7. При замере микротвердости обнаружено, что твердость металла сварного шва по сравнению с твердостью основного металла повышается в 2…2,5 раза, при этом в сварном шве содержатся зерна сорбида и бейнита, причиной образования которых следует признать высокую скорость охлаждения, которая составляет порядка 1000…1500 °С в секунду. Картина распределения твердости по сечению сварного шва представлена на рисунке 8.

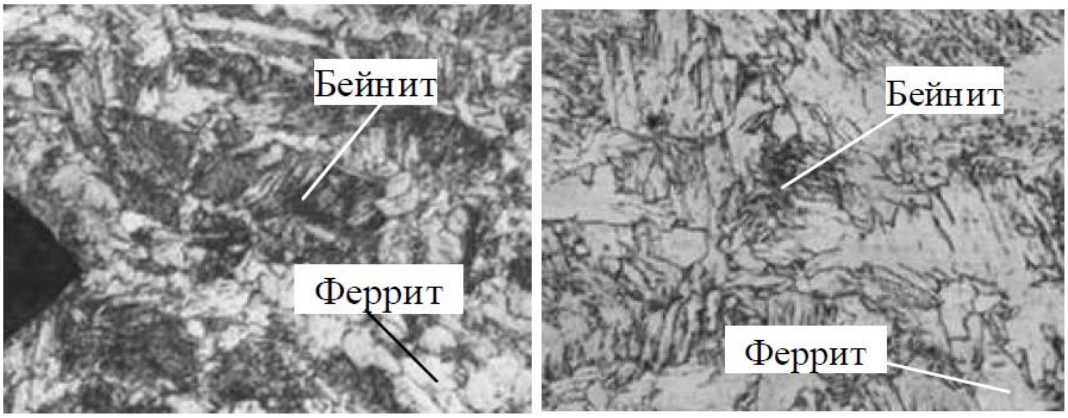


Рисунок 7 – Микроструктура металла сварных соединений при выполнении лазерной сварки и выполнении дуговой сварки

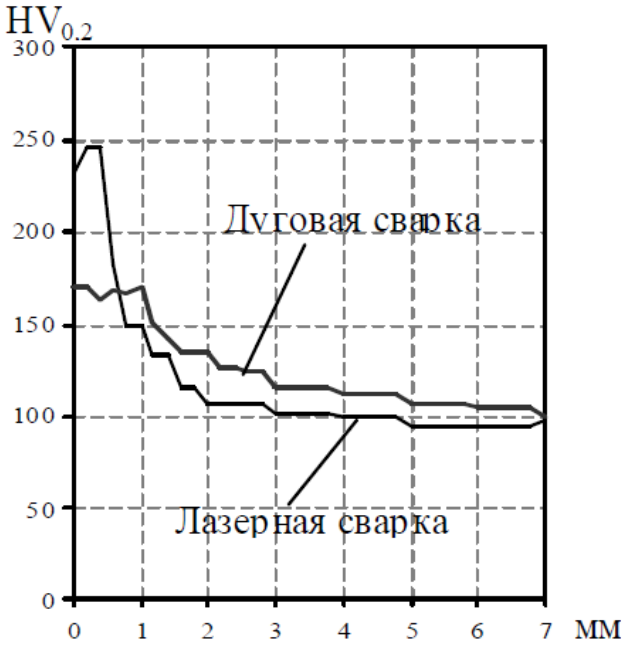


Рисунок 8 – Распределение твердости по сечению сварного шва

Увеличение твердости металла сварного шва объясняется тем, что в процессе образования сварного шва металл переплавляется и переходит в состояние литой структуры, которая характеризуется неравномерным распределением структурных составляющих. При этом образуются закалочные структуры бейнитного и сорбитного типов, характерных для высокой скорости кристаллизации и охлаждения металла, характерных для скоростей закалки.

1.3 Особенности базовой технологии сварки

Согласно базовой технологии изготовление рассматриваемой детали происходит с применением контактной точечной сварки. При чем для выполнения контактной точечной сварки применяется многоэлектродная сварочная машина, представленная на рисунке 9.

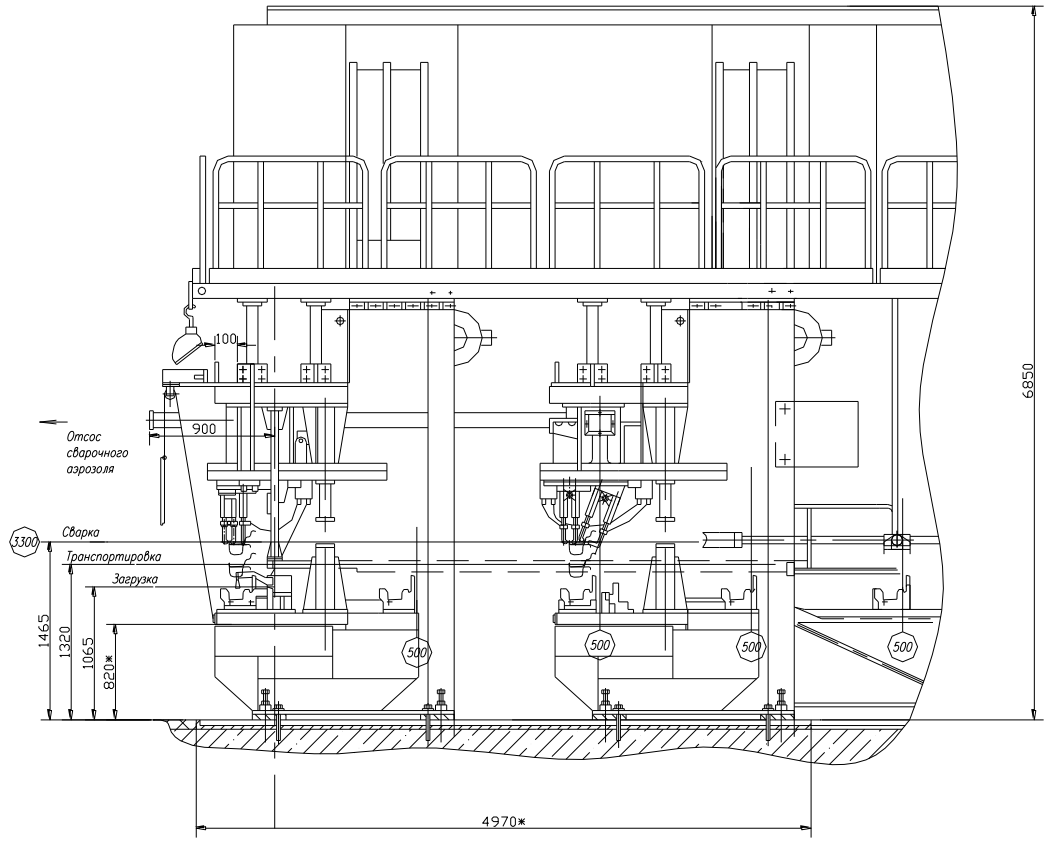


Рисунок 9 – Многоэлектродная сварочная машина

Со склада с применением внутрицехового транспорта заготовки доставляются на участок сборки и сварки, где они укладываются в приемные приспособления многоэлектродной сварочной машины. Точность установки заготовок обеспечивается ложементами и прижимными приспособлениями самой сварочной машины. Оператор последовательно берет заготовки и укладывает их в ячейки приемного приспособления. С применением пневматических прижимов собранный узел фиксируется. Сигнал на дальнейшую работу сварочной машины поступает с пульта двурукого включения. После этого нижняя плита сварочной машины вместе с собранным узлом поднимается в зону сварки, где к деталям подводятся сварочные пистолеты и выполняется сварка восьми точек. Сила сварочного тока принимается 8…9 кА при усилии сжатия сварочных электродов 3…3,5 кН, длительность протекания сварочного импульса составляет 0,08…0,12 с. Далее заготовки при помощи транспортера подаются на второй пост сварки, где выполняется следующая группа сварных точек. Сила сварочного тока принимается 8…9 кА при усилии сжатия сварочных электродов 3…3,5 кН, длительность протекания сварочного импульса составляет 0,08…0,12 с. После выполнения сварки всех точек готовое изделие по склизу перемещается в накопительную тару. По мере наполнения накопительной тары она заменяется на новую, а сваренные узлы передаются на следующие технологические операции. Контроль качества сварки выполняется в начале смены и в течение смены выборочно одно изделие из ста. Контролируется геометрия сваренного узла при помощи кондуктора. Далее проводится визуальный контроль сварных точек и выборочный контроль сварных точек расщеплением. Для расщепления применяется молоток и зубило. Зубило вставляется между деталями и при помощи молотка выполняется расщепление деталей, при этом сварная точка не должна разрушаться и визуально наблюдаемый диаметр сварной точки должен быть не менее 5 мм. После успешной проверки деталь возвращается в исходное состояние и запускается в технологический процесс.

1.4 Обоснование выбора способа сварки

Для построения проектной технологии необходимо обосновать выбор способа сварки кузовных деталей автомобиля, при этом следует рассмотреть как традиционные способы сварки, так и перспективные способы [8], [9].

На рисунке 10 представлена схема выполнения контактной точечной сварки, которая в настоящий момент продолжает применяться как основной способ изготовления деталей кузова автомобиля. Свариваемые детали сжимаются с усилием двумя сварочными электродами, через которые пропускается сварочный ток от сварочного трансформатора, который обычно имеет один или два вторичных витка. Нагрев свариваемых деталей происходит за счёт пропускания через них сварочного тока, площадь протекания которого ограничивается рабочей поверхностью сварочных электродов. Данный способ сварки может быть применен как с использованием универсального сварочного оборудования (подвесные клещи и стационарные машины), так и с применением роботизированной сварки. Несмотря на свои преимущества, при построении массового производства сварки деталей из высокопрочных и оцинкованных сталей, а также алюминиевых сплавов применение контактной сварки затруднено, требуется поиск более перспективных способов сварки.

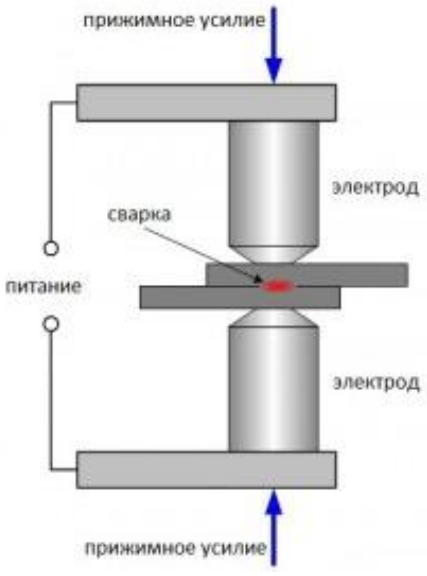


Рисунок 10 – Схема выполнения контактной точечной сварки

Следующим способом сварки, применение которого возможно при изготовлении деталей кузова автомобиля, является плазменная сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 11. Преимуществами плазменной сварки перед контактной точечной сваркой является стабильное качество сварных соединений и применение значительно меньшего сварочного тока, что позволяет уменьшит нагрузку на электрическую сесть и затраты на подвод к сварочному участку электрической энергии. Также следует отметить высокую технологическую гибкость процесса, что позволяет использовать одно и тоже оборудование для сварки деталей различной толщины. Это особенно положительно скажется на стоимости построения производства. Кроме того, масса рабочего инструмента для плазменной свари существенно меньше массы инструмента для контактной точечной сварки, что существенно упростит роботизацию процесса сварки. По сравнению лазерной сваркой плазменная сварка является более внедряемым процессом и характеризуется меньшей стоимостью применяемого оборудования. Также следует отметить меньший расход защитного газа [15], [16].

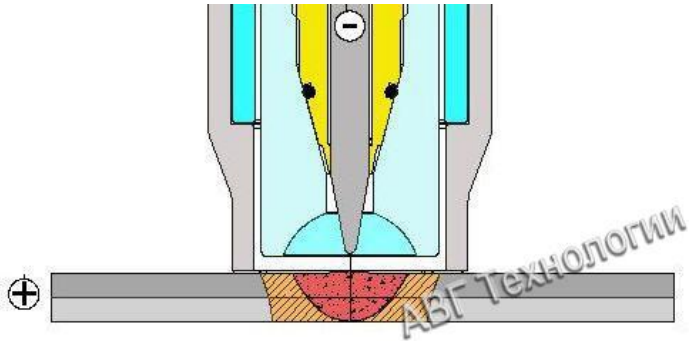


Рисунок 11 – Схема выполнения плазменной точечной сварки

Альтернативным способом относительно контактной точечной сварки следует признать точечную сварку трением с «перемешиванием, которая является разновидностью сварки трением и позволяет получать точечные соединения из различных материалов» [12], [14]. Схема выполнения сварки представлена на рисунке 12.

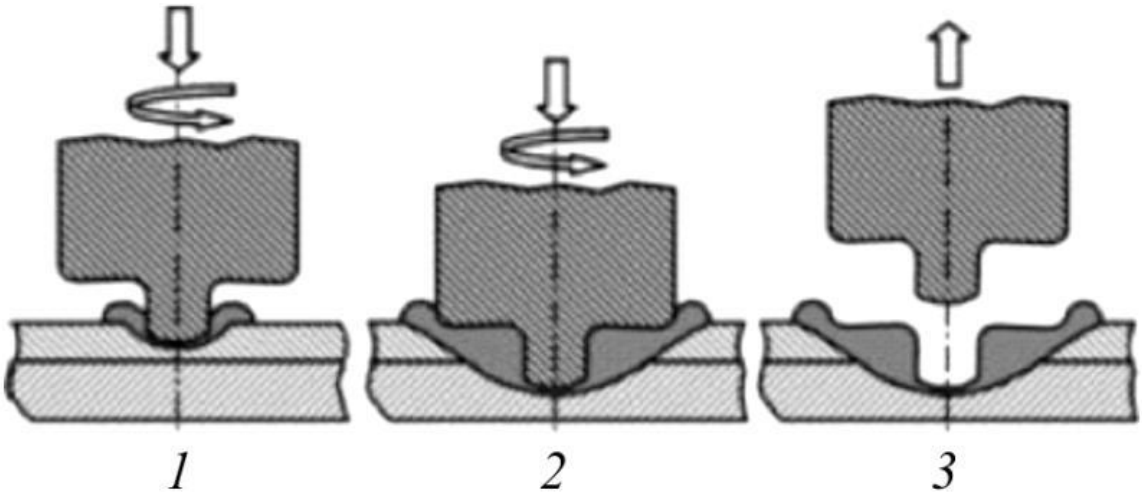


Рисунок 12 – Схема выполнения точечной сварки трением с перемешиванием

Данный способ сварки позволяет с успехом заменить контактную точечную сварку. Способ реализован на установках производства Mazda и позволяет соединять такие металлы, как медь и алюминий, выполнение соединений которых с применением контактной точечной сварки затруднительно. Существенным преимуществом сварки трением с перемешиванием является отсутствие присадочного материала и защитного газа, что упрощает процесс сварки. Данный способ сварки имеет потенциал для автоматизации и может быть применен при построении массового производства. Сварка может быть выполнена во всех пространственных положениях.

Существенным недостатком данного способа сварки является низкая производительность и высокие требования к обеспечению сжатия деталей. Данный способ трудно осуществим при наличии зазора между деталями. Кроме того, для выполнения такой сварки существенно повышаются требования к закреплению деталей, это значительно усложняет зажимные и сборочные приспособления. Кроме того, этот способ сварки недостаточно внедрен на автомобилестроительных предприятиях, что не позволяет настойчиво рекомендовать его для внедрения при сварке рассматриваемой детали.

На рисунке 13 представлена схема, на наш взгляд, самого перспективного на текущий момент способа сварки – лазерной сварки. Этот перспективный способ сварки может быть применен как для выполнения шовных соединений, так и для выполнения точечных сварных соединений. Производительность лазерной сварки в несколько раз превышает производительность дуговых способов сварки, а локальный нагрев позволяет успешно бороться с перегревом основного металла и образованием остаточных напряжений. Лазерная сварка позволяет обеспечить соединение трудно свариваемых металлов и получить дозированное введение энергии в сварное соединение, что повышает технологические возможности способа. Недостатком лазерной сварки является высокая стоимость оборудования. Этот способ сварки не получил должного развития в массовом производстве деталей кузова автомобиля, но должен рассматриваться как перспективный способ, применение которого в дальнейшем позволит повысить экономические показатели производства.

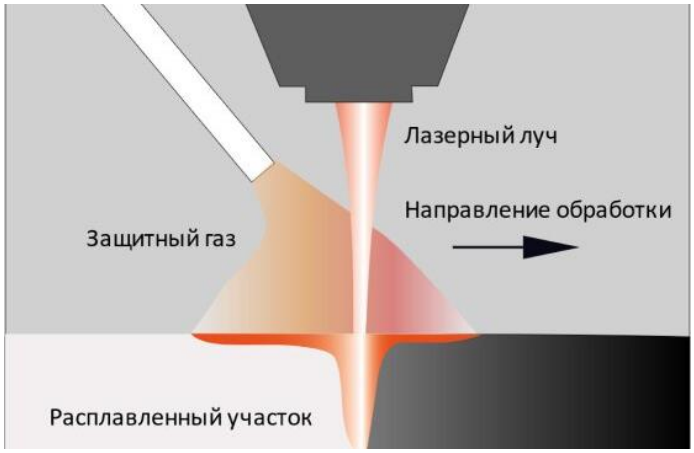


Рисунок 13 – Схема лазерной сварки

На рисунке 14 показано сравнение внешнего вила сварных соединений на кузове автомобиля, которые были получены при помощи традиционной контактной точечной сварки и при помощи лазерной сварки. Как видно. Лазерная сварка выполняется в виде штриховой линии, что помимо описанных преимуществ повышает прочность конструкции кузова автомобиля

Рисунок 14 – Сравнение внешнего вила кузовных деталей, полученных при помощи контактной точечной сварки и при помощи лазерной сварки

В настоящее время мировой производитель автомобилей ведет интенсивные разработки в области лазерной сварки деталей кузова. В список таких предприятий входят Nissan, Toyota, Hyundai, GM, Ford motor, DaimlerChrysler, Volkswagen, Volvo Cars и BMW. Поскольку одним из недостатков лазерной сварки является неэстетичный вид сварного соединения, данный способ сварки на лицевой поверхности автомобиля не применяется.

В числе недостатков лазерной сварки следует также отметить высокую сложность и стоимость оборудования, вследствие чего для внедрения этого способа сварки в производство предстоит приготовиться к значительным капитальным затратам. Также высокая сложность оборудования ужесточает требования к подготовке персонала. Ещё одним недостатком лазерной сварки является повышение требований безопасности. Также необходимо принимать во внимание, что качество лазерной сварки существенно зависит от точности подгонки деталей, что повышает требования к точности сборки и изготовления собираемых элементов.

На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов соединения деталей при изготовлении кузова автомобиля для построения проектной технологии сварки следует применить лазерную сварку, устранение недостатков которой в настоящей квалификационной работе позволит расширить технологические возможности способа.

1.5 Постановка задач на выполнение квалификационной работы

Выпускная квалификационная работ посвящена вопросу повышения эффективности сварочных операций при изготовлении кузовных деталей автомобиля. В качестве типового технологического процесса рассмотрена технология сварки стойки крыла с применением контактной точечной сварки на многоэлектродной машине. Выполнен краткий обзор способов сварки, применение которых возможно в массовом производстве при изготовлении деталей кузова автомобиля. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков каждого способа сварки обоснован выбор лазерной сварки для построения проектной технологии. Достижение поставленной во введении цели обеспечится путем решения задач, которые на основании проведенного анализа состояния вопроса могут быть сформулированы следующим образом. Первая задача заключается в расширении технологических возможностей лазерной сварки применительно к рассматриваемым элементам кузова легкового автомобиля. Для её решения предлагается на основании анализа научной и технической литературы предложить разработки отечественных исследователей в области лазерной сварки. Вторая задача заключается в повышении производительности сварочных операций за счёт применения роботизированной сварки, для чего предстоит выбрать средство роботизации и автоматизации сварочных технологий. Третьей задачей является построение проектного технологического процесса, в ходе решения этой задачи предстоит составить перечень операций и назначить для их выполнения технологическое оборудование. Для операций технологического процесса предстоит сформулировать технологические условия и назначить параметры режима. Оценочные разделы работы позволят рассмотреть проектную технологию с точки зрения промышленной безопасности [2], [4] и экономической эффективности [6], [11], после чего необходимо доказать перспективность применения предлагаемых решений в современном автомобилестроительном производстве.

2 Проектная технология лазерной сварки деталей кузова автомобиля

2.1 Особенности построения оборудования для лазерной сварки

При построении технологии лазерной сварки и назначении оптимальных параметров режима необходимо принимать во внимание особенности распределения энергии при формировании сварного соединения. С точки зрения назначения параметров режима и составления проектной технологии интерес представляет такой энергетический параметр сварки, как плотность мощности E, который вычисляется как отношение мощности источника тепла к его площади. Вторым параметром, характеризующим эффективность нагрева при сварке, является диаметр D источника нагрева при рассматриваемом способе сварки. На рисунке 15 представлены значения плотности мощности E и диаметра D источников нагрева для различных способов сварки: газовое пламя (ГП), сжатая дуга (ДП), электронный луч (ЭЛ), искровок разряд (ИР), свободно горящая дуга (СД) и лазерное излучение (ЛИ). Из представленной диаграммы видно, что лазерное излучение, обеспечиваемое современным оборудованием, характеризуется высокой концентрацией мощности по сравнению с большинством рассматриваемых способов сварки, что обеспечивается уникальными параметрами лазерного излучения, среди которых следует указать когерентность и монохроматичнсть.

Для лазерной сварки в качестве среди может быть применен воздух, аргон, углекислый газ или гелий. В отличие от электронно-лучевой сварки для лазерной сварки не требуется применение вакуума. Также следует указать на малую восприимчивость лазерного луча к магнитным полям и ферромагнитным массам, что повышает стабильность сварки в условиях массового производства и упрощает её роботизацию.

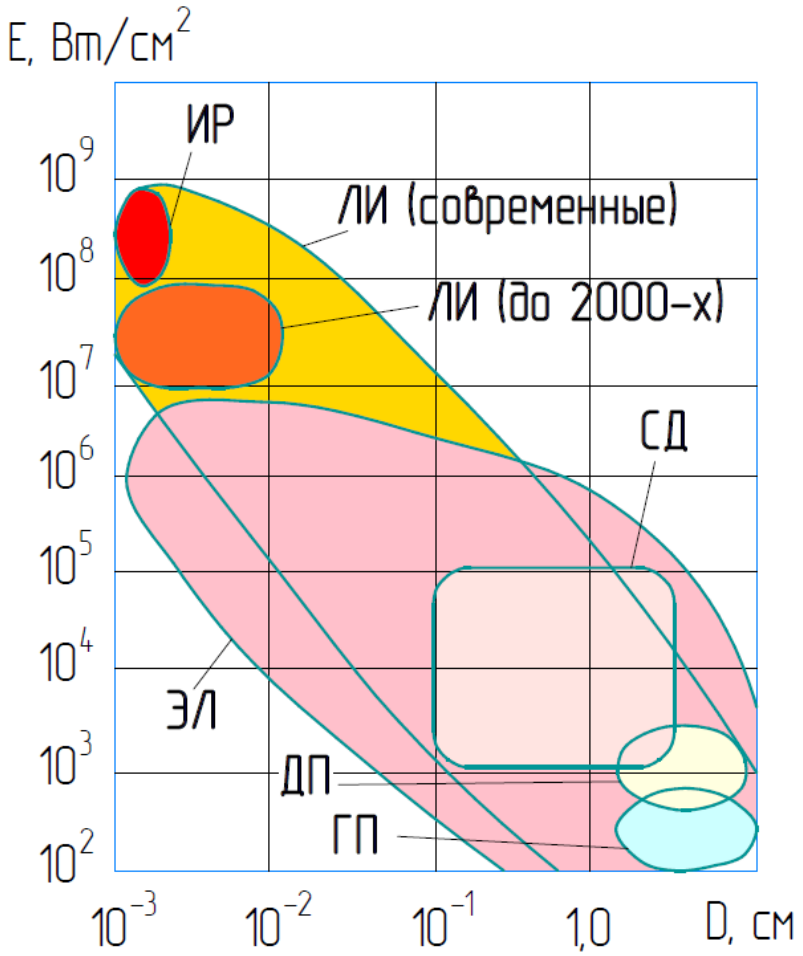


Рисунок 15 – Концентрация энергии при различных способах сварки

Применительно к построению технологии лазерной сварки необходимо рассмотреть и обосновать выбор вида излучателя. В настоящее время в массовом производстве применяются два вида лазеров – твердотельные и газовые. Функциональная схема твердотельного лазера представлена на рисунке 16 и включает в себя рубиновый стержень, обозначенный позицией 1, на торцах которого присутствует слой отражающего вещества, причем на заднем торце установлено непрозрачное зеркало 4, а на переднем торце стержня установлено полупрозрачное зеркало 7. От источника питания 6 работает генератор накачки 2, излучающий энергию для выработки фотонов в стержне 1. Защита от перегрева конструкции обеспечивается охлаждающей средой 5, которая циркулирует внутри отражателя 3. Выходя через полупрозрачное зеркало 7, световой луч 8 попадает на фокусирующую линзу 9, после которой концентрируется на свариваемом изделии 10.

Рубиновые твердотельные лазеры, в которых в качестве активного элемента использован кристалл искусственного рубина, были первыми лазерами, примененными в автомобилестроении на предприятиях Audi, Volkswagen, BMW, Renault. Рубиновый лазер позволяет генерировать излучение с длиной волны λ=0,69 мкм в импульсном режиме с длительностью импульсов $\tau=10^{-3}\ldots10^{-9}$ с при частоте следования импульсов порядка 10 Гц. Энергия в импульсе при этом составляет $W=10^{2}\ldots10^{3}$ Дж. Недостатком рубинового лазера является низкий коэффициент полезного действия, который составляет 0,1…1 %. Ещё одним недостатком рубинового лазера является импульсный характер излучения и малая его мощность.

Следующим этапом развития лазерной сварки стала применение газовых лазеров. Функциональная схема газового лазера представлена на рисунке 17.

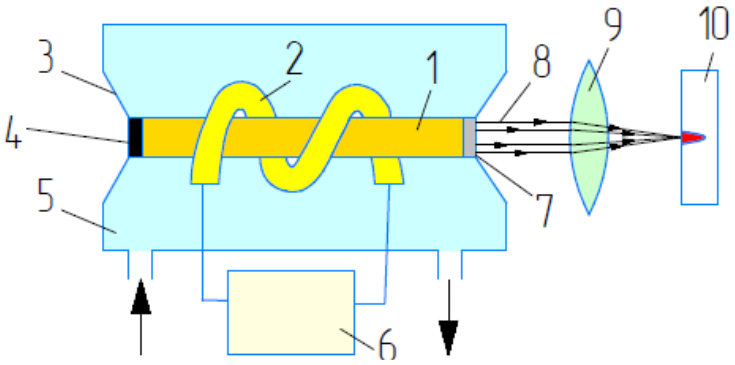


Рисунок 16 – Функциональная схема твердотельного лазера

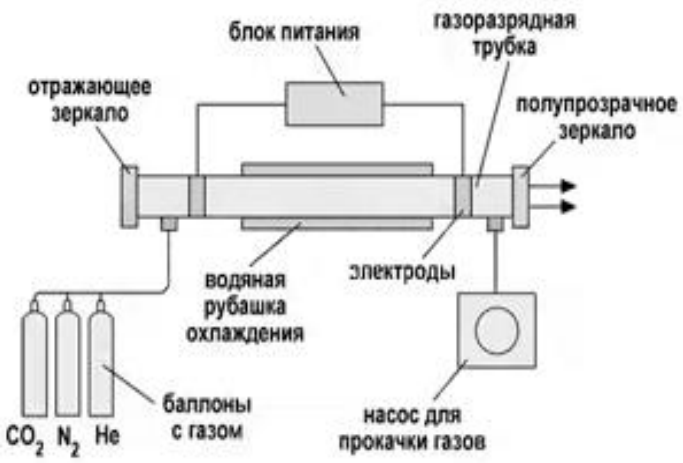


Рисунок 17 – Функциональная схема газового лазера

Средняя мощность газового лазера составляет от 100 Вт до 10 кВт, работа газового лазера возможна как в непрерывном, так и в импульсном режиме, длина волны газового лазера с применением в качестве активной среды углекислого газа составляет λ=10,6 мкм. Недостатком газового лазера является его габариты и масса, из-за которых в настоящее время газовые лазеры в автомобилестроении вытесняются более перспективными лазерами – твердотельными на основе алюмоитриевого граната с атомами неодима (Nd:YAG).

Схема Nd:YAG лазера представлена на рисунке 18. Длина волны света таких лазеров составляет λ=1,064 мкм. Высокая мощность такого лазера позволяет выполнять сварку с малой фокусировкой луча, что снижает требования к точности сборки деталей и позволяет применить такой лазер при роботизированной сварке. Пятно лазера составляет от десятых долей до миллиметров. Пиковая мощность импульса Nd:YAG лазера может достигать 7000 Вт.

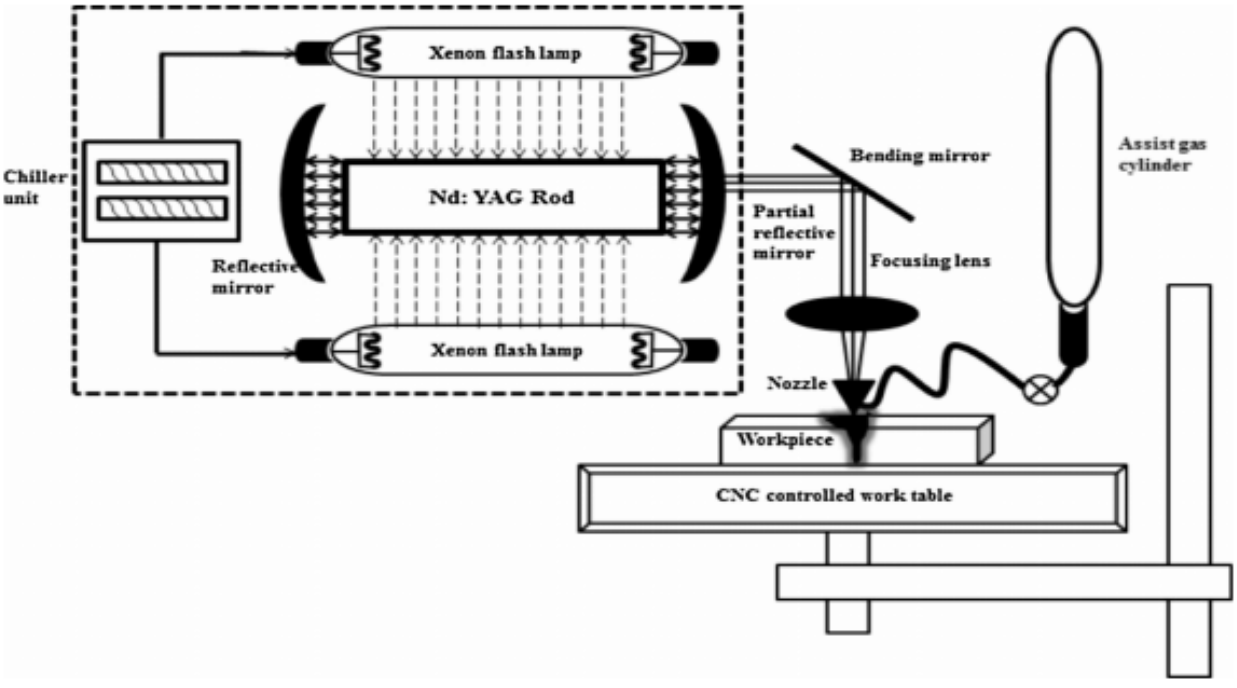


Рисунок 18 – Функциональная схема твердотельного Nd:YAG лазера

Для построения проектной технологии предлагается применить Nd:YA лазер, обладающий оптимальными энергетическими характеристиками.

2.2 Особенности построения операций технологического процесса лазерной сварки

При выполнении лазерной сварки качество соединений в значительной степени зависит от точности сборки элементов. При этом следует обеспечить минимальный зазор между сопрягаемыми деталями, так как в противном случае качество сварного соединения резко падает. Величина зазора между деталями при сварке листов толщиной 1+1 мм не должна превышать 0,2 мм. Также следует обеспечить отсутствие перекоса деталей.

Поверхность деталей должна быть очищена от окалины и ржавчины, а также не иметь следов масла и влаги. В противном случае при лазерной сварке создаются условия для формирования повышенной пористости. Также наличие загрязнений и влаги могут стать причиной появления в соединении холодных трещин вследствие насыщения соединения водородом.

Следует принимать во внимание, что лазерная сварка характеризуется высокой чувствительностью сварного соединения к концентраторам напряжений, что необходимо учитывать при проектировании деталей, изготавливаемых с применением лазерной сварки.

В качестве защитного газа при сварке предлагается применить смесь аргона с углекислым газом в соотношении 3:1.

При сварке предлагается применить следующие параметры режима (для толщины листов 1+1 мм): мощность луча 1 кВт, скорость сварки 150 м/ч, фокусное расстояние 120 мм, заглубление фокуса 0,5 мм.

Для автоматизации лазерной сварки «предлагается применить роботизированный комплекс на базе представленного на рисунке 19 промышленного робота AM-120iB производства концерна Fanuc Robotics. Представленный робот имеет модульную конструкцию, в состав которой входят такие элементы, как базисное основание 1, карусель 2, коромысло 3, основание руки 4, рука 5, кисть 6» [18]. На рабочем фланце кисти крепится головка лазерной сварки HGZ WOBD30 PRO, представленная на рисунке 20.

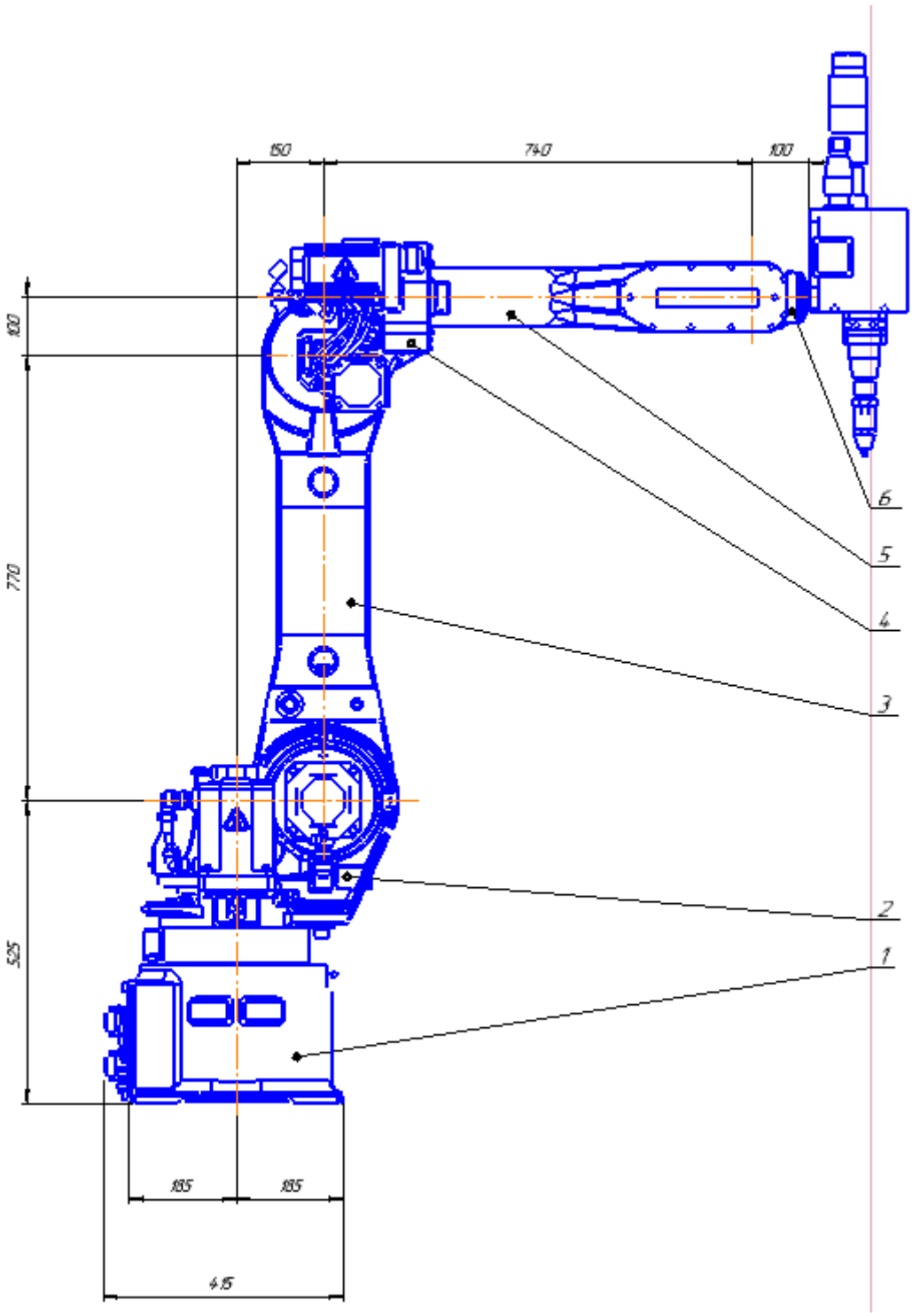


Рисунок 19 – Модульный робот AM-120iB производства FANUC Robotics

Данный робот позволяет перемещать рабочий инструмент массой до 20 кг с точностью до 0,08 мм, что является достаточным для нашего случая. Рабочая зона робота позволяет использовать один робот его для сварки всего рассматриваемого в выпускной квалификационной работе узла.

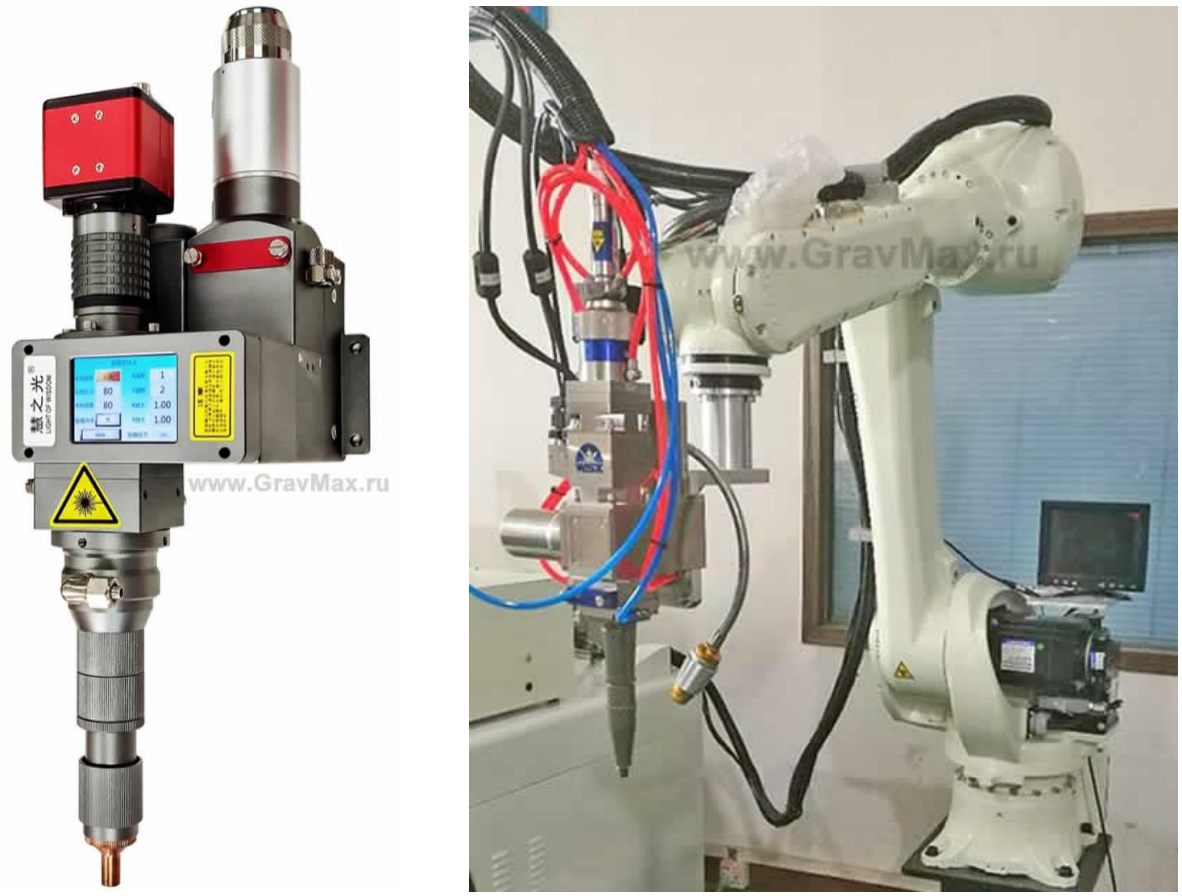
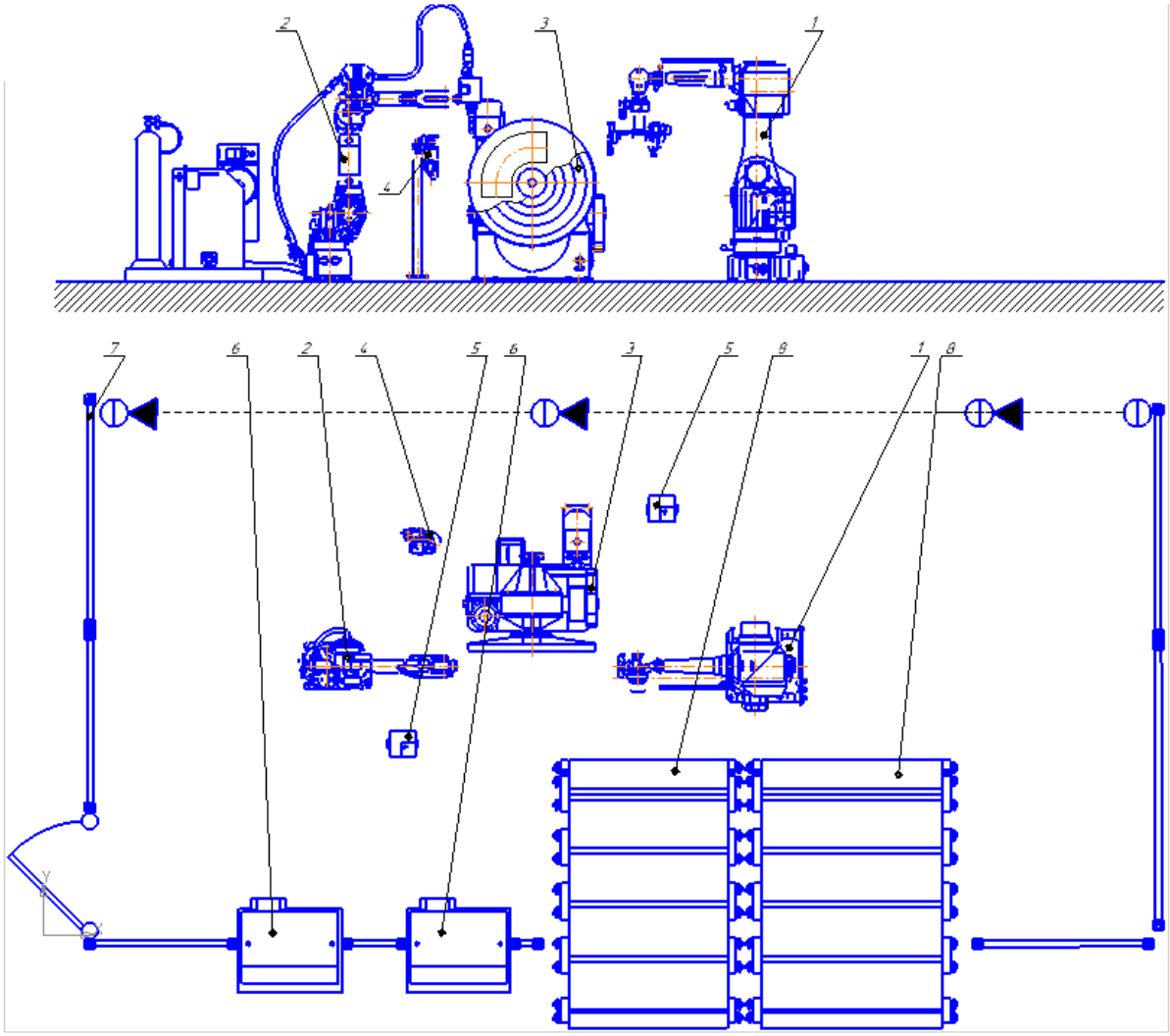


Рисунок 20 – Головка лазерной сварки HGZ WOBD30 PRO и её крепление на сварочном роботе

Предлагаемая к использованию сварочная головка HGZ WOBD30 PRO обладает следующими параметрами: мощность лазерного излучения до 3 кВт, наблюдение за процессом CCD камерой, длина волны лазерного излучения 1050…1090 нм, давление газа 0,6 атм, подача газа 8…25 литров в минуту, масса 3,3 кг. В качестве источника лазерного излучения предлагается применить представленную на рисунке 21 установку Raptor HS-AW1000, позволяющую получать излучение мощностью до 1000 Вт и длиной волны 1070 нм. Для охлаждения предлагается применить чиллер CWFL-2000ANS, обеспечивающий интенсивное водяное охлаждение нагревающихся элементов роботизированного сварочного комплекса мощностью до 3,21 кВт. Микропроцессорное управление позволяет обеспечивать поддержание температуры с точностью до 0,5 °С. Роботизированный комплекс для лазерной сварки представлен на рисунке 22.

Рисунок 21 – Источник лазерного излучения и водяной охладитель



1 – робот M-710iB с оснасткой для схвата деталей; 2 – робот AM-120iB с оснасткой для дуговой сварки; 3 – узел разворота оснастки; 4 – стойка обслуживания сварочной горелки; 5 – стойка концевого выключателя; 6 – шкаф управления роботом; 7 – ограда; 8 – транспортёр-накопитель

Рисунок 22 – Роботизированный сварочный комплекс

«Так как в предлагаемом к построению сварочном комплексе применяется вспомогательный робот, который исключает взаимодействие оператора со сварочным роботом при закладке деталей и выемке изделия, то безопасность и производительность существенно повышаются. Для предотвращения несанкционированного попадания на территорию комплекса он окружен оградой с концевыми выключателями, обеспечивающими подачи сигнала на аварийный останов комплекса при попадании внутрь него человека» [18].

Выводы по второму разделу

В втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы описано решение задач, выполнение которых позволяет построить проектную технологию роботизированной лазерной сварки деталей кузова автомобиля. На основании анализа принципов лазерных излучателей для построения проектной технологии предлагается применить твердотельный Nd:YAG лазер, позволяющий обеспечить необходимую мощность излучения. Для автоматизации процесса предложено применить два промышленных робота, одни из которых позиционирует сварочную головку, а второй выполняет укладку деталей и прием сваренного узла. Предлагаемый комплекс может быть применен для изготовления типовых кузовных узлов, изменение конструкции которых потребует лишь перепрограммирования комплекса и смены сборочного узла кондуктора. Это расширяет сферу потенциального применения предлагаемых решений. Применение безлюдной технологии позволяет устранить проблему опасности оборудования для лазерной сварки. Далее следует выполнить оценку результатов работы на предмет обеспечения безопасности технологических процессов м экономической эффективности при внедрении предлагаемых решений. На основании составления заключения следует сделать вывод о достижении поставленной цели выпускной квалификационной работы.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

При реализации проектного технологического процесса предлагается применить роботизированную лазерную сварку деталей кузова автомобиля. Несмотря на достигаемый технологический эффект, выражающийся в многократном повышении производительности выполнения работ и их качества, применению предлагаемых решений в производство должна предшествовать экспертиза проектной технологии на предмет промышленной, пожарной и экологической безопасности. Предварительно следует рассмотреть вопросы промышленной безопасности, связанные с идентификацией негативных производственных факторов и составлением перечня средств по их нейтрализации. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса роботизированной лазерной сварки представлена в таблице 3. Проектный технологический процесс в упрощенном виде может быть представлен как набор из шести операций, в ходе выполнения каждой операции возникает комплекс опасных и вредных производственных факторов. Представленная в таблице информация позволят судить о выполняемых операциях, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Для выполнения операций проектного технологического процесса привлекаются слесарь-сборщик, оператор робота, инженер-дефектоскопист. Если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Источниками опасности выступает технологическое оборудование, применяемое на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 3 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса роботизированной лазерной сварки

Операция	Персонал	Оборудование
Подготовка деталей к сварке	Слесарь-сборщик	- моечная машина - сушильная машина
Загрузка деталей в транспортер-накопитель	Слесарь-сборщик	- тара оборотная - транспортер-накопитель - ложементы
Роботизированная загрузка деталей в приспособление	Оператор робота	- транспортер-накопитель - поворотный стол - кондуктор - вспомогательный робот - система машинного зрения
Сварка	Оператор робота	- сварочный робот - система машинного зрения - сварочная головка - источник питания - система охлаждения - кондуктор - поворотный стол - газовая аппаратура
Выемка сваренного узла	Оператор робота	- вспомогательный робот - система машинного зрения - кондуктор - поворотный стол - тара накопительная
Контроль качества	Инженер-дефектоскопист	- набор визуального и измерительного контроля - набор цветовой дефектоскопии - дефектоскоп ультразвуковой

Представленная в таблице информация позволяет в дальнейшем провести идентификацию негативных производственных факторов, сопровождающих выполнение рассматриваемых операций технологического процесса. Если негативный фактор может стать причиной получения персоналом травмы или причиной смертельного случая, то такой фактор следует отнести к группе опасных факторов. Если в результате действия рассматриваемого фактора у персонала может возникнуть или развиться профессиональное заболевание, то такой фактор следует отнести к группе вредных факторов.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

По результатам анализа укрупненного технологического процесса для каждой рассматриваемой операции следует составить перечень негативных производственных факторов, сформулированных согласно ГОСТ 12.0.003-2015. При выполнении операция проектного технологического процесса возможно возникновение негативных производственных факторов, которые раздельно по рассматриваемым операциям технологического процесса представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Негативные производственные факторы при реализации операций

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Подготовка деталей к сварке	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Загрузка деталей в транспортер-накопитель	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов
Роботизированная загрузка деталей в приспособление	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов
Сварка	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - поражение электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Выемка сваренного узла	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов
Контроль качества	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности

Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Выполнение операций проектного технологического процесса сопровождается возникновением действующих на персонал негативных факторов, перечень которых для каждой операции ранее был представлен в таблице 4. В таблице представлен комплекс стандартных факторов, нейтрализация которых возможна с применением стандартных методик и технических решений, находящихся в арсенале современного предприятия. Эти решения представлены в таблице 5, которая рассматривает двенадцать негативных факторов. При обеспечении безопасности персонала необходимо учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. При организации защитных мероприятий следует особо выделить эффективность поддержания трудовой дисциплины, нарушение которой, как показала многолетняя практика промышленных предприятий, становится главной причиной несчастных случаев не производстве. Проведение периодического инструктажа по технике безопасности позволяет поддерживать персонал в состоянии готовности вовремя заметить и предотвратить опасность получения травмы, а также обеспечить сохранение здоровья при работе в условиях действия вредных факторов. Запрещается работа на неисправном оборудовании, что может послужить причиной поражения электрическим током и получения механических травм. Запрещается нахождение на производственном участке посторонних лиц, что значительно усиливает опасность негативных факторов по отношению к неподготовленным лицам. Для обслуживания технических средство безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники. Такие механизмы, как пресс, установка наплавки и дробеструйная камера должны быть оснащены средствами защитной блокировки.

Таблица 5 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
отсутствие или недостаток естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
отсутствие или недостаток искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону» [4]	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия

Представленные в таблице средства обеспечивают эффективную защиту персонала при условии соблюдения трудовой дисциплины, поэтому разработки специальных средств защиты не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

Сварка является опасным с точки зрения возникновения на производственном участке пожара процессом, что заставляет рассматривать дополнительные мероприятия по безопасности. Операции лазерной сварки сопровождаются интенсивным тепловым излучением, интенсивным ультрафиолетовым излучением, высокотемпературным действием на поверхности, разбрасыванием искр и брызг расплавленного металла. Также следует принимать во внимание, что питание дуги требует подвода электрической энергии высокой мощности, при повреждении электрического оборудования возможно образование возгорания и развития пожара на рассматриваемом производственном участке. Наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 6 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 6 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок роботизированной лазерной сварки деталей кузова автомобиля
Наименование оборудования	Моечная машина, сушильная машина, транспортер-накопитель, поворотный стол, кондуктор, вспомогательный робот, сварочный робот, система машинного зрения, источник питания, система охлаждения, сварочная головка, газовая аппаратура
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Основные опасные факторы пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Вторичные опасные факторы пожара» [4]	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования

В случае возникновения пожара необходимо быть готовым к нейтрализации его опасных факторов, действие которых может стать причиной травм, жертв и экономического ущерба. К основным (первичным) факторам относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и

«мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушению уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. К вторичным факторам пожара относят возможность падения на людей элементов оборудования и элементов конструкции здания при разрушении, поражение персонала и сотрудников МЧС электрическим током. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории Е» [4], так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 7 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 7 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [4]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Запрещается складирование мусора, могущего стать потенциальным топливом (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Запрещается хранить на участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Обязателен инструктаж по вопросам пожарной безопасности и проверка умения персонала обращаться со средствами первичного тушения.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Современные технологические процессы должны удовлетворять требованиям причинения минимального ущерба окружающей среде. При этом следует учитывать, что по мере повышения уровня самосознания цивилизации в отношении сохранения природных ресурсов требования по обеспечению экологической безопасности будут продолжать ужесточаться, а финансовые затраты в этом направлении увеличиваться. Рассматриваемый процесс лазерной сварки деталей кузова автомобиля реализуется на высокотехнологичном участке с применением значительного количества оборудования, следовательно, может представлять опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. Для защиты атмосферы требуется дооснащение вентиляции рассматриваемого производственного участка системой фильтрации и утилизации собираемых компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Для защиты гидросферы запрещается слив в канализацию и водоемы машинного масла и других жидких отходов, возникающих при функционировании производственного участка,. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по соблюдению экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды. Для защиты литосферы требуется организация на производственном участке селективного сбора, разделения и утилизации промышленного мусора. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных

отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу. Запрещается наземный слив масла и отработавших технологических жидкостей.

Выводы по экологическому разделу

При составлении и анализе укрупненного технологического процесса выделены пять операций и для каждой операции сформулированы негативные производственные факторы, защиту от действия которых на персонал предприятия предлагается проводить с применением стандартных технических средств и организационных мероприятий, оценка эффективности которых проведена и позволяет отказаться от проектирования специальных средств защиты. Пожарная безопасность на рассматриваемом участке проведения ремонтной сварки обеспечивается представленными в настоящем разделе стандартными средствами. Значительная роль отводится мероприятиям предупредительного характера, позволяющим за счёт повышения культуры производства значительно уменьшить опасность образования пожара и возникновения на рассматриваемом производственном участке несчастного случая. При анализе проектной технологии с точки зрения негативного действия на окружающую среду предложены мероприятия, обеспечивающие снижение антропогенного действия рассматриваемого производственного участка на составляющие природы – атмосферу, литосферу и гидросферу. В процессе функционирования сварочного участка необходимо проводить селективный сбор промышленных отходов и рециклинг. Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Следовательно, проектный технологический процесс может быть реализован на производственном участке.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Ранее при выполнении разделов выпускной квалификационной работы составлена проектная технология роботизированной лазерной сварки деталей кузова автомобиля, которая по сравнению с применением многоэлектродных машин позволяет повысить производительность и качество. Кроме того, лазерная сварка с применением роботов обладает большей по сравнению с контактной сваркой на многоэлектродных машинах универсальностью. Для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство необходимо провести ряд экономических расчётов, направленных на определение экономических показателей предприятия. Поскольку проектная технология предусматривает применение модернизированного оборудования, стоимость которого выше, чем у оборудования, применяемого при реализации базового технологического процесса, экономическая эффективность предлагаемых решений не очевидна и должна быть доказана. Для последующего экономического анализа исходные данные по рассматриваемым технологиям представлены в таблице 8. Применение при реализации проектной технологии предлагаемых решений по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. С учётом специфики рассматриваемого производства экономические расчёты проводим исходя из режима работы производственного участка в две смены.

Таблица 8 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$К_{см}$	-	2	2
Разряд работников	$Р_р$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	Сч	Р/час	300	300
Коэффициент доплат	Кдоп	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$К_д$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$К_{ВН}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	Цоб	руб.	4850 тыс.	7000 тыс.
Норма амортизации оборудования	$К_а$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$М_{уст}$	кВт	30	40
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	Кт -з	%	5	5
Стоимость электрической энергии	Цэ-э	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,9	0,9
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$К_{мон}$ $К_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	$м^2$	100	100
Стоимость эксплуатации площадей	Сэксп	$(Р/м^2)$/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	$Р/м^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$К_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [14]	Кзав	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает раздельное определение временных показателей рассматриваемого производства, раздельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, ву первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования $F_н$ и эффективный фонд времени работы оборудования $F_э$, связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени В. Годовой фонд времени работы оборудования $F_н$ в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для «расчётов принимается количество смен $К_{см}$=2. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным Др=277. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчётов принимается равной $Т_{см}$=8 часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $Т_п$=1 час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчётов принимается равным $Д_п$=7 дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени» [14]:

$$F_н = (Д_р \cdot Т_{см} - Д_п \cdot Т_п) \cdot К_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени через коэффициент В, значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается В=0,07. На основании вышеизложенного

$$F_э = F_н(1\text{-}В) = 4418 \cdot (1 - 0{,}07) = 4108 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_э$= 4108 часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства $П_г$. Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [14] выполняется как

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз} . \quad (3)$$

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,25 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,3$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,14 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,17$ часа.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования $F_э$ и штучного времени $t_{шт}$ как

$$П_г = F_э / t_{шт}. \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $П_{г.}$ = 4108/0,3 = 13700 сварных узлов в год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $П_г$ = 4108/0,17 = 24160 сварных узлов в год. С учётом потребностей рассматриваемого производства и то, что оно считается экспериментальным для значения годовой программы принимается $П_г$ = 12000 сварных узлов в год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{расч}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени $F_э$, годовой программы $П_г$ и штучного времени $t_{шт}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $К_{вн}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $К_{вн}$ = 1,03» [16]:

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot П_г / (F_э \cdot К_{вн}). \quad (5)$$

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{расч.}$ = 0,3·12000/(4108·1,03) = 0,9. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{расч.}$ = 0,17·12000/(4108·1,03) = 0,5. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования $К_з$, который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$К_э = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $К_з$ = 0,9/1 = 0,9 и $К_з$ = 0,5/1 = 0,5 соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $С_{тех}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить раздельный расчёт составляющих: «затрат на материалы М, фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $О_{сс}$, затрат на оборудование $З_{об}$ и затрат на площади $З_{пл}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $Ц_{м}$, нормы расхода $Н_{р}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $К_{тз}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $К_{тз}$ = 1,05» [14]:

$$М = Ц_{м} \cdot Н_{р} \cdot К_{т\text{-}з} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить М = 17 рублей (затраты на сварочные электроды и воду). Расчёт по формуле (7) для проектного варианта технологии позволяет получить величину затрат на материалы равную $М_{баз.}$ = 26 рублей (затраты на защитный газ и воду).

«Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $З_{осн}$ и дополнительную заработную плату $З_{доп}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $С_{ч}$, коэффициента доплат $К_{д}$ и коэффициента дополнительных затрат $К_{доп}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $С_{ч}$=200 руб., $К_{д}$=1,88 и $К_{доп}$=0,12. Расчёт величины $З_{осн}$» [14]:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot С_{ч} \cdot К_{д}. \quad (8)$$

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $З_{осн}$ = 0,3·300·1,88 = 169 руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{осн.}$ = 0,17·300·1,88 = 96 руб.

Расчёт величины $З_{доп}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot К_{доп}. \quad (9)$$

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $З_{доп}$= 169·0,12 = 20 руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{доп}$ = 96·0,12 = 12 руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$ФЗП = З_{осн} + З_{доп}. \quad (10)$$

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину ФЗП = 169 + 20 = 189 руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину ФЗП = 96 + 12 = 108 руб.

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды $О_{сс}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $К_{сн}$, значение которого для рассматриваемого» [14] производства из таблицы исходных значений принимается $К_{сн}$=0,34. Расчёт величины $О_{сс}$:

$$О_{сн} = ФЗП \cdot К_{сн}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $О_{сн.}$ = 189·0,34 = 64 руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $О_{сн.}$ = 108·0,34 = 37 руб.

Для того, чтобы рассчитать размер «затрат на оборудование $З_{об}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $А_{об}$ и затраты на электрическую энергию $Р_{ээ}$.

При расчете величины $А_{об}$ применяются ранее определенные значения $F_э$ и $t_{маш}$, а также принятые для рассматриваемого производства норма амортизации $Н_а$ и стоимость оборудования $Ц_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $А_{об}$» [14]:

$$А_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot Н_а \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (12)$$

«Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $А_{об}$ = 4850000 · 21,5 · 0,3 / 4108 / 100 = 76 руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $А_{об}$ = 7000000 · 21,5 · 0,17 / 4108 / 100 = 62 руб.» [14] Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $Р_{ээ}$ выполняется применяется цена электрической энергии $Ц_{ээ}$, установленная мощность применяемого оборудования $М_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $Р_{ээ}$:

$$Р_{ээ} = М_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{ээ} / КПД. \quad (13)$$

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $Р_{ээ}$ = 30 · 0,3 · 3,4 / 0,7 = 44 руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $Р_{ээ}$ = 40·0,17 · 3,4 / 0,85 = 27 руб.

Величина затрат на оборудование $З_{об}$ определяется как сумма $А_{об}$ и $Р_{ээ}$:

$$З_{об} = А_{об} + Р_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $З_{об.}$ = 76+ 44= 120 руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{об}$ = 62 + 27= 89 руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $С_{тех}$ выполняется как сумма затрат на материалы М, фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $О_{сс}$, затрат на оборудование $З_{об}$ и затрат на площади $З_{пл}$:

$$С_{тех} = М + ФЗП + Осс + З_{ОБ} + З_{пл}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $С_{тех}$ = 17 + 189+ 64 + 120 + 104 = 494 руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить значение технологической себестоимости в размере $С_{тех}$ = 26 + 108 + 37 + 89 + 58 = 318 руб. Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения цеховой себестоимости $С_{цех}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $С_{тех}$ и основной заработной платы $З_{осн}$, а также коэффициент цеховых расходов $К_{цех}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $К_{цех}$=1,5. Расчёт величины $С_{цех}$:

$$С_{цех} = С_{тех} + З_{осн} \cdot К_{цех}. \quad (16)$$

«Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $С_{цех}$ = 494 + 1,5·169 = 494 + 254 = 748 руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $С_{цех}$ = 318 + 1,5·96= 318 + 144 = 462 руб. Для расчётного определения заводской себестоимости $С_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $С_{цех}$ и основной заработной платы $З_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $К_{зав}$, значение

которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $К_{зав}$=1,15. Расчёт величины $С_{зав}$» [14]:

$$С_{зав} = С_{цех} + З_{осн} \cdot К_{зав}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $С_{зав}$ = 748 + 1,15·169= 748 + 195 = 943 руб. Применение (17) для проектного варианта дает $С_{зав}$ = 462+1,15·96 = 462 + 110 = 572 руб.

Для анализа которых на рисунке 23 представлена диаграмма, демонстрирующая структуру технологической себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса, эти же данные в цифровом виде представлены в калькуляционной таблице 9. На рисунке 24 представлена структура заводской себестоимости.

Таблица 9– Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	17	26
2. Фонд заработной платы	ФЗП	189	108
3. Отчисления на соц. нужды	$О_{СН}$	64	37
4. Затраты на оборудование	Зоб	120	89
5. Затраты на площади	Зпл	104	58
6. Технологическая себестоимость	Стех	494	318
7. Цеховые расходы	Рцех	254	144
8. Цеховая себестоимость	Сцех	748	462
9. Заводские расходы	Рзав	195	110
10. Заводская себестоимость» [16]	$С_{зав}$	943	572

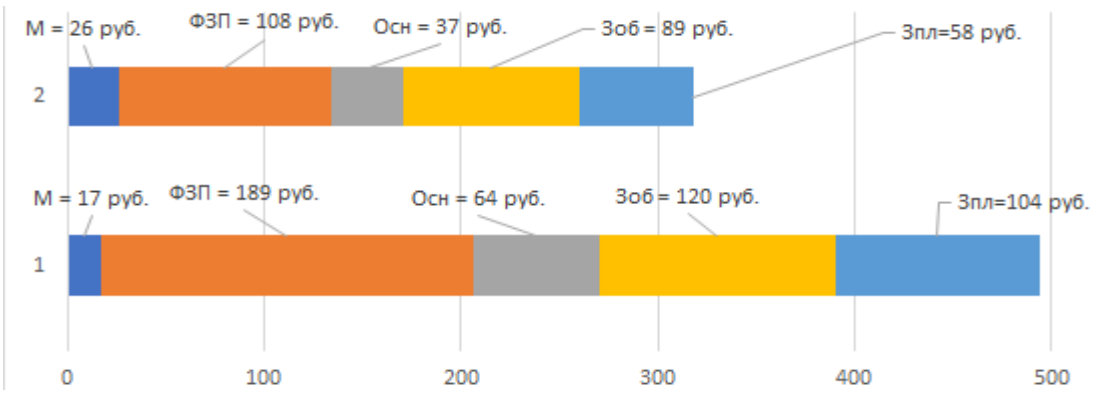


Рисунок 23 – Состав технологической себестоимости

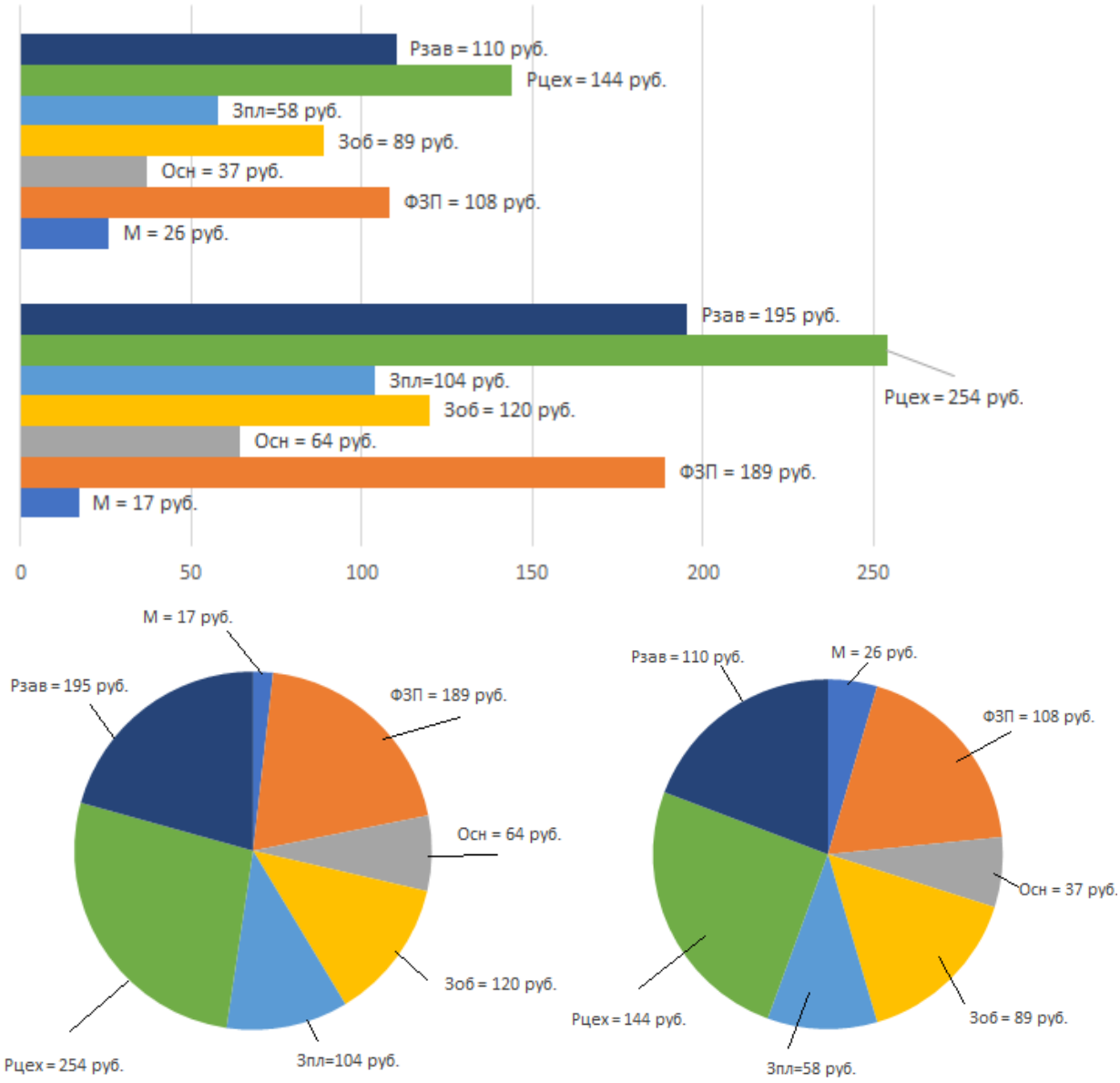


Рисунок 24 – Структура заводской себестоимости

Снижение заводской себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения величины технологической себестоимости и величины цеховых и заводских расходов.

Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом. Но для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты, которые будут учтены при расчётном определении экономической эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $Ц_{об.б}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $Т_с$=2 года и цене оборудования $Ц_{перв}$= 850 тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $Н_а$=21,5 %» [14]:

$$Ц_{об.б.} = Ц_{перв.} – (Ц_{перв} \cdot Т_{сл} \cdot Н_а/100). \quad (18)$$

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $Ц_{об.б.}$ = 4850000 – (4850000 ·2·21,5/100) = 2764500 руб.

«Величина общих капитальных затрат $К_{общ.б}$ в базовом варианте технологии. рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки $К_з$ и остаточной стоимости $Ц_{об.б}$» [14]:

$$К_{общ.\ б.} = Ц_{об.б} \cdot К_{з.б} = 1 \cdot 2764500 \cdot 0,9 = 2488050 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $К_{об.\ пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $Ц_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $К_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования $К_з$, расчётное значение которого составляет $К_з$=0,4. Из таблицы исходных данных принимается $Ц_{обюпр.}$=7000 тыс. рублей, $К_{тз}$=1,05. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят» [14]

$$К_{об.пр.} = Ц_{об.\ пр.} \cdot К_{тз} \cdot К_{зп} = 7000000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 2940000 \text{ руб.} \quad (20)$$

«Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $К_{дем}$=0,05 и цены оборудования $Ц_{об.б.}$= 4850 тыс. рублей определяют как» [14]

$$Р_{дем} = Ц_{об.\ б.\ .} \cdot К_д = 1 \cdot 4850000 \cdot 0,05 = 242500 \text{ руб.} \quad (21)$$

«Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $К_{мон}$=0,05 и цены оборудования $Ц_{об.пр.}$= 7000 тыс. рублей определяют как» [14]

$$Р_{монт} = Ц_{об.\ пр.} \cdot К_{м} = 7000000 \cdot 0{,}05 = 350000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

«Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $Р_{дем}$ и расходов на монтаж $Р_{мон}$» [14]:

$$К_{соп} = Р_{дем} + Р_{монт} = 242500 + 350000 = 592500 \text{ рублей.} \quad (23)$$

«Величину капитальных затрат по проектной технологии $К_{общ.пр.}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $К_{соп}$ и капитальных затрат на оборудование $К_{об.пр.}$» [14]:

$$К_{общ.\ пр.} = К_{об.\ пр.} + К_{соп.} = 2940000 + 592500 = 3532500 \text{ рублей.} \quad (24)$$

«Размер дополнительных капитальных затрат $К_{доп}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $К_{общ.\ б.}$ и капитальных затрат по проектной технологии $К_{общ.\ пр.}$» [14]:

$$К_{доп} = К_{общпр} - К_{общб} = 3532500 - 2488050 = 1044450 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $К_{уд}$ рассчитывается по капитальным вложениям $К_{доп}$ с учётом годовой программы $П_{г}$:

$$К_{уд} = К_{общ} / П_{г}\ . \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $К_{уд}$ = 2488050/12000 = 207 рублей за один сварной узел. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $К_{уд}$ = 3532500/12000 = 294 рублей за один сварной узел. На основании проведенных расчётов могут быть определены показатели эффективности предлагаемых решений.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа показателей экономической эффективности. Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100\ \% / t_{шт\ б} = (0{,}3 - 0{,}17) \cdot 100\ \% / 0{,}3 = 43\ \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда $П_т$:

$$П_т = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 43 / (100 - 43) = 75\ \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (494 - 318) \cdot 100\% / 494 = 36\ \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия $Э_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы $П_г$:

$$Э_{уг} = (C_{зав.б} - C_{зав.пр}) \cdot П_г = (943 - 572) \cdot 12000 = 4452000 \text{ рублей}. \quad (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $Т_{ок}$:

$$Т_{ок} = К_{доп} / Э_{уг} = 1044450 / 4452000 = 0{,}2 \text{ года}. \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта $Э_г$ с учетом коэффициента окупаемости затрат $Е_н$=0,33:

$$Э_г = Э_{уг} - Е_н \cdot К_{доп} = 4452000 - 0{,}33 \cdot 1044450 = 4107331 \text{ рублей}. \quad (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразность внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе проведены расчётные исследования по определению эффективности проектной технологии роботизированной сварки узлов кузова автомобиля с применением предлагаемых технологических решений. Представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки. По результатам оценки особенностей протекания технологического процесса в базовом варианте и проектном варианте определены временные показатели технологии, на основании которых с использованием исходных данных выполнен расчёт составляющих заводской себестоимости сборки и сварки по рассматриваемым вариантам технологии. Установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Далее установлен размер капитальных вложений по базовому варианту и проектному варианту построения технологического процесса, с учётом которых рассчитаны показатели эффективности предлагаемых к внедрению решений. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удается уменьшить трудоемкость выполнения работ на 43 %, повысить производительность процесса на 75 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 36 %. При капитальных вложениях 1,044 млн. рублей срок окупаемости составляет 0,2 года, а экономический эффект составляет 4,107 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Заключение

Работа посвящена вопросу повышения эффективности сварочных операций при изготовлении кузовных деталей автомобиля. В качестве типового технологического процесса рассмотрена технология сварки стойки крыла с применением контактной точечной сварки на многоэлектродной машине. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков каждого способа сварки обоснован выбор лазерной сварки для построения проектной технологии. На основании анализа принципов лазерных излучателей для построения проектной технологии предлагается применить твердотельный Nd:YAG лазер, позволяющий обеспечить необходимую мощность излучения. Для автоматизации процесса предложено применить два промышленных робота, одни из которых позиционирует сварочную головку, а второй выполняет укладку деталей и прием сваренного узла. Предлагаемый комплекс может быть применен для изготовления типовых кузовных узлов, изменение конструкции которых потребует лишь перепрограммирования комплекса и смены сборочного узла кондуктора. Это расширяет сферу потенциального применения предлагаемых решений. Применение безлюдной технологии позволяет устранить проблему опасности оборудования для лазерной сварки. На основании анализа особенностей выполнения операций проектного технологического процесса удалось идентифицировать производственные факторы, негативное влияние которых на персонал не позволяет отнести их к нейтральным факторам и заставляет рассматривать вопрос их нейтрализации с применением стандартных решений. Предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Срок окупаемости капитальных вложений составляет 0,2 года, а экономический эффект составляет 4,107 млн. рублей. Внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Поставленная цель достигнута.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Афримович В. Б., Казакевич В. С. Яресько С. И. Тенденции развития лазерных технологий для решения задач лазерной обработки материалов. Рынок лазерных технологий в России и Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. № 4. С. 276-286

2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.

3. Бернадский В. Н. Тонколистовые сварные составные заготовки Tailored Blanks в автомобилестроении // Сварочное производство. 2001. № 6. С. 15-30.

4. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

5. Каримхаджаев Н., Эркинов И. Б, Вахобов Р. А. Обзорный анализ сварочной технологии в производстве автомобилей // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2020. № 10. С. 56-60.

6. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

7. Кудрявцев С. М., Пачурин Г. В., Соловьев Д. В. Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля. Нижний Новгород, 2010. 236 с.

8. Мещеряков В.М., Косенко Е.Е., Богер А.А. Применение высококонцентрированных источников энергии в автомобилестроении // В сборнике: Транспортные и транспортно-технологические системы материалы международной научно-технической конференции. 2017. С. 307-308.

9. Мещеряков В. М., Косенко Е. Е., Косенко В. В. Обзор способов сварки элементов кузовов автомобилей // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. С. 19-28.

10. Моторин, К.В. Методическое указание по курсовому проектированию бакалавров очного и заочного обучения / К.В. Моторин. – Тольятти: ТГУ, 2019. – 7 с.

11. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.

12. Рзаев Р. А., Чуларис А. А., Джалмухамбетов А. У. Динамическая модель распределения температуры в металле при сварке трением с перемешиванием // Фундаментальные исследования. 2016. № 3–1. С. 47–55.

13. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов // М.: Машиностроение. 1989. 630 с.

14. Стаценко В. Н., Сухорада А. Е., Романова В. В. Тепловложение при точечной сварке трением с перемешиванием // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2018. № 2. С. 36-42.

15. Стрельников И. В., Коновалов А. В. Стемпфер Ф. Вопросы качества плазменной точечной сварки: металлография, фрактография, статистика // Сварка и диагностика. 2010. № 5. С. 47-50.

16. Стрельников И. В. Разработка технологии точечной сварки сжатой дугой боковой стенки пассажирского вагона из коррозионно-стойкой стали : диссертация на соискание уч. степени кандидата технических наук. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.

17. Фролов В.А. Пилипенко Б.Г., Путятина Л.М., Арсеньева Н.В. Значение мониторинга сварочного производства для стратегического развития предприятий машиностроения // Сварочное производство. 2018. № 11. С. 52–59.

18. Хайруллин Т.В., Столбов В.И. Лазерно-плазменный способ сварки тонколистовых сварных составных заготовок tailored blanks для штамповки деталей кузова автомобиля // В сборнике: Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства Всероссийская научно-пехническая конференция с международным участием. Тольятти, 2006. С. 54-56.

19. Хайруллин Т. В., Столбов В. И. Свойства сварных соединений низкоуглеродистой стали 08Ю // Вестник Самарского аэрокосмического университета им. Академика С. П. Королева. 2006. № 4. С. 13-18.

20. Savin I.A. Determination of the effectiveness of the use of robotic systems in mechanical engineering//European Journal of Natural History. 2016. № 3. P. 94-97.

21. Tepliakova S.V., Kosenko E.E., Kosenko V.V. Analysis of Requirements to Ensure Absolute Reliability of Machines //Abstracts & Schedule. International Conference on «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications» (PHENMA 2016) Surabaya, Indonesia, July 19-22, 2016, p. 267-268.