

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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 кафедры)

05.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Методика измерения тепловыделения на участке цепи электрод-
электрод при КС алюминия»

Студент

И.Ю. Пузырев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.В. Скрипачев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В. Ельцов

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

(личная подпись)

« » 20 г.

АННОТАЦИЯ

До настоящего времени применение точечной контактной сварки изделий ответственного назначения остается на уровне 30% от объёма методов сварки плавлением. При производстве летательных аппаратов, в основном, используют алюминиевые сплавы. Непрерывное совершенствование технологии и методов контроля, а также модернизация оборудования, способствуют повышению качества сварных соединений и расширению области применения контактной сварки.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение стабильности качества контактной точечной сварки алюминиевых сплавов за счёт исследований процесса формирования сварного соединения и выработки на их основе технологических рекомендаций.

В работе решены следующие задачи:

- 1) разработка методики расчётного определения тепловыделение при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 2) разработка методики экспериментального определения тепловыделения при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 3) произвести оценку безопасности и экологичности предлагаемых технических решений;
- 4) выполнить экономическое обоснование предлагаемых технических решений.

В ходе выполнения экологического раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при проведении исследований. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов.

Экономические расчёты позволили установить, что для проведения полноценных исследований потребуется 238 тысяч рублей, что заставляет обратиться к руководству вуза с просьбой о заключении договора с ПАО «АВТОВАЗ» на научно-исследовательские работы.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Раздел 1 – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	
1.1 Описание изделия	5
1.2 Описание операция базового технологического процесса сварки	11
1.3 Обоснование замены материала для изготовления деталей автомобиля	12
1.4 Особенности контактной сварки деталей из алюминиевых сплавов	14
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	20
Раздел 2 – ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	
2.1 Методика проведения эксперимента	22
2.2 Тепловой баланс при контактной точечной сварке алюминиевых сплавов	25
2.3 Методика измерения тепловыделения при контактной сварке	31
Раздел 3 – ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	
3.1 Технологическая характеристика объекта	34
3.2 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта	37
3.3 Экологическая безопасность технологического объекта	39
3.4 Заключение по экологическому разделу	40
4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЁННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
4.1 Расчёт трудоемкости каждого этапа научно-исследовательских работ	41
4.2 Расчётное определение текущих, капитальных и общих затрат	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени применение точечной контактной сварки изделий ответственного назначения остается на уровне 30% от объема методов сварки плавлением. При производстве летательных аппаратов, в основном, используют алюминиевые сплавы. Непрерывное совершенствование технологии и методов контроля, а также модернизация оборудования, способствуют повышению качества сварных соединений и расширению области применения контактной сварки [1].

Работоспособность точечных соединений зависит от фактического размера зоны взаимного расплавления (диаметра и величины противления ядра точки), а также от их механических и коррозионных характеристик. Качество соединений, выполняемых контактной сваркой, определяется стабильной бездефектной зоной взаимного расплавления деталей всех точечных соединений сборочной единицы.

Наиболее опасный дефект, характеризующийся недостаточным диаметром и величины проплавления ядра точки и даже полным их отсутствием, является «непровар». Основными конструкционными материалами для этих ответственных крупногабаритных изделий являются алюминиевые, магниевые, титановые сплавы и высокопрочные стали, а также металлокомпозиционные материалы. Наиболее часто встречаются сочетания толщин: $(0,5 \dots 2,5) + (1,5 \dots 5)$ мм [2].

До настоящего времени не были сформулированы технологические основы точечной сварки крупногабаритных сборочных единиц ответственного назначения из алюминиевых сплавов толщиной более 5 мм с обеспечением заданного уровня свойств, их стабильности и воспроизводимости.

Поэтому работы по изучению свариваемости и работоспособности перспективных конструкционных материалов, по совершенствованию технологии и средств контроля можно определить как важнейшие задачи современного производства изделий отрасли с применением точечной сварки.

Как показывает практика, расход топлива во многом определяется массой автомобиля. По расчётам исследователей установлено, что при снижении веса автомобиля на 100 кг может происходить экономия до 700 литров бензина на 100 тыс. км. Поэтому автопроизводителями уделяется большое внимание замене деталей из стали легкими деталями из алюминия, что снижает общий вес автомобиля. Новые прочные алюминиевые сплавы способны обеспечить полную замену стали, которая традиционно используется при изготовлении кузова автомобиля. Уже в 1994 году инженерами автоконцерна Audi была представлена модель автомобиля A8, кузов которого вместо стали полностью выполнен из алюминиевых сплавов. Применительно к представленной модели выигрыш в весе составил 239 кг.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение стабильности качества контактной точечной сварки алюминиевых сплавов за счёт исследований процесса формирования сварного соединения и выработки на их основе технологических рекомендаций.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

1.1 Описание изделия

Типовой деталью кузова автомобиля «Шевроле-Нива» является деталь 2124-8403280 (2124-8403281) лонжерон передний правый (левый) в сборе (рис. 1.1), общая масса которого составляет 4,75 кг. Узел включает в себя следующие детали:

деталь 1 - 2123-8403284 (2123-8403285) Лонжерон передний правый (левый);

деталь 2 - 2123-8403294 (2123-8403295) Соединитель лонжерона с полом правый (левый) в сборе;

деталь 3 - 2123-8403342 (2123-8403343) Усилитель лонжерона правый (левый) в сборе;

деталь 4 - 2123-8403350 (2123-8403351) Надстойка лонжерона правая (левая) в сборе;

деталь 5 - 2123-8403641 (2123-8403642) Усилитель лонжерона внутренний левый (правый) в сборе;

деталь 6 - 2123-2803134 Кронштейн крепления балки бампера в сборе;

деталь 7 - 2123-2803182 Проушина буксирная.

Соединение деталей происходит путём контактной точечной сварки и дуговой полуавтоматической сварки в среде углекислого газа (рис. 1.2): 92 (девяносто две) сварные точки по ГОСТ 15878–79 и 4 (четыре) сварных шва по ГОСТ 14771–76. Контактная сварка листовых заготовок происходит в сочетании их толщин 1+2, 1,5+2 и 2+3 мм, при этом в соответствии с принятой нормативной документацией приняты геометрические размеры соединений, представленные на рис. 1.3. Дуговая сварка листовых заготовок происходит в сочетании их толщин 1+2 (нахлесточное соединение) и угловое соединение 1 мм + пруток, геометрические размеры швов в соответствии с нормативной документацией представлены на рис. 1.4.

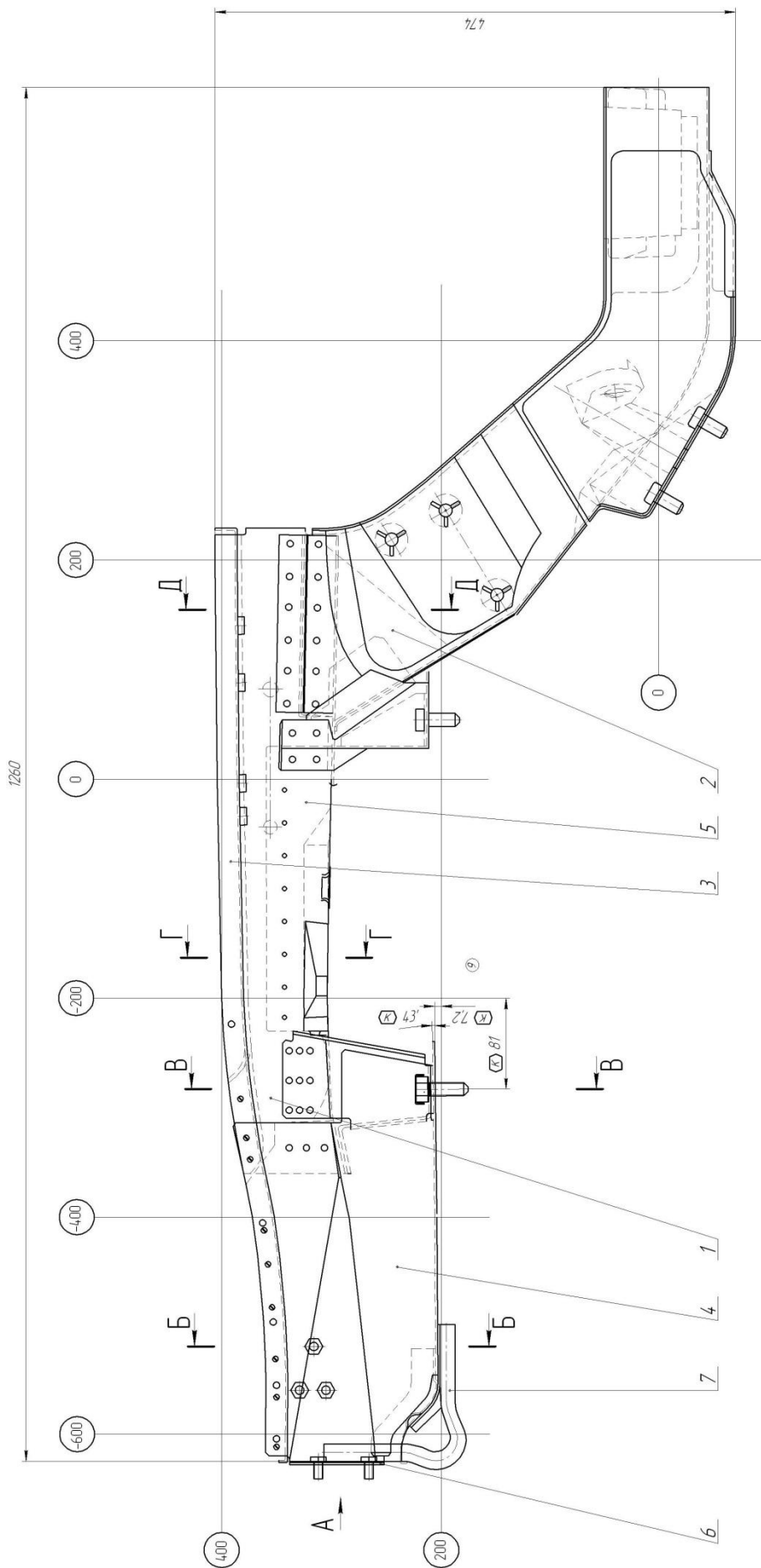


Рисунок 1.1 – Лонжерон передний правый в сборе

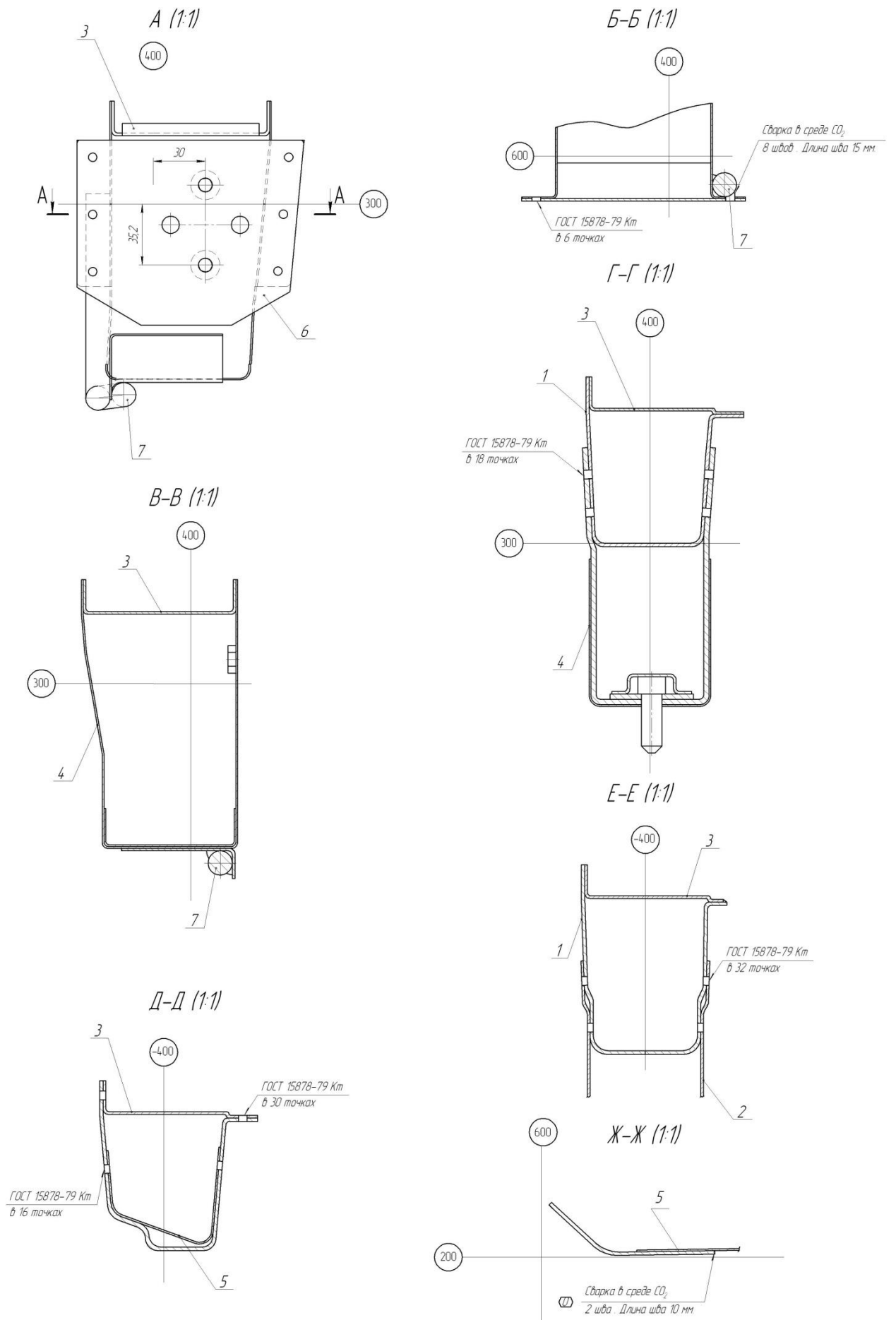


Рисунок 1.2 – Сечения узла с указанием мест сварки

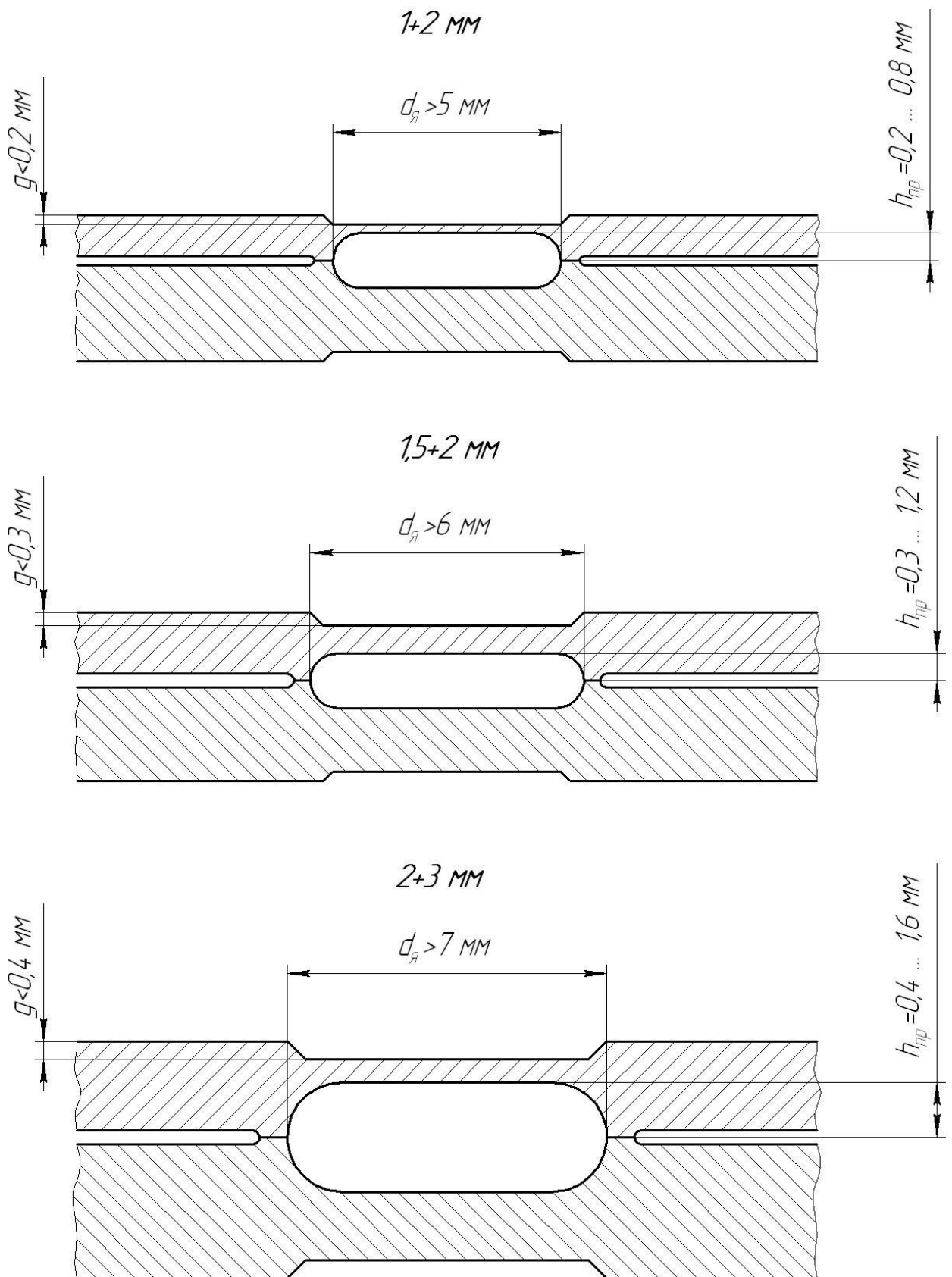


Рисунок 1.3 – Геометрические размеры точечных сварных соединений

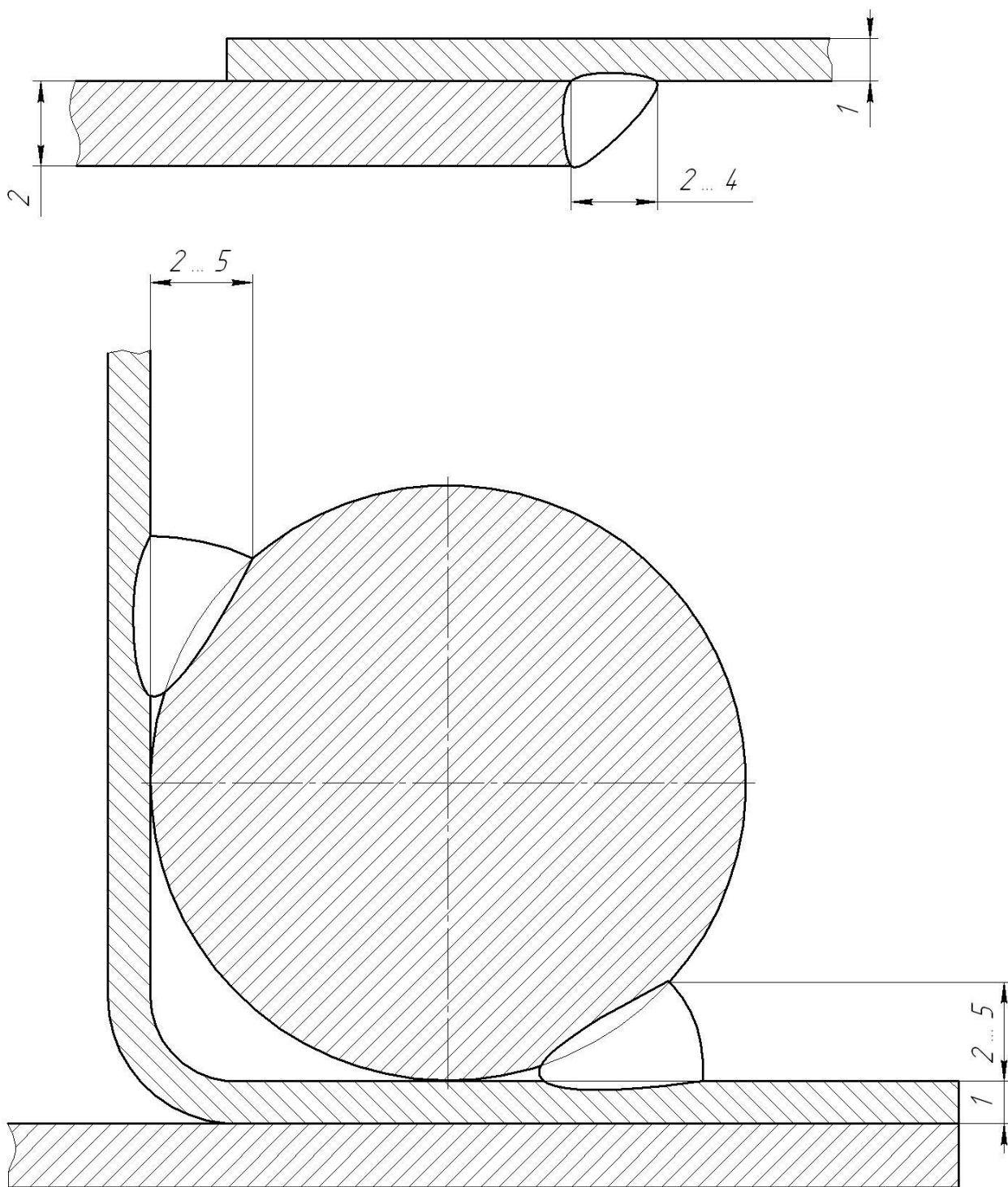


Рисунок 1.4 – Геометрические размеры соединений дуговой сварки

1.2 Описание операция базового технологического процесса сварки

По базовой технологии сварку узла производят в следующей последовательности.

1. В сборочном приспособлении, расположенном на столе, производят укладку и фиксирование заготовок: лонжерона переднего, соединителя лонжерона с полом правый в сборе, усилителя лонжерона в сборе, надстойку лонжерона в сборе, усилителя лонжерона внутреннего в сборе, кронштейн крепления балки бампера в сборе.

2. Производят простановку 92 сварных точек. Сварку производят подвесными клещами 854-0873-4076– точки, расположенные внутри профиля, которые сложно достать снаружи; и подвесными клещами 854-0873-4054 – точки, расположенные около края изделия и на отбортовке. Оба сварочные клещи подключены к трансформатору ТК-501. В качестве регулятора контактной сварки используется РКМ-803, позволяющий устанавливать два различных режима сварки (табл. 1.1) и управлять последовательной работой каждой клещей отдельно.

Таблица 1.1 - Параметры режима контактной точечной сварки

Толщина	Ток сварки	Усилие сварки	Время сварки
мм	А	Н	с
1+2	8500...9500	2500...3000	0,12...0,16
1,5+2	11000...12000	4000...5000	0,16...0,22
2+3	11000...13000	6000...7000	0,18...0,24

3. Проверяют качество контактной точечной сварки:

- убедиться визуально в наличии сварных точек в указанных по чертежу местах;
- произвести разрушающий контроль одной 1 точки на каждом изделии с применением молотка 500 г и зубила 854-2810-4002-01. В случае надрыва сварной точки прекратить операцию, и признать деталь годной. В случае

среза точки признать сварку негодной и отправить всю партию деталей на пере проверку и подварку, скорректировать режимы сварки.

4. Производят наложение сварных швов постоянным током обратной полярности в указанных чертежом местах. При этом применяют полуавтомат Origo MIG C240 производство концерна ESAB. При этом применяются режимы сварки, представленные в табл. 1.2. В качестве сварочной проволоки применяется проволока ОК Aristorod 12.63.

Таблица 1.2 – Параметры режима дуговой сварки

	Диаметр проволоки	Сила сварочного тока	Напряжение дуги	Скорость сварки	Вылет электрода	Расход газа
	мм	А	В	м/ч	мм	л/мин
Нахлёсточное соединение 1+2 мм	1	140...150	18...20	50...60	8...11	6...8
Угловое соединение	0,8	90...110	17...19	40...50	8...10	6...7

1.3 Обоснование замены материала

для изготовления деталей автомобиля

Для изготовления листовых заготовок, выполняемых методом холодной штамповки, используется сталь 08Ю, которая является конструкционной углеродистой качественной. Сталь 08Ю имеет химический состав, представленный в табл. 1.2, и механические свойства, представленные в табл. 1.3. Сварка стали 08Ю производится без ограничений, сталь не имеет склонности к образованию закалочных структур.

Таблица 1.2 – Химический состав стали 08Ю

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Al	Cu
до 0.07	до 0.01	0.2 - 0.35	до 0.06	до 0.025	до 0.02	до 0.03	0.02 - 0.07	до 0.06

Таблица 1.3 – Механические свойства при T=20°C материала 08Ю

Сортамент	предел кратковременной прочности	предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации)	относительное удлинение при разрыве
	σ_B	σ_T	δ_5
	МПа	МПа	%
Лист термообработанный	255-350	205	34

Как показывает практика, расход топлива во многом определяется массой автомобиля. По расчётам исследователей установлено, что при снижении веса автомобиля на 100 кг может происходить экономия до 700 литров бензина на 100 тыс. км. Поэтому автопроизводителями уделяется большое внимание замене деталей из стали легкими деталями из алюминия, что снижает общий вес автомобиля. Новые прочные алюминиевые сплавы способны обеспечить полную замену стали, которая традиционно используется при изготовлении кузова автомобиля. Уже в 1994 году инженерами автоконцерна Audi была представлена модель автомобиля А8, кузов которого вместо стали полностью выполнен из алюминиевых сплавов. Применительно к представленной модели выигрыш в весе составил 239 кг.

Для изготовления кузова автомобиля применим сплав АМг6М, имеющий химический состав (табл. 1.4), который позволяет получить хорошую свариваемость и коррозионную стойкость.

Таблица 1.4 – Химический состав сплава АМг6М, %

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti
Основа	до 0,1	5,8 – 6,8	0,5 – 0,8	< 0,4	< 0,4	< 0,2	0,02 – 0,1

1.4 Особенности контактной сварки деталей

из алюминиевых сплавов [7]

Тщательная подготовка деталей из алюминиевых сплавов к точечной и роликовой сварке является одним из основных факторов, обеспечивающих надлежащее качество сварки и стабильную прочность сварных соединений.

Качество подготовки поверхности деталей для сварки характеризуется отсутствием или незначительным наличием на поверхности деталей пленки окиси алюминия. Объективным показателем качества поверхности деталей является величина их полного контактного сопротивления при определенных условиях измерения.

Подготовку поверхностей деталей производят после окончательной обработки и пригонки деталей, образующих свариваемый узел.

Подготовка поверхности должна обеспечить сварку не менее 100...200 точек без зачистки электродов при разбросе показателей прочности не более $\pm 10\%$ для 80% сварных точек и не более $\pm 20\%$ среднего значения прочности для всех сваренных точек. Выполнение этих требований должно быть обеспечено и в случае, когда сварка производится через 3...5 суток после подготовки поверхности. Кроме того, при химической очистке должен обеспечиваться достаточно широкий диапазон времени выдержки обрабатываемых деталей в травящем растворе для компенсации колебаний концентрации и температуры раствора, а также неравномерности толщины окисных пленок. Величина контактного сопротивления должна сохраняться постоянной в течение заданного времени при установленных условиях измерений.

Применяемое в авиационной промышленности СССР травление в водном растворе 7,5...10,5%-ной ортофосфорной кислоты и 0,08...0,15%-ного калиевого или натриевого хромпика обеспечивает стабильное контактное сопротивление. Травильные отделения располагают в

цехах, где выполняется сварка, во избежание загрязнения поверхностей деталей при транспортировании.

Подготовка поверхностей деталей включает следующие операции:

- а) очистку;
- б) обезжиривание органическими растворителями (и химическое) ;
- в) промывку после химического обезжиривания;
- г) травление в азотной кислоте деталей из сплавов, содержащих медь, из пресованных профилей и плакированных материалов, механически обработанных или химически фрезерованных, если сварка производится" на участках, где снята плакировка;
- д) промывку после травления в азотной кислоте;
- е) травление с пассивированием;
- ж) промывку после травления;
- з) сушку;
- и) контроль.

Очистка поверхностей деталей для удаления слоя смазки, маркировочной краски и прочих загрязнений производится авиационной смывкой, бензином, ацетоном и т. п. при помощи чистых салфеток или обтирочных концов.

При обезжиривании органическими растворителями применяется специальная смывка, уайт-спирит или бензин. Обезжиривание производится путем двукратной тщательной протирки поверхностей деталей чистыми салфетками или обтирочными концами, смоченными органическими растворителями. После обезжиривания растворителями детали протирают чистыми салфетками или обтирочными концами до получения ровного металлического блеска.

Химическое обезжиривание производится в щелочных растворах, общая щелочность которых в пересчете на едкий натр не должна превышать 6%. Применяется один из растворов следующего состава:

а) тринатрийфосфат технический	
$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	.... 40–60 г/л
стекло жидкое Na_2SiO_3	.... 25–35 г/л
вода	.... (до 1 л раствора)
температура раствора	.... 60—70°C
б) тринатрийфосфат технический	.... 60–70 г/л
стекло жидкое	.... 25–35
вода	.... (до 1 л раствора)
температура раствора	.... 75–85°C
в) тринатрийфосфат технический	.... 20–30 г/л
едкий натр NaOH}	.... 10–12 г/л
стекло жидкое	.... 25–35 г/л
вещество вспомогательное ОП-10	.... 2–5 г/л
вода	.... (до 1 м раствора)
температура раствора	.... 60–70°C

Вспомогательное вещество ОП-10 вводится в ванну с целью улучшения обезжиривающей способности раствора.

Едкий натр в водном растворе может быть заменен углекислым натрием Na_2CO_3 (сода кальцинированная синтетическая) по ГОСТ 5100 в количестве 40...50 г/л. Общая щелочность ванны должна составлять 1,6...2,5% (в пересчете на едкий натр).

Продолжительность обезжиривания деталей в свежеприготовленном растворе 3.мин. По мере расходования щелочных добавок на омыление жиров длительность процесса повышается до 5 мин. Передержка деталей в тринатрийфосфатной ванне приводит к растравливанию поверхности и образованию трудно смываемого осадка фосфатов. Поверхность раствора

при работе необходимо периодически очищать от загрязнений при помощи сачка, изготовленного из хлопчатобумажной ткани. При удалении деталей из ванн после обезжиривания, а также после травления и промывки следят за тем, чтобы на поверхности деталей не было участков, не смоченных раствором или водой. Несмоченные участки указывают на наличие жировой пленки.

Промывка после химического обезжиривания производится в теплой, а затем в холодной воде. При промывке деталей в теплой проточной воде температура последней должна быть не ниже 25° С. Смена воды производится из расчета 15 л на 1 м² поверхности деталей. При промывке в холодной проточной воде смена воды производится из расчета 25 л на 1 м² поверхности деталей.

Травление в азотной кислоте производится с целью получения на неплакированной поверхности деталей пленки чистого алюминия, соответствующей плакировочному слою. Это требуется во избежание дефектов на сварных точках (поверхностных выплесков, потемнения точек и др.).

Для получения на неплакированной поверхности пленки чистого алюминия травление в азотной кислоте должно производиться при концентрации 25...30% в течение 1...1,5 ч при температуре 15...25 °С.

Промывка после травления в азотной кислоте производится в течение 5...10 мин в холодной проточной воде из расчета 25 л на 1 м² поверхности деталей.

Травление с пассивированием производится с целью достижения равномерного контактного сопротивления, обеспечивающего получение стабильного качества сварки.

Травление с пассивированием деталей рекомендуется производить в водном растворе следующего состава:

кислота ортофосфорная термическая	
70%-ная H_3PO_4	.... 110–155 г/л
хромпик калиевый технический $K_2Cr_2O_7$	
или хромпик натриевый $Na_2Cr_2O_7$	.... 1,5—0,8 г/л
вода	.... до 1 л раствора

Допустимые колебания удельного веса травильного раствора – 1,04...1,059 при температуре 17,5° С.

Минимальная длительность травления после обезжиривания в растворах со щелочностью 1,6...2,5% составляет при температуре 50° С – 7 мин, при 40°С – 10 мин, при 30°С – 20 мин, при 20°С – 50 мин. После обезжиривания в растворах со щелочностью 4...6% при температуре 40° С – 7 мин, при 30°С – 15 мин, при 20°С – 25 мин.

Травление деталей производится в ваннах и на подвесках из нержавеющей стали типа 1Х18Н9Т (зажимы, проволоки, штанги). Для обеспечения контакта между подвесками, штангами и ванной они должны быть очищены от окалины и загрязнений. Желательно, чтобы между травимыми деталями и корпусом ванны была электрически замкнутая цепь через подвески и штанги, так как это обеспечивает прохождение тока через раствор травителя за счет разности потенциалов между раствором и деталями во время травления и способствует получению стабильных величин контактного сопротивления деталей, мало изменяющихся с течением времени.

При правильно выбранном режиме травления величина контактного сопротивления после промывки и сушки не должна превышать 120 мкОм (нормально 20...60 мкОм) и должна сохраняться не менее 5 суток.

Для большей равномерности травления и во избежание потемнения поверхностей деталей расстояние между деталями и образцами, а также от стенок ванны до деталей и образцов при травлении должно быть не менее 40 мм. При появлении на поверхности деталей светло-серого легко смываемого налета можно прекратить травление. Темные пятна и разводы на поверхности

деталей не являются дефектами и не снижают качества сварки если, при этом величина контактного сопротивления не превышает 120 мкОм (нормально 20...60 мкОм).

Для предупреждения появления темных пятен и разводов на поверхности деталей применяют травление в растворе следующего состава:

кислота ортофосфорная 70%-ная	.... 300 – 350 г/л
хромпик калиевый технический	.... 0,1 – 1 г/л
вода	.... до 1 л раствора

Травление изделий в этом растворе связано с большим расходом ортофосфорной кислоты, чем в растворе состава, указанного ранее, но поверхность после травления имеет более благоприятную микрогеометрию, большую чистоту, более толстую и равномерную защитную фосфатную пленку. Травление происходит в результате химического взаимодействия ортофосфорной кислоты с окисной пленкой на поверхности детали.

При травлении в растворе с меньшим содержанием H_3PO_4 происходит электрохимическое взаимодействие между электролитом и окисной пленкой.

Раствор, составленный вновь, должен быть проработан для получения более стабильных результатов травления. Для этого в нем производят травление нескольких партий очищенных и обезжиренных обрезков алюминиевых сплавов общей площадью около 3 м² на 1 м³ раствора, выдерживая каждую партию в растворе 30...40 мин при 40...50° С.

В ванне для травления с пассивированием обработка других сплавов, кроме алюминиевых, не допускается.

Учитывая, что вода из раствора в процессе эксплуатации испаряется и концентрация ортофосфорной кислоты увеличивается, рекомендуется ежедневно доливать воду, поддерживая концентрацию ортофосфорной кислоты около 9%. Это соответствует удельному весу 1,05, определяемому по ареометру.

Детали после травления промываются в водопроводной проточной воде трех – пятикратным окунанием с протиркой между окунаниями

жесткими волосяными щетками или хлопчатобумажными салфетками. При промывке деталей смена воды должна производиться из расчета 25 л на 1 м² поверхности деталей.

Если темный налет, появившийся при травлении на поверхности детали, при промывке не смывается, следует смочить деталь и щетку или салфетку в травильном растворе и протереть поверхность детали до удаления темного налета, а затем промыть деталь в воде.

В ванне для промывки после травления с пассивированием промывка после других операций не допускается.

После промывки детали переносят в сушильную камеру или сушат на воздухе. Сушка деталей и образцов в сушильной камере производится при температуре до 75° С. После просушивания детали и образцы подлежат предохранению от пыли и загрязнения. Для этого после сушки их укладывают на чистые столы или стеллажи, надевая перед этим чистые и сухие хлопчатобумажные или резиновые перчатки.

Допустимый срок хранения деталей после подготовки их поверхности к сварке составляет 5 суток. При хранении подготовленных к сварке деталей более одной рабочей смены их следует закрывать чистой бумагой или клеенкой. Если подготовленные к сварке детали хранились более 5 суток, то перед сваркой следует проверить величину их контактного сопротивления; если детали сохранили величину контактного сопротивления не более 120 мкОм, их можно сваривать. В противном случае необходимо снова подготовить их поверхности под сварку.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В работе поставлена цель - повышение стабильности качества контактной точечной сварки алюминиевых сплавов за счёт исследований процесса формирования сварного соединения и выработки на их основе технологических рекомендаций. При анализе состояния вопроса была рассмотрена типовая деталь кузова легкового автомобиля и технология её

изготовления в случае использования стали 08Ю. Обоснована замена стали 08Ю на алюминиевый сплав АМгбМ.

Такая кардинальная замена материала повлечёт за собой глобальное изменение полностью технологии сварки и замену сварочного оборудования, что в данной выпускной квалификационной работе рассмотреть не представляется возможным.

В рамках данной выпускной квалификационной работы предусмотрим разработку мероприятий по повышению качества сварки, основанные на измерении и стабилизации тепловыделения на участке «электрод-электрод».

Таким образом, сформулируем задачи работы:

- 1) разработка методики расчётного определения тепловыделение при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 2) разработка методики экспериментального определения тепловыделения при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 3) произвести оценку безопасности и экологичности предлагаемых технических решений;
- 4) выполнить экономическое обоснование предлагаемых технических решений.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

2.1 Методика проведения эксперимента

1. Получить у преподавателя задание, включающее в себя наименование контактной сварочной машины, толщину и материал свариваемых деталей.
2. Разработать методику получения осциллограмм тока и напряжения с учётом особенностей данной контактной машины (схема проведения измерений, описание датчиков, последовательность монтажа и пр.). На основании разработанной методики собрать измерительный комплекс.
3. Выбрать параметры режима и циклограмму сварки.
4. Произвести настройку контактной машины на заданный режим сварки (установить давление сжатого воздуха, требуемую ступень трансформатора, угол открытия тиристоров, длительность сварочного импульса и др.).
5. Произвести сварку на заданных настройках контактной машины и запись осциллограмм тока и напряжения.
6. Произвести испытание качества сварки, сделать выводы о правильности выбора параметров режима сварки и настройки контактной машины. В случае отрицательного результата повторить п. 3...5 до получения качественного сварного соединения.
7. Произвести анализ полученных диаграмм тока и напряжения. Для каждого периода сварочного тока вычислить вторичный ток, сопротивление участка «электрод-электрод» и тепловыделение на этом участке.
8. Сравнить рассчитанные значения вторичного тока и измеренные для каждого периода. Сделать выводы достоверности расчётных данных.

Экспериментальную сварку проводили на машине для точечной контактной точечной сварки МТПУ–300, которая размещена в лаборатории контактной сварки кафедры «СОМДиРП».

Машина МТПУ-300 (рис. 2.1) общего назначения с вертикальным ходом верхнего электрода и пневматическим приводом. Благодаря глубокому регулированию вторичного напряжения (1:4) машина обладает большим диапазоном значений сварочного тока, что позволяет сваривать, кроме легких и цветных сплавов, также специальные стали, титан и др. При сварке легких сплавов используется верхний диапазон ступеней включения трансформатора (9...16 ступени). На ступени 15 ток достигает 32 кА при номинальном растворе 220 мм. На той же ступени уменьшение раствора до 140 мм приводит к увеличению тока до 45 кА при потреблении из сети 400 кВА.

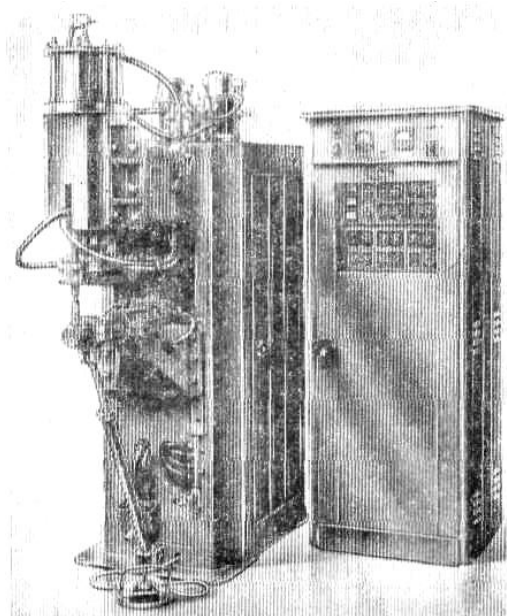


Рисунок 2.1 – Внешний вид машины МТПУ-300

Переход от $F_{св}$ к $F_{ков}$ осуществляется путем выпуска воздуха из нижней камеры. Для ускорения выпуска воздуха между цилиндром и клапаном 6, управляющим подачей воздуха, установлен клапан 7, который не препятствует поступлению воздуха в цилиндр, но весьма быстро выбрасывает сжатый воздух из цилиндра в атмосферу, как только клапан 6

прекращает подачу воздуха. Благодаря этому усилие нарастает за очень короткий промежуток времени (0,01...0,02 сек в зависимости от объема камеры).

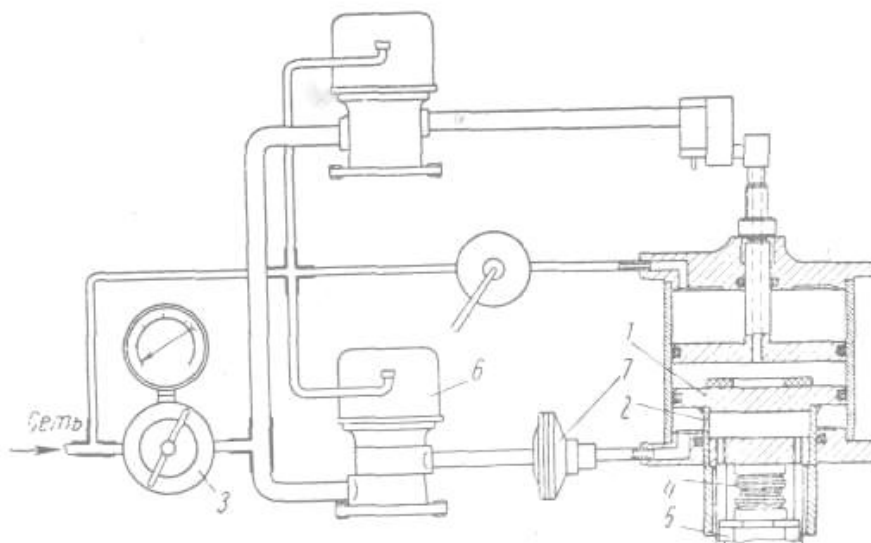


Рисунок 2.2 – Пневматический привод машины МТПУ-300

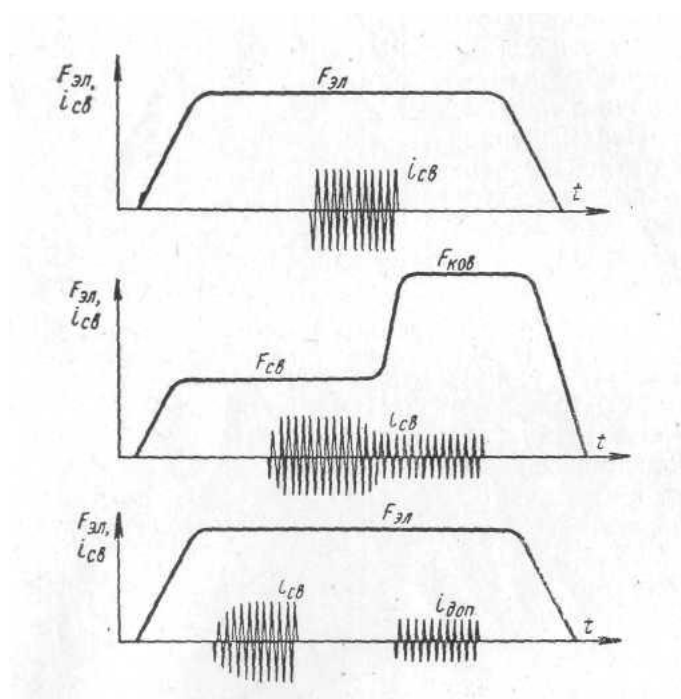


Рисунок 2.3 – Основные циклограммы работы машины МТПУ-300

2.2 Тепловой баланс при контактной точечной сварке алюминиевых сплавов

Количество энергии Q_{Σ} , которое идёт на формирование сварной точки, определяется из уравнения теплового баланса при контактной сварке [3, 4, 5] (рис. 2.4). Численное значение Q_{Σ} может быть получено суммированием количеств теплоты, отвечающих за протекание процессов при контактной сварке согласно:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (2.1)$$

где - Q_1 – теплота на нагрев основного металла в области сварной точки от комнатной температуры до температуры плавления;

Q_2 – теплота на нагрев основного металла в области зоны термического влияния;

Q_3 – теплота на нагрев сварочных электродов

Составляющие уравнения (2.1) могут быть определены с учётом следующих допущений. Принимают, что до температуры плавления $T_{пл}$ происходит разогрев цилиндра диаметром d_s , который равен диаметру ядра сварной точки, и высотой, которая равна толщине двух деталей $2s$. В этом случае:

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} 2s c_m \gamma_m T_{пл}, \quad (2.2)$$

где c_m - теплоёмкость свариваемого металла (0,922 Дж/(г·°C));

γ_m – плотность свариваемого металла (2,64 г/см³);

$T_{пл}$ – температура плавления металла (620 °C).

Принимают так же, зона термического влияния ограничивается расстоянием x_1 от ядра сварной точки. Значение величины x_1 задаётся исходя из времени сварки $t_{св}$ и коэффициента температуропроводности a_m основного металла в соответствии с формулой:

$$x_1 = 4\sqrt{a_m t_{св}}, \quad (2.3)$$

где a_m – значение коэффициента температуропроводности основного металла ($0,7 \text{ см}^2/\text{с}$)

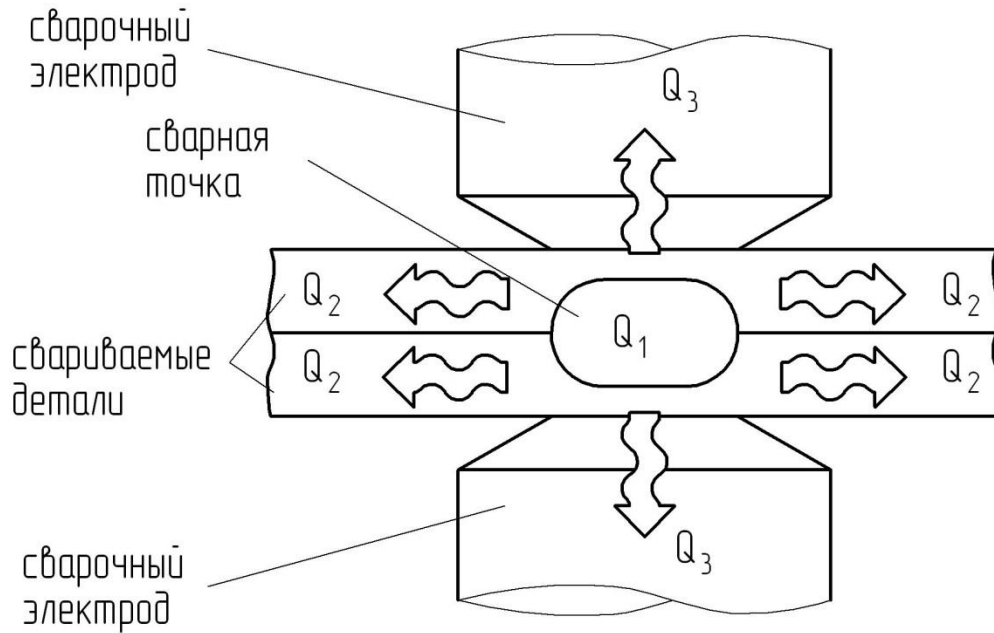


Рисунок 2.4 – Представление теплового баланса при контактной сварке

Если принять, что кольцо шириной x_1 вокруг сварной точки диаметром $d_э$ нагревается до температуры $0,25T_{пл}$, то площадь нагреваемого кольца может быть вычислена как:

$$\frac{\pi \cdot (d_э + 2x_1)^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_э^2}{4} = \frac{\pi(d_э^2 + 4d_эx_1 + 4x_1^2 - d_э^2)}{4} = \pi x_1(d_э + x_1), \quad (2.4)$$

объём нагреваемого кольца вычисляется как:

$$\pi x_1(d_э + x_1)2s \quad (2.5)$$

и количество теплоты Q_2 может быть вычислено как

$$Q_2 = k_1 \pi x_1(d_э + x_1)2s c_m \gamma_m 0,25T_{пл}, \quad (2.6)$$

где k_1 – коэффициент, который учитывает наличие неравномерности распределения температуры в кольце, принимается $k_1=0,8$.

Вычисление отвода тепла в сварочные электроды может существенно упрощено, если принять, что всё тепло Q_3 идёт на нагрев электрода до средней температуры $T_{пл}/8$ на участке длиной

$$x_2 = 4\sqrt{a_э t_{св}}, \quad (2.7)$$

где a_3 – значение коэффициента, учитывающего температуропроводность металла электродов (принимают $a_3 = 0,08 \text{ см}^2/\text{с}$).

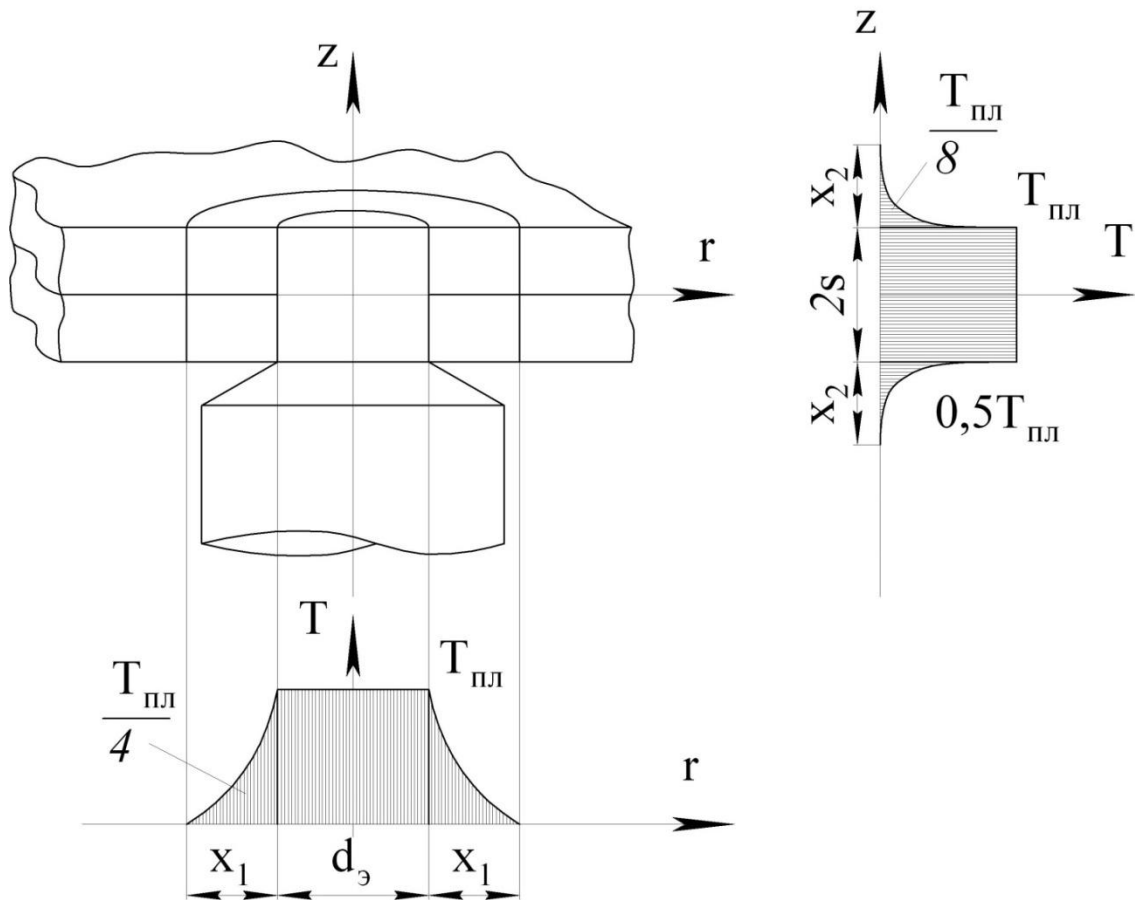


Рисунок 2.5 – К расчёту теплового баланса в процессе контактной точечной сварки

С учётом (2.7) нагреваемый объём электрода может быть вычислен как

$$k_2 \frac{\pi \cdot d_э^2 x_2}{4}, \quad (2.8)$$

где k_2 – величина коэффициента, который позволяет учесть форму электрода ($k_2=1$ при использовании цилиндрического электрода; $k_2=1,5$ при использовании конического электрода, имеющего плоскую рабочую поверхность; $k_2=2$ при использовании конического электрода, имеющего сферическую рабочую поверхность).

С учётом (2.8) теплоотводы в сварочные электроды Q_3 может быть вычислен как:

$$Q_3 = 2k_2 \frac{\pi d_э^2}{4} x_2 c_э \gamma_э \frac{T_{пл}}{8}, \quad (2.9)$$

где $\gamma_э$ - плотность металла, из которого выполнены сварочные электроды (8,9 г/см³);

$c_э$ – теплоёмкость металла, из которого выполнены сварочные электроды (0,388 Дж/(г·°C)).

Формулы (2.1)...(2.9) позволяют производить оценочные расчёты теплового баланса при контактной точечной сварке. Оценку выделяющегося при сварке тепла произведём для толщин 1+1, 2+2 и 3+3 мм. Значения параметров режима сварки назначим с использованием литературных источников [6] (табл. 2.1).

Эффективный КПД сварки вычислим как отношение количества тепла, израсходованного на нагрев свариваемых деталей (Q_1+Q_2) к полному количеству тепла $Q_{э3}$:

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_{э3}} \cdot 100\% . \quad (2.10)$$

Таблица 2.1 – Режимы точечной сварки низкоуглеродистых сталей для вычислительного эксперимента

Толщина деталей, мм	$I_{св}$, кА	$d_э$, мм	$F_{св}$, кН	$t_{св}$, сек
1,0	26	5,0	4	0,06
				0,08
				0,10
				0,12
2,0	44	7,0	10	0,10
				0,12
				0,14
				0,16
3,0	60	9,0	13	0,12
				0,14
				0,16
				0,18

Результаты вычисления величин Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_{Σ} и η приведены в табл. 2.2 и на диаграммах (рис. 2.6).

С использованием формул (2.1)-(2.9) и результатов таблицы 2.2 была построена диаграмма (рис. 2.7), позволяющая задавать количество теплоты, необходимое на формирование сварной точки при контактной сварке для различных толщин свариваемых деталей из алюминиевых сплавов.

Таблица 2.2 – Тепловой баланс при контактной сварке для заданных толщин свариваемых деталей из алюминиевых сплавов

Толщина деталей, мм	Время сварки, сек	Количество тепла на формирование сварной точки, Дж	Количество тепла на нагрев зоны термического влияния, Дж	Количество тепла на отвод в сварочные электроды, Дж	Суммарное тепловыделение, Дж	Эффективный КПД, %
s	$t_{св}$	Q_1	Q_2	Q_3	Q_{Σ}	η
1,0	0,06	178	513	140	831	83
	0,08		649	161	989	84
	0,10		782	181	1140	84
	0,12		912	197	1288	85
2,0	0,10	581	1412	354	2346	85
	0,12		1635	388	2604	85
	0,14		1854	419	2854	85
	0,16		2070	448	3100	86
3,0	0,12	1152	2716	641	4509	86
	0,14		3066	692	4911	86
	0,16		3410	740	5302	86
	0,18		3748	785	5685	86

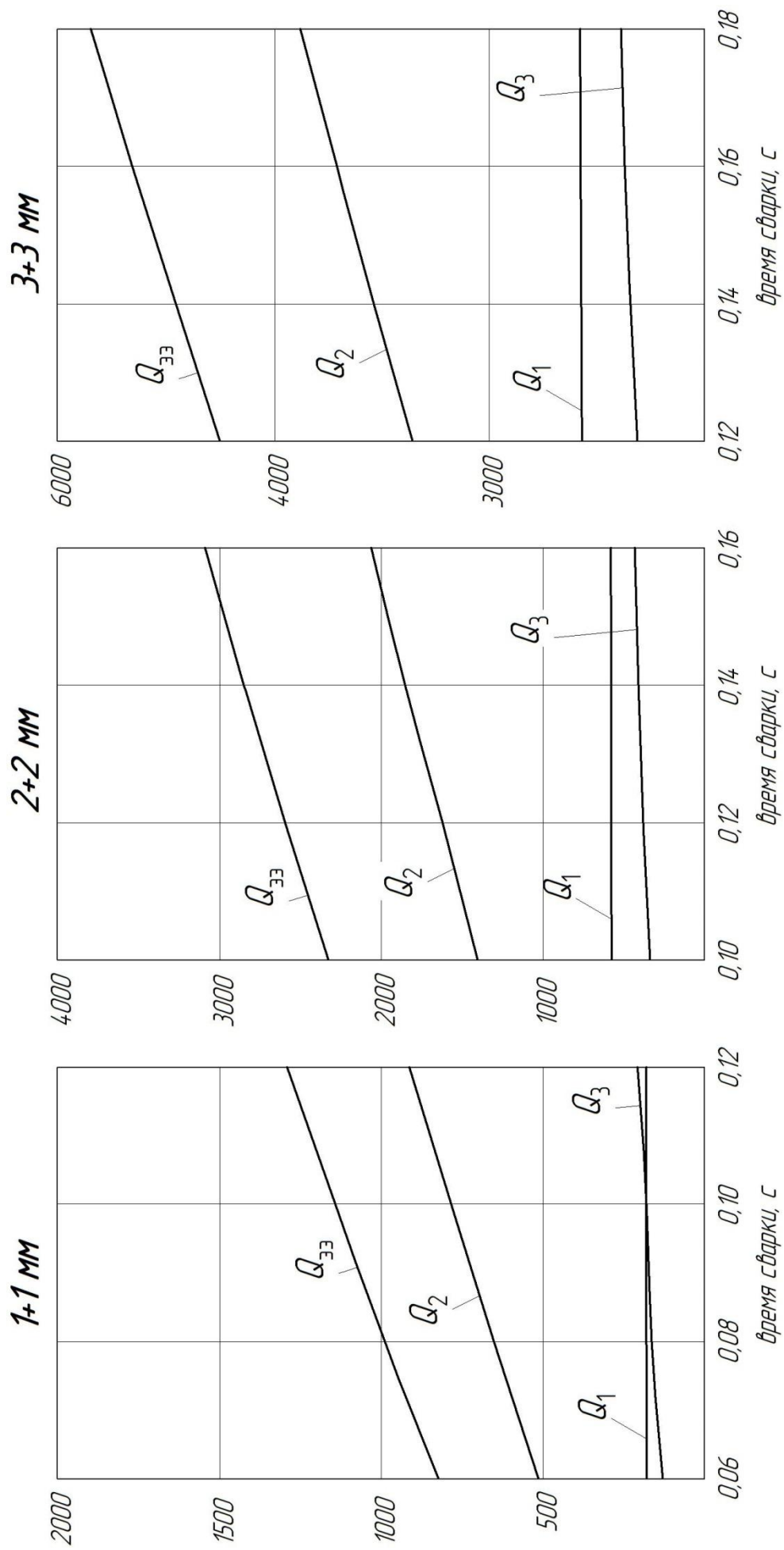


Рисунок 2.6 – Тепловой баланс при сварке образцов толщиной 1+1, 2+2 и 3+3 мм

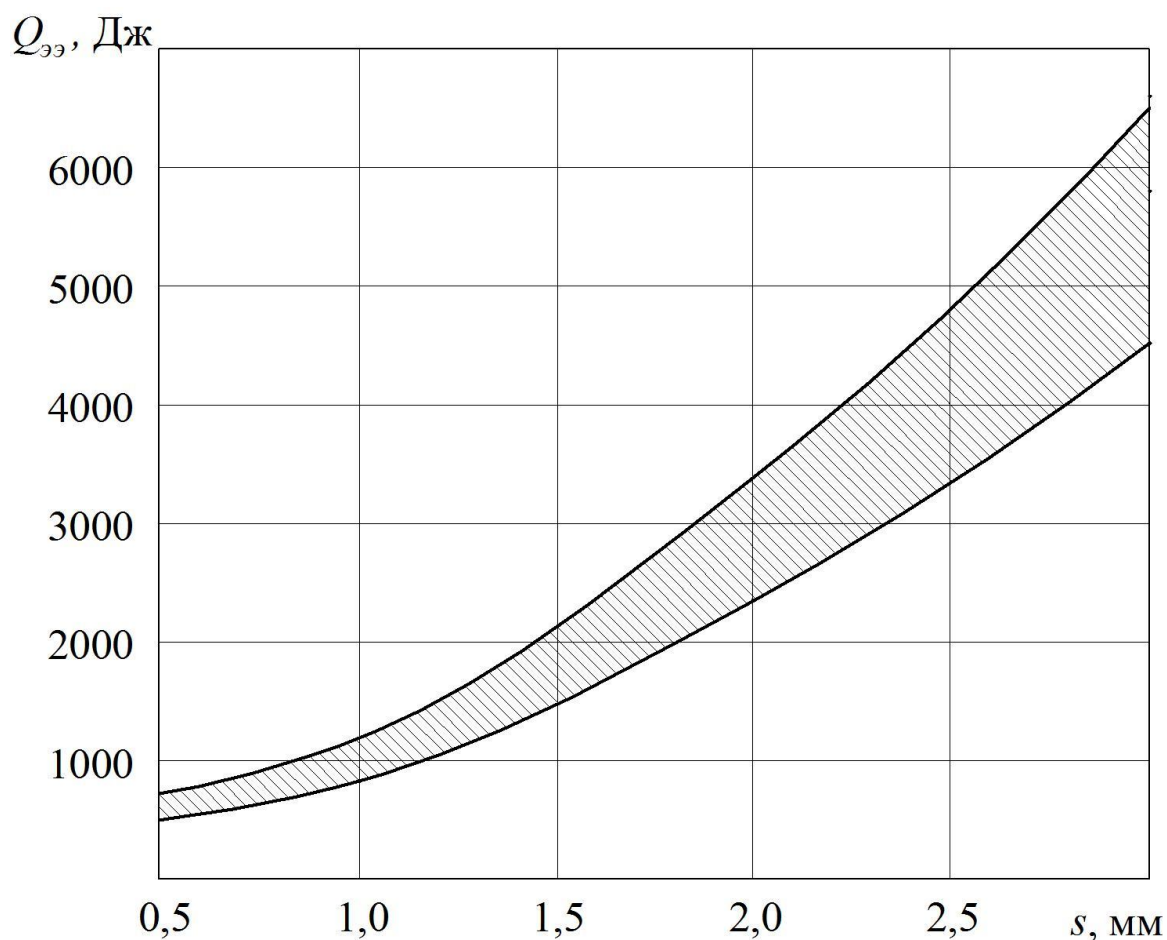


Рисунок 2.7 – Количество теплоты, необходимое для формирования сварного соединения при различной толщине свариваемых пластин из алюминиевых сплавов

2.3 Методика измерения тепловыделения при контактной сварке

Анализ диаграмм тока и напряжения при контактной сварке может быть произведён по предложенной авторами методике [54]. Предложенная методика позволяет вычисление тепловыделения на участке «электрод-электрод» для каждого периода сварочного тока. Для проведения вычислений достаточно знать угол α открытия сварочных тиристоров и длительность λ импульса сварочного тока для каждого периода (рис. 2.8).

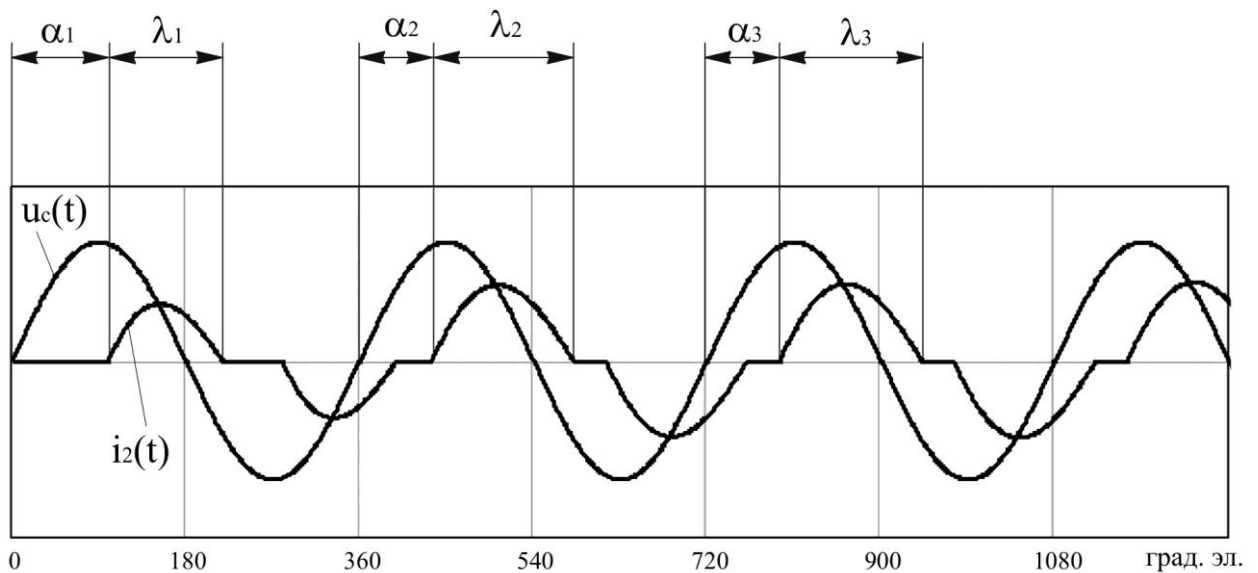


Рисунок 2.8 – Угол α открытия тиристоров и длительность λ импульса тока, измеренные по осциллограмме тока и напряжения

Величину $\cos \varphi$ в каждом периоде сварочного тока можно вычислить с необходимой точностью, если знать измеренную длительность λ и заданное значение α . Для этого может быть использована аппроксимирующая зависимость:

$$\begin{aligned} \cos \varphi(\lambda, \alpha) &\approx A_1(\alpha) \cdot \lambda + A_0(\alpha) \\ A_0(\alpha) &\approx -0,743\alpha^3 + 2,994\alpha^2 - 4,259\alpha + 1,359, \\ A_1(\alpha) &\approx -0,297\alpha^3 - 1,032\alpha^2 + 1,037\alpha + 2,352 \end{aligned} \quad (2.11)$$

где α и λ в радианах.

Величина сопротивления $R_{\text{ээ}}$ участка «электрод-электрод» может быть вычислено с использованием формулы

$$R_{\text{ээ}} = \frac{\cos \varphi \cdot X_{2к}}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}} - R_{2к}, \quad (2.12)$$

где $R_{2к}$ и $X_{2к}$ – величина активного и индуктивного сопротивлений контактной машины, определённые для режима короткого замыкания.

Величина полного сопротивления Z_2 контактной машины в режиме сварки может быть определено с использованием формулы

$$Z_2 = \sqrt{(R_{2\kappa} + R_{\text{эз}})^2 + X_{2\kappa}^2} \text{ или} \quad (2.13)$$

$$Z_2 = \frac{X_{2\kappa}}{\sin \varphi} = \frac{X_{2\kappa}}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}. \quad (2.14)$$

Величина действующего вторичного тока I_2 рассчитывают с использованием формулы

$$I_2 = I_{2n} \cdot k_i, \quad (2.15)$$

где I_{2n} – величина вторичного тока полнофазного включения, рассчитываемая для сетевого напряжения U_c и заданной ступени трансформатора с коэффициентом трансформации K :

$$I_{2n} = \frac{U_c}{K \cdot Z_2}; \quad (2.16)$$

k_i – величина коэффициента регулирования тока, определяемая с использованием зависимости:

$$\begin{aligned} k_i &= A_1 \cdot \alpha + A_0 \\ A_0 &= 2,138 \cos \varphi^2 - 3,443 \cos \varphi + 2,872. \\ A_1 &= -0,9 \cos \varphi^2 + 1,49 \cos \varphi - 1,173 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Величина тепловыделения $q_{\text{эз}}$ может быть рассчитана по закону Джоуля-Ленца с использованием формулы

$$q_{\text{эз}} = (I_2)^2 \cdot R_{\text{эз}} \cdot 0,02. \quad (2.18)$$

3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

3.1 Составление технологической характеристики объекта

В выпускной квалификационной работе были предложены мероприятия, предусматривающие расчётное определение величины тепловыделения при контактной точечной сварке. Экспериментальные сварки проводятся на машине МТПУ-300, установленной в лаборатории контактной сварки ТГУ.

В настоящее время контактная электросварка нашла широкое применение в отдельных отраслях промышленности России и является одним из ведущих технологических процессов современного производства. Имеется большой парк электрооборудования и машин различных типов и назначения мощностью от нескольких до сотен киловольт на ампер, в основном это машины переменного тока частотой 50 Гц.

При эксплуатации этих машин генерируются магнитные поля значительной напряженности, превышающей значение, которое регламентируется старыми санитарными нормами, в несколько раз. Магнитное поле такой интенсивности может влиять на здоровье обслуживающего персонала, обуславливая определенные негативные функциональные изменения в организме из-за воздействия на сердечно-сосудистую, нервную, мочеполовую, эндокринную и другие системы. В связи с этим возникла необходимость в контроле электромагнитной обстановки на рабочих местах сварщиков и обеспечении безопасных условий их труда. Актуальность этой задачи возросла с введением в Российской Федерации в действие новых нормативов, регламентирующих условия безопасности при работе с источниками электромагнитных полей и учитывающих современные медицинские исследования.

При контактной электросварке в рабочей зоне создаются импульсные МП. На рабочих местах сварщиков основными источниками данных полей являются не полностью экранированный корпусом машины сварочный трансформатор и, как правило, неэкранированные силовоточные элементы сварочного контура (электроды, свечи, консоли, шины), а также токоведущие кабели и свариваемые изделия сложной формы. МП, образующиеся при контактной электросварке в различных частотных диапазонах, и общая методика определения их уровней описаны в работе.

Таблица 3.1 – Профессиональные риски, сопровождающие осуществление проектной технологии

Наименование технологической операции, выполняемые работы	Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии	Источник появления опасного или вредного производственного фактора
1	2	3
1. Подготовка образцов к сварке	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; 	Острые края образцов, сварочное оборудование
2. Сборка измерительного комплекса	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне 	Машинка сварочная, измерительный комплекс

Продолжение таблицы 3.1

3. Экспериментальная сварка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов 	Машинка сварочная, измерительный комплекс
4. Проведение измерений	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов 	Машинка сварочная, измерительный комплекс

Таблица 3.2 - Выбор методов и средств по снижению воздействия каждого опасного и вредного производственного фактора

Перечень опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих проектную технологию	Перечень предлагаемых организационных мероприятий и технических средств, осуществляющих защиту, снижение и устранение данного опасного и вредного производственного фактора	Наименование средства для осуществления индивидуальной защиты работника
1	2	3
1. Острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;	Проведение периодического инструктажа по вопросам техники безопасности	Перчатки, спецодежда.

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
2. Подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин	Нанесение предохранительных надписей, соответствующая окраска, применение ограждения	-
3. Высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов	Проведение периодического инструктажа по вопросам техники безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-
6. Повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	-

3.2 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 3.3 - Выявление класса и формулирование опасных факторов возможного пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок контактной сварки	Машина контактной сварки МТПУ-300	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	замыкания на проводящих токе частях технологических установок, агрегатов изделий высокого напряжения; термохимическое действие используемых при пожаре огнетушащих веществ, на предметы и людей

Таблица 3.5 - Технические средства, обеспечивающие пожарную безопасность технологического объекта

Перечень первичных средств для проведения тушения возгорания	Перечень мобильных средств для проведения тушения возгорания	Перечень стационарных систем и установок для проведения	Пожарная автоматика для проведения тушения возгорания	Перечень пожарного оборудования, для проведения	Перечень средств индивидуальной защиты и спасения людей, применяющихся при пожаре	Перечень пожарного инструмента для проведения тушения	Перечень пожарной сигнализации, связи и систем оповещения
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-10	Пожарные машины (вызываются)	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка оповещения о факте возникновения пожара

Таблица 3.6 – Проведение организационных и технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности
Участок контактной сварки	Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими	Необходимо обеспечить достаточное количество первичных средств пожаротушения, применение защитных экранов с целью ограничения разлёта искр.

3.3 Экологическая безопасность технологического объекта

Таблица 3.7 – Выявление и анализ вредных экологических факторов, сопровождающих внедрение проектной технологии

Реализуемый технологический процесс	Операции, входящие в состав технологического процесса	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное воздействие технического объекта на литосферу
Участок контактной сварки	Подготовка деталей, сборка под сварку, сварка, контроль качества	-	-	Бумажная и полиэтиленовая упаковка от вспомогательных материалов; бытовой мусор, преимущественно стальной металлолом

Таблица 3.8 – Проведение организационно-технических мероприятий, направленных на снижение отрицательного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Рассматриваемый технический объект в рамках проектной технологии	Лаборатория контактной сварки
Мероприятия, позволяющие снизить негативное антропогенное воздействие на литосферу	Необходимо предусмотреть установку контейнеров, позволяющих селективный сбор бытового мусора и производственных отходов. Необходима установка отдельного контейнера для сбора металлолома. На контейнеры следует нанести соответствующие надписи. Необходимо проведение инструктажа среди производственного персонала по вопросу правильного складывания в контейнеры мусора и отходов.

3.4 Заключение по экологическому разделу

В ходе выполнения экологического раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при проведении научно-исследовательских работ. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов. В результате проведения этого анализа установлено, опасные и вредные производственные факторы могут быть устранены или уменьшены до необходимого уровня с применением стандартных средств безопасности и санитарии производства. Отсутствует необходимость в разработке дополнительных средств защиты. Внедрение проектной технологии в производство сопровождается угрозами экологической безопасности. Для устранения этих угроз необходимо соблюдение технологического регламента и производственной санитарии.

4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЁННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Расчёт трудоемкости каждого этапа научно-исследовательских работ

В данном разделе выпускной квалификационной работе необходимо провести экономическое обоснование проведенных научно-исследовательских работ. Это предусматривает проведение следующих работ: расчёт трудоёмкости и длительности проводимых научно-исследовательских работ, составление линейного плана-графика выполнения работ при проведении исследовательских работ и расчёт текущих затрат, сопровождающих проведение исследовательских работ.

Таблица 4.1 – Стадии и этапы выполнения научно-исследовательских работ

Наименование стадии НИР	Содержание этапов работы
1	2
1. Ознакомление с особенностями контактной точечной сварки алюминиевых сплавов, методиками контроля контактных сопротивлений и моделирования тепловых процессов	1.1. Обзор алюминиевых сплавов, свариваемых контактной точечной сваркой 1.2. Анализ особенностей контактной сварки алюминиевых сплавов 1.3. Обзор и критический анализ методов контроля контактных сопротивлений 1.4. Обзор и критический анализ методов моделирования тепловых процессов
2. Разработка способа контроля контактных сопротивлений при точечной сварке алюминиевых сплавов	2.1. Составление принципиальной электрической схемы способа 2.2. Вывод основных формул и расчётного алгоритма. 2.3. Реализация способа.

Продолжение таблицы 4.1

1	2
<p>3. Разработка математической модели тепловых процессов при контактной сварке</p>	<p>3.1. Начальные упрощения, входные и выходные параметры математического моделирования. 3.2. Основные формулы математической модели для расчёта выходных параметров модели. 3.3. Реализация математической модели с использованием персонального компьютера и системы MathCAD. 3.4. Проверка адекватности моделирования</p>
<p>4. Оформление результатов проведенной научно-исследовательской работы.</p>	<p>4.1. Отчёта, который отражает этапы работ. 4.2. Выводы по результатам научной работы. 4.3. Рекомендации по внедрению результатов в производство и направления проведения дальнейшего исследования. 4.4. Фактический график выполнения научной работы и причины, по которым произошло отклонение от планового графика. 4.5. Фактически произведённые материальные затраты (калькуляция).</p>

Расчёт трудоёмкости выполнения этапов научно-исследовательской работы производим с использованием формулы:

$$T_{ож} = \frac{3T_{min} + 2T_{max}}{5} \text{ (дней)} \quad (4.1)$$

где T_{min} – величина оптимистической трудоёмкости;

T_{max} – величина пессимистической трудоёмкости.

Таблица 4.2 – Значение трудоёмкости каждого этапа научно-исследовательских работ

Трудо- ёмкость в челове- коднях	№ этапа работ															
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
T _{min}	2	1	2	3	4	7	2	12	4	2	1	3	10	2	1	4
T _{max}	4	3	3	6	5	9	5	17	7	5	5	6	13	4	3	5

Результаты по расчету величины Т_{ож} сведём в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Величина ожидаемой трудоёмкости

Тож, в челове- коднях	№ этапа работ															
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
	3	2	2,5	4	4,5	8	3	14	5	3	2,5	4	11	3	2	4,5

Расчётное определение длительности каждого этапа научно-исследовательских работ и суммарной длительности научно-исследовательских работ произведём по формуле:

$$T_{\text{эт}} = \frac{T_{\text{ож}}}{\text{Ч}} \text{ (чел/дн.)}, \quad (4.2)$$

Ч – принятое для каждого этапа число исполнителей.

$$T_{\text{НИР}} = \sum T_{\text{эт}}$$

После проведения расчётов длительности каждого этапа научно-исследовательской работы, произведём задание количества исполнителей для каждого этапа научно-исследовательской работы.

Таблица 4.4 – Количество исполнителей для каждого этапа работы

№ этапа работ	Численность занятых в научной работе исполнителей			
	Инженерный работник	Вспомогательный рабочий	Технический работник	Всего исполнителей
1.1.	1	–	1	2
1.2.	1	–	1	2
1.3.	1	–	1	2
1.4.	1	–	1	2
2.1.	–	–	1	1
2.2.	1	–	–	1
2.3.	–	–	1	1
3.1.	1	1	1	3
3.2.	1	1	1	3
3.3.	1	–	1	2
3.4.	1	–	1	2
4.1.	1	–	1	2
4.2.	1	–	1	2
4.3.	1	–	1	2
4.4.	1	–	1	2
4.5.	1	–	1	2

Результаты вычисления значения $T_{эт}$ сведём в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Продолжительность каждого этапа научно-исследовательской работы

Тэт, в челове- коднях	№ этапа															
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
	1,5	1	1,5	2	4,5	8	3	5	2	1,5	1,5	2	5,5	1,5	1	2,5

При расчёте суммарной длительности научно-исследовательской работы получено: $T_{нир} = \sum T_{эт}$; $T_{нир} = 44$ дня.

Величину удельного значения каждого этапа работы определим с использованием зависимости:

$$U_{д_{эт}} = \frac{T_{эт}}{T_{нир}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

Расчёт нарастания технической готовности производим путём последовательного сложения удельных значений каждого этапа научно-исследовательской работы.

Таблица 4.6 – Расчётное определение удельных значений каждого этапа научно-исследовательской работы

Уд.эт, %	№ этапа работ										
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	
	3,03	4,54	3,03	1,52	6,06	21,19	15,15	4,55	4,55	7,58	
Уд.эт, %	№ этапа работ										
	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5					
	4,55	4,55	12,12	1,52	3,03	3,03					

4.2 Расчётное определение текущих, капитальных и общих затрат

Расчётное определение текущих затрат произведём с использованием следующей зависимости:

$$K_{\text{тек}} = \Phi\text{ЗП} + \text{Ос.с.} + 3\text{М} + 3\text{тех.эн.} + 3\text{об.} + 3\text{площ.} + \text{Нр} + \text{РП пр} \quad (4.4)$$

где Ос.с. – размер отчислений на социальное страхование;

Нр – размер общих накладных расходов;

ФЗП – объемы фонда заработной платы;

3М – величина затрат на материалы;

3тех.эн. – размер затрат на электрическую энергию;

3об. – размер затрат на эксплуатацию оборудования;

3площ. – размер затрат на обслуживание производственных площадей;

РП пр – размер прочих прямых расходов, связанных со спецификой проводимого исследования.

Расчётное определение заработной платы задействованного в работах персонала и величины отчисления на социальное страхование произведём по формуле:

$$\Phi\text{ЗП} = 3\text{ПЛ оснв.} + 3\text{ПЛ доплн.} \quad (4.5)$$

Расчётное определение затрат на основную заработную плату произведём с использованием зависимости:

$$\text{ЗПЛ оснв.} = \sum \text{Траб} \cdot \text{Сд} \cdot \text{К пр} \cdot \text{И} \quad (4.6)$$

где Траб – величина суммарного времени работы каждого участника научно-исследовательских работ по каждому этапу;

Сд – величина средней дневной ставки каждого участника НИР;

К пр – значение коэффициента премиальных доплат, равный 1,4;

И – принятое количество исполнителей для каждого этапа научно-исследовательских работ.

Таблица 4.7 – Величина заработной платы занятого в работах персонала

№ п/п	Должность задействованного персонала	Размер месячного оклада в рублях	Размер средней дневной ставки Сд в рублях
1	Инженерный работник	25140	1047,6
2	Технический работник	15750	656,4
3	Вспомогательный рабочий	14160	590,1

Подставив значения в (4.6), получим:

$$\text{ЗПЛ оснв.} = (44 \cdot 1047,6 \cdot 1,4 \cdot 1) + (44 \cdot 656,4 \cdot 1,4 \cdot 1) + (7 \cdot 590,1 \cdot 1,4 \cdot 1) = 110749,38 \text{ рублей.}$$

Расчёт дополнительной заработной платы произведём с использованием зависимости:

$$\text{ЗПЛ допл.} = 10\% \text{ от ЗПЛ оснв.} \quad (4.7)$$

$$\text{ЗПЛ допл.} = 110749,38 \cdot 0,1 = 11074,94 \text{ рублей.}$$

Размер фонда заработной платы на проведение научных работ рассчитываем по формуле (4.5):

$$\text{ФЗП} = 110749,38 + 11074,94 = 121824,33 \text{ руб.}$$

Размер отчислений на социальное страхование определяем с использованием формулы:

$$\text{Ос.с.} = 34\% \text{ от ФЗП} \quad (4.8)$$

$$\text{О с.с.} = 0,34 \cdot 121824,33 = 41420,27 \text{ рублей.}$$

Размер затрат на материалы определяем исходя из финансовых потребностей на покупку канцелярских товаров, которые расходуются в процессе исследований:

$$ЗМ = ЗМ \text{ расх.} \quad (4.9)$$

где ЗМ расх.– размер затрат, учитывающих приобретение расходных материалов, которые будут использованы при исследованиях.

Таблица 4.8 – Затраты на приобретение расходных материалов

№ п/п	Приобретение расходного материала	Единицы измерения	Количество расходного материала	Стоимость расходного материала, руб.
1.	Принтерная бумага	пачка	1/2	140
2.	Принтерные чернила	шутка	1	240
3.	Гелевая ручка	шутка	2	34
4.	Простой карандаш	шутка	2	24
5.	Ластика стирательный	шутка	1	8
6.	Линейки пластмассовая	шутка	1	6
7.	Степлер офисный	шутка	1	40
ИТОГО				492

Таким образом, величина затрат на материалы составит: ЗМ = 492 рубля.

Работы по моделированию эксперимента производим с применением персонального компьютера, размер затрат на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание оборудования произведём с использованием формулы:

$$A_{об} = \sum \Pi_{об} \cdot \frac{N_a \cdot T_{раб.}}{\Phi_{об} \cdot 100} \quad (4.10)$$

где $A_{об}$ – размер амортизационных отчислений на оборудование, рублей;

N_a – принятое значение нормы амортизации применительно к оборудованию, для персонального компьютера величина $N_a = 54\%$;

$\sum \Pi_{об}$ – цена оборудования, привлекаемого для проведения научно-исследовательских работ;

$\Phi_{об}$ – размер режимного фонда работы используемого оборудования;

$T_{раб.}$ – время, затрачиваемое на выполнение научно-исследовательских работ, принимаемое приблизительно 70 часов.

$$P_{\text{т.р.}} = \frac{\Sigma C_{\text{об}} \cdot N_{\text{т.р.}} \cdot k_3}{100 \cdot \Phi_p} \quad (4.11)$$

где $P_{\text{т.р.}}$ – размер затрат на проведение текущего ремонта и обслуживания оборудования, рублей

$N_{\text{т.р.}}$ – принятое значение нормы отчислений на проведение текущего ремонта оборудования, $\approx 35\%$.

Режимный фонд времени работы используемого оборудования ($\Phi_{\text{об}}$) рассчитаем по формуле:

$$\Phi_{\text{об}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{вых.}} - D_{\text{пр}}) \cdot T_{\text{см}} \cdot S \cdot (1 - k_{\text{р.п.}}) \quad (4.12)$$

где $D_{\text{к}}$ – количество календарных дней в году, принятое равным 365;

$D_{\text{вых.}}$ – количество выходных дней в году, принятое равным 106;

$D_{\text{пр.}}$ – количество праздничных дней в году, принятое равным 8;

$T_{\text{см.}}$ – значение продолжительности рабочей смены, принятое равным 8 час;

S – количество рабочих смен, принятое равным 1;

$k_{\text{р.п.}}$ – потери времени на проведение технического обслуживания и переналадки применяемого оборудования, принятое равным 0,09.

$$\Phi_p = (365 - 106 - 8) \cdot 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,09) = 1827 \text{ часов}$$

$$A_{\text{об}} = \frac{41960 \cdot 54 \cdot 70}{100 \cdot 1827} = 868,14 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{т.р.}} = \frac{41960 \cdot 35 \cdot 0,4}{100 \cdot 1827} = 3,2 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об.}} + P_{\text{т.р.}} \quad (4.13)$$

$$Z_{\text{об}} = 868,14 + 3,2 = 871,34 \text{ руб.}$$

Таблица 4.9 – Принятое значение стоимости оборудования

№ п/п	Применяемое оборудование	Принятое количество оборудования, (штук)	Стоимость единицы оборудования, (руб.)
1	Монитор «Самсунг»	1	12000
2	Компьютерный системный блок	1	15000
3	Лазерный принтер HP LaserJet 1300	1	11000
4	Сканер BenQ S2W 5250U	1	3300
5	Компьютерная мышь	1	360
6	Компьютерная клавиатура	1	300
Итого: стоимость всего используемого оборудования составляет 41960 руб.			

Размер затрат на технологическую энергию определим с учётом мощности и времени работы применяемого оборудования.

При использовании персонального компьютера:

$$Z_{\text{тех.эн.}} = \frac{M_{\text{об}} \cdot T_{\text{раб.}} \cdot C_{\text{эл.эн.}}}{\text{КПД}} \quad (4.14)$$

где $M_{\text{об}}$ – мощность, которое имеет применяемое оборудование;

$C_{\text{эл-эн}}$ – стоимость одного кВт·часа электрической энергии;

КПД – значение коэффициента полезного действия применяемого оборудования;

$T_{\text{раб}}$ – время работы применяемого оборудования, в часах.

Составим сводную таблицу, которая содержит необходимые для работы применяемого оборудования параметры (табл. 4.10).

$$Z_{\text{тех.эн.}} = P_{\text{тех.эн.}}^{\text{монитор.}} + P_{\text{тех.эн.}}^{\text{сист.блок}} + P_{\text{тех.эн.}}^{\text{принт.}} + P_{\text{тех.эн.}}^{\text{скан.}} \quad (4.15)$$

$$P_{\text{тех.эн.}}^{\text{монитор.}} = \frac{0,1 \cdot 70 \cdot 1,1}{0,8} = 9,63 \text{ рублей.}$$

$$P_{\text{тех.эн.}}^{\text{сист.блок.}} = \frac{0,3 \cdot 70 \cdot 1,1}{0,8} = 15,27 \text{ рублей.}$$

$$P_{\text{тех.эн.}}^{\text{принт.}} = \frac{0,15 \cdot 70 \cdot 1,1}{0,8} = 14,44 \text{ рублей.}$$

$$P_{\text{тех.эн.}}^{\text{скан.}} = \frac{0,1 \cdot 70 \cdot 1,1}{0,85} = 9,06 \text{ рублей.}$$

Таблица 4.10 – Исходные данные, применяющиеся для проведения расчёта затрат на электрическую энергию

№ п/п	Применяемое оборудование	Мощность Применяемого оборудования, (кВт)	Значение коэффициента полезного действия оборудования	Время работы оборудования, (час)
1	Монитор «Самсунг»	0,1	0,8	70
5	Компьютерный системный блок	0,3	0,8	70
2	Лазерный принтер HP LaserJet 1300	0,15	0,8	70
3	Сканер BenQ S2W 5250U	0,1	0,85	70

$$З_{\text{тех.эн.}} = 9,63 + 15,27 + 14,44 + 9,06 = 48,4 \text{ руб.}$$

Размер затрат на содержание и эксплуатацию производственных площадей определим по зависимости:

$$З_{\text{пл.}} = \frac{Ц_{\text{пл.}} \cdot S_{\text{пл.}} \cdot N_{\text{пл.}} \cdot t_{\text{шт}}}{100 \cdot \Phi_p} \quad (4.16)$$

где $N_{\text{а пл.}}$ – принятое значение нормы амортизационных отчислений на здания, %;

$Ц_{\text{пл.}}$ – принятая цена одного м^2 производственной площади, рублей;

$S_{\text{пл.}}$ – общая площадь, которая занята оборудованием, применяемым для проведения научно-исследовательских работ, м^2 ;

$t_{\text{шт}}$ – время выполнения научно-исследовательской работы на производственной площади, в часах.

$$З_{\text{пл.}} = \frac{30000 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 70}{100 \cdot 1827} = 137,9 \text{ руб.}$$

Размер общих накладных расходов может быть задан как:

$$N_p = 55\% \text{ ФЗП} \quad (4.17)$$

Подставив в (4.17) данные, получим:

$$N_p = 0,55 \cdot 121824,33 = 67003,38 \text{ руб.}$$

Размер прочих прямых расходов может быть задан как:

$$\text{РП пр} = 5\% \text{ ФЗП} \quad (4.18)$$

Подставив в (4.18) данные, получим:

$$\text{РП пр} = 0,05 \cdot 121824,33 = 6091,22 \text{ руб.}$$

Текущие расходы на проведение НИР составят:

$$\text{К тек} = \text{ФЗП} + \text{Ос.с.} + \text{ЗМ} + \text{Зоб.} + \text{Зтех.эн.} + \text{Зплощ.} + \text{Нр} + \text{РП пр} \quad (4.19)$$

Подставив в (4.19) данные, получим:

$$\begin{aligned} \text{К тек} &= 121824,33 + 41420,27 + 492 + 871,34 + 48,4 + 137,9 + 67003,38 + 6091,22 \\ &= 207543,50 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Таблица 4.11 – Себестоимость проведения научно-исследовательских работ

№	СТАТЬИ ЗАТРАТ	Условные обозначения	Величина затрат (руб.)
1	Размер основной заработной платы персонала	Зосн	110749,38
2	Размер дополнительной заработной платы персонала	Здоп	11074,94
3	Затраты на отчисления на социальные нужды	Осс	41420,27
4	Размер затрат на оборудование	Аоб	871,34
5	Размер затрат на технологическую энергию	З тех. эн.	484
6	Размер затрат на материалы	ЗМ	492
7	Размер затрат на производственные Площади	Зплощ.	137,9
9	Размер общих накладных расходов	Нр	67003,38
10	Размер прочих прямых расходов	РП пр	6091,22
	Себестоимость проведения НИР (текущие расходы)	$C_{\text{НИР}} = K_{\text{ТЕК}}$	238324,43

Расчёт общих затрат на проведение научно-исследовательских работ:
 $K_{\text{общ.}} = K_{\text{тек.}} = 238324,43$ руб. Таким образом, объём затрат на проведение научно-исследовательских работ составляет 238324,43 руб. Наибольшие расходы ожидаются по статье – фонд заработной платы персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе поставлена цель – повышение стабильности качества контактной точечной сварки алюминиевых сплавов за счёт исследований процесса формирования сварного соединения и выработки на их основе технологических рекомендаций.

При анализе состояния вопроса была рассмотрена типовая деталь кузова легкового автомобиля и технология её изготовления в случае использования стали 08Ю. Обоснована замена стали 08Ю на алюминиевый сплав АМгбМ.

В рамках данной выпускной квалификационной работы разработаны мероприятия по повышению качества сварки, основанные на измерении и стабилизации тепловыделения на участке «электрод-электрод».

Сформулированные задачи работы:

- 1) разработка методики расчётного определения тепловыделение при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 2) разработка методики экспериментального определения тепловыделения при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 3) произвести оценку безопасности и экологичности предлагаемых технических решений;
- 4) выполнить экономическое обоснование предлагаемых технических решений.

Предложена методика расчёта теплового баланса при контактной точечной сварке деталей их алюминиевых сплавов. Предложена методика расчётного определения тепловыделения на участке «электрод-электрод».

В ходе выполнения экологического раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при проведении исследований. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов.

Экономические расчёты позволили установить, что для проведения полноценных исследований потребуется 238 тысяч рублей, что заставляет обратиться к руководству вуза с просьбой о заключении договора с ПАО «АВТОВАЗ» на научно-исследовательские работы.

Цель проекта может считаться достигнутой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антонов, В.Г. Исследование и разработка технологии точечной контактной сварки алюминиевых и титановых сплавов с использованием материалов-свидетелей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : МАТИ: Москва. – 2009.
2. Меньшиков, Г.А. Разработка технологических основ точечной контактной сварки крупногабаритных изделий ракетно-космической техники : автореф. дис. ... доктора техн. наук : МАТИ: Москва. – 2006.
3. Кочергин, К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин // Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1987. – 240 с.
4. Орлов, Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки / Б.Д. Орлов, А.А. Чакалев, Ю.В. Дмитриев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
5. Козловский, С.Н. Разработка теоретических основ технологии программированных режимов контактной точечной сварки узлов летательных аппаратов: дис. ... докт. тех. наук: защищена 1.02.2007 / С.Н. Козловский. – М.: Изд-во «МАТИ», 2007. – 237 с.
6. Климов, А.С. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки: учебное пособие / А.С. Климов, И.В. Смирнов, А.В. Кудинов, Г.Э. Кудинова // Тольятти: ТГУ, 2008. – 313 с.
7. Рубанович, Б.Б. Контактная сварка тонкостенных алюминиевых конструкций / Б.Б. Рубанович // М.: Издательство литературы по строительству. – 1966. – 140 с.
8. Климов, А.С. Способ измерения параметров тепловыделения при контактной точечной сварке на однофазных машинах переменного тока / А.С. Климов, А.А. Герасимов, А.Н. Анциборов, М.С. Гончаров // Сварочное производство. – 2006. – №11. – С. 18-21.

9. Кулисон, Э. Новые подходы к управлению качеством в сварочном производстве США / Э. Кулисон, Б. Ирвинг, М.Р. Йонсен // Автоматическая сварка. – 1994. – № 1. – С. 39–47, 53.

10. Ланкин, Ю.Н. Автоматическое регулирование режима точечной сварки по электрическим параметрам // Автоматическая сварка. – 1963. - № 5. – С. 16-19.

11. Патент № 2291227 Великобритания, МПК6 В 23 К11/25. Electronic control system for a resistance welding station / Barrachina Mir Ramon; Заявлено 02.07.94; Опубл. 17.01.96.

12. Иоффе, Ю.Е. Новые разработки ЗАО «Электрик–МИКС» в области контроля и управления сварочными процессами / Иоффе Ю.Е., Жданов В.В., Котов А.В. [и др.] // Сварочное производство. – 2002. – № 4. – С. 39–43.

13. Шишмаков И.А. Аппаратура управления и контроля для контактной сварки / И.А. Шишмаков, М.Я. Левин, Д.К. Симо и др. // Сварочное производство. – 1998. – № 8. – С. 33–36.

14. Аксельрод Д.Ф. Микропроцессорные контроллеры для машин контактной сварки / Д.Ф. Аксельрод, Ю.Е. Иоффе, М.Н. Куперман и др. // Сварочное производство. – 1990. – № 8.

15. Чакалев, А.А. Саморегулирование процесса контактной сварки / А.А. Чакалев, С.М. Казаков, В.А. Ерофеев // Сварочное производство. – 1986. – № 8. – С. 1–3.

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

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

18. Брауде, М. З. Охрана труда при сварке в машиностроении / М. З. Брауде, Е. И. Воронцова, С. Я. Ландо. – М.: Машиностроение, 1978. – 144 с.

19. Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 480 с.

20. Егоров, А. Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие / А. Г. Егоров, В. Г. Виткалов, Г. Н. Уполовникова, И. А. Живоглядова – Тольятти, 2012. – 135 с.