

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности

Специальность 15.04.01 Машиностроение

ООП Машины и технологии сварочного производства

Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка технологии сварки батареи литий-ионных аккумуляторных элементов типоразмера 26650

УДК 621.791.01:621.355

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭИ ИШНКБ	Кулагин А.Е.	к.ф.-м.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	к.т.н.		

Томск – 2022 г.

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способностью формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способностью использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способностью осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способностью организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способностью к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способностью обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способностью проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способностью обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способностью организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников

ОПК(У)-11	Способностью подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способностью подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способностью разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способностью выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способностью разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способностью оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-8	Способностью организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способностью и готовностью использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности

ПРИКАЗ

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение школы (НОЦ) **Отделение электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП/ОПОП
 _____ Гордынец А.С.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна

Тема работы:

Разработка технологии сварки батареи литий-ионных аккумуляторных элементов типоразмера 26650	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.01.2022, № 10-5/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аккумуляторные элемент 26650. 2. Технология сварки: контактная точечная.
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы 2. Разработка технологии микроконтактной точечной сварки 3. Разработка приспособления 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность 6. Заключение
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Комплект конструкторской и технологической документации документации</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>1-3</p>	<p>Гордынец А.С., к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ</p>
<p>4</p>	<p>Верховская М.В., к.э.н., доцент ОСГН ШБИП</p>
<p>5</p>	<p>Федорчук Ю.М., д.т.н. профессор ТПУ</p>
<p>Комплект конструкторской и технологической документации</p>	<p>Гордынец А.С., к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</p>	
<p>1. Обзор литературы</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>10.01.2022</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОЭИ ИШНКБ</p>	<p>Гордынец А.С.</p>	<p>к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1ВМ01</p>	<p>Балашова Ксения Алексеевна</p>		

Министерство науки и образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы (НОЦ) электронной инженерии
 Период выполнения осенний/весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающегося:

Группа	ФИО
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна

Тема работы:

Разработка технологии сварки батареи литий-ионных аккумуляторных элементов типоразмера 26650

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.01.2022	Обзор литературы	20
25.03.2022	Разработка технологии микроконтактной точечной сварки, проектирование приспособления	20
24.04.2022	Разработка технологической и конструкторской документации	20
10.05.2022	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	10
24.05.2022	Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
31.05.2022	Выполнение раздела «Социальная ответственность»	10
04.06.2022	Выполнение раздела «Иностранный язык»	5
03.06.2022	Оформление ВКР и презентационных материалов	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	к.т.н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна

Школа	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистратура	15.04.01 Машиностроение
	Направление/специальность	

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя- 43200 Оклад инженера - 25000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	– SWOT-анализ; – оценка научного уровня исследования; – оценка организационной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- Оценка конкурентоспособности технических решений*
- Матрица SWOT*
- Альтернативы проведения НИ*
- График проведения и бюджет НИ*
- Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна

ШКОЛА	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Машиностроение

Тема дипломной работы: «Разработка технологии сварки батареи литий-ионных аккумуляторных элементов типоразмера 26650»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является сталь 12Х18Н10Т и контактная машина «МТТ-02». Область применения – сварка тонкостенных деталей (микросварка). Работы производились на базе ООО НПП «ТЭК».
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия; • Действие на организм человека; • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов); • СИЗ коллективные и индивидуальные. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • механические опасности (источники, средства защиты); • термические опасности (источники, средства защиты); • электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); • пожаробезопасность (источники, средства защиты). 	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • Недостаточная освещенность; • Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; • Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ; Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; • Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации. • Выплеск расплавленного металла.
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду 	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие

<ul style="list-style-type: none"> Решения по обеспечению экологической безопасности 	люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов) и способы их утилизации;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	Рассмотрены две ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
4. Перечень нормативно-технической документации.	– ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2022 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		05.05.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна		05.05.2022 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 139 страниц, 17 рисунков, 27 таблиц, 27 источников и 3 приложения.

Ключевые слова: контактная точечная сварка, микросварка, аккумуляторная сборка, литий-ионный аккумулятор, нержавеющая сталь.

Объектом исследования являются литий-ионные аккумуляторные элементы типоразмера 26650.

Предметом исследования является технология микроконтактной точечной сварки батареи литий-ионных аккумуляторных элементов типоразмера 26650.

Цель работы – подбор оптимальных параметров режима контактной точечной сварки аккумуляторных элементов типоразмера 26650 и проектирование технологического приспособления, которое позволит в полной мере регулировать и контролировать сварочное усилие и ориентировать положение Li-ion аккумуляторов относительно сварочных электродов.

В ходе работы были изучены способы сварки литий-ионных аккумуляторных элементов, особенности микроконтактной точечной сварки, подобраны оборудование и режимы для сварки литий-ионных аккумуляторных элементов.

В результате исследований была разработана технология микроконтактной точечной сварки батареи литий-ионных аккумуляторных элементов типоразмера 26650.

Область применения: электротранспорт, робототехника.

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	15
1.1 Литий-ионные аккумуляторы	15
1.1.1 Конструкционные материалы, применяемые для изготовления корпуса литий-ионных аккумуляторов.....	19
1.1.2 Способы изготовления аккумуляторных сборок	20
1.2 Формирование сварного соединения при контактной точечной сварке	23
1.2.1 Особенности контактной точечной сварки тонкостенных деталей.....	27
1.2.2 Односторонняя контактная сварка.....	28
2 Разработка технологии микроконтактной точечной сварки Li-ion аккумуляторных элементов типоразмера 26650	29
2.1 Характеристика стали 12Х18Н10Т.....	32
2.2 Подготовка поверхности деталей под сварку	33
2.3 Выбор параметров режима микроконтактной точечной сварки.....	33
2.4 Форма, размеры, материал рабочей поверхности электродов	35
2.5 Выбор источника питания.....	36
3 Проектирование приспособления.....	38
3.1 Статический анализ приспособления в SolidWorks Simulation.....	45
3.2 Сборка аккумуляторов.....	48
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	49
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	50
4.1.3 SWOT – анализ	52
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	55
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	55
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	55

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	56
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	60
4.5 Выводы по разделу.....	67
5 Социальная ответственность	69
5.1 Производственная безопасность.....	69
5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды.....	69
5.1.1.1 Несоответствие освещенности рабочей зоны нормируемым значениям	70
5.1.1.2 Отклонение параметров микроклимата в помещении	75
5.1.1.3 Повышенный шум на рабочем месте	77
5.1.1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	78
5.1.1.5 Отклонение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны ...	81
5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	82
5.1.2.1 Электробезопасность	83
5.1.2.2 Пожаровзрывобезопасность.....	85
5.1.2.3 Выплеск расплавленного металла	89
5.2 Экологическая безопасность.....	91
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	93
Заключение	96
Список используемых источников.....	97
Приложение А Комплект конструкторской документации.....	100
Приложение Б Комплект технологической документации	115
Приложение В Раздел на иностранном языке.....	119

Введение

Рынок всех аккумуляторов продолжает расти по мере увеличения мирового спроса на беспроводную и экологически безопасную электронику[1]. Сюда входят такие электронные устройства, как мобильные телефоны, планшеты, электротранспорт и т.д., где благодаря высокой энергетической плотности нашли применение литий-ионные (Li-ion) аккумуляторные элементы. Однако напряжения и плотности тока одного аккумуляторного элемента бывает недостаточно для работы указанных изделий, поэтому у разработчиков возникает необходимость соединения нескольких элементов в один аккумуляторный блок [2].

В связи с растущими требованиями мирового рынка к повышению энергоэффективности и снижению габаритных размеров изделий наибольший интерес представляют источники питания типоразмера 26650.

Для соединения литий-ионных аккумуляторных элементов 26650 используются методы лазерной или контактной точечной сварки. В целом, метод контактной точечной сварки является более доступным по стоимости и гибким при внедрении в производственный процесс.

Таким образом, целью данной работы является подбор оптимальных параметров режима контактной точечной сварки аккумуляторных элементов типоразмера 26650 и проектирование технологического приспособления, которое позволит в полной мере регулировать и контролировать сварочное усилие и ориентировать положение Li-ion аккумуляторов относительно сварочных электродов.

1 Обзор литературы

1.1 Литий-ионные аккумуляторы

После появления в 1970-е годы первичных литиевых элементов возник интерес к разработке многоразовых источников тока с применением электрохимической системы Li^+ (ион)/Li. Эти элементы отличались высокими удельными характеристиками, а в перспективе можно было получить компактный источник питания. Именно о портативном применении шла тогда речь, о таких аккумуляторах большой емкости никто еще и не задумывался в силу множества проблем и их высокой на тот момент стоимости. В качестве отрицательных электродов в первых образцах таких аккумуляторов использовался металлический литий (по аналогии с первичными элементами). Но при его заряде из-за наличия пассивирующей пленки из продуктов разложения электролита часть лития переходила в неактивное состояние (то есть в частицы, электрически изолированные друг от друга). Образовывающаяся со временем пленка препятствовала прохождению лития на электроды. Другой проблемой являлось образование дендритов, игольчатых кристаллов лития, растущих между электродами. Их рост приводил к короткому замыканию аккумулятора и выходу его из строя (порой с воспламенением и взрывом) [3].

На решение проблемы были направлены значительные усилия: осуществлялся поиск новых электролитов, отвечающих всем требованиям, и всевозможных решений по предотвращению образования дендритов, разрабатывались технологии производства и т. д., однако оставалась самая главная проблема — безопасность. Металлический литий находится внутри корпуса аккумулятора. И при разгерметизации корпуса окисляющийся литий соединялся с кислородом воздуха, что приводило к возгоранию и/или резкому повышению температуры корпуса, а иногда и к взрыву. Разгерметизация могла произойти, во-первых, из-за повышения давления внутри корпуса, например, при перезаряде (в штатном режиме заряда); во-вторых, при росте температуры внутри прибора, например, при внешнем нагревании; в-третьих, из-за

внутреннего короткого замыкания и т. д. Постоянно следить за всеми этими параметрами стало невозможно, потребовались электронные системы постоянного слежения, предотвращающие если не все, то большинство случаев разгерметизации корпуса. На это быстро отреагировала электронная промышленность: компании начали выпуск всевозможных микросхем для Li-ion аккумуляторов и батарей, и с этого времени такие устройства стали неотъемлемой частью любой батареи системы Li⁺(ион)/Li [3].

На сегодня выпуск литиевых аккумуляторов (с металлическим литием) практически прекращен, этот класс аккумуляторов перекочевал в разряд «спецтехники», и встретить их или купить сейчас практически невозможно. Массовому выпуску аккумуляторов с металлическим литием препятствует и высокая стоимость производства: необходимо иметь оборудование, выполняющее цикл в герметичном объеме, который заполнен инертной для лития средой, при этом в ней не должно содержаться влаги [3].

По удельным характеристикам Li-ion аккумуляторы лидируют среди массово выпускаемых химических источников тока и занимают одно из первых мест среди применяемых электрохимических систем. Li-ion аккумуляторы обладают высокой удельной энергией (до $190 \text{ Вт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{кг}}$), высоким разрядным напряжением (3,4–4 В и более, в зависимости от используемых электродных материалов), очень низким саморазрядом (менее 3% в месяц) и длительным сроком службы (более 1000 циклов, при снижении отдаваемой емкости на 20% от номинальной к тысячному циклу). В зависимости от материалов и конструкции эти аккумуляторы могут работать в интервале температур от –40 до +80 °С. При этом их стоимость постоянно снижается, а область применения расширяется [3].

Углеродная матрица, используемая в качестве анода, может иметь упорядоченную слоистую структуру, как у природного или синтетического графита, неупорядоченную аморфную или частично упорядоченную. Ионы лития при внедрении раздвигают слои углеродной матрицы и размещаются

между ними, образуя интеркалаты разнообразных структур. Удельный объем углеродных материалов мало меняется в процессе интеркаляции-деинтеркаляции ионов лития.

При выборе анодного материала основной является проблема обеспечения высокой емкости углеродных материалов и стабильности их структур и свойств в процессе циклирования [3].

В качестве активных материалов катода используются чаще всего оксиды металлов. Материалы на основе CoO_2 начали применять первыми. Их синтез на основе низкотемпературной технологии относительно прост и обеспечивает хорошую воспроизводимость, на этот катодный материал заметно дороже других и токсичен. Литированный NiO_2 используется реже, основной его недостаток состоит в необратимости структурных изменений при полной деинтеркаляции лития. Материалы на основе оксида марганца Mn_2O_4 наиболее дешевы и экологичны, но обеспечивают более низкие энергетические характеристики, особенно при температуре выше $+40^\circ\text{C}$ [3].

В настоящее время в качестве катодных материалов всё чаще используются материалы на основе смешанных оксидов или фосфатов [4,5].

Электроды изготавливаются путем нанесения покрытий на металлическую фольгу. Свойства покрытия (толщина, плотность, площадь поверхности, сцепление с коллектором, электропроводность, пористость и равномерность нанесения) во многом определяют поведение аккумулятора в эксплуатации [3].

Изготовление электродов, сборка и герметизация Li-ion аккумуляторов требуют такой же тщательности и соблюдения условий защиты от попадания влаги внутрь, как и при производстве первичных литиевых элементов. Поэтому значительная часть процесса происходит в боксах с инертным газом и в специальных сухих помещениях.

В цилиндрических аккумуляторах скрученный в виде рулона пакет электродов и сепаратора помещен в корпус, с которым соединен отрицательный

электрод. Положительный полюс аккумулятора выведен на крышку через изолятор (рисунок 1).



Рисунок 1 – Цилиндрический литий-ионный аккумулятор

Некоторые конструктивные меры обычно предпринимаются и для предотвращения быстрого разогрева и обеспечения безопасности работы Li-ion аккумуляторов. Под крышкой аккумулятора имеется устройство, реагирующее на положительный температурный коэффициент повышением сопротивления, и другое, которое разрывает электрическую связь между катодом и положительной клеммой при увеличении давления газов внутри аккумулятора выше допустимого предела [3].

Для увеличения безопасности эксплуатации литий-ионных аккумуляторов в составе батареи обязательно используется также и внешняя электронная защита, цель которой предотвратить возможность ее перезаряда и переразряда каждого аккумулятора, короткого замыкания его и чрезмерного разогрева.

Цилиндрическая форма аккумуляторов по-прежнему является одной из наиболее широко используемых типов упаковки для первичных и вторичных батарей. Преимуществами являются простота изготовления и хорошая механическая стабильность. Трубчатый цилиндр может выдерживать высокое внутреннее давление без деформации. Типичными областями применения цилиндрической ячейки являются электроинструменты, медицинские инструменты, ноутбуки и электровелосипеды. Чтобы допустить изменения в

пределах заданного размера, производители используют частичные длины ячеек, такие как форматы половинной и трехчетвертной частей[16].

1.1.1 Конструкционные материалы, применяемые для изготовления корпуса литий-ионных аккумуляторов

Литий-ионные аккумуляторы очень чувствительны к атмосферным воздействиям, таким как наличие влаги и взаимодействие с кислородом. Влага и кислород делают электролит бесполезным, а также могут вызывать нежелательные эффекты (например, повышение воспламеняемости). Также аккумулятор должен поддерживать внутреннее давление в допустимых пределах.

Алюминий в качестве корпуса элемента применялся изначально из-за его высокой устойчивости к факторам окружающей среды: влаге и воздуху. Со временем полимеры, такие как полипропилен, заменили алюминий из-за того, что они легко формуруются в различные формы, а также обладают отличной химической стойкостью. Формы, в которых производятся аккумуляторные элементы, не ограничены, хотя очень распространены прямоугольные (в мобильных телефонах и гибридных автомобилях) и цилиндрические формы. В дополнение к внешнему корпусу используются полимерные пены для предотвращения повреждения ячейки от случайного удара.

Стали с никелевым покрытием используются в качестве материала корпуса для литий-ионных аккумуляторов из-за превосходной химической стойкости и защиты от коррозии, обеспечиваемой никелем. Ведется разработка материала (Суперникель), который также обеспечивает гальваническую стойкость [16].

1.1.2 Способы изготовления аккумуляторных сборок

Основные виды сварки аккумуляторных элементов, их преимущества и недостатки представлены в таблице 1 [17].

Таблица 1 – Способы сварки аккумуляторных элементов [17]

№	Вид сварки	Преимущества	Недостатки
1	Ультразвуковая сварка	Быстрый процесс, высокая прочность сварных соединений, возможность соединения разнородных материалов, низкое энергопотребление	Подходит только для пакетированных аккумуляторных элементов, двусторонний доступ
2	Микроконтактная точечная сварка	Быстрый процесс, низкая стоимость, качественные сварные соединения, простая автоматизация	Трудность сваривания материалов с высокой тепло- и электропроводностью и разнородных материалов
3	Субсекундная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов.	Низкая стоимость, высокая прочность соединений, возможность соединения разнородных материалов, простота автоматизации	Высокая тепловая нагрузка и большая зона термического влияния, пористость сварных соединений
4	Пайка	Соединение разнородных материалов, широко распространенное в электронной промышленности	Сильный нагрев, требуются флюсы
5	Лазерная сварка	Высокая скорость, меньшая тепловая нагрузка, бесконтактный процесс, простая автоматизация	Высокая стоимость, может потребоваться дополнительная система защиты

Рассмотрим каждый из представленных в таблице 1 способов отдельно.

Ультразвуковая сварка. Ультразвуковая сварка металлов является одним из наиболее часто используемых способов соединения аккумуляторных элементов и применяется для широкого спектра металлов и тонких

металлических пленок (например, фольги). Сварка происходит при одновременном воздействии на свариваемые поверхности механических высокочастотных (ВЧ) колебаний, внешнего давления, прикладываемого перпендикулярно к свариваемым поверхностям и теплового эффекта от ВЧ колебаний. Однако для данного метода требуется двусторонний доступ к свариваемым поверхностям: с одной стороны используется наковальня для поддержки соединяемых деталей, а с другой стороны - волновод, который передает ультразвуковые волны. [17].

Микроконтактная точечная сварка (МКТС). При данном способе процесс образования неразъемных соединений конструкционных материалов происходит в результате их кратковременного нагрева, путем пропускания через них электрического тока, и пластического деформирования усилием сжатия. Соединение свариваемых деталей при контактной сварке (как и при других способах сварки) происходит путем образования связей между атомными агрегатами в зоне контакта этих деталей. При этом для образования физического контакта и активации соединяемых поверхностей затрачивается тепловая и механическая энергия, подводимая извне. Точечная сварка – способ контактной сварки, при котором детали свариваются по отдельным ограниченным участкам касания (по ряду точек). Детали собирают внахлестку, сжимают усилием электродов, к которым подключен источник электрической энергии [18]. Контактная точечная сварка применяется для соединения различных материалов толщиной не менее 0,4 мм, которые используются для соединений аккумуляторных элементов: сталь, никель (Ni), медь (Cu) и алюминий (Al). Однако контактная точечная сварка таких материалов, как алюминий или медь, затруднена из-за их высокой электро- и теплопроводности и, в частности, наличия оксидного слоя на поверхности алюминия [17].

Субсекундная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов. Данный метод используется для соединения тонких материалов путем локального плавления. Импульс дуги имеет очень короткую продолжительность, в десятки миллисекунд, поэтому

тепловыделение в зоне плавления намного меньше, чем при обычной дуговой сварке. Однако даже при значительном снижении тепловыделения по-прежнему крайне важно контролировать параметры режима сварки, чтобы избежать перегрева батареи. Данный метод подходит для сварки никелевых, медных или стальных деталей.

Пайка. Соединение разнородных материалов с использованием этого способа является устоявшейся и проверенной технологией в электронной промышленности. С помощью пайки можно соединить плоский проводник с выводом (контактной площадкой) цилиндрического аккумуляторного элемента. Пайка непосредственно к батарее не рекомендуется, так как при слишком высокой температуре легко повредить предохранительный клапан или вызвать внутреннее короткое замыкание (т.е. подвод тепла является ключевым параметром пайки). Для пайки алюминия требуются специальные агрессивные флюсы, которые обычно считаются непривлекательными из-за потенциальной коррозии и снижения прочности соединения. Таким образом, пайка не представляет широкий интерес для соединения батарей[17].

Лазерная сварка. Способ сварки, при котором для нагрева используется монохроматический когерентный луч света. Благодаря малому поперечному сечению лазерного луча и высокой концентрации его энергии могут быть получены узкие и глубокие сварные швы за короткий промежуток времени. Кроме того, из-за узких швов и высокой скорости сварки процесс создает низкий уровень тепла в зоне плавления, что важно при сварке аккумуляторных элементов, поскольку химические вещества внутри батарей очень чувствительны к нагреву [17].

Таким образом, благодаря своей невысокой стоимости и общедоступности микроконтактная точечная сварка является наиболее предпочтительным методом соединения литий-ионных аккумуляторных элементов. Этот процесс обеспечивает прочные соединения с практически полным устранением теплового воздействия на соединяемые детали в течение короткого времени. Дополнительным преимуществом является

возможность соединения различных деталей, часто существенно отличающихся друг от друга по своей толщине [1].

Способ микроконтактной точечной сварки оказывает минимальное влияние на аккумулятор, так как тепловое воздействие является непродолжительным, и это не вызывает катализирующих реакций в аккумуляторе[1].

Пластины из сплавов на основе никеля и стали наиболее часто используются для соединения аккумуляторных элементов путем микроконтактной точечной сварки. Никелевые пластины должны иметь толщину не более 0,4 мм, стальные – не более 0,3 мм [24].

1.2 Формирование сварного соединения при контактной точечной сварке

Контактная точечная сварка производится путем пропускания электрического тока через детали, сжатые с помощью токопроводящих электродов. Данный способ сварки разработан более века назад и нашел широкое применение во многих отраслях промышленности. Характерной особенностью процесса является весьма малое время сварки при больших усилиях и токах, обеспечивающих плавления металла. При этом к необходимым условиям формирования соединения относится образование общей зоны расплавления заданных размеров (литого ядра), которое обеспечивает важнейшее эксплуатационное свойство – прочность соединения [7]. Конструктивные элементы и размеры сварных соединений, выполняемые контактной точечной сваркой, регламентированы стандартом «ГОСТ 15878-79 Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры» [8].

Согласно [9], цикл контактной точечной сварки в зависимости от особенностей протекания термомодеформационных процессов предлагается

условно разделить во времени на несколько этапов, из которых можно выделить три основных.

Первый этап начинается в момент приложения к деталям сжимающего усилия и заканчивается при начале расплавления в зоне контакта свариваемых деталей. На этом этапе происходит пластическая деформация микронеровностей в контакте электрод-деталь и деталь-деталь. После включения электрического тока формируется электрический контакт, основной металл разогревается, выравнивается микрорельеф, разрушаются поверхностные пленки.

Второй этап начинается с момента расплавления металла и заканчивается выключением сварочного тока. На этом этапе происходит рост ядра сварной точки, перемешивание металла, продолжается разрушение поверхностных пленок и образование металлических связей в жидкой фазе, продолжается процесс пластической деформации.

Третий этап начинается после выключения тока. На этом этапе происходит охлаждение, кристаллизация и усадка металла, вследствие чего возникают остаточные напряжения и деформация.

Таким образом, исходным условием процесса контактной точечной сварки является наличие электрического контакта (первый этап) между поверхностями электрод-деталь и деталь-деталь. Однако реальные контактирующие поверхности всегда имеют микронеровности, которые в машиностроении характеризуют шероховатостью и волнистостью, параметры и терминология, которых регламентированы стандартами [10, 11]. Шероховатость и волнистость поверхностей существенно зависят от различного способа обработки, качества инструмента и материала.

Образование механических микроконтактов в контурной площади контакта еще не гарантирует наличие в нем электрической проводимости, поскольку реальные поверхности свариваемых деталей всегда покрыты окисной пленкой, которая имеет низкую электропроводность [11].

В момент включения сварочного тока начинается самый нестабильный период формирования литого ядра. Согласно [11], усилия сжатия электродов, при любой его программе приложения, не способны заметно изменить электрическое сопротивление микропирамид против того значения, которое определилось первоначально.

По мере прохождения сварочного тока через контактирующие микропирамиды происходит нагрев и идет интенсивное формирование общей зоны расплавления, которая начиная с центра соединения, расширяется к периферии. В начальной стадии нагрева окисные пленки и поверхностные загрязнения частично выдавливаются к периферии, по мере прохождения тока часть их распределяются по всему объему литого ядра за счет перемешивания. Одновременно с расплавлением, значительное количество тепла (более 50 %) отводится в электроды, свариваемые детали и окружающую среду.

Величина контактного сопротивления после включения тока при определенных критических температурах (характерных для свариваемого металла) резко снижается. Это обусловлено нагреванием микроконтактов и снижением сопротивления пластической деформации металла, что в свою очередь ведет к облегчению условия разрушения поверхностной пленки. Дальнейшее сопротивление между электродами в основном определяется сопротивлением самих деталей, которое при нагреве увеличивается, за счет увеличения удельного электросопротивления металла. Однако это увеличение не компенсирует общую величину сопротивления между электродами. Таким образом, кинетика изменения общего сопротивления обычно имеет падающую характеристику [9].

Как известно в процессе плавления металла его объем резко увеличивается. В условиях точечной сварки, из-за неравномерного температурного поля, увеличения объема металла происходит преимущественно в направлении оси электродов, так как вокруг периметра литого ядра сдерживается более холодным металлом свариваемых деталей.

В результате объемных изменений возникает дополнительные усилия, внутри формирующегося литого ядра, которая значительно превышает силу сжатия электродов. Такое тепловое расширение металла вызывает раздвигание электродов.

С процессом нагрева одновременно продолжается пластическая деформация в зоне соединения за счет усилия электродов. В результате, которого формируется уплотняющий пояс по периметру контакта деталь-деталь. Уплотняющий пояс удерживает жидкий металл в ядре и герметизирует его от взаимодействия с атмосферой, предохраняя металл от выплесков. Согласно [13], основная причина появления выплеска связано с отставанием скорости деформации от скорости нагрева. Начальные выплески объясняется перегревом отдельных участков (локальных контактов) относительно малой площади из-за перекоса электродов, плохой подготовки поверхностей. Вероятность появления их возрастает при использовании жестких режимов сварки и небольших усилиях.

Основные физические процессы, протекающие в расплавленном ядре, наиболее подробно описаны в работе [9]. Расплавленный металл литого ядра под действием электромагнитных сил, возникающих от взаимодействия сварочного тока с его собственным электромагнитным полем, начинает перемешиваться, тем самым разрушая оксидные пленки. Такие объемные силы достигают максимального значения на периферии ядра и снижаются до нуля в центре. В большинстве случаев литое ядро имеет форму эллипсоида, поэтому в расплавленном металле возникают градиенты давления в горизонтальном и вертикальном направлениях. Под действием этих градиентов слои жидкости циркулируют к периферии ядра, а затем по границе ядра возвращается к центру.

После выключения сварочного тока или уменьшения его до определенного значения, происходит охлаждение расплавленного ядра и последующая кристаллизация, которое сопровождается уменьшением объема расплавленного металла. В зоне сварки возникают остаточные напряжения,

и происходит усадка металла. Для снижения уровня этих напряжений и предотвращения образования усадочных трещин и раковин, как правило, после выключения тока прикладываемое усилия сжатия электродов оставляют на некоторое время или увеличивают для проковки соединения [12].

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что качество соединения при контактной точечной сварке, во многом определяется начальными условиями: состоянием свариваемых поверхностей (которые изменяются от партии к партии деталей, окисные пленки, различные поверхностные наслоения), величиной и стабильностью начального контактного сопротивления (которое определяется теплофизическими свойствами свариваемых деталей, макро- и микрогеометрией поверхностей, усилием сжатия электродов, а также их геометрией рабочей поверхности). Для стабилизации начальных условий и дальнейшего тепловыделения наиболее широко применяют подогревающий импульс тока [12]. Это особенно актуально при контактной точечной сварке деталей малых толщин (менее 0,5 мм), где значения первоначальных сопротивлений оказывает наиболее критическое влияние на характеристики соединений.

1.2.1 Особенности контактной точечной сварки тонкостенных деталей

Точечная контактная микросварка является эффективным методом получения неразъемного соединения, деталей толщиной от нескольких микрометров до 0,5 мм. Отличия от сварки толстостенных деталей заключаются в более интенсивном отводе теплоты, выделенной в зоне сварки, в электроды и окружающую среду. Кроме этого, скорости нагрева и охлаждения гораздо выше, а температурные поля более неравномерные из-за малой тепловой инерции свариваемых деталей. В связи с перечисленными

особенностями, контактная точечная сварка деталей малых толщин была изначально выделена в отдельное направление исследований [5], широко развитое к настоящему времени [6].

Основной нагрев происходит в контакте между свариваемыми деталями, а тепловыделение в металле деталей незначительно ввиду их малой толщиной. Помимо этого, скорость охлаждения зоны сварки при точечной микросварке значительно превышает скорость ее нагрева [5].

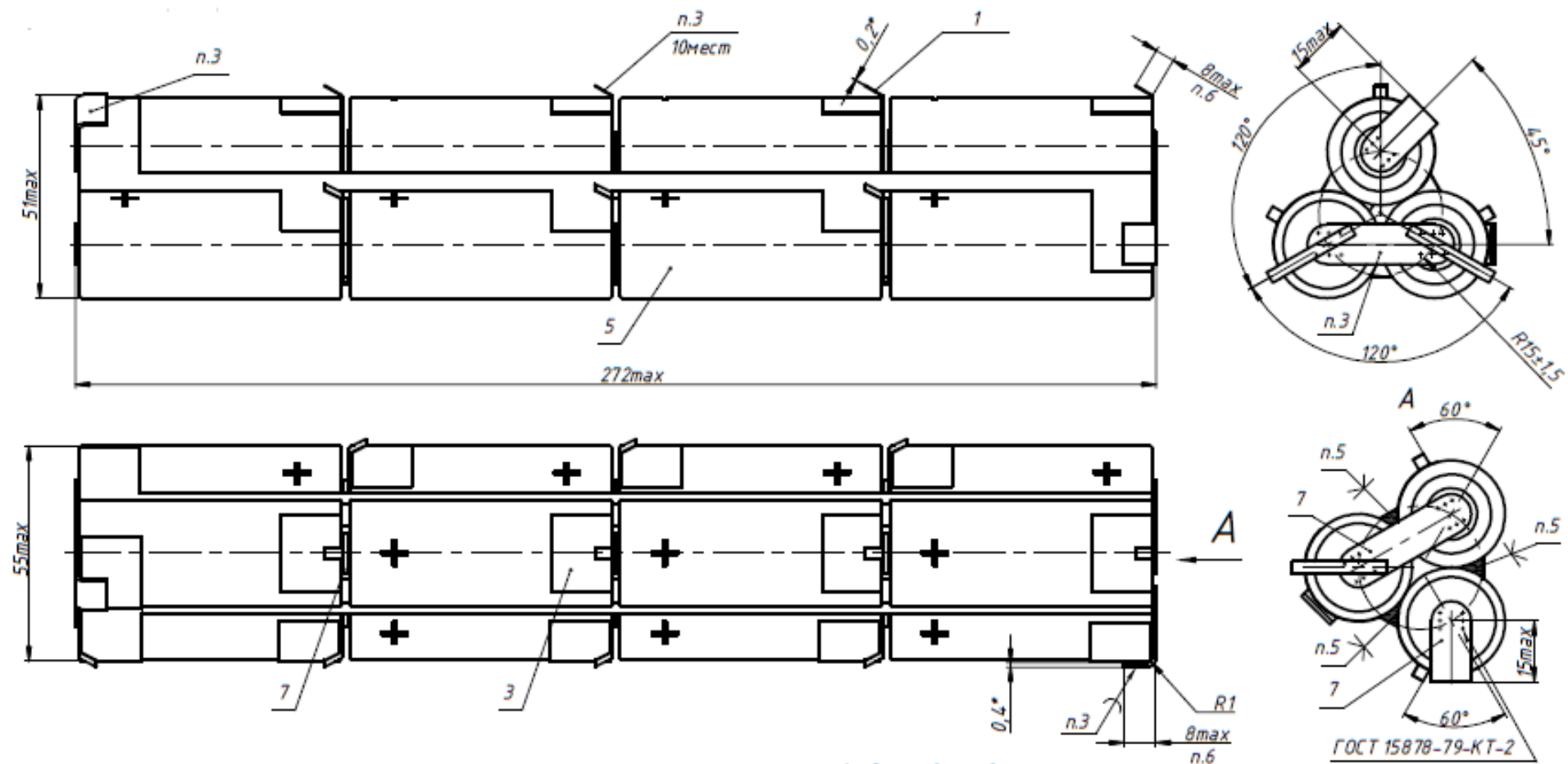
Поверхностные пленки свариваемых деталей в начале процесса точечной микросварки быстро разрушаются за счет теплового пробоя и контактное сопротивление не оказывает дальнейшего влияния на формирование соединения. Однако, анализ экспериментальных данных не позволил установить закономерность между постоянством тока и постоянством контактного сопротивления в зоне деталь-деталь в холодном состоянии, но при этом достоверно известно, что с увеличением разброса значений тока, увеличивается разброс прочностных характеристик соединений [5].

1.2.2 Односторонняя контактная сварка

При сварке литий-ионных аккумуляторных элементов целесообразно применять способ односторонней микроконтактной точечной сварки. При данном способе сварочный ток подводят со стороны одной (верхней) детали. За один цикл сварки получают обычно две точки. Метод обеспечивает высокую производительность, возможность соединения деталей с одной стороны, снижение потребляемой мощности (малая площадь сварочного контура машины), уменьшение коробления деталей (за счет симметричной одновременной приварки деталей) [23].

2 Разработка технологии микроконтактной точечной сварки Li-ion аккумуляторных элементов типоразмера 26650

Батарея состоит из двенадцати аккумуляторных элементов, соединенных между собой последовательно никелированными пластинами путем микроконтактной точечной сварки (рисунок 2). Корпус литий-ионных аккумуляторных элементов (рисунок 3) выполнен из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, толщина стенки корпуса равна 0,25 мм. Для сварки элементов необходимо использовать никелированные пластины толщиной, соразмерной с толщиной корпуса аккумуляторных элементов (рисунок 4).



- 1. * Размеры для справок.
- 2. Работы проводить соблюдая ГОСТ Р МЭК 62485-1-2020.
- 3. Припой SN60Pb39Cu1 (STANNOL, ISO 9453:2014).
- 4. Полнота батарей поз.5 согласно чертежу.
- 5. Полости между батареями заполнить термоклеем "Leader-309".
- 6. Длина выводов шин поз.1 и пластин поз.7 не более указанных на чертеже.

Рисунок 2 – Сборка литий-ионных аккумуляторных элементов



Рисунок 3 – Цилиндрические литий-ионные аккумуляторные элемента типоразмера 26650

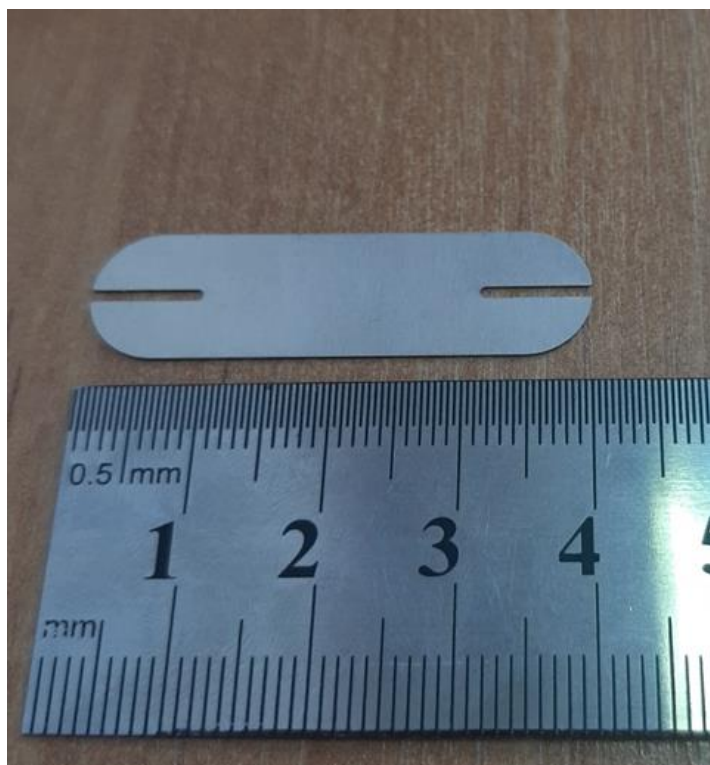


Рисунок 4 – Стальная никелированная пластина шириной 11 мм и толщиной 0,3 мм

2.1 Характеристика стали 12Х18Н10Т

Массовая доля элементов в стали 12Х18Н10Т приведена в таблице 2, теплофизические свойства в таблице 3, механические свойства в таблице 4.

Таблица 2 – Химический состав стали 12Х18Н10Т, % (ГОСТ 5632 – 72) [19]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P	Cu
не более						не более		
0,12	0,80	2,00	17-19	9-11	5С-0,8	0,020	0,035	0,30

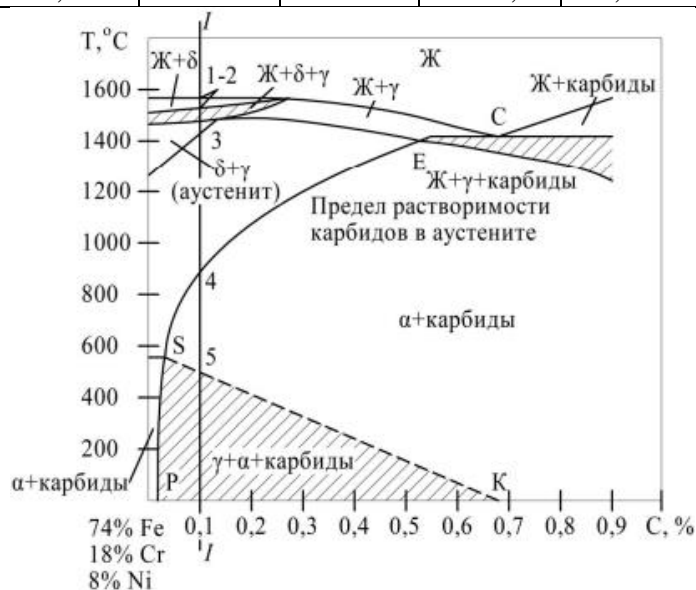


Рисунок 5 – Диаграмма состояния Fe-Cr- Ni-C хромоникелевой стали [20]

Таблица 3 – Теплофизические свойства стали 12Х18Н10Т [19]

Температура, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Коэффициент линейного расширения α , $10^{-6} 1 / ^\circ\text{C}$	–	16,6	17,0	17,2	17,5	17,9	18,2	18,6	18,9	19,3
Теплопроводность λ , Вт/(м · °С)	15,1	16	18	20	21	23	25	26	28	29
Теплоемкость C , Дж / (кг · °С)	465	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Плотность γ , кг/м ³	7900	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Удельное электрическое сопротивление ρ , нОм·м	761	800	865	930	982	1035	1070	1120	1115	1121

Таблица 4 – Механические свойства стали 12Х18Н10Т [19]

Температура испытания, °С	$\delta_{0,2}$	δ_b	δ_5	ψ	КСУ, Дж/см ²
	МПа		%		
20	275	610	41	63	245
300	200	450	31	65	–
400	175	440	31	65	313
500	175	440	29	65	363
600	175	390	25	61	353
700	160	270	26	59	333

Твердость по Бринеллю стали 12Х18Н10Т составляет 179 МПа [19], коэффициент Пуансона в диапазоне температур от 20 до 700 °С равно 0,35 [21], модуль упругости при 20 °С – 20190 МПа [22].

2.2 Подготовка поверхности деталей под сварку

Основной целью подготовки поверхности под контактную точечную сварку является достижение минимального и стабильного сопротивления в сварочном контакте электрод-деталь и стабильного невысокого сопротивления в контакте деталь-деталь [25].

Обезжиривание служит для удаления загрязнений, масла, маскировочной краски протиркой растворителями либо в ваннах различного состава: содовых растворах (для легированных сталей) [25].

Качество подготовки поверхности оценивают визуально: поверхность деталей должна быть матовой или иметь равномерный металлический блеск. Однако в спорных случаях измеряют электросопротивление.

2.3 Выбор параметров режима микроконтактной точечной сварки

Режимом сварки называется совокупность электрических, механических и временных параметров, обеспечиваемых сварочным оборудованием и необходимых для получения качественного сварного соединения.

Существенное влияние на режим сварки оказывают многие физико-химические, теплофизические и механические свойства металлов, тип и параметры кристаллической решетки, величина интервала кристаллизации и температурного интервала хрупкости, свойства оксидных пленок и др.

Удельное электросопротивление ρ_0 во многом определяет сварочный ток.

Чем меньше электросопротивление ρ_0 , тем больше должен быть сварочный ток $I_{св}$.

Коэффициент теплопроводности λ и связанный с ним коэффициент температуропроводности α определяют потери (рассеяние) теплоты в околошовную зону и основной металл. Теплофизические свойства влияют на протяженность околошовной зоны и температуру в контактах. С увеличением теплопроводности λ уменьшают время сварки $t_{св}$, используют более жесткие режимы.

Температура плавления сплава $T_{пл}$ обуславливает затраты теплоты на образование соединения, следовательно, определяет значение сварочного тока $I_{св}$, уровень температуры контакта электрод–деталь, тем самым влияя на интенсивность массопереноса в этом контакте.

С увеличением коэффициента линейного расширения α и условного сопротивления пластической деформации S_0 металла повышается склонность к внутренним вышлескам, возрастает уровень остаточных напряжений. При сварке металлов с большими значениями условного сопротивления пластической деформации S_0 приходится значительно увеличивать сварочное усилие $F_{св}$, применять более мягкий режим.

Интервал кристаллизации и температурный интервал хрупкости (ТИХ) определяют склонность к образованию горячих трещин. Чем шире ТИХ, тем выше склонность к горячим трещинам.

Тип и параметр кристаллической решетки, температура плавления определяют сродство при сварке разнородных сплавов, конечную структуру и свойства металла ядра.

Металлы с ростом температуры в большей или меньшей степени изменяют свои свойства (ρ_0 , λ , α), поэтому нередко вводят предварительный подогрев дополнительным импульсом тока (для повышения ρ_0 , уменьшения λ и α). Это позволяет снизить сварочный ток и облегчить формирование соединений. Электрические и физико-механические свойства поверхностных пленок влияют на тепловыделение в контактах и процессы массопереноса в контактах электрод–деталь.

Исходными данными для выбора режима служат свойства и толщина металла, подготовка его поверхности, возможности сварочного оборудования и требования к качеству. Параметры режима выбирают по таблицам, номограммам, рассчитывают или устанавливают опытным путем. Выбранные или расчетные режимы проверяют и уточняют для конкретных условий [26].

Основные параметры режима микроконтактной точечной сварки:

- сила сварочного тока $I_{св}$;
- усилие сжатия $F_{св}$;
- время импульса $t_{св}$;
- диаметр электрода $d_{эл}$.

Таблица 7 – Оптимальные параметры режима сварки[5]

Усилие на электродах, кг	Сварочный ток, А	Время сварки, мс
10-14	4000-6800	10-20

2.4 Форма, размеры, материал рабочей поверхности электродов

Электроды для различных способов сварки оценивают по стойкости неодинаково. Стойкость электродов для точечной сварки чаще всего оценивают по числу точек до увеличения рабочей поверхности на 20%. При точечной сварке легких сплавов и плакированных сталей стойкость определяют по числу точек до зачистки рабочей поверхности, которая при сварке этих материалов загрязняется значительно быстрее, чем при сварке сталей. [26]

Электроды контактных машин изготавливают из специальных сплавов на медной основе. Они имеют низкое электросопротивление, высокую теплопроводность и жаропрочность, значительную горячую твердость и малую склонность к взаимодействию с металлом детали. [26]

Форма и величина рабочей (контактной) поверхности существенно влияют на размеры и стабильность литого ядра, выбор остальных параметров режима. Форма рабочей поверхности должна соответствовать конфигурации наружной поверхности деталей.

Для микроконтактной точечной сварки аккумуляторных элементов следует применять цилиндрические электроды диаметром 3...5 мм со скошенной плоской рабочей поверхностью, чтобы обеспечить минимальное расстояние между сварными точками[1].

2.5 Выбор источника питания

Источник питания для контактной сварки состоит из силового сварочного трансформатора и переключателей обмотки, с помощью которых можно регулировать вторичное напряжение вторичного сварочного контура, и регулятора циклов сварки. Источник питания должен развивать при сварке требуемую мощность с достаточно высоким КПД без недопустимого нагрева её элементов; иметь соответствующую внешнюю характеристику; обеспечивать безопасность работы.

Для микроконтактной точечной сварки литий-ионных аккумуляторных элементов был выбран отечественный источник питания Импульс-3 бренда ТехноТрон. Характеристики источника питания приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики источника питания Импульс-3

Напряжение питания, В	380
Вид сварочного тока	Постоянный
Амплитуда сварочного тока (регулируемая), А	200...7500
Длительность сварочного импульса (регулируемая)	1...20

3 Проектирование приспособления

На мировом рынке представлено разнообразное оборудование для микроконтактной точечной сварки, но в условиях множественных пакетов санкций со стороны иностранных государств, длительных сроков поставок, издержек и затрат на ремонт приобретенного оборудования в настоящее время наиболее актуальным становится ускорение политики импортозамещения. В связи с этим появляется необходимость разработки отечественного оборудования для сварки Li-ion аккумуляторных элементов.

В качестве механизма подвода электродов для микроконтактной точечной сварки аккумуляторов был выбран шарнирный четырехзвенник – плоский механизм из четырёх звеньев, соединенных между собой вращательными кинематическими парами. Схема механизма приведена на рисунке 6 [27].

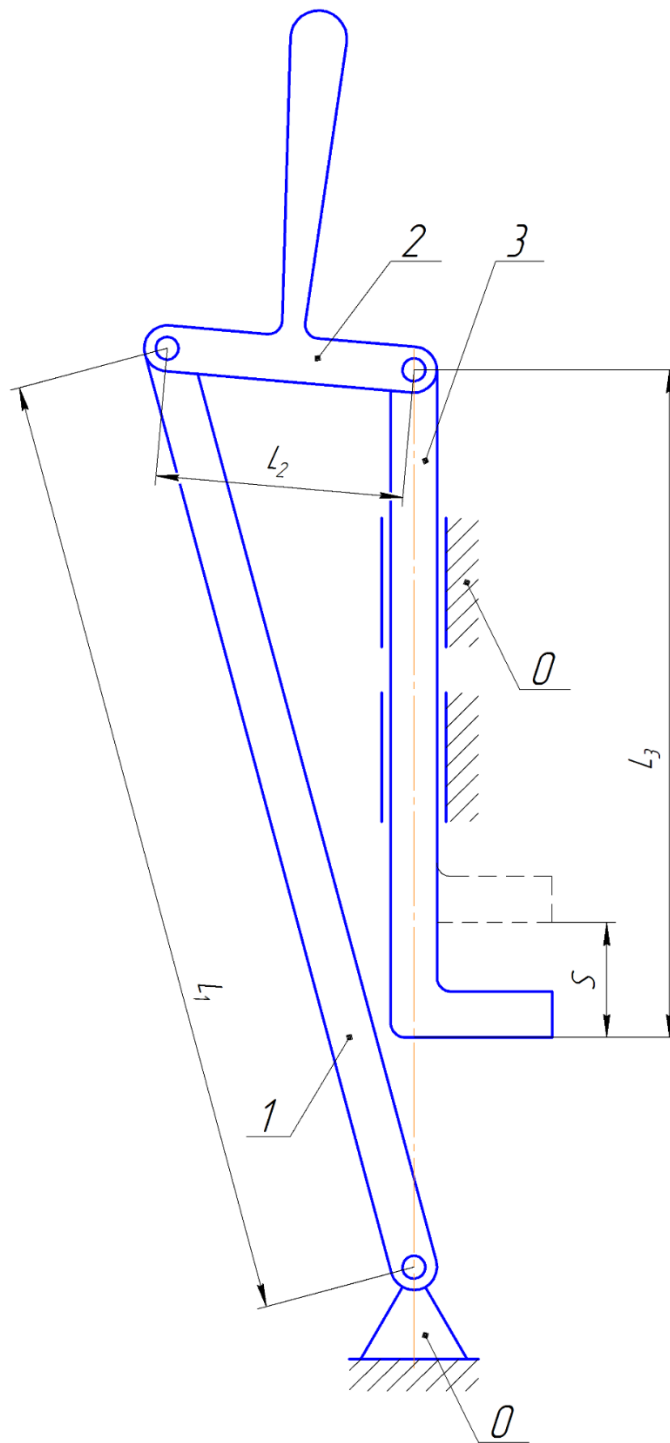


Рисунок 6 – Принципиальная схема приспособления

Данный механизм состоит из следующих звеньев: 0 – стойка; 1 – коромысло; 2– шатун; 3 – ползун. Особенностью схемы является расположение неподвижной оси вращения коромысла 1 на линии, совпадающей с траекторией движения ползуна 3.

Для определения длин звеньев в качестве исходного параметра принят ход S ползуна 3 (рисунок 6). Величина хода S составляет 20 мм. В качестве опоры

ползуна 3 было принято решение использовать опорный модуль с линейным подшипником для полированного вала. Снаружи, в целях обеспечения техники безопасности данный узел закрыт корпусом, который имеет несколько больший габарит, в сравнении с опорным модулем. Таким образом, общая длина ползуна 3 была определена конструктивно по формуле:

$$L_3 = 2 \cdot S + H + \Delta_1 + \Delta_2, \quad (1)$$

где $S = 20$ мм – ход ползуна;

$H = 58$ мм – высота защитного кожуха;

$\Delta_1 = 6,5$ мм – конструктивный зазор между кожухом и ползуном в крайнем положении 1;

$\Delta_2 = 12,5$ мм – конструктивные зазоры между кожухом и ползуном в крайнем положении 2.

Таким образом,

$$L_3 = 2 \cdot 20 + 58 + 6,5 + 12,5 = 117 \text{ мм.}$$

Установим следующие системы координат (рисунок 7): $S(x, y, z)$ – неподвижная система координат; $S_1(x_1, y_1, z_1)$ – подвижная система координат, связанная с коромыслом; $S_2(x_2, y_2, z_2)$ – подвижная система координат, связанная с шатуном.

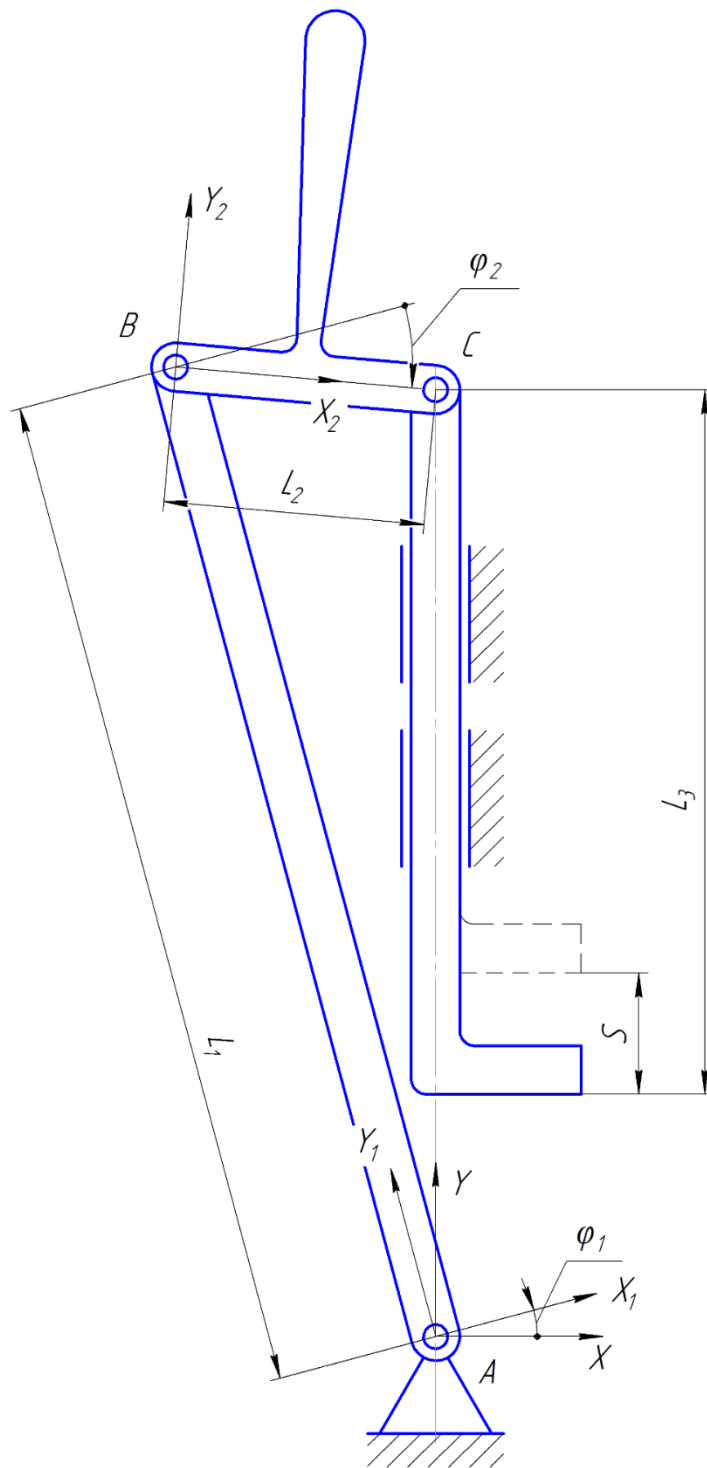


Рисунок 7 – Системы координат

Разомкнем вращательную пару С между шатуном и ползуном, получим две незамкнутые кинематические цепи: первая состоит из звеньев 0, 1, 2 (рисунок 1); вторая – 3, 0.

Координаты точки С для первой цепи

$$\tilde{r} = \tilde{A}_{01}\tilde{A}_{12}\tilde{r}_2 = \tilde{A}_{02}\tilde{r}_2, \quad (2)$$

где $\widetilde{A}_{01}; \widehat{A}_{12}$ – матрицы перехода из систем координат S_1 в систему S_0 и из системы S_2 в S_1 соответственно;

\widetilde{A}_{02} – матрицы перехода из систем координат S_2 в систему S_0 ;

$\widetilde{r}; \widetilde{r}_2$ – значение радиус вектора в системах S в S_2 .

$$\widetilde{A}_{01} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (3)$$

$$\widehat{A}_{12} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & L_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

После перемножения матриц, получим:

$$\widetilde{A}_{02} = \begin{pmatrix} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) & -\sin(\varphi_1 - \varphi_2) & L_2 \cos \varphi_1 \\ \sin(\varphi_1 - \varphi_2) & \cos(\varphi_1 - \varphi_2) & L_2 \sin \varphi_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Радиус вектор:

$$\widetilde{r}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ L_2 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

После перемножения матрицы перехода на радиус вектор получим:

$$x = L_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + L_2 \cos \varphi_1; \quad (7)$$

$$y = L_2 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) + L_2 \sin \varphi_1. \quad (8)$$

В открытой системе уравнение будет иметь вид:

$$x = L_{AC}; \quad (9)$$

$$y = 0. \quad (10)$$

Приравнивая правые части уравнений, получаем:

$$L_{AC} = L_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + L_2 \cos \varphi_1; \quad (11)$$

$$0 = L_2 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) + L_2 \sin \varphi_1. \quad (12)$$

Из первого уравнения находим L_2 :

$$L_2 = \frac{L_{AC}}{\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + \cos \varphi_1}. \quad (13)$$

Значение L_{AC} задается конструктивно исходя из размеров защитного кожуха, угол φ_2 и φ_1 получают также конструктивно, в зависимости от соотношения сторон в треугольнике.

Так как $L_{AC} = 70$ мм; $\varphi_1 = 70^\circ$; $\varphi_2 = 90^\circ$, значит

$$L_2 = \frac{70}{\cos(70 - 90) + \cos 70} = \frac{70}{0,93 + 0,34} = 55 \text{ мм.}$$

На рисунке 8 изображена 3D-модель приспособления, построенная на основании полученных в расчетах длин звеньев.

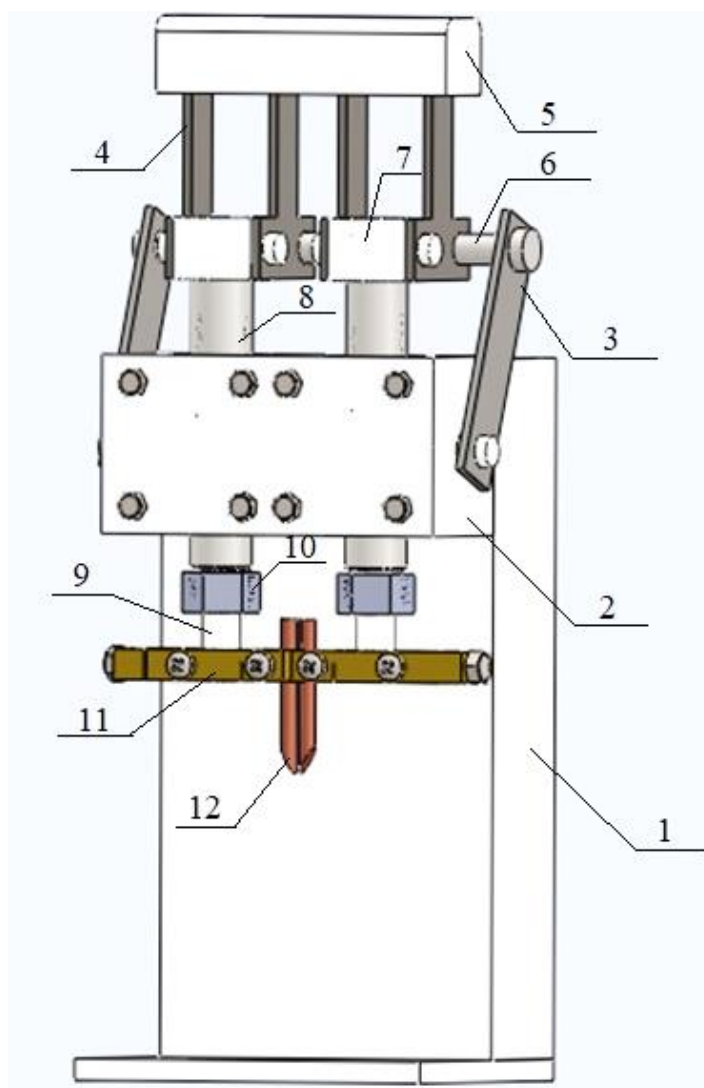


Рисунок 8 – Внешний вид приспособления для микроконтактной точечной сварки (1 – стойка, 2 – кожух, 3 – серьга (2 шт.), 4 – рычаг (4 шт.), 5 – ручка, 6 – ось, 7 – колпачок (2 шт.), 8 – шток (2 шт.), 9 – диэлектрическая втулка (2 шт.), 10 – гайка (2 шт.), 11 – держатель электрода (2 шт.), 12 – электрод)

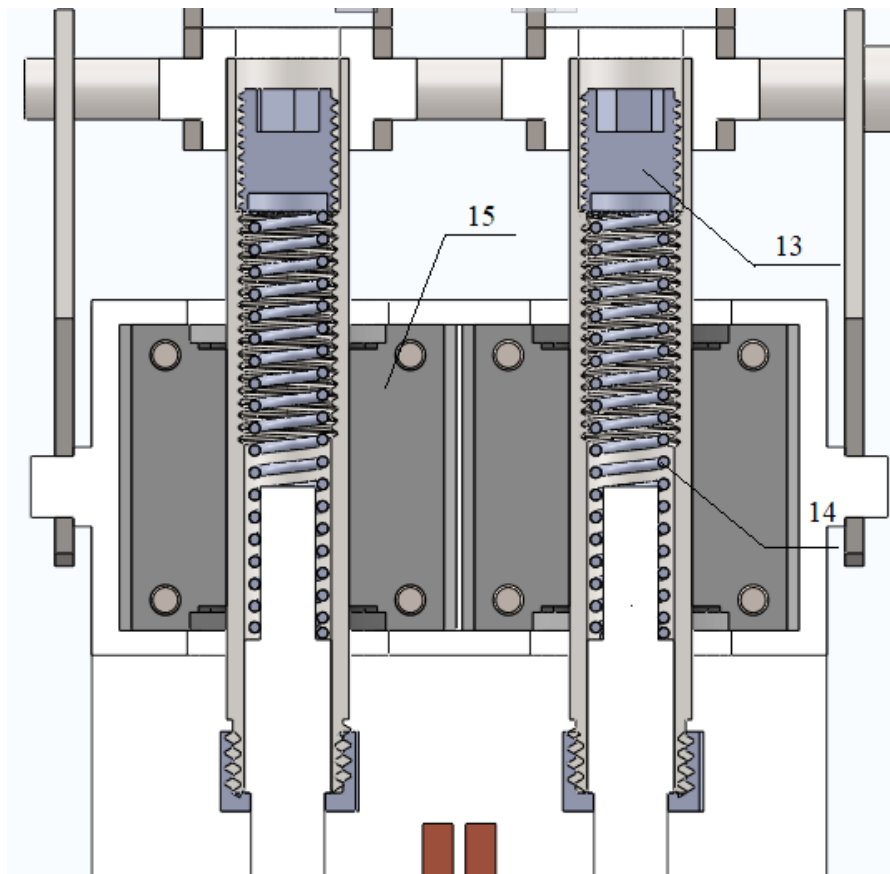


Рисунок 9 – Внутреннее устройство штоков

Нормирование усилия прижатия электродов к детали обеспечивается пружинами 14, установленными внутри штока. Характеристика пружин представлена в таблице 8. За предварительное сжатие пружин отвечают резьбовые втулки 13, установленные так же внутри штока. Шток перемещается поступательно, благодаря линейному подшипнику, установленному в опорном модуле 15 (рисунок 10).

Таблица 8 – Пружина сжатия MPSN2578

Размеры		Силовая характеристика пружины	
d – диаметр проволоки, мм	1,8		
D _{нар} – наружный диаметр, мм	12,9	S ₂ – сжатие при рабочей нагрузке, мм	28
D _{вн} – внутренний диаметр, мм	9,3	F ₂ – рабочая нагрузка, кг	10,81
L ₀ – длина в свободном состоянии, мм	70	S ₃ – сжатие при максимальной нагрузке	34
n – число рабочих витков	18,5	F ₃ – усилие при максимальной нагрузке, кг	13,17



Рисунок 10 – Опорный модуль для полированного вала

3.1 Статический анализ приспособления в SolidWorks Simulation

Основная масса приспособления сосредоточена в стойке (рисунок 8, поз. 1). С целью снижения массы конструкции и материалоемкости был проведен статический анализ с использованием программы SolidWorks Simulation. Результат статического анализа представлени на рисунке 11.

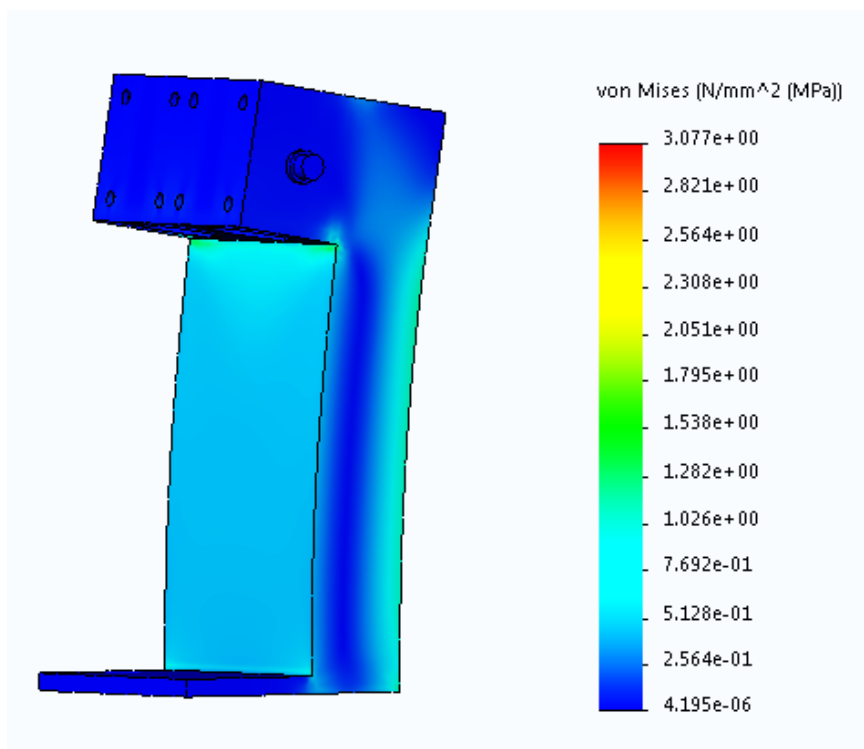


Рисунок 11 – Напряжения конструкции

Исходя из результатов статического анализа, можно сделать вывод, что целесообразно изменить конструкцию стойки и удалить материал, который не испытывает рабочих напряжений.

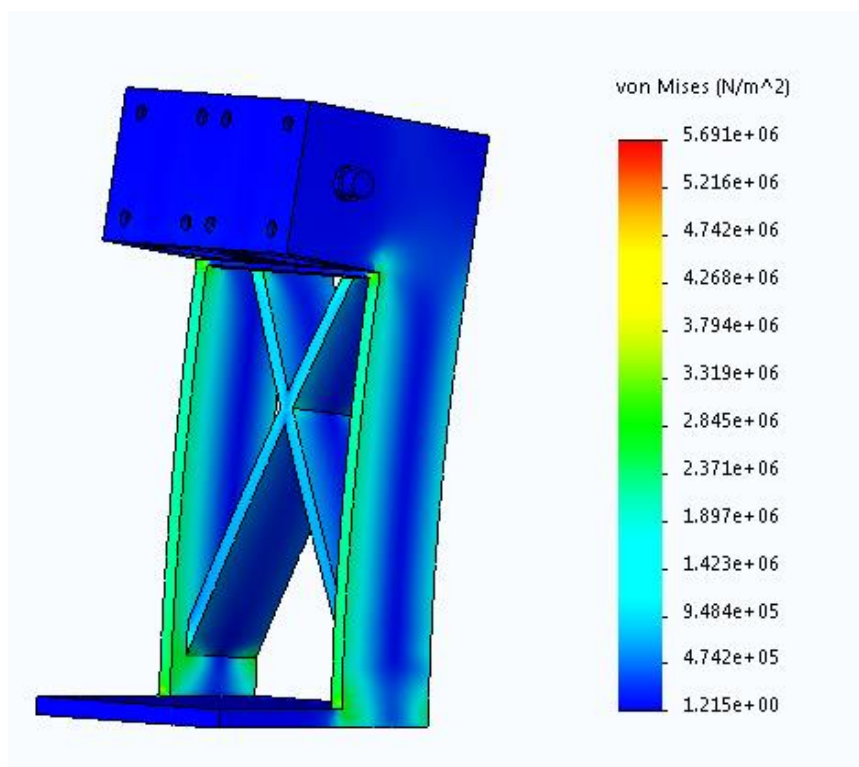


Рисунок 12 – Напряжения стойки

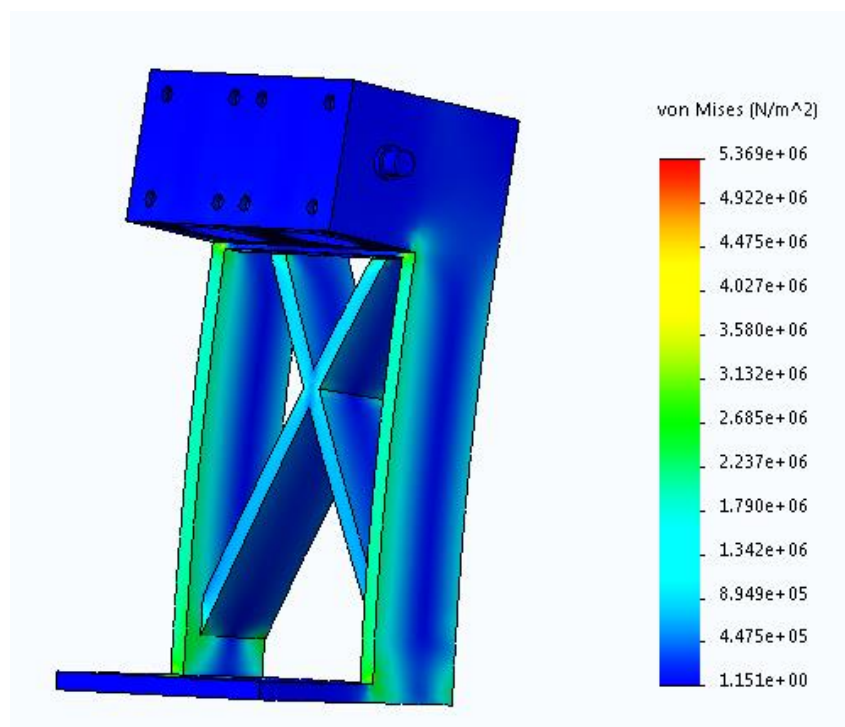


Рисунок 13 – Напряжения стойки после утолщения стенок

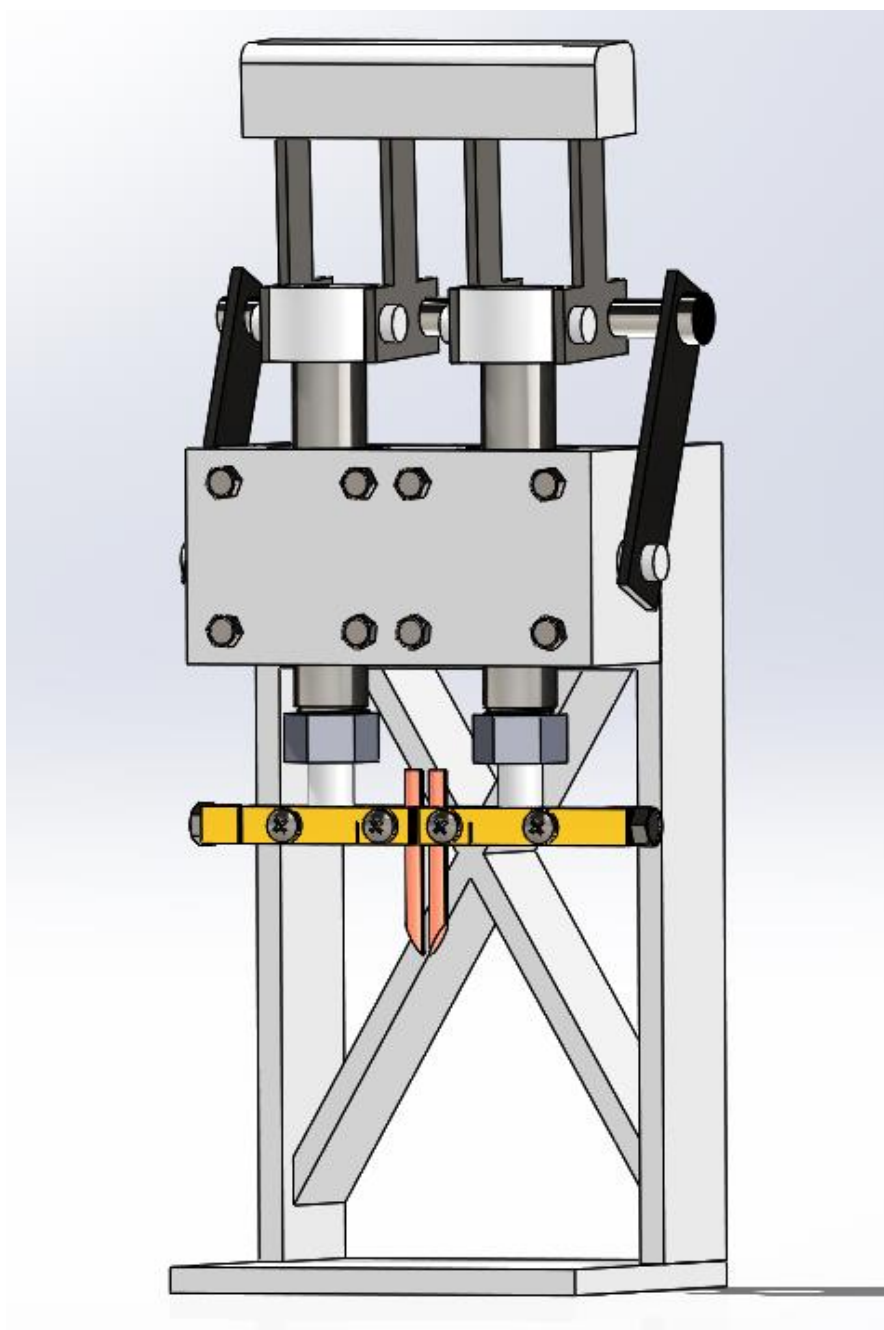


Рисунок 14 – Внешний вид приспособления для микроконтактной точечной сварки

Конструкторская документация на приспособление для микроконтактной точечной сварки представлена в приложении А.

3.2 Сборка аккумуляторов

Сборка аккумуляторов перед сваркой производится при помощи пластиковых кассет (рисунок 15).

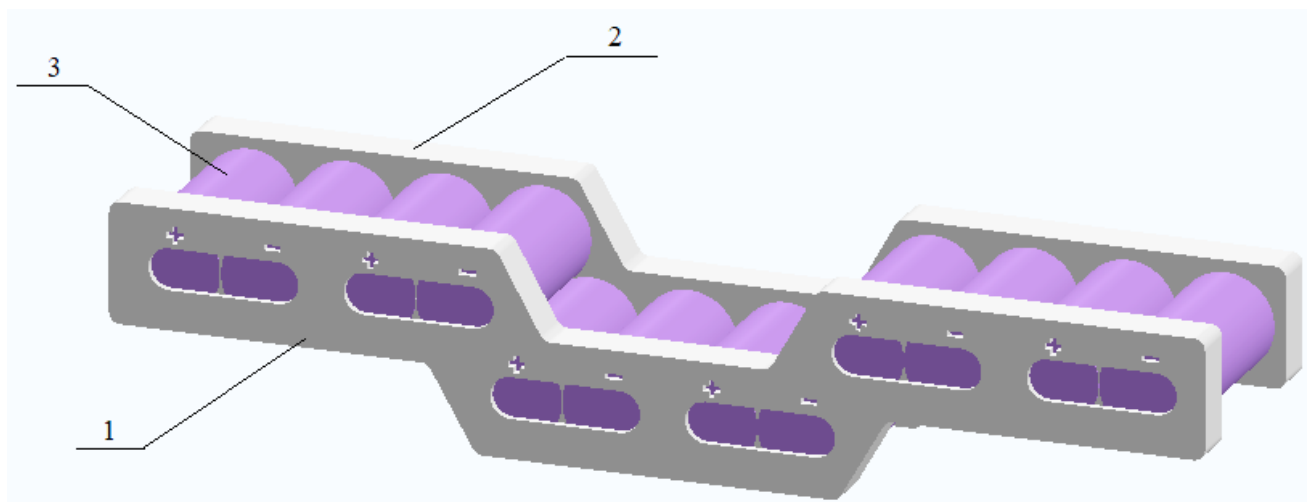


Рисунок 15 – Приспособление для сборки аккумуляторных элементов (1 – верхняя кассета, 2 – нижняя кассета, 3 – аккумуляторный элемент (12 шт.))

Технология сборки и сварки литий-ионных аккумуляторных элементов представлена в приложении Б.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выпускная квалификационная работа на тему «Разработка технологии сварки батареи литий-ионных аккумуляторных элементов типоразмера 26650» выполняется в рамках магистерской диссертации в целях проектирования приспособления сварки аккумуляторных элементов типоразмера 26650

В данном разделе магистерской диссертации выполнено техникоэкономическое обоснование научно-исследовательского проекта. В частности это оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения данного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование и организация научно-исследовательского проекта.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов работы необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. К целевым рынкам, в которых будут применяться результаты данного исследования, можно отнести предприятия, занимающиеся производством электроприводов, ремонтом электротранспорта и робототехники (электровелосипедов, электросамокатов, роботов-пылесосов и т.д.), производством электротранспорта. В этих отраслях возникает необходимость сварки литий-ионных аккумуляторных элементов.

Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. Карта сегментирования приведена в таблице 12.

Таблица 9 – Сегментирование рынка

		Сфера использования		
		Производство энергонакопителей	Производство электротранспорта	Ремонт электротранспорта и робототехники
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят мелкие и средние предприятия. По карте сегментирования видно, что у всей выпускаемой продукции есть свой целевой потребитель, независимо от размера предприятия.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В настоящее время конкурентом разрабатываемой в данной работе технологии контактной точечной сварки является УМК Магистр-02. Приспособления, с помощью которых производят сварку литий-ионных аккумуляторных элементов, соответствует таким критериям, как:

- Повышение производительности труда – увеличение количества продукции, выпущенной работником за единицу времени;
- Удобство и простота эксплуатации – способность продукта быть понимаемым, изучаемым, используемым и привлекательным для пользователя в заданных условиях;
- Степень механизации процесса – достигается посредством возможной максимальной замены ручного труда работой механизмов;

– Наличие квалифицированного персонала – наличие физических лиц, соответствующих квалификационным требованиям для осуществления трудовой функции, необходимой при выполнении соответствующего вида работ;

– Невысокая стоимость в сравнении с другими видами и типами приспособлений для микроконтактной точечной сварки;

– Конкуренентоспособность. Современные тенденции ресурсосбережения диктуют жесткие условия для разработки конструкции оптимальной как с точки зрения надежности, так и с точки зрения экономической эффективности. Данное обстоятельство, в свою очередь, приводит к необходимости все более частого и широкого применения сварки литий-ионных аккумуляторных элементов.

В таблице 10 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкуренентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда	0,2	5	4	1	0,8
2. Удобство и простота эксплуатации	0,2	5	4	1	0,8
3. Степень механизации процесса	0,15	4	4	0,6	0,6
4. Наличие квалифицированного персонала	0,15	3	3	0,45	0,45
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Цена	0,15	5	4	0,75	0,6
2. Конкуренентоспособность	0,15	4	3	0,6	0,45
Итого	1	26	22		

Примечание

Б_ф – Приспособление, разрабатываемое в ходе НИ;

Б_{к1} – УМК Магистр-02.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с

учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации [21].

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (14)$$

где: К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

По результатам расчета видно, что предложенная разработка конкурентоспособна по сравнению с имеющимися на рынке. Наибольшие преимущества наблюдаются в сфере повышения производительности труда, удобства эксплуатации, цены и конкурентоспособности.

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [21].

SWOT-анализ используется для определения слабых и сильных сторон проекта, таблица 11.

Таблица 11 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Возможности
<p>С1. Более высокая производительность, по сравнению с применяемыми способами микросварки.</p> <p>С2. Удобство в эксплуатации.</p> <p>С3. Заявленная энергоэффективность технологии.</p> <p>С4. Наличие квалифицированного персонала.</p>	<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Организационная поддержка проекта со стороны производителей аккумуляторных сборок.</p> <p>В3. Получение качественных сварных соединений.</p>

Продолжение таблицы 11

Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1.Сложности финансирования в дальнейшем для реализации проекта.</p> <p>Сл2. Отсутствие рекомендации и литературы для точного подбора параметров режима сварки.</p> <p>Сл3.Большой срок поставок материалов, используемых в проводимом исследовании.</p>	<p>У1. Появление новых технологий.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора.. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 12 и таблице 13.

Таблица 12 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны				Слабые стороны			
		С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	-	-	-
	В2	+	+	0	0	+	+	+
	В3	+	+	-	+	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможностей: В1С1С2С3С4; В2С1С2; В3С1С2С4; слабых сторон и возможностей: В2Сл1Сл2Сл3; В3Сл1Сл2.

Таблица 13 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны				Слабые стороны			
		С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У1	+	0	+	0	+	+	-
	У2	-	-	0	0	+	0	-
	У3	-	-	-	-	+	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С1С3; слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2; У2Сл1; У3Сл1.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в таблице 14.

Таблица 14 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Более высокая производительность, по сравнению с применяемыми способами микросварки.</p> <p>С2. Удобство в эксплуатации.</p> <p>С3. Заявленная энергоэффективность технологии.</p> <p>С4. Наличие квалифицированного персонала.</p>	<p>Сл1. Сложности финансирования в дальнейшем для реализации проекта.</p> <p>Сл2. Отсутствие рекомендации и литературы для точного подбора параметров режима сварки.</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов, используемых в проводимом исследовании.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Организационная поддержка проекта со стороны производителей аккумуляторных сборок.</p> <p>В3. Получение качественных сварных соединений.</p>	<p>Высокая производительность технологии, удобство в эксплуатации и энергоэффективность позволит привлечь инновационную инфраструктуру ТПУ в дальнейших исследованиях, а также организационную поддержку со стороны производителей аккумуляторных сборок</p>	<p>Сложности финансирования и большой срок поставки материалов необходимые для реализации проекта может привести к отказу в поддержке проекта со стороны производителей элементов ТВС для ядерных реакторов. Отсутствие рекомендации и необходимой литературы для точного подбора параметров режима сварки ведет к снижению качества сварных соединений.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых технологий.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>Появление новых технологий может привести к утрате энергоэффективности и снижению сравнительной производительности данной технологий.</p>	<p>Несвоевременное финансовое обеспечение исследования увеличивает срок разработки окончательного варианта технологии.</p>

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Прежде чем начать работу над проектом, необходимо провести планирование этапов работы, обозначив при этом занятость каждого из участников, а также привести сроки выполнения каждого этапа. Структура работ и распределение занятости исполнителей приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Инженер
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Руководитель, инженер
	10	Вывод по цели	

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоёмкость выполнения исследования оценивается экспертным путём в силу вероятностного характера величины. За единицу измерения трудоёмкости принимаются человеко-дни. Ожидаемая трудоёмкость рассчитывается по формуле [27]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} \cdot 2t_{\max\ i}}{5} \quad (15)$$

где: $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы человеко-дней;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человеко-дней;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человеко-дней.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ож i}}{ч_i}, \quad (16)$$

где T_{Pi} – продолжительность одной работы, рабочих дней;

$t_{ож i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дней;

$ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{Pi} \cdot k_{кал}, \quad (17)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{Pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (18)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,47.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (таблица 16). После заполнения таблицы 19 строим календарный план-график (таблица 17).

График строится для максимального по длительности исполнения работ, в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 16 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работы			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в рабочих дня T_{ki}
	t_{min} , человеко-дни	t_{max} , человеко-дни	$t_{ож}$, человеко-дни			
Составление и утверждение темы проекта	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Анализ актуальности темы	1	3	1,8	Руководитель–инженер	1	2
Поиск и изучение материала по теме	1	5	2,6	Инженер-руководитель	1	2
Выбор направления исследований	1	3	1,4	Руководитель	1	2
Календарное планирование работ	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Изучение литературы по теме	7	14	9,8	Инженер	10	15
Подбор нормативных документов	5	8	6,2	Инженер -руководитель	3	5
Изучение результатов	1	2	1,4	Инженер	2	3
Проведение расчётов по теме	5	8	6,2	Инженер	7	10
Анализ результатов	1	4	2,2	Инженер -руководитель	2	3
Вывод по цели	1	4	2,2	Инженер	3	4

Таблица 17 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кол-во дней	Продолжительность выполнения работ										
				Март			Апрель			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение проекта	Руководитель	3	■										
2	Анализ актуальности темы	Руководитель – инженер	2	■	▨									
3	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель	2		▨									
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2		▨									
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3		▨									
6	Изучение литературы по теме	Инженер	15			■								
7	Подбор нормативных документов	Инженер - руководитель	5				■	▨						
8	Изучение установки	Инженер	6					■						
9	Моделирование установки	Инженер	3						■					
10	Изучение результатов	Инженер	3								■			
11	Проведение расчётов по теме	Инженер	10								■			
12	Анализ результатов	Инженер - руководитель	2								■	▨		
13	Вывод по цели	Инженер	1										■	

■ – Инженер; ▨ – Руководитель

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ обеспечиваем полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используем следующие группировки по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы;
- формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Таблица 18 – Группировка затрат по статьям

Статьи						
№	Сырье, материалы, покупные изделия и покупные полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы
1	Никелированные пластины толщиной 0,25мм	Источник питания для сварочного комплекса	Руководитель	Руководитель	Руководитель	Печать и ксерокопирование материалов исследования
2	Li-ion аккумуляторы типоразмера 26650	Контактная машина МТТ-02	Инженер	Инженер	Инженер	Оплата услуг связи
3	Электроды из сплава БрХЦр	Цифровой осциллограф RIGOL MSO 1074				Оплата электроэнергии
4	Ножницы по металлу					
5	Бумага					
6	ПК					
7	USB флеш-диск					
Итого руб.:	85135	2981300	295244,72	34829,36	68501,18	97522,22
Плановая себестоимость	Σ 3 562 532,48					

Расчет стоимости материальных затрат производилось по действующим прейскурантам и договорным ценам. В стоимость материальных затрат включили транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены).

Результаты по данной статье представлены в таблице 19. В статью специальное оборудование для экспериментальных работ включили все затраты связанные с приобретением специального оборудования. Определение стоимости спецоборудования производили по действующим прейскурантам, а также учли доставку и монтаж в размере 15 % от его цены. Результаты по данной статье представлены в таблице 20.

Таблица 19 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Никелированные пластины толщиной 0,25мм	кг	1	30240	30240
Li-ion аккумуляторы типоразмера 26650	кг	5	315	1575
Электроды из сплава БрХЦр	комплект	1	210	210
Ножницы по металлу	штука	1	270	270
Бумага	пачка	3	270	810
USB флеш-диск	штука	1	1500	1500
Итого по статье				34605

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Источник питания для сварочного комплекса «Импульс – 3»	1	2645	2645
2	Контактная машина МТТ-02	1	276	276
3	Цифровой осциллограф RIGOL MSO 1074	1	39,3	39,3
4	ПК	1	52	52
Итого по статье				3012,3

На оборудование, стоимостью выше 40 тыс. руб. следует рассчитать амортизацию.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (19)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot T_{\text{оби}}, \quad (20)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

$T_{\text{оби}}$ – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для источника питания, контактной машины и ПК с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = 0,1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений для источника питания находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot T_{\text{оби}} = \frac{0,1 \cdot 2645}{12} \cdot 5 = 110,2 \text{ тыс. руб.}$$

Амортизационные отчисления для контактной машины:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot T_{оби} = \frac{0,1 \cdot 276}{12} \cdot 5 = 11,5 \text{ тыс. руб.}$$

Амортизационные отчисления для ПК:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot T_{оби} = \frac{0,1 \cdot 52}{12} \cdot 5 = 2,2 \text{ тыс. руб.}$$

Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и магистра (инженера), а также премии, входящие в фонд заработной платы.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (21)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p \quad (22)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 23);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_o} \quad (23)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{окл} \cdot k_p \quad (24)$$

где $Z_{окл}$ – оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Научный руководитель имеет должность доцента и степень кандидата технических наук, его оклад составляет 35 111,5 руб. Оклад инженера составил 22 695,68 руб.

Полученные значения при расчетах представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{окл}$, руб.	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	35 111,5	1.3	45 644,95	19 53,52	11	21 488,72
Инженер	22 695,68		29 504,38	1 481,83	70	103 728,1
Итого $Z_{осн}$						125 216,82

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (25)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	к _{доп}	З _{осн} , руб	З _{доп} , руб
Научный руководитель	0,12	21 488,72	2 578,64
Инженер		103 728,1	12 447,37
Итого			15 026,01

Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (26)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2022 году, водится пониженная ставка – 30%.

Таблица 22 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	21 488,72	103728,1
Дополнительная заработная плата, руб.	2 578,64	12447,37
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Сумма отчислений	7 220,20	43 565,8
Итого	50 786	

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = \left(\sum \text{статей} \right) \cdot k_{нр}, \quad (27)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны:

$$Z_{\text{накл}} = 349530 \cdot 0,16 = 559248.$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научного исследования по форме, приведенной в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.
1. Материальные затраты НИИ	34,6
2. Затраты на амортизацию оборудования.	123,9
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	125,2
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15,03
5. Отчисления во внебюджетные фонды	50,8
6. Накладные расходы	55,9
7. Бюджет затрат НИИ	405,5

4.5 Выводы по разделу

Для достижения главной цели раздела решались такие важные задачи, как:

1) оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований проводился с помощью рассмотрения целевого рынка и его сегментирования. На основе SWOT-анализа были выявлены сильные стороны и возможности проекта, а также слабые стороны и угрозы. Для извлечения дополнительных преимуществ необходимо дальнейшее развитие технологии;

2) при планировании научно-исследовательских работ было определено общее содержание работы, тему проекта, структуру работы, работу каждого участника, продолжительность работ;

3) при планировании бюджета было обеспечено полное отражение всех видов возможных расходов, необходимых для его выполнения,.

При итоговом анализе раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», можно сделать вывод, что разработанное приспособление для сварки Li-ion аккумуляторных элементов достаточно конкурентоспособно и эффективно. Оно обеспечивает высокую производительность, безопасность и экологичность, а также высокое качество сварных швов. Исследования являются актуальными и, при наличии квалифицированных специалистов у потенциальных потребителей, технология может внедриться в производство. Однако, при несвоевременном финансовом обеспечении научного исследования, возможно затруднение дальнейших работ, что может привести к задержке выхода в производство.

5 Социальная ответственность

В данном разделе магистерской диссертации проанализированы основные аспекты социальной ответственности, необходимые в ходе исследования (экологические возможные негативные последствия и ущерб здоровью человека и окружающей среде, чрезвычайные ситуации, правовые нормы и др.).

Работа выполнялась на базе НИ ТПУ. Исследование проводилось с использованием компьютера и источника питания микроконтактной сварки. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. В связи, с чем необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать в процессе контактной точечной сварки стали 12Х18Н10Т.

5.1.1.1 Несоответствие освещенности рабочей зоны нормируемым значениям

Нехватка естественного света оказывает пагубное влияние на нервную систему человека, что может привести к психическим заболеваниям. В темных помещениях человек испытывает усталость и сонливость, так как организм стремится уйти в сон. Также недостаточная освещенность ведет к развитию близорукости и дальнозоркости.

Основные требования и значения нормируемой освещенности рабочих поверхностей изложены в СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". Выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объема различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона.

Таблица 24 – Требования к освещению рабочего места

Помещения	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
	Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО, e_H , %			
	при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
	все-го	в том числе от общего		P	$K_{п}$, %				
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	400	200	300	21	15	3,0	1,0	1,8	0,6

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, который учитывает световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 8$ м, ширина $B = 5$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,8$ м. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы. Коэффициент отражения стен с окнами без жалюзи $R_c = 50$ %, потолка $R_{\pi} = 70$ %. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с средним выделением пыли равен $K_z = 1,8$, коэффициент неравномерности $Z=1,1$ [1].

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Площадь помещения:

$$S = A \times B \quad (28)$$

где, A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 8 \times 5 = 40\text{м}^2$$

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2200$ Лм.

Выбираем светильник типа ОД-2-40, так как кабинет является нормальным помещением с хорошим отражением потолка и стен с умеренной влажностью и запылённостью, $\lambda = 1,4$. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266 мм. Принимаем высоту подвеса светильника от уровня потолка $h_c = 0,2$ м.

Высота подвеса светильника над расчетной поверхностью:

$$h = h_{\pi} - h_{\text{рп}}, \quad (29)$$

где h – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью;

$h_{\text{рп}}$ – высота рабочей поверхности над полом (0,8м);

h_{π} – высота светильника над полом, высота подвеса.

$$h_{\text{п}} = H - h_{\text{с}}, \quad (30)$$

где H – наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОД (3,5м);

$h_{\text{с}}$ – расстояние светильников от перекрытия, свес (0,2м).

$$h_{\text{п}} = 3,5 - 0,2 = 3,3 \text{ м.}$$

$$h = 3,3 - 0,8 = 2,5 \text{ м.}$$

Расстояние между рядами светильников находится, используя соотношение :

$$L = \lambda \cdot h, \quad (31)$$

$$L = 1,4 \cdot 2,5 = 3,5 \text{ м.}$$

Количество рядов светильников при заданной ширине помещения $A = 5\text{м}$:

$$n = \frac{A}{L} \quad (32)$$

$$n = \frac{5}{3,5} = 1,43$$

Полученное значение n округляется в большую сторону – 2 ряда.

Число светильников в одном ряду :

$$N_p = (B - 2l) / l_{\text{св}} \quad (33)$$

где: $l_{\text{св}}$ – длина светильника, для светильника типа ОД-2-40 $l_{\text{св}} = 1,23 \text{ м}$

$$N_p = \frac{8 - 2 \cdot 1,23}{1,23} = 4,5$$

Округляем значение светильников в ряду до четырех.

Таким образом общее количество светильников будет равно:

$$N_{\text{св}} = N_p \cdot n \quad (34)$$

$$N = 4 \cdot 2 = 8$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить четыре светильника типа ОД мощностью 40 Вт с габаритными размерами 1230x266x158мм, при этом разрывы между светильниками в ряду составят

(50...500) мм. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 8 \cdot 2 = 16$.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} \quad (35)$$
$$i = \frac{40}{2,5 \cdot (5 + 8)} = 1,23$$

Расчетным уравнением метода коэффициента использования светового потока является формула:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (36)$$

где, η – коэффициент использования светового потока для данной формулы $\eta = 0,52$, E_n – нормируемая минимальная освещённость, лк [6]

$$\Phi = \frac{200 \cdot 40 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,52} = 1904 \text{ лк.}$$

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{ст}}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (37)$$

Подставим значения, для определения мощности осветительной установки:

$$-10\% \leq \frac{2200 - 1904}{1904} \cdot 100\% \leq 20\%$$
$$-10\% \leq 15,5\% \leq 20\%$$

Таким образом, необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона.

Потребляемая мощность осветительной установки составит:

$$P = N \cdot P_{\text{1лампы}} \quad (38)$$
$$P = 16 \cdot 40 = 640 \text{ Вт}$$

Выбранная система освещения обеспечивает требуемую освещенность рабочего места, согласно проведенным расчётам.

Для схематического изображения размещения светильников необходимо рассчитать расстояние вдоль стен и от торца помещения:

$$L = N \cdot a \cdot L_1 + 2/3 \cdot L_1 + N \cdot L_1 \quad (39)$$

Соответственно расстояние между лампами от стены длиной 8м L_1 , а от стены длиной 5м L_2 . Согласно [28] равномерность освещения обеспечивается расстоянием от крайних светильников до стенок = $L/3$.

Составим уравнение с 1 неизвестной:

$$5000 = L_1 + 2/3 \cdot L_1 + 2 \cdot 266$$

$$8000 = 3 \cdot L_2 + 2/3 \cdot L_2 + 4 \cdot 1230$$

Преобразуем уравнения для нахождения L_1 и L_2 .

$$L_1 = \frac{5000 - 2 \cdot 266}{1 + 2/3} = 2680,8 \approx 2680 \text{ мм}$$

$$L_2 = \frac{8000 - 4 \cdot 1230}{3 + 2/3} = 840 \text{ мм}$$

Тогда расстояние от края стенок будет равно:

$$\frac{L_1}{3} = \frac{2680}{3} = 893,3 \approx 894 \text{ мм}$$

$$\frac{L_2}{3} = \frac{840}{3} = 280 \text{ мм}$$

Размещаем светильники в 2 ряда по 4 светильника. На рисунке 16 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

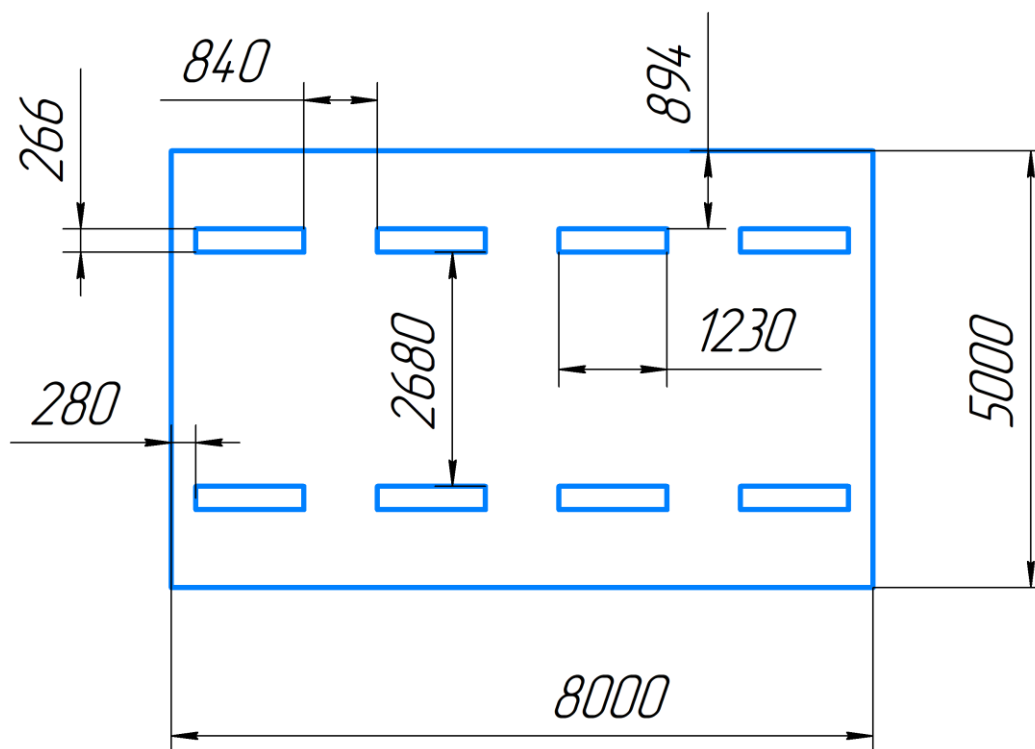


Рисунок 16 – План размещения светильников в кабинете

5.1.1.2 Отклонение параметров микроклимата в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Согласно [28], показателями, характеризующими микроклимат, являются: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения.

Влияние микроклимата на самочувствие человека значимо и существенно, а переносимость температуры во многом зависит от скорости движения и влажности окружающего воздуха - чем выше показатель относительной влажности, тем быстрее наступает перегрев организма. Недостаточная влажность, в свою очередь, может негативно отражаться на организме, становясь причиной пересыхания и растрескивания кожи и

слизистой, а также последующего заражения болезнетворными микроорганизмами. Длительное воздействие высокой температуры при повышенной влажности может привести к гипертермии, или накоплению теплоты и перегреву организма, а пониженные показатели температуры, особенно при повышенной влажности воздуха, могут быть причиной гипотермии, или переохлаждения.

Необходимые условия микроклимата различаются для теплого и холодного времени года. Они делятся на оптимальные, обеспечивающие полный тепловой комфорт, и допустимые, которые могут приводить к некоторому дискомфорту, но находятся в пределах адаптивных возможностей человека. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в Вт.

Экспериментальная часть ВКР проводилась в лабораторных условиях, по энергозатратам ее следует отнести к категории Iб – работа легкая физическая, производимая сидя или связанная с ходьбой, но не требующая систематического физического напряжения или поднятия и переноса тяжестей. Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28		<0.5

Для поддержания требуемых параметров микроклимата в рабочей зоне применяют механизацию и автоматизацию технологических процессов, защиту от источников теплового излучения, устройство систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия, направленные на нормализацию теплового состояния организма работающего (спецодежда, средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха с нормируемыми показателями микроклимата, регламентацией времени непрерывного пребывания в неблагоприятном микроклимате).

5.1.1.3 Повышенный шум на рабочем месте

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца.

Уровень шума не должен превышать 82 дБА, установленных в ГОСТ 12.1.003 – 83, и их проверка должна проводиться не реже двух раз в год. Реальный шум на рабочем месте составляет 50 дБА [28].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

1. Устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. Изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);

3. Применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты;

1. Применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

5.1.1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение приводит к биохимическим изменениям, происходящих в клетках и тканях человека. Особое воздействие оказывается на нервную и сердечно-сосудистую систему человека. Так же возможны отклонения со стороны эндокринной системы человека. Это влияет на общее состояние человека, повышается возбудимость нервной системы, проявляется эмоциональная неустойчивость [1].

Источники электромагнитного излучения на рабочем месте:

1. Видеодисплейный терминал — монитор персонального компьютера. Это основной источник электромагнитных полей (ЭМП) в широком диапазоне частот. Он также является источником электростатического поля.

2. Системный блок персонального компьютера.

3. Электрооборудование (электропроводка, сетевые фильтры, источники бесперебойного питания)

4. Различные периферийные устройства (принтеры, факсы и пр.).

Для большинства типов оборудования контактной сварки сварочный ток равен вторичному току сварочного трансформатора. В связи с этим основным источником магнитного поля при контактной сварке является вторичная цепь сварочного трансформатора контактной машины. Помимо этого, в процессе контактной сварки применяются большие значения тока (могут достигать до 100 кА), что в свою очередь тоже создает магнитные поля.

В таблице 25 приведены допустимые уровни напряженности магнитных полей частотой 50 Гц в зависимости от генерации.

Таблица 25 – Допустимые уровни напряженности магнитных полей частотой 50 Гц в зависимости от генерации

Время воздействия, ч	Напряженность МП, А/м		
	непрерывных и прерывистых с $\tau \geq$ 0,02с; $t_{п} \leq 2$ с	прерывистых с $60с \geq \tau \geq 1с$; $t_{п} > 2$ с	прерывистых с 0,02с $\leq \tau < 1с$; $t_{п} > 2$ с
$\leq 1,0$	6000	8000	10000
$\leq 1,5$	5500	7500	9500
$\leq 2,0$	4900	6900	8900
$\leq 2,5$	4500	6500	8500
$\leq 3,0$	4000	6000	8000
$\leq 3,5$	3600	5600	7600
$\leq 4,0$	3200	5200	7200
$\leq 4,5$	2900	4900	6900
$\leq 5,0$	2500	4500	6500
$\leq 5,5$	2300	4300	6300
$\leq 6,0$	2000	4000	6000
$\leq 6,5$	1800	3800	5800
$\leq 7,0$	1600	3600	5600
$\leq 7,5$	1500	3500	5500
$\leq 8,0$	1400	3400	5400

Примечание – τ и $t_{п}$ длительность импульса и паузы между импульсами, с

Результаты работы оформлялись при помощи персонального компьютера. Оценка величины уровней ЭМП, проведенная по паспортным данным компьютера и монитора, показала их соответствие нормам ТСО–03 и СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".

Таблица 26 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПК

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Предельно допустимые уровни воздействия ЭМИ на человека составляют [СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96]:

- при напряженности электромагнитного поля 10 мкВт/см^2 – время контакта 8 час;
- при напряженности электромагнитного поля $10\text{-}100 \text{ мкВт/см}^2$ – время контакта не более 2 часов;
- при напряженности электромагнитного поля $100\text{-}1000 \text{ мкВт/см}^2$ время контакта не более 20 минут;

Предельно допустимая норма электромагнитного излучения для населения – 1 мкВт/см^2 .

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

1. Средства коллективной защиты:
 - защита временем;
 - защита расстоянием;
 - снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
 - экранирование источника;

- защита рабочего места от излучения.
2. Средства индивидуальной защиты:
- очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154. Экранирование источников излучения рекомендуется проводить при помощи замкнутых камер из листового металла или мелкой металлической сетки.

5.1.1.5 Отклонение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наиболее характерным вредным фактором практически для всех способов дуговой, электрошлаковой, газовой и в том числе контактной сварки является образование и поступление в воздух рабочей зоны сварочных аэрозолей, содержащие токсичные вещества. Причиной образования сварочных аэрозолей и вредных веществ в процессе контактной точечной сварки могут быть наличие масла и антикоррозионного покрытия (Zn, Cd, Cr) на поверхности свариваемых деталей. Помимо этого, при сварке деталей из цветных металлов и в процессе применения медных электродов характерной для точечной сварки, также выделяются вредные вещества.

Токсичные включения, входящие в состав сварочного аэрозоля, и вредные газы при их попадании в организм человека через дыхательные пути могут оказывать на него неблагоприятное воздействие и вызывать ряд профзаболеваний (пневмокониоз, развития фиброзных изменений в легких).

Мелкие частицы пыли (от 2 до 5 мкм), проникающие глубоко в дыхательные пути, представляют наибольшую опасность для здоровья, пылинки размером до 10 мкм и более задерживаются в бронхах, также вызывая их заболевания.

В процессе контактной точечной сварки нержавеющей стали 12Х18Н10Т и с учетом применения электродов из сплава на основе меди (БрХЦр) могут выделяться следующие вредные вещества в воздухе рабочей зоны после сварочного нагрева в твердой фазе: оксид железа, оксид хрома и медь.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) этих вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в таблице .

Таблица 27 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности
Железа оксид с примесью оксидов марганца (до 3 %)	6	А	IV
Хрома оксид	1	А	III
Медь металлическая	1/0,5	А	II

Примечание

1 ПДК для атмосферного воздуха, указанные в числителе, являются максимально разовыми, а в знаменателе и без дроби среднесуточными.

2 П - пары и/или газы, А – аэрозоли.

5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

В данном подразделе описываются различного рода опасные факторы, к которым можно отнести следующие:

- механические опасности;
- электробезопасность;
- пожаровзрывобезопасность.

Далее рассмотрим более подробно каждый из описанных выше факторов.

5.1.2.1 Электробезопасность

Электробезопасность является опасным фактором и обычно она связана со следующими источниками:

- поражение электрическим током;
- статическое электричество;

Электроустановки, а также и их части должны быть выполнены так, чтобы работающие не подвергались воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Основные причины поражения электрическим током:

- 1) прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- 2) прикосновение к нетоковедущим, но токопроводящим частям, оказавшимся под напряжением из-за неисправности изоляции или защитных устройств;
- 3) попадание под шаговое напряжение;
- 4) нарушение правил технической эксплуатации электроустановок.
- 5) механическое повреждение, старение, износ изоляции
- 6) преднамеренная порча изоляции
- 7) отсутствие или нарушение заземления, зануления
- 8) невыполнение организационных мероприятий, низкая квалификация, необученность персонала
- 9) отсутствие блокировок, ограждающих устройств, предупредительной сигнализации, надписей, плакатов, знаков безопасности
- 10) отсутствие или неправильное применение СИЗ.

В рабочем кабинете, выполняются все требования и предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов соответствуют ГОСТ 12.1.038-82.

Процент влажности помещения в пределах нормы. Содержание химически опасных веществ и реагентов, разрушающих изоляцию и токоведущие части электрооборудования, в данном помещении не наблюдается.

В данном кабинете температура помещения 23°C, влажность воздуха 60%, что не превышает ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. В помещении бетонные полы, покрытые линолеумом, что не является проводником электрического тока. Персональный компьютер имеет надежную изоляцию токоведущих частей оборудования, отсутствуют соединения, которые могут вызывать искры. При работе в кабинете прикосновение с металлическими конструкциями, с приборами, не имеющего заземления или поврежденной изоляцией токоведущих частей, отсутствует, что подтверждает соблюдение и выполнение всех требований ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Кабинет является помещением без повышенной опасности поражения людей электрическим током. Безопасными значениями являются $U = 12 \div 36$ В, $I = 0,1$ А, $R_{\text{заземления}} = 4$ Ом.

Наиболее распространенными СИЗ при работе с электрооборудованием являются:

- Диэлектрические перчатки также относятся к основным видам СИЗ для работ при напряжении, не превышающем 1000 В.
- Штанги и клещи, изолирующие характеристики которых обеспечивают продолжительную защиту от высокого напряжения.
- Защитная диэлектрическая обувь (боты, галоши), которые позволяют избежать прохождения через тело токов, замыкающихся на землю.

Средства коллективной защиты:

- Заземление источников электрического тока;
- Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Сварочный контур контактной машины и источника питания не опасны, в смысле возможности поражения электрическим током, так как напряжение на концах вторичного витка трансформатора не превышает 36 В. Такое напряжение недостаточно для того, чтобы через тело человека прошел опасный ток, величина которого превышает допустимого (1 мА). Ток, который может вызвать травму, появляется в сварочном контуре только при повреждении (пробое) первичной обмотки, когда вторичный виток или корпус машины (электрически соединенный со сварочным контуром) оказываются под напряжением питающей сети (220, 380 В).

Для исключения поражения электрическим током сварщику на контактной машине необходимо выполнять следующие правила:

- систематически проверять надежность заземления станины и одного конца вторичного витка сварочного трансформатора;
- не допускать попадания воды, масла, грязи пыли и металлических предметов на обмотку трансформатора и вспомогательных электрических устройств;
- запрещается открывать дверки машины при включенном напряжении;
- следить за тем, чтобы изоляция проводов и рукояток переключателя не были повреждены;
- пользоваться резиновым ковриком или сухой деревянной решеткой, находящимся перед машиной.
-

5.1.2.2 Пожаровзрывобезопасность

Пожаровзрывобезопасность характеризуется следующими причинами:

- возгорание на рабочем месте в связи с коротким замыканием;

- возгорание на рабочем месте в связи с неправильным обращением с огнем.

Категория пожароопасности помещения – «В» (наличие горючих материалов – деревянные столы, стулья и др.). Помещение оснащено средствами пожаротушения в соответствии с нормами. На 100 м² пола имеется:

- углекислотный огнетушитель ОУ-5 – 1 шт.;
- ящик с песком на 0,5 м³ – 1 шт.;
- железные лопаты – 2 шт.
- огнетушитель порошковый - ОП-5 – 2 шт.;

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности.

Кабинет постоянно содержаться в чистоте, каждый будний день моется пол, выбрасывается мусор и протирается пыль. Кабинет обеспечен средствами пожаротушения и сигнализацией о наличие продуктов горения в помещении кабинета. Компьютерное оборудование для работы в кабинете исправно. Пожарные гидранты, пожарный водопровод и средства пожаротушения исправны и находятся на своих штатных местах в состоянии готовности к работе.

В зимнее время гидранты утеплены, пожарный водопровод заизолирован и утеплен и не разморожен.

В кабинете приказом назначается лицо, отвечающее за соблюдение правил пожарной безопасности, за исправное состояние пожарного инвентаря и за применение первичных способов пожаротушения.

Краны противопожарного водопровода оборудованы брезентовыми шлангами с брандспойтами. Соединительные головки кранов и шлангов должны иметь резиновые прокладки. Скрученные прорезиненные шланги и брандспойты хранятся в опломбированных шкафчиках, размещенных вблизи кранов.

Ящики и щиты, где хранится противопожарный инвентарь, ручки лопат и пожарных топоров, окрашены в красный цвет, а металлические части периодически смазываются и очищаются для предотвращения коррозии.

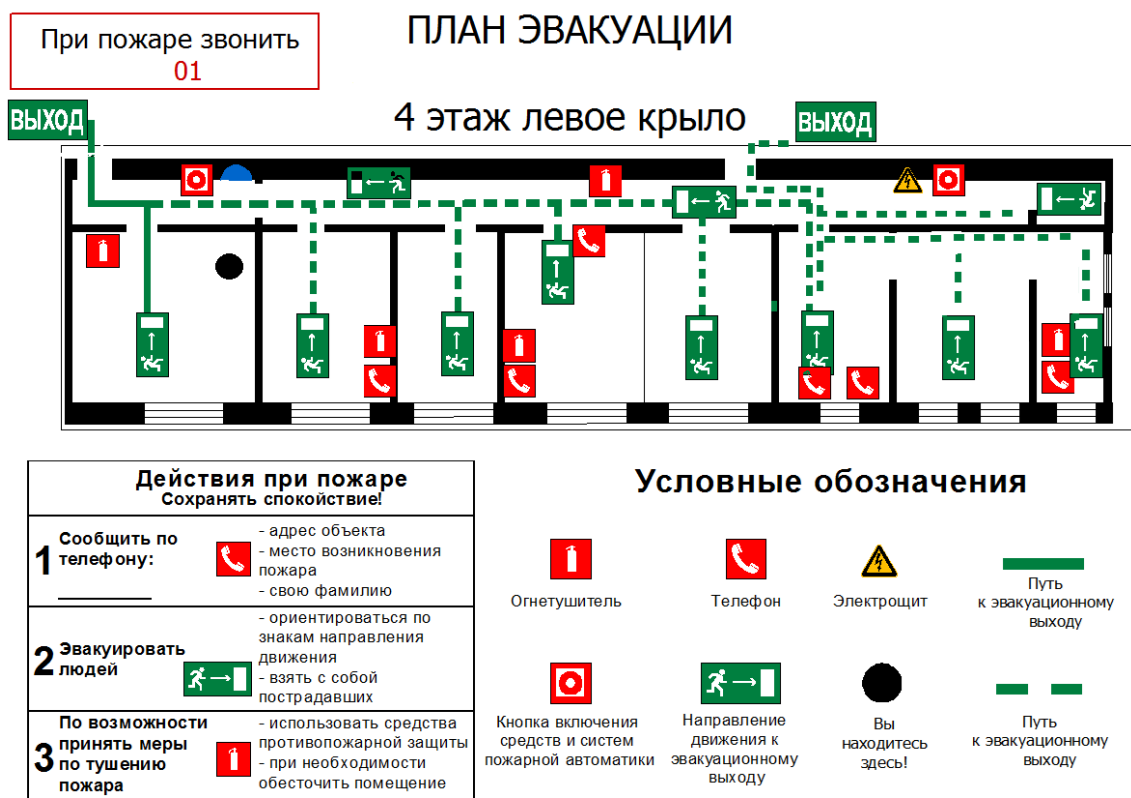


Рисунок 17 – План эвакуации

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу В-4, так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии.

Возникновение пожара в процессе контактной точечной сварки может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера. Причины возникновения пожара неэлектрического характера: брызги расплавленного металла, искры в процессе сварки, халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня). Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое

электричество и т. п. Для недопущения возникновения пожара в процессе контактной точечной сварки необходимо соблюдать следующие правила:

- перед сваркой привести в порядок свое рабочее место, убрать легко воспламеняющиеся предметы из зоны сварки в радиусе 2 м;
- проверить наличие и исправность предохранительных и блокировочных устройств машины контактной сварки, шкафов управления, заземления, исправность изоляции;
- проверить наличие и исправность защитных штор и откидывающихся прозрачных экранов или щитков;
- произвести пробный пуск машины контактной сварки и убедиться в исправной работе всех ее узлов и возможности регулирования цикла сварки;
- в процессе сварки следить за тем, чтобы провода не соприкасались с водой, а также чтобы на них не падали брызги расплавленного металла;
- по окончании работы отключить питание электроэнергией контактной машины.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу.

5.1.2.3 Выплеск расплавленного металла

Наиболее опасным фактором неблагоприятно воздействующий на здоровье человека в процессе контактной точечной сварки является выплеск расплавленного металла из зоны сварки. Это явление также может быть причиной местных ожогов. Причиной появления выплеска является использование жестких режимов (большое значение тока при относительно малом времени сварки) и небольшого усилия сжатия электродов, а также плохо очищенные свариваемые детали, сильный износ электродов. Согласно [11], при контактной точечной сварке тонкостенных деталей (толщиной менее 0,5 мм) из нержавеющей стали 12X18H10T, рекомендуется использовать усилия сжатия

электродов не менее 200 Н и сварочного тока не более 4000 А, во избежание выплеска расплавленного металла.

К средствам защиты от выплеска расплавленного металла из зоны сварки относится защитный экран, которым оборудована данная контактная машина МТТ-02, также от ожогов применяются защитные очки с простыми прозрачными стеклами, рукавицы и брезентовая спецодежда.

5.2 Экологическая безопасность

В процессе деятельности человека неизбежно происходят изменения на рабочем месте, техника выходит из строя, накапливается макулатура и иные отходы. В связи с ростом производства и развитием технологий возникла проблема рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Чтобы обезопасить окружающую среду от большого объема выбросов следует совершенствовать технологические процессы. Для соответствия нормам экологической безопасности применяется переработка отходов.

Черновики/бумаги, содержащие сведения коммерческой или государственной тайны подлежат shreddированию, после чего прессуются, упаковываются и хранятся в объеме до 1 транспортной единицы.

Лампы, вышедшие из строя, немедленно после удаления из светильника следует упаковать в картонную упаковку или индивидуальную тару из гофрокартона, свойственную старым лампам. Если в наличии нет индивидуальной упаковки, для предотвращения механических повреждений и взаимного соприкосновения ламп, их необходимо упаковывать в бумагу или мягкий картон.

Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 № 681 утверждены Правила обращения с отходами производства и потребления в части электрических ламп, осветительных приборов и устройств. В Постановлении описываются нормы и правила использования и переработки отходов, так как ненадлежащие сбор, транспортирование, обезвреживание и размещение способствуют развитию загрязнения окружающей среды и причинения вреда здоровью. Также запрещается самостоятельно обезвреживать, транспортировать и размещать ртутьсодержащие лампы. Отработанные ртутные лампы разрешено размещать лишь в пунктах первичного сбора отходов.

Еще одним источником загрязнения окружающей среды являются вышедшие из строя предметы оргтехники и вычислительной техники, в том числе ПЭВМ. Компоненты компьютеров содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке[6].

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

В процессе утилизации техники и бракованных образцов количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера и бракованных образцов можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
- разделить углеродистые металлы от цветмета;
- пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;
- копир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для кабинета, находящейся в здании промышленного корпуса, наиболее вероятными и опасными являются следующие ЧС:

- природные чрезвычайные ситуации;
- техногенные чрезвычайные ситуации (несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место).

Из природных чрезвычайных ситуаций можно выделить метеорологические условия-сильные морозы. При сильных морозах могут возникнуть аварии на электро-, тепломагистралях, водоводах и транспорте. В этом случае при подготовке к зиме необходимо предусмотреть следующие мероприятия:

- разработка и доведение до всех ответственных лиц план ликвидации аварийных ситуаций;
- совершенствование системы оповещения и связи в чрезвычайных ситуациях;
- накопление и поддержание в готовности средств пожаротушения;
- обучение персонала правилам их применения;
- проверка электро-, тепломагистралей при подготовке к зиме.
- приобретение и хранение на теплом складе бензо- или дизель-электрогенератора, необходимой для работы производства мощности; газовые каталитические обогреватели, суточный запас питьевой и технической воды в герметичной таре, транспорт в теплом гараже для доставки сотрудников на работу и обратно.

Из техногенных чрезвычайных ситуаций для рабочего места можно выделить возможность проявления диверсии.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации:

- проведение инструктажа среди персонала;
- проведение осмотров территории и помещений;
- организацию контролируемого въезда автотранспорта на территорию предприятия;
- организацию пропускного режима;
- информационное обеспечение в сфере антитеррористической деятельности и др.
- охрана, видеонаблюдение, сигнализация, вахта.

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» была проведена всесторонняя оценка вредных и опасных факторов, возникающих при разработке технологии контактной точечной микросварки литий-ионных аккумуляторных элементов, также рассмотрены мероприятия по минимизации их воздействия на организм человека и окружающую среду. Помимо этого, были рассмотрены вероятные чрезвычайные ситуации и мероприятия по их предупреждению и ликвидации.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы, была разработана технология микроконтактной точечной сварки литий-ионных аккумуляторных элементов 26650.

На основании литературного обзора и инженерных расчетов были подобраны параметры режима микроконтактной точечной сварки, однако необходима проверка данных режимов экспериментальным путем. Спроектировано технологическое приспособление, которое позволит в полной мере регулировать и контролировать сварочное усилие.

Результаты работы показывают необходимость продолжения исследований по данной теме для совершенствования технологии микроконтактной точечной сварки, которая в последствии может найти применение в производстве.

Список используемых источников

1. Larsson Harald. Welding methods for electrical connections in battery systems / Harald Larsson // UPPSALA UNIVERSITET. - 2019
2. Masomtob Manop. Parametric Study of Spot Welding between Li-ion Battery Cells and Sheet Metal Connectors/ Manop Masomtob // ENGINEERING JOURNAL. - 2017
3. Таганова А. А. Герметичные химические источники тока: элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: Справочник. / А. А. Таганова, Ю. И. Бубнов, С. Б. Орлов. – СПб.: Химиздат, 2005. – 261 с.
4. Соколов Н. М. Микросварка в массовом производстве радиоламп. – Саратов: Приволжское книжное издательство, 1971. – 176 с.
5. Xiaodong W. Quality monitoring based on dynamic resistance and principal component analysis in small scale resistance spot welding process Received / W. Xiaodong, W. Yuanxun, Z. Dawei // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – Vol. 86. – No. 9(12). – P. 3443-3451.
6. Моравский В. Э. Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки. / В. Э. Моравский, Д. С. Ворона. – Киев: Наук. думка, 1985. – 272 с.
7. ГОСТ 15878-79 Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры.
8. Орлов Б. Д. Технология и оборудование контактной сварки / Б. Д. Орлов – М.: Машиностроение, 1975. – 536 с.
9. ГОСТ 25142-92 Шероховатость поверхности. Термины и определения.
10. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
11. Кочергин К. А. Контактная сварка. / К. А. Кочергин – Л.: Машиностроение, 1987. – 240 с.

- 12 Козловский С. Н. О механизмах образования выплесков при точечной сварке. / С. Н. Козловский, Е. Г. Яшметов // Сварка и контроль –2005. – С. 58–66.
13. Гнусов С. Ф. Стабилизация контактных сопротивлений при точечной микросварке. / С. Ф. Гнусов, А. С. Киселев, М. С. Слободян, Б. Ф. Советченко // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 312. – №1. – С. 130-133.
14. Драгунов Ю. Г. Марочник сталей и сплавов. / Ю. Г. Драгунов, А. С. Зубченко, Ю. В. Каширский. – М.: Машиностроение, 2015. – 1216 с.
15. Can and Casing // Li-ion Battery URL: <http://lithiumionbattery.org/activities/can-casing> (дата обращения: 01.05.2022).
16. Das Abhishek. Joining Technologies for Automotive Battery Systems Manufacturing / Abhishek Das, Dezhi Li, David Williams // World Electric Vehicle Journal. - 2018
17. Чулошников П. Л. Контактная сварка. В помощь рабочему-сварщику. / П. Л. Чулошников– М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.
18. Дедюх Р. И. Материаловедение и технологии конструкционных материалов. Технология сварки плавлением / учебное пособие для прикладного бакалавриата. / Р. И. Дедюх – М.: Изд-во «Юрайт», 2016. – 169 с.
19. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя, в трех томах / В. И. Анурьев, И. Н. Жестокова. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 912 с.
20. Рубый С. В. Расчет параметров стружкообразования и сил резания пластичных материалов / С. В. Рубый // Машины и Установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. – 2017. – №01. – С. 25- 37.
21. Орлов Б. Д. Технология и оборудование контактной сварки. / Б. Д. Орлов - 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1986. - 352 с.
22. Das Abhishek. Weldability and shear strength feasibility study for automotive electric vehicle battery tab interconnects. / Abhishek Das, Dezhi Li, David

Williams // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering.
– 2019.

23. Катаев Р.Ф. Теория и технология контактной сварки. Учебное пособие.
/ Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник – Екатеринбург.: Издательство
Уральского университета, 2015. – 144 с.

24. Чулошников П.Л. Точечная и роликовая электросварка легированных
сталей и сплавов. / П. Л. Чулошников – М.: Машиностроение, 1974. – 232 с.

25. Фролов К.В., Теория механизмов и машин: Учебник для вузов. / К. В.
Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов – М.: Высшая школа, 1987. - 496 с.

26. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и
ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р.
Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский
политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического
университета, 2014. – 73 с.

27. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В.
Васи-левский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков,
Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд – во Томский политехнический университет,
2009. — 101 с.

Приложение А
(обязательное)

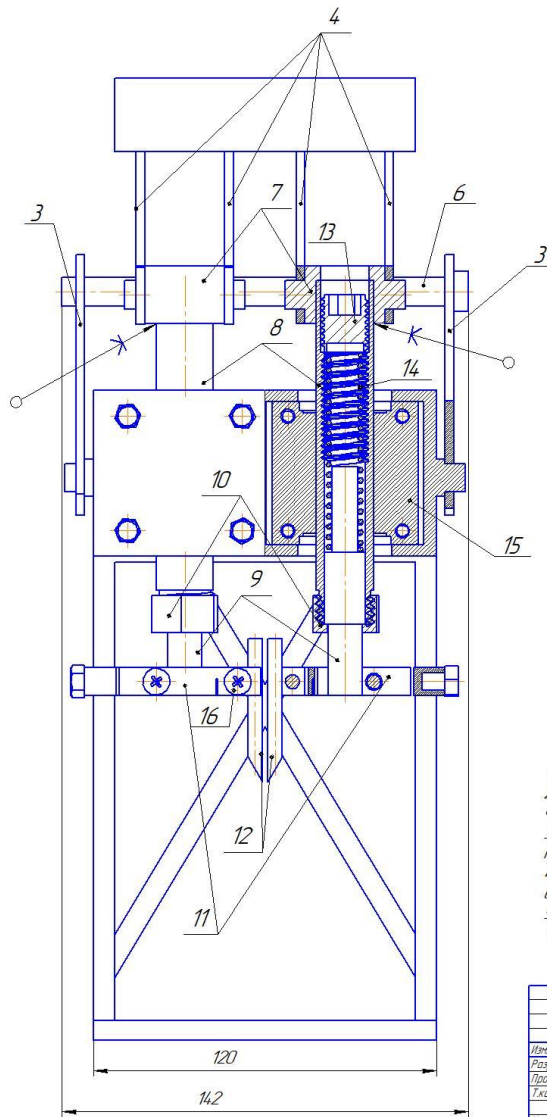
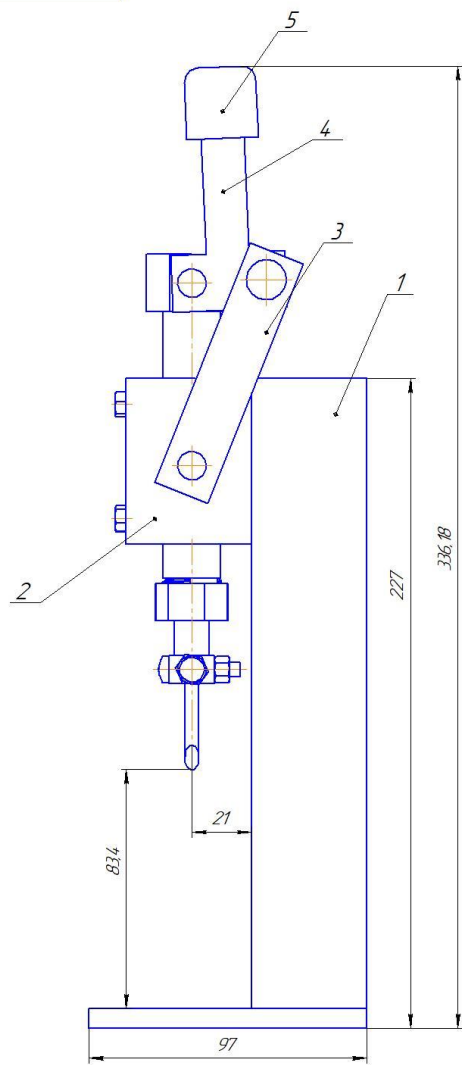
Комплект конструкторской документации

Формат Зона Поз.	Обозначение		Наименование		Кол.	Приме- чание
	Формат	Зона	Обозначение	Наименование		
Перв. примен.						
				<u>Документация</u>		
Справ. №	A2		ФЮРА.7879-0003	Сборочный чертеж		
				<u>Детали</u>		
	A3	1	ФЮРА.7879-0003.01	Стойка	1	
	A3	2	ФЮРА.7879-0003.02	Кожух	1	
	A4	3	ФЮРА.7879-0003.03	Серьга	2	
	A4	4	ФЮРА.7879-0003.04	Рычаг	4	
	A4	5	ФЮРА.7879-0003.05	Ручка	1	
	A4	6	ФЮРА.7879-0003.06	Ось	1	
	A4	7	ФЮРА.7879-0003.07	Колпачок	2	
	A4	8	ФЮРА.7879-0003.08	Шток	2	
	A4	9	ФЮРА.7879-0003.09	Диэлектрическая втулка	2	
	Подп. и дата	A4	10	ФЮРА.7879-0003.10	Гайка	2
A3		11	ФЮРА.7879-0003.11	Электрододержатель	2	
Инв. № дубл.	A4	12	ФЮРА.7879-0003.12	Электрод	2	
	A4	13	ФЮРА.7879-0003.13	Втулка резьбовая	2	
Взам. инв. №						
				<u>Стандартные изделия</u>		
Подп. и дата		14		Пружина сжатия MPSN2578	2	
		15		Опорный модуль с линейным	2	
Инв. № подл.						
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
	Разраб.					Лит.
	Проб.					Лист
	Н.контр.					Листов
Утв.						1
						2

Копировал

Формат А4

ФЮРА.7879-0003 СБ



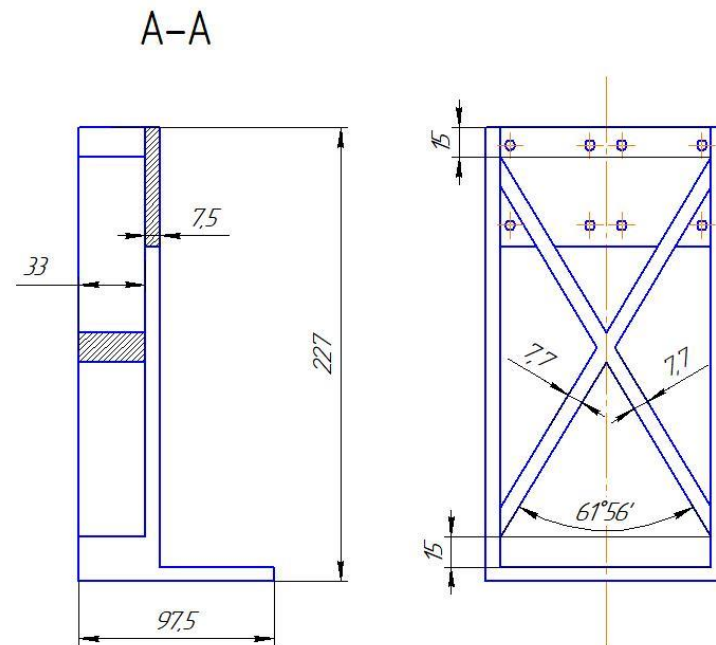
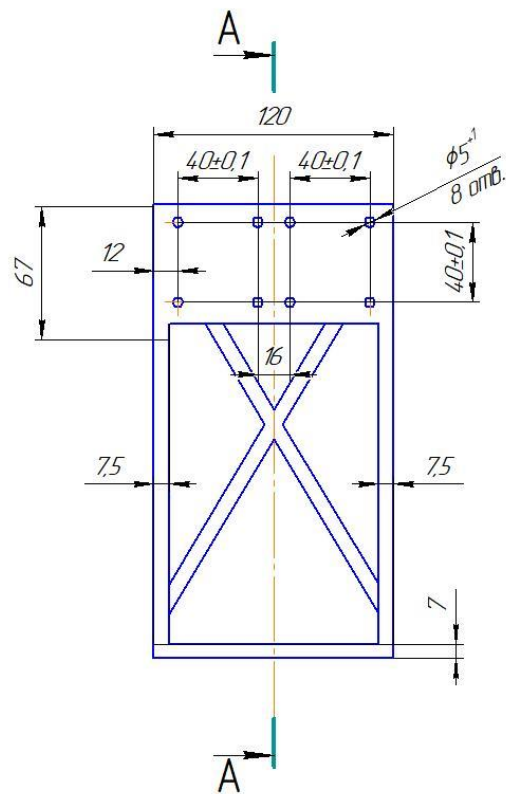
- 1 Размеры для справок.
- 2 Электроды поз. 12 выставить по высоте с точностью $\pm 0,02$ мм. Фиксировать винтами поз. 16.
- 3 Усилие прижатия электродов поз. 12 регулировать поджатием пружины поз. 14 втулкой резьбой поз. 13.
- 4 Оси шарниров смазать смазкой Литол-24 ГОСТ 21150-2017 тонким слоем.
- 5 Колпачок поз. 7 установить на эпоксидный клей ЭД-22 ГОСТ 10587-87.

Лист №	Листов
Изм. №	Изм. №
Дата	Дата
Исполнитель	Проверенный
Специалист	Инженер
Мастер	Мастер
Работник	Работник

ФЮРА.7879-0003 СБ			
Изм./Лист	№ докум.	Лист	Дата
Разработ	Богданов А.А.		
Проект	Гардинец А.С.		
Техцентр			
Инженер			
Зав.			
Принадлежность для микроконтактной точечной сварки		Лист	Листов
		6,18	71
		ТТУ ИИИ-КБ	
		зр. 18М01	
Копировал		Формат А2	

ФЮРА.7879-0003.01

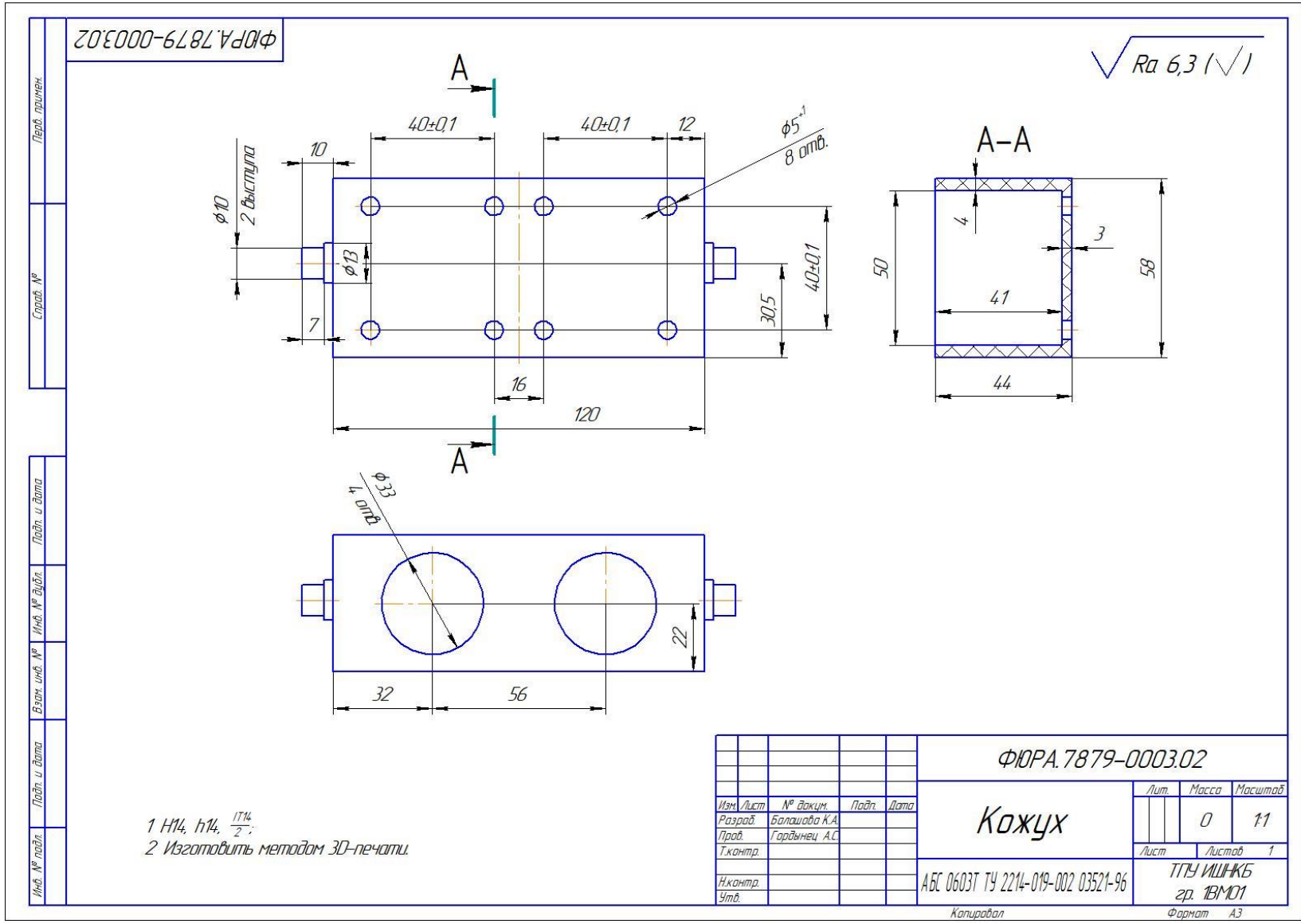
$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\sqrt{1})}$



Лист №	Листов
Изм. №	Изм. №
Взам. инв. №	Взам. инв. №
Лист №	Листов
Изм. №	Изм. №
Взам. инв. №	Взам. инв. №
Лист №	Листов
Изм. №	Изм. №
Взам. инв. №	Взам. инв. №

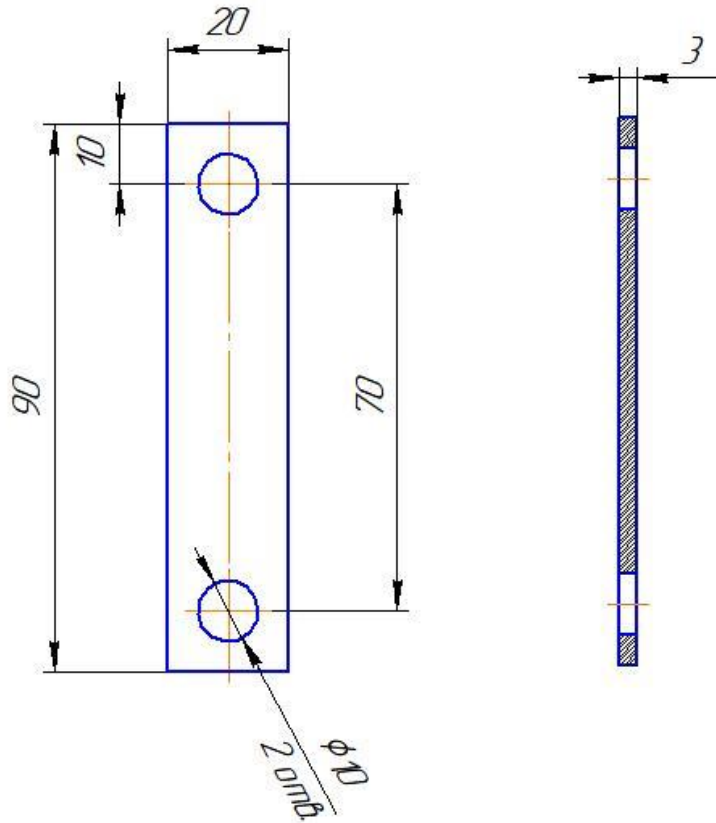
1 Н14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
2 Изготовить методом 3D-печати.

ФЮРА.7879-0003.01			
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Балашова К.А.		
Проб.	Гордынец А.С.		
Т.контр.			
И.контр.			
Утв.			
Стойка		Лист	Масса
		1	2,83
		Листов	1
АБС 0603Т ТУ 2214-019-002 03521-96		ТТУ ИЦНЖБ гр. ИВМО1	
Копировал		Формат А3	



ФЮРА.7879-0003.03

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\checkmark)}$



- 1 H14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
- 2 Острые кромки притупить.

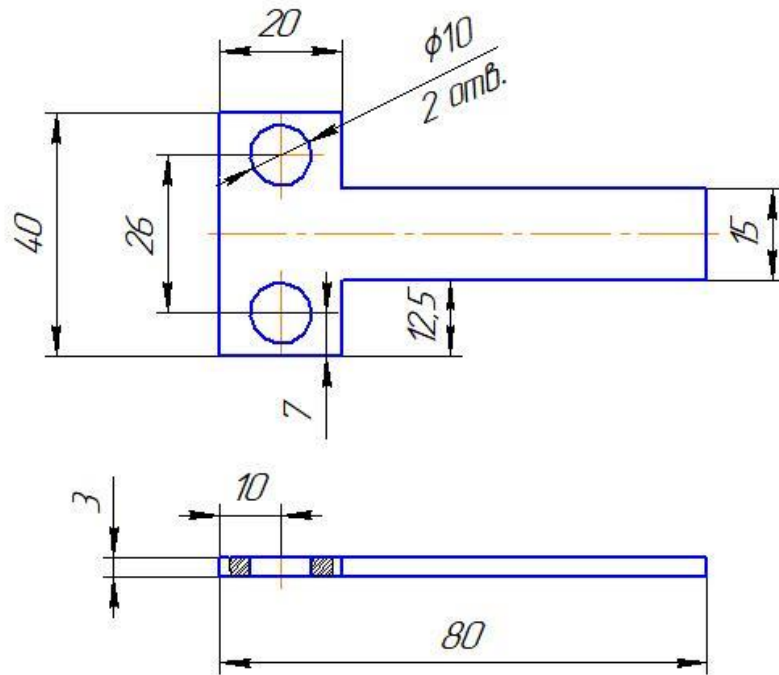
Инв. № подл.	Т.контр.	Н.контр.	Утв.	Подп.	Дата	ФЮРА.7879-0003.03		
						Лист	Масса	Масштаб
Инв. № подл.	Т.контр.	Н.контр.	Утв.	Подп.	Дата	Серьга		
						Лист	Листов	1
Инв. № подл.						Сталь 20 ГОСТ 1050-88		
Инв. № подл.						ТПУ ИШКБ гр. 1ВМ01		

Копирабол

Формат А4

ФЮРА.7879-0003.04

$\sqrt{Ra\ 6,3(\sqrt{1})}$



- 1 Н14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
- 2 Острые кромки притупить.

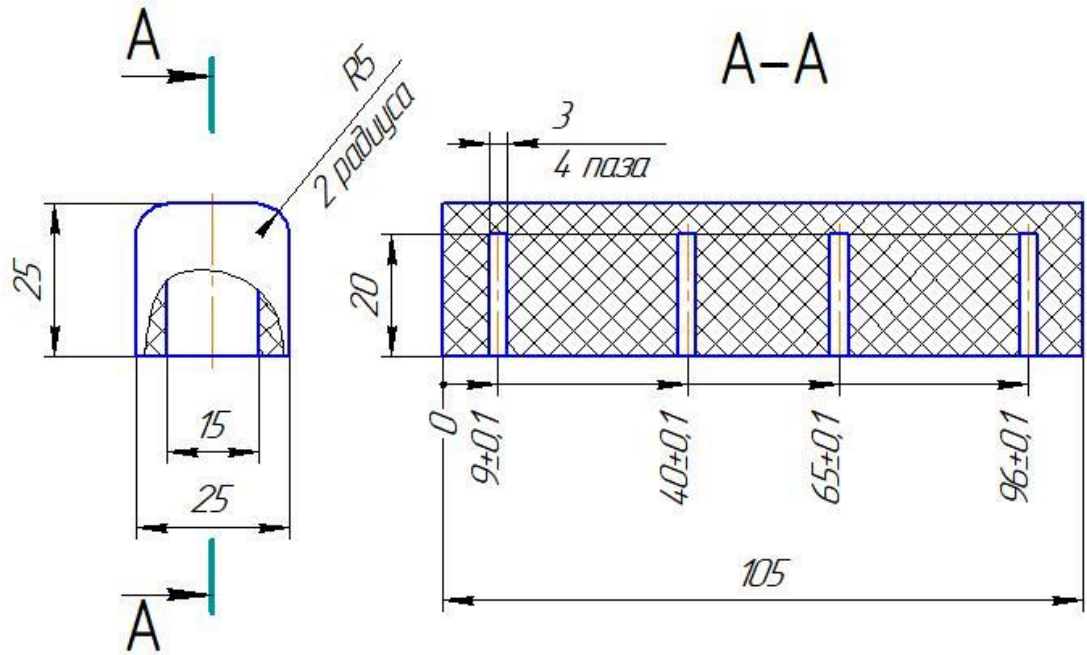
Инв. № подл.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.7879-0003.04		
					Лист	Масса	Масштаб
Инв. № подл.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Рычаг		
					Лист	Листов	1
Инв. № подл.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 20 ГОСТ 1050-88		
					ТПУ ИШКБ гр. 1ВМ01		

Копиробал

Формат А4

ФЮРА.7879-0003.05

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\checkmark)}$



- 1 Н14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
- 2 Изготовить методом 3D-печати.

Инв. № подл.	Изм. лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.7879-0003.05		
Н.контр.	Разраб.	Балашова К.А.					
Утв.	Проб.	Гордынец А.С.				0	1:1
	Т.контр.				Лист	Листов 1	
					АБС 0603Т ТУ 2214-019-002 03521-96		
					ТПУ ИШКБ гр. 1ВМ01		

Копирвал

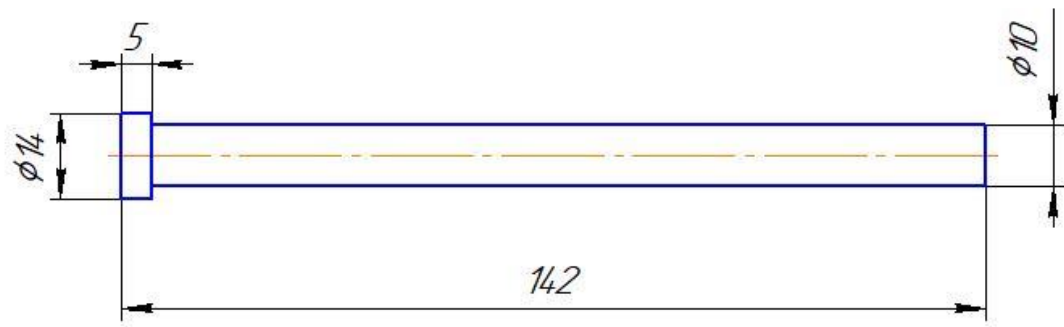
Формат А4

ФЮРА.7879-0003.06

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\checkmark)}$

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

1 H14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
2 Острые кромки притупить.

Подп. и дата

ФЮРА.7879-0003.06

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Балашова КА.		
Проб.		Гордынец А.С.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Ось

Лит.	Масса	Масштаб
	0,09	1:1
Лист	Листов 1	

Сталь 20 ГОСТ 1050-88

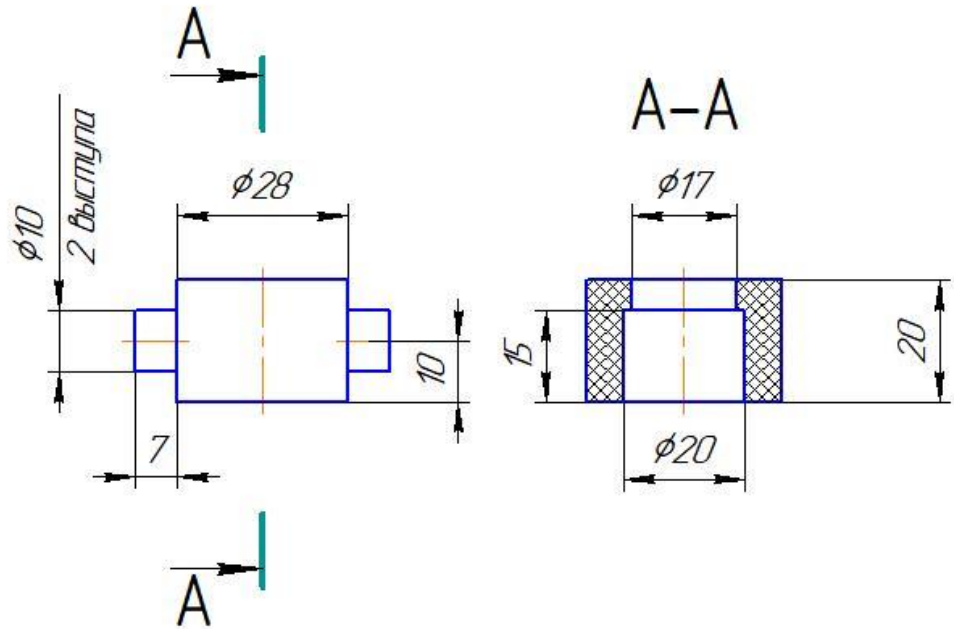
ТПУ ИШКБ
зр. 1ВМ01

Копиробал

Формат А4

ФЮРА.7879-0003.07

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\checkmark)}$



- 1 Н14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
 2 Изготовить методом 3D-печати.

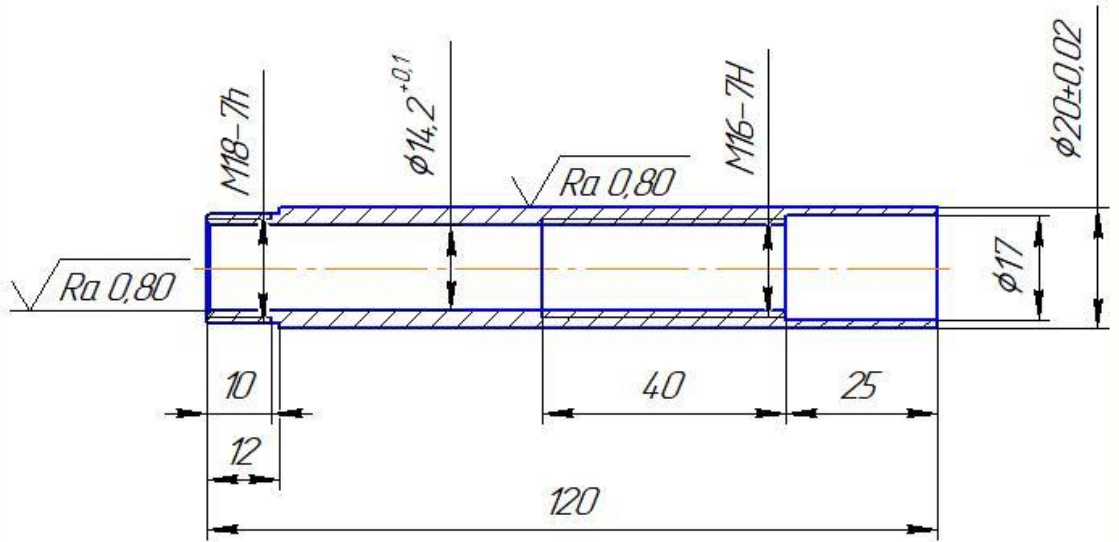
Инв. № подл.	Т.контр.	Н.контр.	Утв.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.7879-0003.07		
								Лист	Масса	Масштаб
Инв. № подл.	Т.контр.	Н.контр.	Утв.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Колпачок		
								Лист	Листов	1
Инв. № подл.	Т.контр.	Н.контр.	Утв.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБС 0603Т ТУ 2214-019-002 03521-96		
								ТПУ ИШКБ зр. 1ВМ01		

Копиробал

Формат А4

ФЮРА.7879-0003.08

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\sqrt{1})}$



- 1 28...34 HRC;
- 2 H14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
- 3 Острые кромки притупить.

Перв. примен.					ФЮРА.7879-0003.08		
Справ. №					Шток		
Подп. и дата					Лист	Масса	Масштаб
Инв. № дубл.						0,12	1:1
Взам. инв. №					Лист	Листов 1	
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 40X ГОСТ 4543-2016	
	Разраб.		Балашова КА.				
	Проб.		Гордынец А.С.				
	Т.контр.						
	Н.контр.						
	Утв.					ТПУ ИШКБ зр. 1ВМ01	

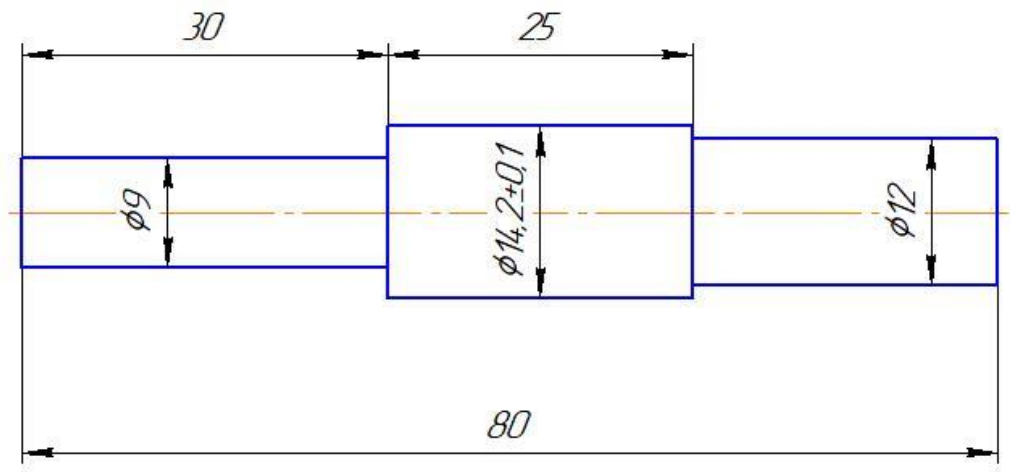
Копиробал

Формат А4

ФЮРА.7879-0003.09

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\sqrt{1})}$

Перв. примен.
Справ. №



Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №

- 1 Н14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
- 2 Острые кромки притупить.

Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Балашова КА.		
Проб.		Гордынец А.С.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

ФЮРА.7879-0003.09

Диэлектрическая
втулка

Лист	Масса	Масштаб
	0,01	1:1
Лист	Листов 1	

ПЭТФ-Г-75 ГОСТ Р 51695-2000

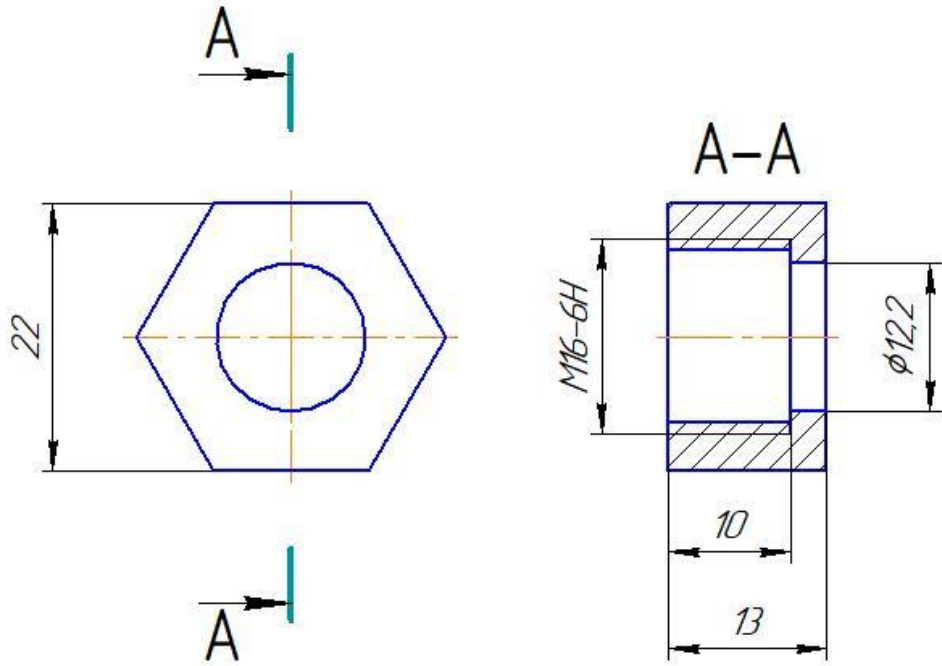
ТПУ ИШКБ
зр. 1ВМ01

Копирвал

Формат А4

ФЮРА.7879-0003.10

$\sqrt{Ra\ 6,3(\sqrt{1})}$

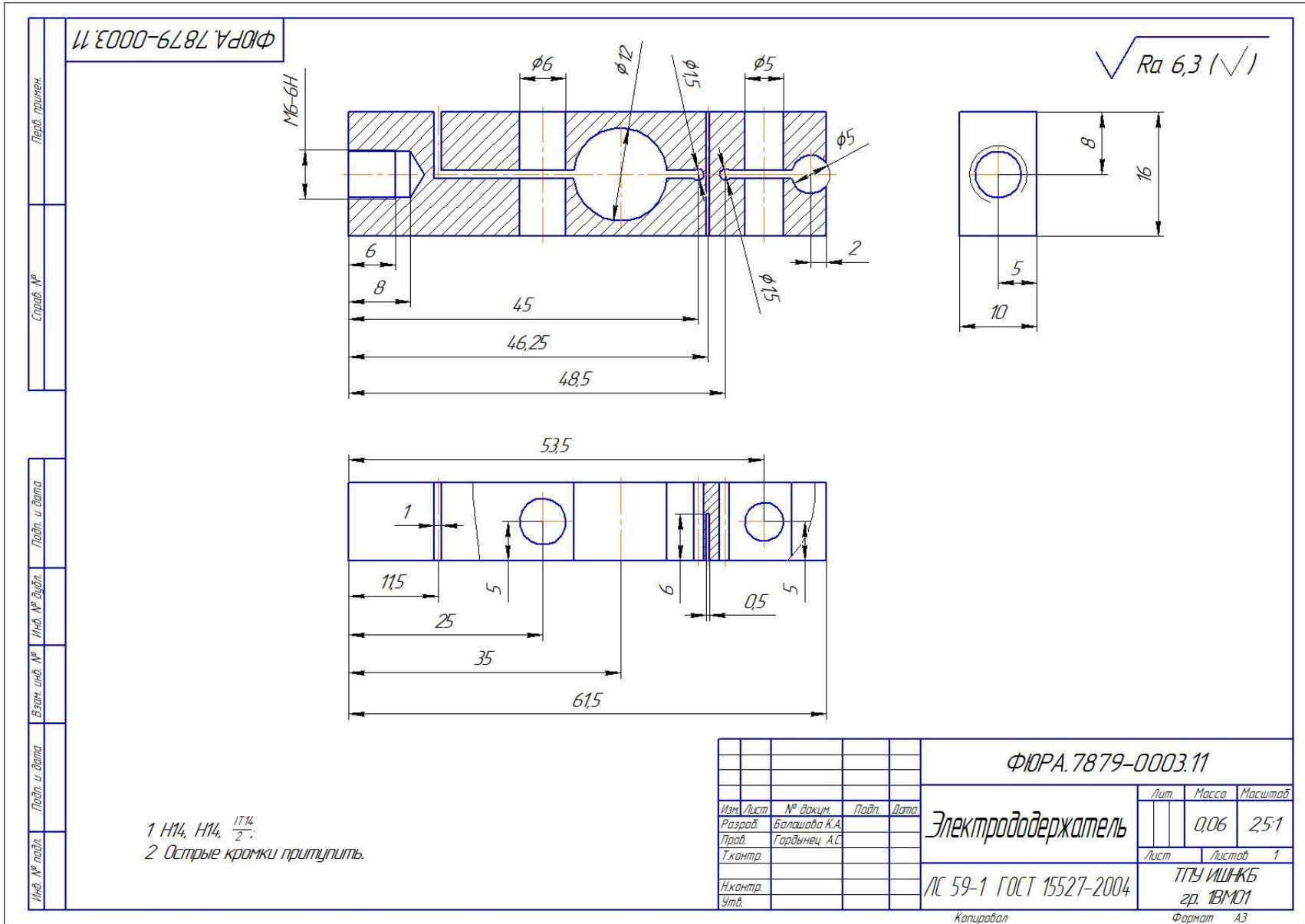


- 1 H14, h14, $\frac{IT14}{2}$;
- 2 Острые кромки притупить.

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.7879-0003.10		
				Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Балашова К.А.			Гайка		
Проб.	Гордынец А.С.			Лист	Листов	1
Т.контр.				Сталь 20 ГОСТ 1050-88		
Н.контр.				ТПУ ИШКБ		
Утв.				зр. 1ВМ01		

Копиробал

Формат А4



Приложение Б
(обязательное)

Комплект технологической документации

								ГОСТ 3.1105-84 форма 2				
Дубл.												
Взам.												
Подл.												
									ФЮРА.02190.1ВМ01030	3	1	
				НИ ТПУ					ФЮРА.10190.001			
									Аккумуляторная батарея		У	
<p>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»</p>												
<p>СОГЛАСОВАЛ к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ Гордынец А.С. 10.04.2022</p>						<p>УТВЕРДИЛ к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ Гордынец А.С. 10.04.2022</p>						
<p>КОМПЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ на технологический процесс изготовления батареи литий-ионных аккумуляторных элементов</p>												
<p>КОНТРОЛИРОВАЛ к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ Гордынец А.С. 10.04.2022</p>						<p>РАЗРАБОТАЛ студент гр. 1ВМ01 Балашова К.А. 09.04.2022</p>						
<p>Акт № 10 от 13.04.2022 г.</p>						<p>ГОСТ 15878-79</p>						
ТЛ	Титульный лист											

ГОСТ 3.1118-82 форма 16																
Дубл.																
Взам.																
Подл.																
												ФЮРА 02190.1В61030	3			
												ФЮРА 10190.003				
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код,наименование операции					Обозначение документа						
Б	Код,наименование,оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз	Тшт.
К/М	Наименование детали,сб.единицы или материала					Обозначение,код					ОПШ	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх.	
A15	1	1	2	010	Сварочная					ГОСТ 15878-79						
Б16	Приспособление для микроконтактной точечной сварки					1	Оператор		1	2	1					
Б17	Источник питания "Импульс-3"					1	Оператор		1	2	1					
К/М18	Аккумуляторная сборка															
О19	Сварить детали согласно чертежу.															
Т20	Защитные очки															
A21	2	1	1	020	Контрольная											
Б22						3	Оператор		1	1	1					
К/М23	Аккумуляторная батарея															
О24	Проконтролировать сварные точки.															
Т25	Микроскоп УИМ-21															
26																
27																
28																
29																
МК Маршрутная карта																

Приложение В

(справочное)

Introduction

1 Literature review

2 Development of resistance spot welding technology for Li-ion battery cells of size 26650

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Балашова Ксения Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Устюжанина А.К.	к.ф.н.		

Introduction

The market of all batteries continues to grow as the global demand for wireless and environmentally friendly electronics increases [1]. This includes electronic devices such as mobile phones, tablets, electric vehicles, etc., where lithium-ion (Li-ion) battery cells have found use due to their high energy density. However, the voltage and current density of a single battery cell may not be sufficient to operate these products, so developers are faced with the need to combine several cells into a single battery pack [2].

Due to the increasing global market demand for higher energy efficiency and smaller products, power supplies in size 26650 are of particular interest.

Laser or resistance spot-welding techniques are used to join 26650 lithium-ion battery cells. In general, the resistance spot-welding method is more affordable and flexible to incorporate into the production process.

Thus, the purpose of this work is to select the optimum parameters for the mode of contact spot welding of battery cells of size 26650 and to design a technological fixture, which will allow to regulate and control the welding force fully and to orient the position of Li-ion accumulators in relation to welding electrodes.

1 Literature review

1.1 Lithium-ion batteries

Following the emergence of primary lithium cells in the 1970s, there was interest in developing reusable current sources using the Li^+ (ion)/Li electrochemical system. These cells were characterised by their high specific characteristics and, in the long term, a compact power supply could be obtained. The latter were portable applications, and high-capacity batteries were not yet considered due to the many problems and their high cost at the time. The first types of batteries used lithium metal as a negative electrode (similar to primary cells). But when it is charged, due to the

presence of passivating film from electrolyte decomposition products, a part of lithium turns into an inactive state (i.e. into particles electrically isolated from each other). The film which formed over time hindered the passage of lithium to the electrodes. Another problem was the formation of dendrites, needle-like lithium crystals growing between the electrodes. Their growth led to short-circuiting of the battery and battery failure (sometimes with ignition and explosion) [3].

A lot of effort has gone into solving the problem: searching for new electrolytes that meet all requirements and all sorts of solutions to prevent dendrite formation, developing production technology, etc., but the most important problem has remained: safety. The lithium metal is inside the battery casing. If the casing leaks, the oxidising lithium combines with oxygen in the air resulting in a fire and/or a sudden increase in temperature in the casing and sometimes even an explosion. A depressurisation could be caused firstly by an increase in pressure inside the case, e.g. by overcharging (in abnormal charging mode); secondly, by an increase in temperature inside the device, e.g. by external heating; thirdly, by an internal short circuit, etc. Keeping track of all these parameters all the time became impossible, and electronic monitoring systems were needed to prevent most, if not all, cases of enclosure depressurisation. The electronics industry reacted quickly: companies started producing all sorts of microchips for Li-ion batteries and accumulators, and from then on such devices became an integral part of any battery of the Li⁺ (ion)/Li system [3].

Today, the production of lithium batteries (lithium metal batteries) has practically ceased; this class of batteries has migrated to the category of "special equipment" and it is almost impossible to find or buy them nowadays. The mass production of batteries with lithium metal is also hindered by the high cost of production: It is necessary to have equipment that performs the cycle in a sealed volume filled with a medium that is inert to lithium and must not contain moisture [3].

Li-ion batteries are among the leading mass-produced chemical power sources in terms of power density and are among the most widely used electrochemical systems. Li-ion batteries have a high energy density (up to 190 Wh/kg), high

discharge voltage (3.4-4 V and more, depending on the electrode materials used), very low self-discharge (less than 3% per month) and long life (over 1000 cycles, with a decrease of 20% of the rated capacity per thousandth cycle). Depending on the materials and construction, these batteries can be used within a temperature range of -40°C to +80°C. At the same time, their cost is constantly being reduced and their range of application is being expanded [3].

The carbon matrix used as an anode may have an ordered layered structure like natural or synthetic graphite, an unordered amorphous structure or a partially ordered structure. Lithium ions, when introducing, move apart the carbon matrix layers and are placed between them, forming intercalates of different structures. The specific volume of carbon materials changes little during intercalation-deintercalation of lithium ions.

When selecting the anode material, the main issue is to ensure the high capacity of the carbon materials and the stability of their structures and properties during cycling [3].

The most commonly used active cathode materials are metal oxides. Materials based on CoO_2 were the first to be used. Their synthesis on the basis of low-temperature technology is relatively simple and provides good reproducibility, but this cathode material is noticeably more expensive than others and toxic. Lithiated NiO_2 is used less frequently, its main drawback is the irreversibility of structural changes at complete deintercalation of lithium. Materials based on manganese oxide Mn_2O_4 are the cheapest and most environmentally friendly, but provide lower energy performance, especially at temperatures above +40 °C [3].

Mixed oxide or phosphate based materials are increasingly being used as cathode materials [4,5].

The electrodes are manufactured by coating the metal foil. The coating properties (thickness, density, surface area, adhesion to the collector, electrical conductivity, porosity and uniformity of application) largely determine the behaviour of the battery in operation [3].

The electrode manufacture, assembly and encapsulation of Li-ion batteries require the same care and protection against moisture ingress as in the production of primary lithium cells. For this reason, much of the process takes place in inert gas boxes and special dry rooms.

In cylindrical accumulators, a coiled pack of electrodes and separator is placed in a casing with the negative electrode connected to it. The positive pole of the battery is led to the cover via an insulator (figure 1).

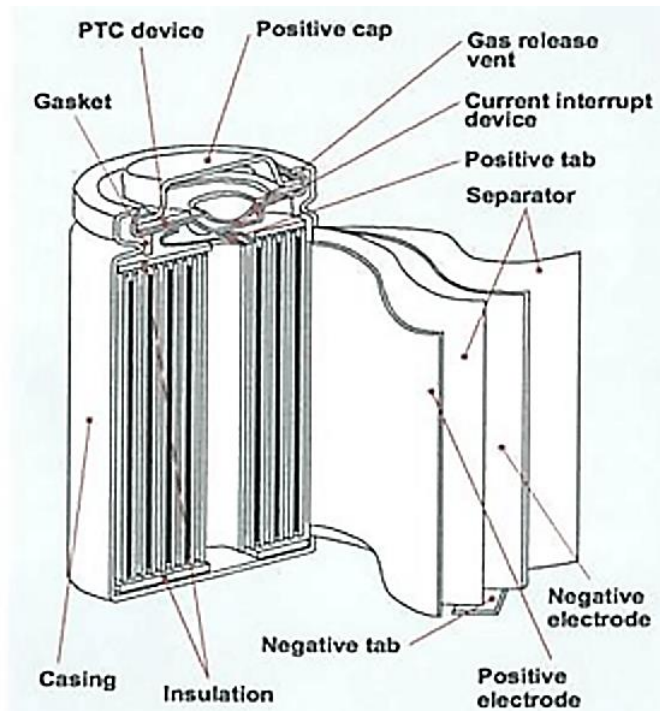


Figure 1 - Cylindrical lithium-ion battery

Some design measures are also usually taken to prevent the rapid heating up and to ensure the safe operation of Li-ion batteries. There is a device under the battery cover that reacts to the positive temperature coefficient by increasing the resistance and another that breaks the electrical connection between the cathode and the positive terminal when the gas pressure inside the battery rises above the allowable limit [3].

To increase the operational safety of lithium-ion batteries, external electronic protection is also necessarily used as part of the battery to prevent over-discharge and over-discharge of each battery, short-circuiting of the battery and overheating.

The cylindrical battery form is still one of the most widely used packaging types for primary and secondary batteries. The advantages are ease of fabrication and good mechanical stability. The tubular cylinder can withstand high internal pressures without deforming. Typical applications for the cylindrical cell include power tools, medical tools, laptops and electric bikes. To allow variations within a given size, manufacturers use partial cell lengths such as half and three-quarter length formats[16].

1.1.1 Construction materials used for the manufacture of lithium-ion battery packs

Lithium-ion batteries are very sensitive to atmospheric influences such as the presence of moisture and interaction with oxygen. Moisture and oxygen render the electrolyte useless and may also cause undesirable effects (e.g. increased flammability). The battery must also keep the internal pressure within acceptable limits.

Aluminium was originally used as the element body because of its high resistance to environmental factors such as moisture and air. Over time, polymers such as polypropylene have replaced aluminium due to the fact that they are easily moulded into different shapes and also have excellent chemical resistance. The shapes in which battery cells are produced are not limited, although rectangular (in mobile phones and hybrid cars) and cylindrical shapes are very common. In addition to the outer casing, polymer foams are used to prevent damage to the cell from accidental impact.

Nickel-coated steels are used as housing material for lithium-ion batteries because of the excellent chemical resistance and corrosion protection provided by nickel. A material (Supernickel) is being developed that also provides galvanic resistance [16].

1.1.2 Methods of manufacturing battery assemblies

The main types of battery cell welding, their advantages and disadvantages are shown in Table 1 [17].

Table 1 - Welding methods for battery cells [17]

No	The type of welding	Advantages	Disadvantages
1	Ultrasonic welding	Fast process, high strength and low resistance, able to join dissimilar materials, low energy consumption	Only suitable for pouch cells, two sided access, slow joining
2	Resistance spot welding	Fast process, low cost, quality welds, simple automation	Difficult for highly conductive and dissimilar materials
3	Micro-TIG/pulsed arc welding	Low cost, high joint strength and low resistance, able to join dissimilar materials, easy automation	High thermal input and heat affected zone, porosity
4	Soldering	Joining dissimilar materials, wide spread in electronics industry	High heat, fluxes required
5	Laser welding	High speed, less thermal input, non-contact process, easy Automation	High initial cost, additional shielding system may required

Consider each of the methods shown in Table 1 separately.

Ultrasonic welding. Ultrasonic metal welding is one of the most commonly used methods of joining battery cells and is used for a wide range of metals and thin metal films (e.g. foils). Welding occurs when mechanical high frequency (HF) oscillations, external pressure applied perpendicular to the surfaces to be welded, and the thermal effect of the HF oscillations are simultaneously applied to the surfaces to be welded. However, this method requires bilateral access to the surfaces to be welded: on one side an anvil is used to support the parts to be joined, and on the other side a waveguide is used to transmit the ultrasonic waves. [17].

Resistance spot welding. In this method the process of formation of permanent joints of construction materials occurs as a result of their short-term heating, by passing an electric current through them, and plastic deformation by compression force. Connection of the welded parts during contact welding (as well as in other welding

methods) is achieved by formation of bonds between the atomic units in the contact area of these parts. In this case, physical contact and activation of the surfaces to be joined requires the use of thermal and mechanical energy supplied from outside. Spot welding - a method of resistance welding in which parts are welded together at discrete, limited touch points (a series of points). Parts are lap welded together, pressed together by the force of electrodes to which an electric power source is connected [18]. Contact spot welding is used to join different materials with a thickness of at least 0.4 mm which are used for battery cell connections: steel, nickel (Ni), copper (Cu) and aluminium (Al). However, contact spot welding of materials such as aluminium or copper is difficult due to their high electrical and thermal conductivity and in particular the presence of an oxide layer on the aluminium surface [17].

Micro-TIG/pulsed arc welding. This method is used to join thin materials by localised fusion. The arc pulse has a very short duration, in the tens of milliseconds, so the heat release in the fusion zone is much lower than in conventional arc welding. However, even with a significant reduction of heat emission, it is still very important to control the welding parameters to avoid overheating the battery. This method is suitable for welding nickel, copper or steel parts.

Soldering. Connecting dissimilar materials using this process is an established and proven technology in the electronics industry. Soldering can be used to connect a flat conductor to the terminal (contact pad) of a cylindrical battery cell. Soldering directly to the battery is not recommended as it is easy to damage the safety valve or cause an internal short circuit if the temperature is too high (i.e. the heat input is the key to soldering). Soldering aluminium requires special aggressive fluxes, which are generally considered unattractive due to potential corrosion and reduced joint strength. Soldering is thus not of widespread interest for battery connection[17].

Laser welding. A welding process which uses a monochromatic coherent light beam for heating. Due to the small cross-section of the laser beam and the high concentration of its energy, narrow and deep welds can be produced in a short period of time. In addition, due to the narrow welds and high welding speed, the process

generates low heat in the fusion zone, which is important when welding battery cells as the chemicals inside the batteries are very sensitive to heat [17].

Thus, due to its low cost and general availability, resistance spot welding is the preferred method for joining lithium-ion battery cells. This process ensures strong connections with almost complete elimination of thermal effects on the parts being joined within a short period of time. An additional advantage is the possibility to join different parts, often of significantly different thicknesses [1].

The resistance spot welding process has minimal effect on the accumulator as the thermal effect is short-lived and it does not cause catalytic reactions in the accumulator[1].

Nickel and steel based alloy plates are the most commonly used for joining battery cells by resistance spot welding. Nickel plates must be no thicker than 0.4 mm and steel plates no thicker than 0.3 mm [24].

1.2 Forming a welded joint in resistance spot welding

Resistance spot welding technology, produced by passing an electric current through parts compressed using conductive electrodes, was developed over a century ago and has found widespread use in many industries. A characteristic feature of the process is a very short welding time at high forces and currents which ensure melting of the metal. In this case, the necessary conditions for the formation of the connection include the formation of a common fusion zone of a given size (cast core), which provides the most important operational properties - strength and tightness of the connection [7]. Design elements and dimensions of welded joints made by resistance spot welding are regulated according to the standard [8].

According to [9], the spot-welding cycle can be divided into three stages, depending on the thermo-deformation processes.

The first stage starts when a compressive force is applied to the parts and ends when the base metal begins to melt. At this stage, plastic deformation of micro-

roughening occurs in the electrode-to-part and part-to-part contacts. After the electric current is switched on, the base metal is heated, the micro-relief is smoothed, the surface films are destroyed and the electrical contact is formed.

The second stage begins when the metal is molten and ends when the welding current is switched off. During this stage, the core of the weld spot grows, the metal stirs, the surface films and metal bonds in the liquid phase continue to break down, the plastic deformation process continues and thermal expansion takes place.

The third stage begins after the current is switched off. During this stage, cooling, crystallisation and shrinkage of the metal takes place, resulting in residual stresses and deformation.

Thus, the initial condition for the process of resistance spot welding is the presence of electrical contact (first step) between the electrode-part and part-part surfaces. However, real contact surfaces always have micro-irregularities, which in mechanical engineering are characterized by roughness and waviness, parameters and terminology of which are regulated by standards [10, 11]. Surface roughness and waviness depend significantly on different machining methods, tool quality and material.

The formation of mechanical microcontacts in the contour area of the contact does not yet guarantee electrical conductivity in it, because the actual surfaces of the parts to be welded are always covered with an oxide film which has a low electrical conductivity [11].

The moment the welding current is switched on, the most unstable period of formation of the cast core begins. According to [11], the electrode compression force, at any programme of application, is not able to noticeably change the electrical resistance of the micropyramids against the value initially determined.

As welding current flows through the contacting micropyramids it heats up and intensively forms a common molten zone, which expands towards the periphery starting from the centre of the joint. During the initial heating phase, oxide films and surface impurities are partially extruded to the periphery. As the current passes through,

some of them are distributed throughout the entire volume of the cast core by stirring. Simultaneously with melting, a considerable amount of heat (over 50%) is dissipated into the electrodes, the parts to be welded and the environment.

The contact resistance decreases sharply at certain critical temperatures (typical of the metal to be welded) after current activation. This is due to the heating of the microcontacts and the reduction of the plastic deformation resistance of the metal, which in turn eases the condition of the surface film breakdown. Further resistance between the electrodes is mainly determined by the resistance of the parts themselves, which increases when heated, due to an increase in the resistivity of the metal. However, this increase does not compensate for the total resistance between the electrodes. Thus, the kinetics of the total resistance change usually has a falling characteristic [9].

It is well known that during the melting process the metal volume increases dramatically. In spot welding, due to the uneven temperature field, the increase in metal volume occurs predominantly in the direction of the electrode axis, as around the perimeter of the cast core is restrained by the colder metal of the parts being welded. The volumetric changes result in an additional force within the formed cast core, which significantly exceeds the compressive force of the electrodes. This thermal expansion of the metal causes the electrodes to expand.

With the heating process, plastic deformation continues in the connection area due to the force of the electrodes. This results in the formation of a sealing belt around the perimeter of the part-to-part contact. The sealing belt holds the liquid metal in the core and seals it from interaction with the atmosphere, protecting the metal from spalling. According to [13], the main cause of spalling is due to the lag between the strain rate and the heating rate. Initial spalling can be explained by overheating of some areas (local contacts) of relatively small area due to misalignment of electrodes, poor preparation of surfaces. They are more likely to occur with hard welding conditions and low forces.

The main physical processes occurring in the molten core are described in most detail in [9]. The molten metal of a cast core, under the action of electromagnetic forces arising from the interaction of welding current with its own electromagnetic field, begins to mix, thereby destroying the oxide films. These volumetric forces reach their maximum value at the periphery of the core and decrease to zero in the centre. In most cases the cast core is ellipsoidal in shape so that pressure gradients arise in the horizontal and vertical directions in the molten metal. Under the influence of these gradients, layers of liquid circulate towards the periphery of the core and then return towards the centre along the core boundary.

After the welding current has been switched off or reduced to a certain value, the molten core cools down and crystallisation follows, accompanied by a reduction in the volume of the molten metal. Residual stresses and shrinkage of the metal occur in the welding area. To reduce these stresses and prevent shrinkage cracks and cavities, the electrode compressive force is usually left for some time after current is turned off or increased to prod the joint [12].

Thus, based on the above, it can be concluded that the quality of the connection in resistance spot welding is largely determined by the initial conditions: the state of the welded surfaces (which vary from batch to batch of parts, oxide films, various surface layers), the value and stability of the initial contact resistance (which is determined by the thermal properties of welded parts, macro- and microgeometry of surfaces, electrode compression force, as well as their working surface geometry). In order to stabilize the initial conditions and further heat generation, the most widely used current pulse heating [12]. This is particularly relevant in resistance spot welding of small thickness parts (less than 0.5 mm), where initial resistance values have the most critical effect on joint characteristics.

1.2.1 Special features of resistance spot-welding of thin-walled components

Spot resistance microfusion welding is an effective method of obtaining an indissoluble joint, of parts from a few micrometres to 0.5 mm thick. The difference to welding thick-walled parts lies in the greater removal of heat released in the welding area to the electrodes and the environment. In addition, the heating and cooling rates are much higher and the temperature fields are more irregular because of the low thermal inertia of the welded parts. Due to these features, resistance spot welding of small thickness parts was initially identified as a separate area of research [5] and has been widely developed to date [6].

The main heating occurs in the contact area between the parts to be welded and the heat dissipation into the metal of the parts is negligible due to their small thickness. In addition, the cooling rate of the weld area in spot micro-welding is much higher than its heating rate [5].

The surface films of the parts to be welded at the beginning of the turning micro-welding process are rapidly destroyed by thermal breakdown and the contact resistance has no further influence on joint formation. However, analysis of experimental data has not revealed any regularity between current constancy and contact resistance constancy in the part-to-part zone in the cold state, but it is reliably known that as the variation in current values increases, the variation in strength characteristics of the joints increases [5].

1.2.2 One-sided resistance welding

It is advisable to use the one-sided resistance spot welding method to weld lithium-ion battery cells. In this method, the welding current is applied from one (upper) side of the workpiece. Two spots are normally produced in a single welding cycle. The method provides high productivity, the possibility to join parts from one side, a reduction in power consumption (small area of the welding contour of the

machine), reduction of warpage of parts (due to the symmetrical simultaneous welding of parts) [23].

2 Development of resistance spot welding technology for Li-ion battery cells of size 26650

The battery consists of twelve battery cells connected to each other by nickel-plated plates in series by micro-contact spot welding (Figure 2). The casing of the lithium-ion battery cells (Figure 3) is made of stainless steel AISI 321, the thickness of the casing wall is 0.25 mm. Nickel-plated plates with a thickness commensurate with that of the battery cell casing must be used for welding the cells (Figure 4).

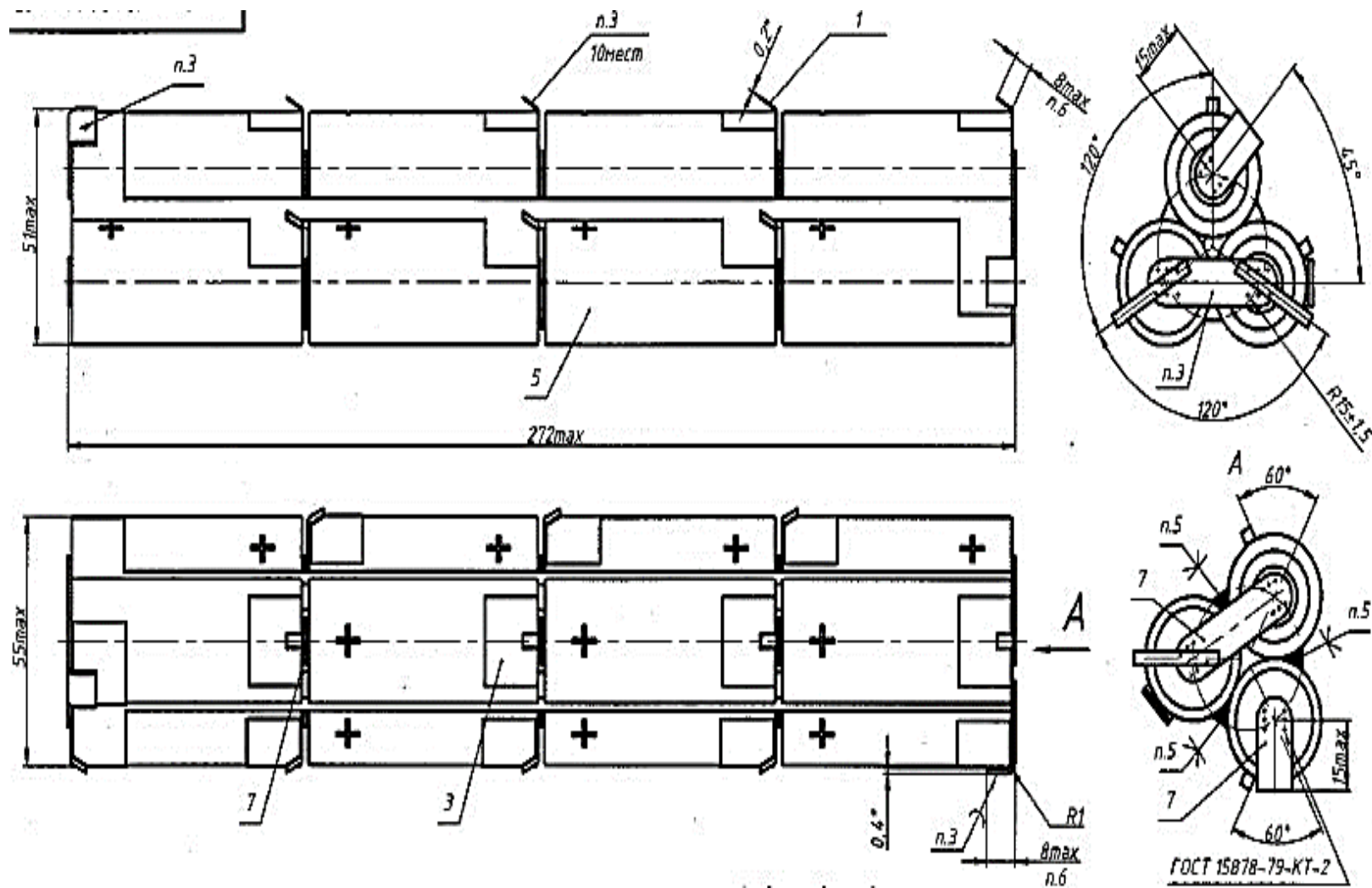


Figure 2 - Assembly of lithium-ion battery cells



Figure 3 - Cylindrical lithium-ion battery cells size 26650



Figure 4 - Nickel-plated steel plate, 11 mm wide and 0.3 mm thick

2.1 Characteristics of steel AISI 321

Mass fraction of elements in steel AISI 321 is given in table 2, thermophysical properties in table 3, mechanical properties in table 4.

Table 2 - Chemical composition of steel AISI 321, % (GOST 5632- 72) [19]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P	Cu
no more						no more		
0.12	0.80	2.00	17-19	9-11	5C-0.8	0.020	0.035	0.30

Table 3 - Thermal properties of steel AISI 321 [19]

Температура, °C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Linear expansion coefficient α , $10^{-6} 1 / ^\circ\text{C}$	–	16.6	17.0	17.2	17.5	17.9	18.2	18.6	18.9	19.3
Heat conductivity λ , $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	15.1	16	18	20	21	23	25	26	28	29
Heat capacity C , $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	465	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Density γ , kg/m^3	7900	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Specific electrical resistance ρ , $\text{n}\Omega \cdot \text{m}$	761	800	865	930	982	1035	1070	1120	1115	1121

Table 4 - Mechanical properties of steel 12X18H10T [19]

Test temperature, °C	$\delta_{0.2}$	δ_B	δ_5	ψ	KCU, J/sm^2
	MPa		%		
20	275	610	41	63	245
300	200	450	31	65	–
400	175	440	31	65	313
500	175	440	29	65	363
600	175	390	25	61	353
700	160	270	26	59	333

The Brinell hardness of 12X18H10T steel is 179 MPa [19], Poisson's ratio in the temperature range from 20 to 700 °C is 0.35 [21], the modulus of elasticity at 20 °C is 20190 MPa [22].

2.2 Preparation of workpiece surfaces for welding

The main purpose of surface preparation for resistance spot welding is to achieve a minimum and stable resistance in the welding electrode-detail contact and a stable low resistance in the component-detail contact [25].

Degreasing is used to remove dirt, oil, masking paint by wiping with solvents or in baths of different composition: soda solutions (for alloy steels)[25].

The quality of the surface preparation is assessed visually: the surface of the parts must be matt or have a uniform metallic lustre. However, in controversial cases the electrical resistance is measured.

2.3 Resistance spot welding mode selection

Welding mode is a set of electrical, mechanical and time parameters provided by the welding equipment and necessary to obtain a quality welded joint.

Many physical, chemical, thermal and mechanical properties of metals, type and parameters of crystal lattice, value of crystallisation interval and temperature brittleness interval, properties of oxide films etc. have a significant influence on welding regime.

The electrical resistivity ρ_0 largely determines the welding current.

The smaller ρ_0 , the larger I_w must be.

The thermal conductivity coefficient λ and the related thermal diffusivity coefficient α determine the heat loss (dissipation) into the peri-seam zone and the base metal. The thermal properties influence the length of the peri-area and the contact temperature. As λ increases, t_w is reduced, and tougher modes are used.

The melting temperature of the alloy (T_m) determines the heat input to the joint, hence determines the value of I_w , the temperature level of the electrode-body contact, thereby affecting the intensity of mass transfer in that contact.

As the coefficient of linear expansion α and the conditional resistance to plastic deformation S_d of the metal increases, the tendency to internal spalling increases and the level of residual stresses increases. When welding metals with large values of S_d , it is necessary to significantly increase F_w , apply a softer regime.

The crystallisation interval and the temperature embrittlement interval (TEI) determine the propensity to form hot cracks. The wider the TEI, the higher the propensity for hot cracking.

The type and parameter of the crystal lattice and the melting temperature determine the affinity when welding dissimilar alloys, the final structure and the properties of the core metal.

Metals change their properties (ρ_0 , λ , α) to a greater or lesser extent with increasing temperature, so preheating with an additional current pulse is often introduced (to increase ρ_0 , decrease λ and α). This reduces the welding current and facilitates the formation of joints. The electrical and physical-mechanical properties of the surface films influence heat dissipation in the contacts and mass transfer processes in the electrode-body contacts.

Input data for mode selection are metal properties and thickness, surface preparation, welding equipment capability and quality requirements. Parameters of the mode are selected from tables, nomograms, calculated or established by experience. The selected or calculated modes are checked and specified for specific conditions [26].

The basic parameters of a resistance spot microwelding regime:

Welding current I_w ; Compression force F_w ; Pulse time t_w ; Electrode diameter d_w

;

Table 7 - Optimum welding parameters[5]

Electrode force, kg	Welding current, A	Welding time, ms
10-14	4000-6800	10-20

2.4 Shape, dimensions, material of the working surface of the electrodes

The resistance of electrodes for different welding processes is assessed differently. The resistance of spot-welding electrodes is most commonly evaluated by the number of spots before the working surface increases by 20%. When spot welding light alloys and clad steels durability is determined by the number of points before cleaning of the working surface which at welding of these materials is polluted much faster, than at welding of steels [26].

Contact machine electrodes are made from special copper-based alloys. They have low electrical resistance, high thermal conductivity and heat resistance, considerable hot hardness and low tendency to interact with the component metal [26].

The shape and size of the working (contact) surface have a significant influence on the size and stability of the cast core and the choice of the remaining regime parameters. The shape of the working surface must match the configuration of the outer surface of the parts.

For resistance spot welding of battery cells, cylindrical electrodes with a diameter of 3...5 mm and a bevelled flat working surface should be used to ensure a minimum distance between the welded points [1].