

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

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

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

«Оборудование и технология сварочного производства»
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Разработка технологии сварки трением с перемешиванием
при изготовлении отсеков космического корабля»

Студент

А.С. Ибрагимов
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д-р техн. наук, профессор В.В. Ельцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки корпусов космических аппаратов. Дуговая сварка неплавящимся электродом в инертных газах, применяемая в качестве базовой технологии, обладает малой производительностью и сопровождается получением дефектов, исправление которых требует затрат времени, электрической энергии и сварочных материалов. Проектный вариант технологии предполагает применение сварки трением с перемешиванием, которая позволит существенно уменьшить трудовые затраты и повысить качество сварки.

На основании анализа альтернативных способов сварки следует признать обоснованным выбор сварки трением с перемешиванием для составления проектной технологии сварки.

В выпускной квалификационной работе решены следующие задачи:

- 1) повысить эффективность сварки трением с перемешиванием для сварки конкретной детали;
- 2) назначить оптимальные параметры режима сварки трением с перемешиванием;
- 3) составить проектную технологию сварки трением с перемешиванием.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 2,5 млн. рублей.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при сварке корпусных деталей из алюминиевых сплавов.

Содержание

Введение	5
1 Анализ состояния вопроса	7
1.1 Описание типовой детали корпуса ракеты	7
1.2 Анализ материала	11
1.3 Базовая технология сварки	13
1.4 Анализ альтернативных способов сварки	17
1.5 Формулировка задач проекта	25
2 Проектная технология сварки	27
2.1 Повышение эффективности сварки трением с перемешиванием	27
2.2 Разработка инструмента для сварки трением с перемешиванием	32
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений	37
3.1 Технологическая характеристика объекта	37
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений	38
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	39
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	40
3.5 Обеспечение экологической безопасности технологического объекта	41
3.6 Заключение по разделу	42
4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений.	43
4.1 Вводная информация для выполнения	

экономических расчётов	43
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	45
4.3 Расчет штучного времени	46
4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки	50
4.6 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам	57
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений	62
Заключение по экономическому разделу	64
Заключение	66
Список используемой литературы	67

Введение

Алюминиевые сплавы получили широкое применение при изготовлении ответственных транспортных конструкций. В авиационной и космической технике алюминиевые сплавы позволяют существенно снизить массу аппарата и расход топлива при сохранении прочности конструкции. Это достигается благодаря тому, что алюминиевые сплавы имеют высокую удельную прочность и малую плотность. Также следует отметить хороший эстетический вид конструкций из алюминиевых сплавов, их высокую стойкость по отношению к коррозии.

Соединение алюминия сваркой плавлением при строительстве алюминиевых конструкций встречает множество затруднений, в числе которых: значительные остаточные напряжения и деформации, пористость и горячие трещины. Избежать этих трудностей представляется возможным, если заменить сварку плавлением на сварку в твёрдой фазе (сварку давлением). Известные и применяемые в промышленности способы сварки давлением, к которым относится сварка взрывом, контактная сварка, диффузионная сварка, ультразвуковая сварка, магнитно-импульсная сварка, имеют ограниченное применение.

Современные исследования в области сварки алюминиевых конструкций позволили обратить внимание на сварку трением с перемешиванием. При этом использование фрикционного нагрева становится возможным значительно снизить энергопотребление и получить прочность соединения на уровне прочности основного металла, при этом существенно снижается уровень напряжений и деформаций, уменьшается структурная неоднородность.

Способ сварки трением в твердой фазе был предложен Британским институтом сварки (TWI) в начале 90-х годов 20-го века. В отечественной литературе сварка трением (Friction Stir Welding, FSW) получила название «сварка трением с перемешиванием» (СТП). В ряде промышленно развитых

стран (страны Европы, США, Китай, Япония) этот способ получил широкое распространение. Основные преимущества этого способа по отношению к другим способам сварки: повышение производительности; низкий уровень остаточных напряжений и деформаций при выполнении протяженных швов; повышение прочностных и механических свойств соединений (проявляющихся при проведении испытаний на растяжение, изгиб, статические, динамические и ударные нагрузки); высокая стабильность качества получаемых соединений; существенное упрощение подготовительных операций. Также следует отметить отсутствие вредного ультрафиолетового излучения при сварке, полное устранение горячих трещин и пористости при сварке алюминиевых сплавов, отсутствие необходимости применения присадочного материала, отсутствие потерь на угар и разбрызгивание, отсутствие необходимости зачистки брызг металла и шлака [1...4].

Существенный вклад в исследование нагрева в процессе трения был внесён такими учёными: Н.Н. Рыкалин, И.В. Крагельский, В.П. Воинов, Н.М. Михин, В.А. Балакин, В.С. Щедров, В.И. Вилль, В.А. Кудинов, А.А. Ильюшин, А.В. Чичинадзе, М. В. Коровчинский, R. Nandan, A.P. Reynolds, С.А. Серегин и др.

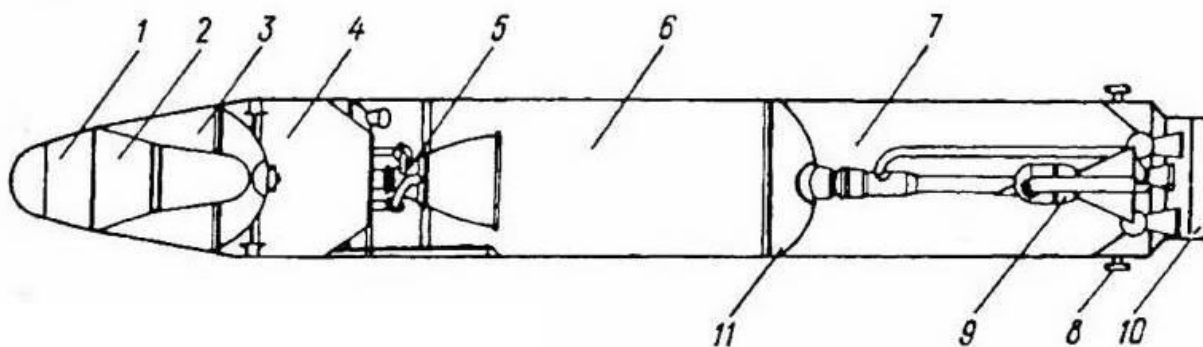
В настоящий момент можно признать, что основные практические и теоретические вопросы, мешавшие широкому промышленному применению сварки трением с перемешиванием, решены. Однако данный способ получения сварных соединений может ещё считать относительно новым, поэтому ряд практических вопросов, связанных с применением его для соединения конкретных конструкций, ещё пока не решён.

Таким образом, тема выпускной квалификационной работы может считаться актуальной, цель работы – повышение производительности и качества сварных соединений при изготовлении конструкций космических аппаратов за счёт внедрения сварки трением с перемешиванием.

1 Анализ состояния вопроса

1.1 Описание типовой детали корпуса ракеты

Конструкции управляемых и неуправляемых ракет очень разнообразны. Однако, несмотря на это, корпус ракет выполняется по одному и тому же принципу. Корпус ракеты включает в себя (рис. 1.1) топливные баки, приборный и хвостовой отсеки. В топливные баки заправляются компоненты топлива. Топливные баки являются несущей конструкцией, т.е. помимо функции хранения топлива они являются силовым элементом корпуса космического корабля. В приборном отсеке помещается аппаратура для слежения и управления космическим аппаратом. Приборный отсек может находиться как между топливными баками, так и непосредственно за боевой частью. В хвостовом отсеке помещается двигатель и приборы системы управления. Помимо этого хвостовой отсек принимает на себя основную нагрузку, пока ракета находится на боевом дежурстве.



1 – приборный отсек; 2 – боевой блок; 2 – бак горючего второй ступени; 4 – бак окислителя второй ступени; 5 – двигатель второй ступени; 6 – бак окислителя первой ступени; 7 – бак горючего первой ступени; 8 – направляющий бугель; 9 – двигатель первой ступени; 10 – переходник; 11 – разделительное днище

Рисунок 1.1 – Компоновка ракеты

Типовой деталью корпуса космического аппарата является приборный отсек (рис. 1.2). В приборном отсеке, выполненном в виде усечённого конуса,

располагают бортовую радиоаппаратуру системы управления и прицеливания, аппаратуру подавления и создания помех.

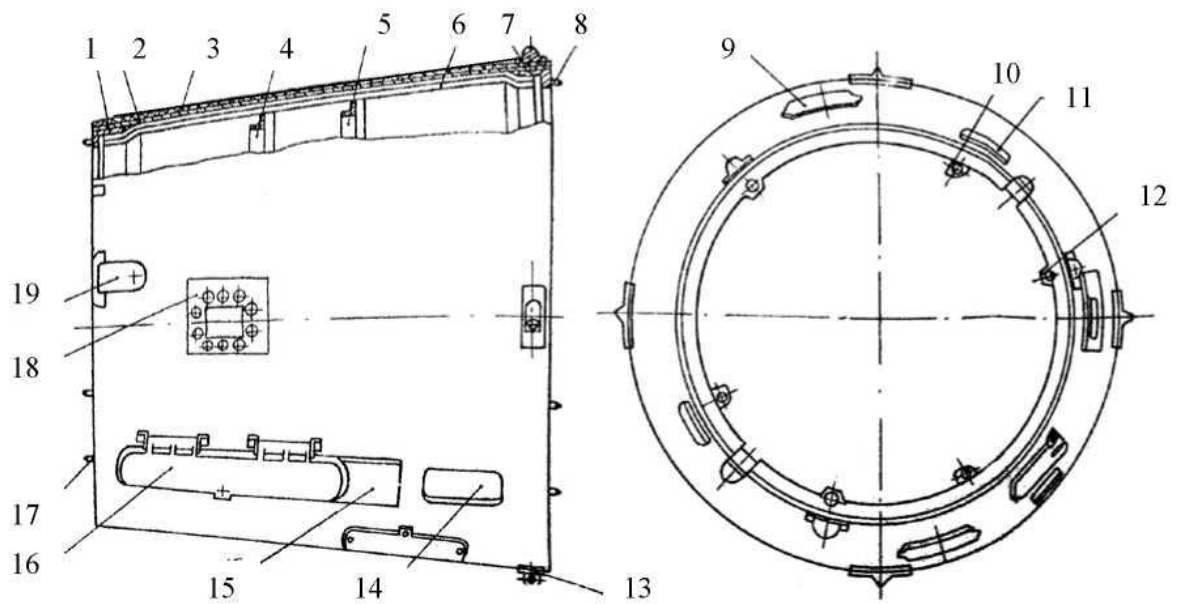


Рисунок 1.2 – Приборные отсеки баллистических ракет

Корпус приборного отсека включает в себя обшивку 2, стрингеры 6, торцевые шпангоуты 1 и 7, промежуточные шпангоуты 4 и 5. Соединение обшивки и силового набора выполняется при помощи заклепок. Для изготовления стрингеров, переднего торцевого и промежуточных шпангоутов применяется алюминиевый сплав Д16-Т. Для изготовления обшивки применяется алюминиевый сплав Д19-Т. Для изготовления заднего торцевого шпангоута применяется магниевый сплав ВМ65-1.

Люки 11 расположены на боковой поверхности приборного отсека. При помощи люков обеспечивается доступ к электрическим разъемам. Установка бортовых электрических и пневматических разъёмов осуществляется через плату 15. Состояние бортовых разъёмов контролируется через самозакрывающуюся крышку 16. Опорное кольцо крепится при помощи кронштейнов 13. Кабели системы управления выводятся через люк 14. Азимутальное наведение ракеты на цель осуществляется через лючок 18.

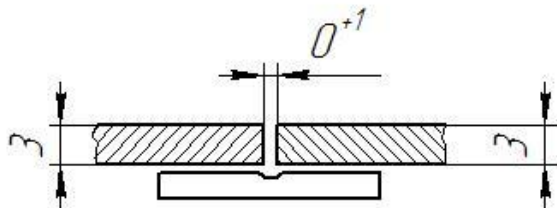
Наиболее ответственным соединением, отвечающим за целостность и функционирование всего отсека, является сварной шов обшивки со шпангоутами (рис. 1.3, 1.4).



1, 7 – торцевые шпангоуты; 4, 5 – промежуточные шпангоуты; 2 – обшивка;
 3 – теплозащитное покрытие; 6 – стрингер; 8, 17 – направляющие штыри; 9, 16, 19 –
 крышки; 10, 12 – фитинги; 11, 14 – люки; 13 – кронштейн,
 15, 18 — платы

Рисунок 1.3 – Корпус приборного отсека

Подготовка кромок (2:1)



Форма шва (2:1)

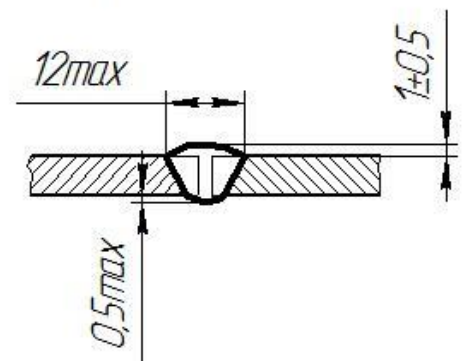


Рисунок 1.4 – Подготовка кромок и форма шва под сварку

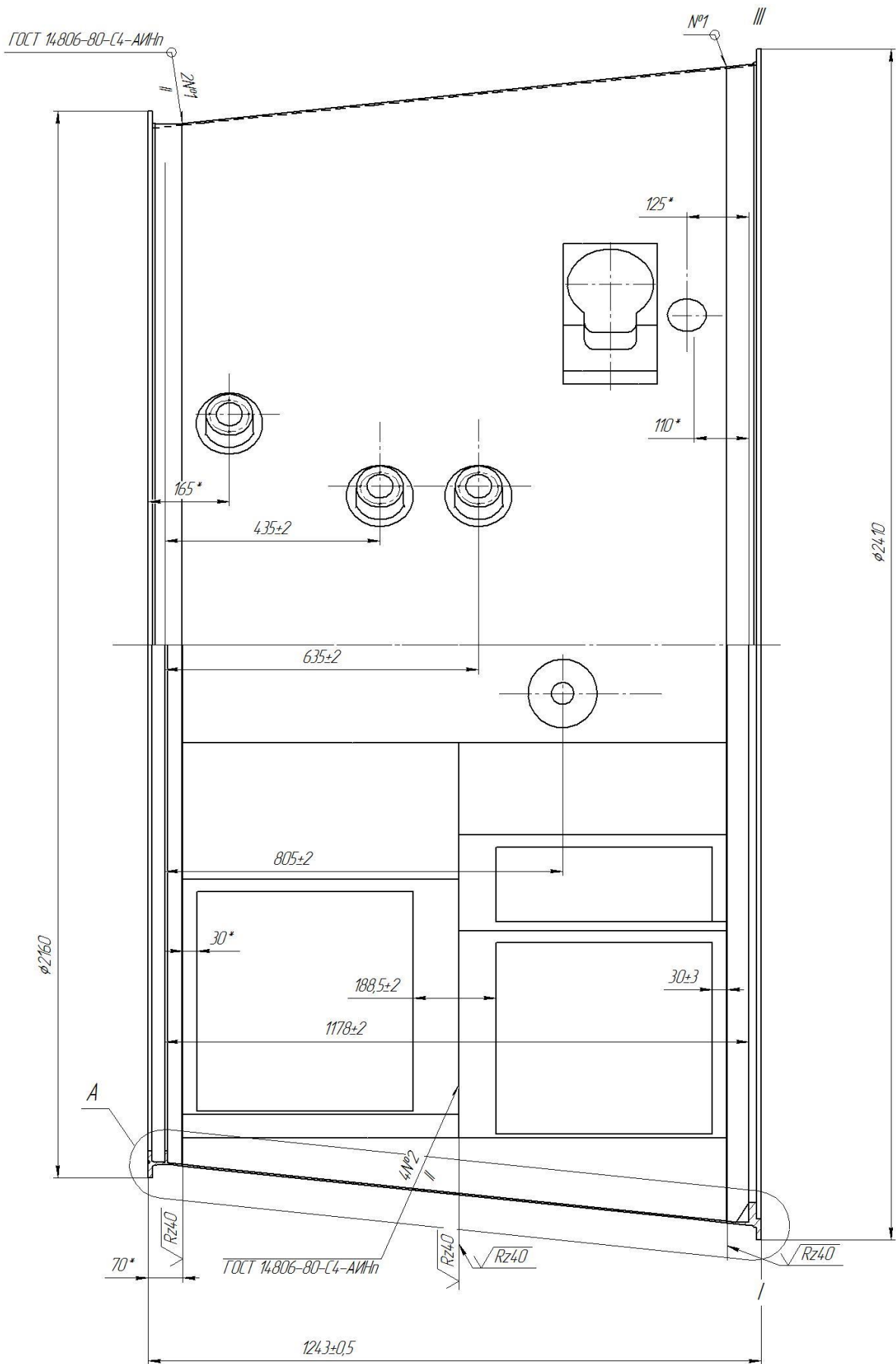


Рисунок 1.4 – Сварка швов корпуса приборного отсека

1.2 Анализ материала

Детали корпуса ракеты изготавливают из алюминиевых сплавов Д16-Т и Д19-Т, которые следует отнести к сплавам системы «алюминий-медь-магний» (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Содержание химических элементов в сплавах Д16Т и Д19Т

Сплав	Магний	Марганец	Медь	Титан	Кремний	Железо	Цинк	Хром
Д16Т	1,2...1,8	0,3...0,9	3,8... 4,9	до 0,15	До 0,5	До 0,5	До 0,25	До 0,1
Д19Т	1,7...2,3	0,1...1,0	3,8... 4,3	до 0,1	До 0,5	До 0,5	До 0,1	До 0,1

Таблица 1.2 - Механические и физические свойства сплава Д16Т и Д19Т

Сплав	Плотность, г/см ³	Электропроводность от электропроводности меди, %	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Твёрдость НВ
Д16Т	2,800	30	530	370	10	100
Д19Т	2,760	30	460	360	12	90

Сварка алюминиевых сплавов встречает трудности, которые обусловлены свойствами алюминиевых сплавов (высокая теплопроводность, образование оксидной плёнки и т.д.):

1) на поверхности алюминиевых деталей присутствует и дополнительно образуется при нагреве тугоплавкий окисл Al_2O_3 , температура которого ($T_{пл} = 2050\text{ }^\circ\text{C}$) превышает температуру плавления алюминия, а плотность больше чем плотность расплавленного алюминия. Это приводит к

загрязнению металла шва окислами (которые тонут в расплавленном металле) и существенно затрудняет сплавление кромок.

2) нагрев алюминиевых сплавов до высоких температур вызывает их катастрофическую потерю прочности, в результате чего сварочная ванна «проваливается» под собственным весом, происходит вытекание алюминия через корень шва или зазор.

3) алюминиевые сплавы имеют большой коэффициент линейного расширения и низкий модуль упругости, в результате этого при сварке алюминиевых сплавов наблюдаются повышенные деформации и коробление конструкции.

4) при сварке конструкций из алюминиевых сплавов следует выполнять химическую очистку сварочной проволоки самым тщательным образом. Кроме того, следует проводить механическую очистку и обезжиривание кромок свариваемых изделий.

5) При сварке конструкций из алюминиевых сплавов происходит интенсивное растворение газов в нагретом жидком металле. При остывании и кристаллизации расплавленного металла происходит их задержка в сварочной ванне, в результате чего получается интенсивная пористость, снижение прочностных и пластических свойств металла сварного шва.

6) Металл сварного шва имеет грубую столбчатую структуру, по границам зёрен выделяется легкоплавкая эвтектика. В результате этого при сварке конструкций из алюминиевых сплавов возникают трещины.

7) алюминиевые сплавы имеют высокий коэффициент линейной усадки, в результате этого при сварке конструкций из алюминиевых сплавов возникают значительные усадочные напряжения.

Описанные металлургические проблемы возникают при всех способах сварки конструкций из алюминиевых сплавов. Использование источников нагрева с высокой концентрацией энергии существенно снижает остроты описанных проблем, так как в этом случае вложение тепла в изделие

начинает носить более локальный характер, существенно уменьшается зона термического влияния.

Если используются источники нагрева с концентрированной энергией (плазменная сварка, лазерная сварка, сварка трёхфазной дугой), то влияние наличия окисной пленки на поверхностях изделия на качество сварки существенно снижается.

При сварке конструкций из алюминиевых сплавов с применением традиционных способов механические свойства металла сварного шва приблизительно на 20...35 % меньше, чем у основного металла. Значительное влияние на уровень свойств оказывает металлургическое состояние основного материала.

1.3 Базовая технология сварки

Устранение вредного влияния оксидов и загрязнений, которые присутствуют на поверхности алюминиевых деталей, выполняют при помощи предварительной подготовки поверхности.

Непосредственно перед сваркой выполняют окончательную зачистку на расстоянии 15...25 мм от места сварки с применением металлической щетки. Для зачистки следует применять щетки из нержавеющей сталей с диаметром проволоки не больше 0,15 мм. Использование наждачного круга или наждачной бумаги нецелесообразно, так как при этом они быстро забиваются стружкой. После механической очистки с применением стальной щетки кромки следует тщательно вытереть насухо с использованием чистой ветоши, удаляя все порошкообразные загрязнения. Если за указанное время сварка не была проведена, следует проводить повторную зачистку кромок перед сваркой.

В общем виде предварительная подготовка по сварку поверхности деталей предусматривает выполнение следующих операций:

- обезжиривание поверхности с применением в 5 % водного раствора едкого натра, температура раствора должна составлять 60...80°C, время обработки – 2 минуты;
- далее промывают детали в в теплой воде, температура которой должна быть не ниже 45°C;
- далее выполняют промывку деталей в проточной холодной воде;
- после промывки выполняют осветление деталей, помещая их в 15 % водный раствор азотной кислоты, температура раствора должна составлять 60...65 °С, продолжительность обработки деталей –2...5 мин;
- после осветления следует промыть детали в теплой воде с температурой не ниже 45 °С и в проточной холодной воде;
- после промывки детали следует осушить обдувом воздухом с температурой 60 °С, до полного удаления влаги на поверхности деталей.

Непосредственно перед сваркой следует обезжирить поверхность деталей с применением ацетона или другого растворителя.

Сварку можно проводить не позднее, чем через 24 часа после очистки поверхностей деталей. Если после очистки деталей прошло больше 24 часов, следует повторить операцию очистки перед сваркой.

Для сварки применяют проволоку Св-АМг6 по ГОСТ 7871-75. Присадочная проволока поставляется в отожженном или нагартованном состоянии. Перед началом сварки следует осмотреть проволоку и проверить соответствие состояния поверхности требованиям ГОСТ 7871.

Перед сваркой следует подвергнуть присадочную проволоку химической очистке. После проведенной химической очистки сварочные материалы можно хранить на воздухе не более 12 часов или в закрытой таре не более 36 часов. В противном случае перед сваркой следует выполнить повторную химическую очистку присадочной проволоки.

Для защиты места сварки от окружающего воздуха применяют аргон по ГОСТ 10157.

Таблица 1.3 – Содержание химических элементов в присадочной проволоке Св-АМг6 согласно ГОСТ ГОСТ 7871-75

магний	Марганец	Титан	Железо	Кремний	Медь	Цинк	Примесей
5,8 – 6,8	0,5 – 0,8	0,1 – 0,2	до 0,4	до 0,4	до 0,1	до 0,2	всего до 1,2

Сварку выполняют с применением автоматической сварочной установки (рис. 1.5). В качестве источника питания дуги применяется TETRIX 551 AC/DC SYNERGIC FWD (рис. 1.6).

Аргонодуговую сварку неплавящимся электродом должна выполняться с соблюдением техники сварки. Между присадочной проволокой и электродом следует поддерживать угол приблизительно 90°. Подачу присадочной проволоки следует выполнять короткими возвратно-поступательными движениями. Сварку следует вести без поперечных колебаний неплавящегося электрода. Вылет вольфрамового электрода от торца наконечника горелки должен составлять 1...1,5 мм, а длина дуги - 1,5...2,5 мм. Сварку следует выполнять справа налево ("левый" способ), что позволяет уменьшить перегрев основного металла.

Таблица 1.4 – Параметры режима сварки неплавящимся электродом в аргоне

Условное обозначение шва по ГОСТ 14806	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Расход аргона, л/мин	Сварочный ток, А	Кол-во слоев
С4	3,0	4,0	3,0	7...8	150...170	1



Рисунок 1.5 – Установка для автоматической аргодуговой сварки



Рисунок 1.6 – Сварочный источник питания TETRIX 551 AC/DC SYNERGIC FWD

После сварки следует выполнить зачистку усиления сварного шва, удаляя его до высоты не более 1 мм.

Контроль качества сварки выполняют неразрушающий с применением рентгенографирования. Выполняют контроль 100 % швов с применением аппарата РАП 100П-10 (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Аппарат рентгеновского контроля РАП 100П-10

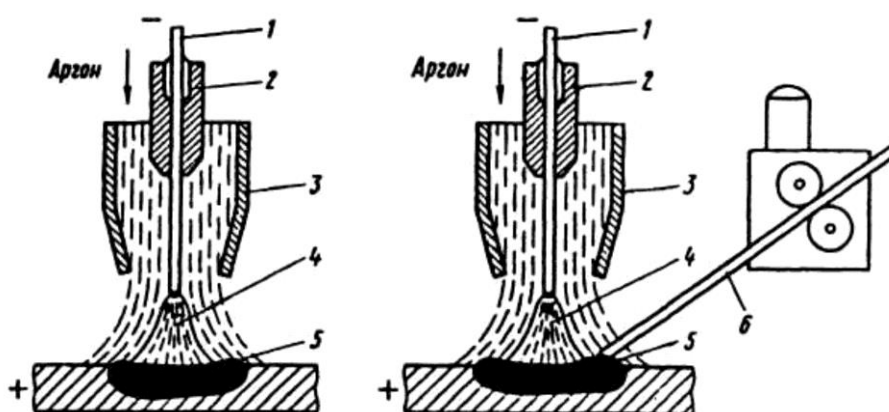
При сварке конструкций из алюминиевых сплавов возможно получение следующих дефектов: горячие и холодные трещины, раковины, несплавления, вольфрамовые и другие включения, газовая пористость, оксидные пленки. Сварка ответственных конструкций требует высокой культуры производства, подготовки деталей и присадочной проволоки. Следует ответственно относиться к поддержанию надлежащих производственных условий: влажности, температуры, скорости движения воздуха.

1.4 Анализ альтернативных способов сварки

Сварка неплавящимся электродом в средах инертных газов предусматривает использование в качестве источника нагрева сварочной дуги, действие которой приводит к разогреву и плавлению металла. Подачу инертного газа осуществляют через газовое сопло. Инертный газ служит для защиты сварочного электрода и металла сварочной ванны от окисляющего

действия воздуха. Защитными газами могут служить аргон, гелий или смеси этих газов. Сварочный электрод расположен в центре газового сопла и выполнен из вольфрама. Сварочную присадку вручную подают в зону горения дуги. Сварочную дугу питают от источника переменного тока, горение дуги на переменном токе позволяет разрушать окисные плёнки на поверхности изделия и присадочной проволоки.

Сварка неплавящимся электродом в инертном газе (TIG-сварка, Tungsten Inert Gas) начала активно развиваться с 60-х годов XX века, когда активное развитие получили авиационная и космическая техники. В данный момент сварка неплавящимся электродом в инертных газах позволяет получать соединения, удовлетворяющие самым высоким требованиям по качеству. Благодаря этому она широко распространена при ремонте и изготовлении деталей из алюминиевых сплавов.



1 – электрод; 2 – зажим электрода; 3 – сопло; 4 – дуга;
5 – сварочная ванна; 6 – присадочный стержень

Рисунок 1.8 – Схема сварки неплавящимся электродом

В числе преимуществ TIG-сварки следует отметить: хороший внешний вид сварных соединений; высокое качество сварного шва; возможность регулирования процента наплавленного металла; малое термическое воздействие на изделие.

В качестве недостатков TIG-сварки следует отметить: малая производительность сварки; высокие требования к квалификации сварщиков; необходимость тщательной очистки присадочной проволоки и изделия.

Альтернативой ручной аргодуговой сварке неплавящимся электродом является механизированная сварка плавящимся электродом в среде инертных газов.

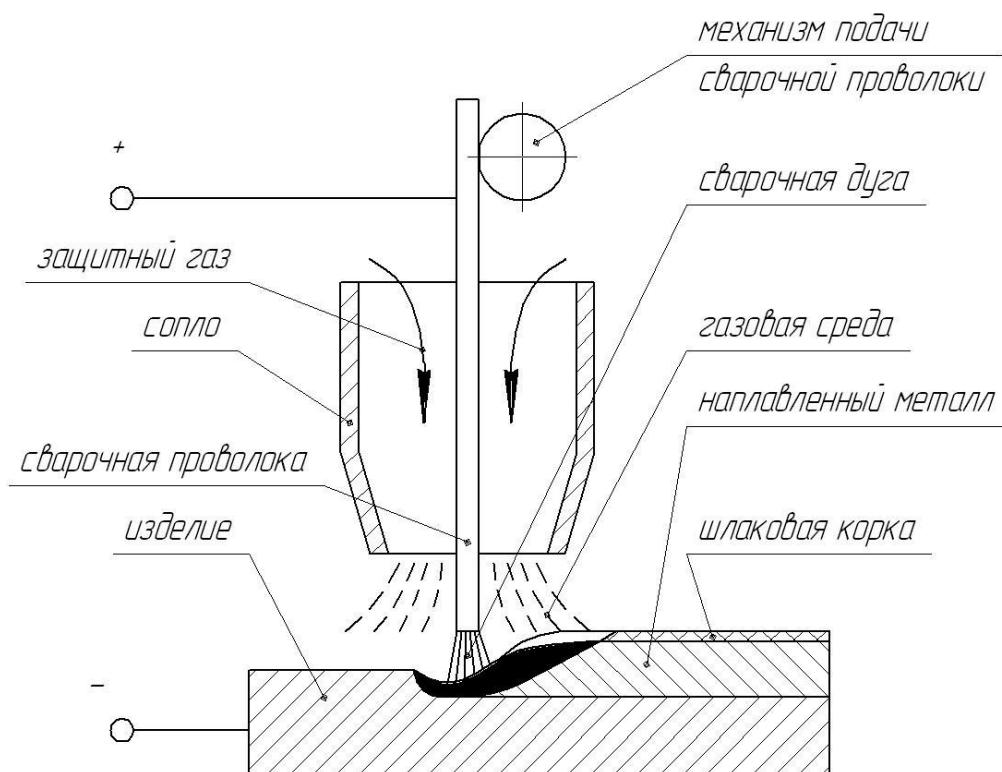


Рисунок 1.9 – Схема механизированной сварки с применением плавящегося электрода в среде инертного газа

Основным недостатком этого способа является большая вероятность образования пор в сварных швах. Этот недостаток устраняется при использовании способа импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Этот способ сварки обеспечивает струйный перенос металла в широком диапазоне режимов сварки, что обеспечивает отсутствие разбрызгивания и хорошее формирование сварных швов. При сварке импульсной дугой по сравнению со сваркой стационарной дугой значительно

уменьшается пористость металла шва, несколько возрастает прочность сварных соединений.

Механизированная сварка легких сплавов проволокой сплошного сечения может быть выполнена с применением специальных импульсных источников. Формируемый в таких источниках питания импульс высокого напряжения разрушает оксидную пленку на поверхности алюминиевых деталей. Управляемое горение дуги позволяет стабилизировать перенос электродного металла, который проходит все необходимые стадии: плавление, формирование капли, переход капли на основной металл, кристаллизация. За счёт управления ванной расплава можно получить высокую стабильность качества сварных соединений. Импульсное управление горением сварочной дуги и переносом электродного металла позволяет существенно уменьшить разбрызгивание, повысить стабильность при возбуждении и горении дуги, существенно уменьшить сварочные напряжения и деформации, существенно повысить эксплуатационные свойства сварных соединений и наплавленных деталей.

С 1960-х годов одним из направлений развития дуговой наплавки стало совершенствование плазменно-дуговых способов. За короткий период решены сложные научно-технические вопросы, создано оборудование и производственная технология. Плазменная сварка (сварка сжатой дугой) выполняется на постоянном токе обратной полярности. Применение сжатой дуги позволяет достигнуть высокой плотности тока в столбе дуги, увеличить концентрацию энергии. Это в свою очередь даёт возможность существенно повысить скорость сварки, уменьшить размеры зоны термического влияния и деформации конструкции.

Горение сжатой дуги более устойчиво по сравнению со сваркой обычной дугой в защитных газах, качество сварки стабильно при колебаниях длины дуги.

Особенностями сварки сжатой дугой являются:

- повышение температуры горения дуги;

- уменьшение диаметра столба дуги;
- дуга принимает цилиндрическую форму, в то время, как при сварке несжатой дугой она принимает коническую форму;
- в 6...10 раз увеличивается давление дуги на металл;
- появляется возможность горения дуги при малых токах, составляющих 0,2...30 А.

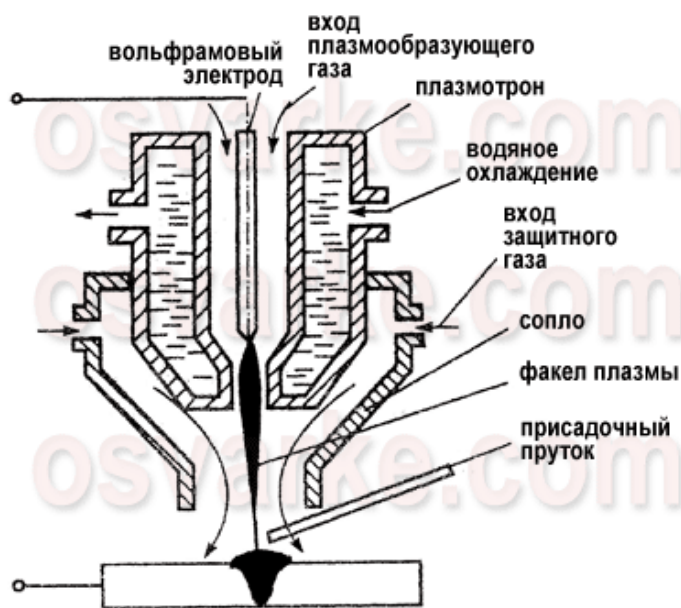


Рисунок 1.10 – Схема плазменной сварки

Дальнейшее развитие TIG-сварки получила в виде трёхфазной сварки неплавящимся электродом [7...12]. Сварка трёхфазной дугой использует два вольфрамовых электрода, к каждому из которых от трехфазного источника питания подводится переменный ток, третья фаза подключается к изделию. При этом происходит одновременное горение трёх дуг. Две дуги горят между электродами и изделием, а третья дуга – независимая и горит между электродами. Такая схема позволяет получить высокую устойчивость и производительность процесса сварки и наплавки.

Трёхфазная дуга позволяет регулировать вложение тепла в основной металл. Увеличение глубины проплавления происходит при последовательном включении сварочных электродов. Уменьшение глубины

проплавления и увеличение ширины шва происходит при параллельном подключении электродов.

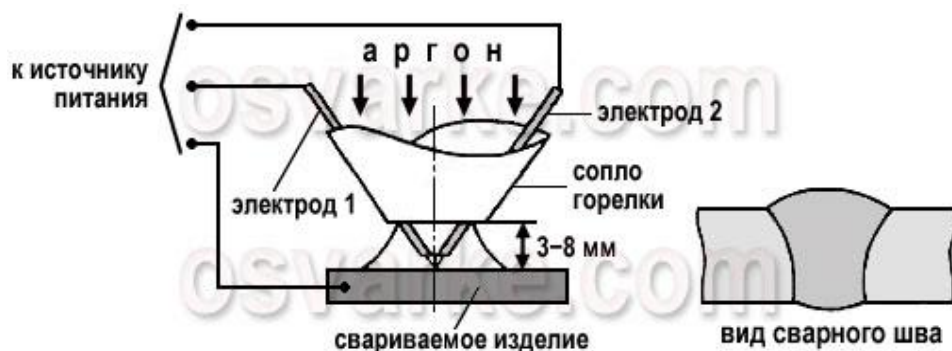


Рисунок 1.11 – Схема сварки трёхфазной дугой

Преимуществами сварки трёхфазной дугой являются: высокая производительность, высокая проплавляющая способность дуги; интенсивное катодное распыление оксидных плёнок на поверхности изделий из алюминиевых сплавов. В качестве недостатков можно отметить необходимость обеспечения высокого качества подготовки присадочной проволоки и большую массу сварочной горелки.

Способ сварки трением в твердой фазе был предложен Британским институтом сварки (TWI) в начале 90-х годов 20-го века. В отечественной литературе сварка трением (Friction Stir Welding, FSW) получила название «сварка трением с перемешиванием» (СТП). В ряде промышленно развитых стран (страны Европы, США, Китай, Япония) этот способ получил широкое распространение. Основные преимущества этого способа по отношению к другим способам сварки: повышение производительности; низкий уровень остаточных напряжений и деформаций при выполнении протяженных швов; повышение прочностных и механических свойств соединений (проявляющихся при проведении испытаний на растяжение, изгиб, статические, динамические и ударные нагрузки); высокая стабильность качества получаемых соединений; существенное упрощение подготовительных операций. Также следует отметить отсутствие вредного ультрафиолетового излучения при сварке, полное устранение горячих

трещин и пористости при сварке алюминиевых сплавов, отсутствие необходимости применения присадочного материала, отсутствие потерь на угар и разбрызгивание, отсутствие необходимости зачистки брызг металла и шлака [1...4].

Сущность процесса сварки трением с перемешиванием заключается в следующем (рис. 1.12). Для выполнения сварки применяют нерасходуемый инструмент, который выполнен в виде двух цилиндров. Большой цилиндр имеет плоский торец диаметром D , он называется «заплевички». Цилиндр меньшего диаметра d выступает из большого цилиндра диаметром D . Цилиндр меньшего диаметра, выступающий из заплевичков, носит название «пина». Инструмент наклоняют на угол α относительно деталей. Далее сообщают инструменту вращение с угловой скоростью ω . После этого выполняют погружение инструмента в материал свариваемых деталей на глубину h . Далее вращающийся инструмент перемещают вдоль линии стыка со скоростью сварки $V_{св}$, выполняя сварку «углом вперед». На инструмент действует сжимающая сила P_z , которая прикладывается к металлу под заплевичками. В результате под действием трения металла в зоне сварки нагревается и находится под заплевичками в пластифицированном состоянии. Из-за перемешивания пластифицированного металла и приложения к нему давления происходит образование сварного шва за инструментом. По окончании сварки в месте выхода инструмента из детали остается характерное глухое отверстие, которое повторяет форму пина инструмента.

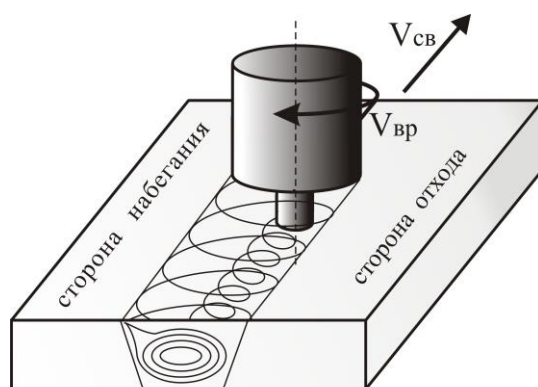


Рисунок 1.12 – Сущность сварки трением с перемешиванием

Применение сварки трением с перемешиванием позволяет получить ряд преимуществ перед дуговой сваркой:

- качество сварных соединений очень высокое и стабильное;
- сварное соединение обладает высокой прочностью, соизмеримой с прочностью основного металла;
- процесс сварки трением с перемешиванием имеет высокую производительность;
- при сварке трением с перемешиванием появляется возможность получения соединений металлов и сплавов, которые трудно сварить с применением традиционных способов сварки;
- существенно уменьшаются остаточные напряжения и деформации в сварных конструкциях, что особенно важно при выполнении протяжённых швов;
- существенно упрощаются требования к проведению подготовительных работ перед сваркой;
- существенно уменьшается масса конструкции, так как не требуется получения усиления шва.

Изучению особенностей протекания процесса сварки трением с перемешиванием и внедрению этого технологического процесса в производство на российских предприятиях посвящено множество научных исследований.

В работе [17] выполнены исследования механизма образования соединения при сварке трением с перемешиванием, для обоснования назначения параметров режима сварки предложен критерий подобия, представлены рекомендации по выбору оптимальных значений параметров режима сварки конструкций из алюминиевых сплавов. Результаты исследований внедрены на производство при изготовлении токоведущих шин.

В работе [18] описаны методика и результаты испытаний сварных соединений на разрушение, на статическое растяжение исследовались

сварные конструкции из алюминий-магниевого сплава. Показано, как макро- и микроструктура швов, полученных с применением сварки трением с перемешиванием, зависит от выбранных параметров режима сварки. Установлено, что при сварке в структуре шва возникает слоистая ультрамелкозернистая структура, которая не имеет признаков текстуры проката.

Работа [19] позволяет сформулировать особенности перемешивания пластифицированного металла при сварке трением с перемешиванием. Исследования проводились на образцах из сплава 1460.

В работе [20] исследовался процесс сварки трением с перемешиванием при выполнении стыков алюминиевых труб. Предложены конструкции инструментов, сформулированы требования к закреплению заготовок, даны рекомендации к назначению оптимальных параметров режима сварки.

В работе [21] исследовались особенности сварки трением с перемешиванием конструкций из сплава АД31. Предложена математическая модель распространения тепла при сварке, которая может быть использована для выбора оптимальных параметров режима сварки, прогнозирования структуры и свойств сварных соединений.

1.5 Формулировка задач проекта

В выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества сварных соединений при изготовлении конструкций космических аппаратов за счёт внедрения сварки трением с перемешиванием. Базовая технология сварки предусматривает автоматическую аргонодуговую сварку неплавящимся электродом. Недостатками этого способа сварки являются

- низкая производительность сварки;
- вредное воздействие сварочной дуги на персонал;
- высокая стоимость выполнения сварочных работ.

Предварительный литературный обзор посвящён анализу альтернативных способов сварки, обоснованию выбора в качестве проектного способа сварки трением с перемешиванием, анализу путей повышения эффективности этого способа сварки. На основании анализа альтернативных способов сварки следует признать обоснованным выбор сварки трением с перемешиванием для составления проектной технологии сварки.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- 1) повысить эффективность сварки трением с перемешиванием для сварки конкретной детали;
- 2) назначить оптимальные параметры режима сварки трением с перемешиванием;
- 3) составить проектную технологию сварки трением с перемешиванием.

2 Проектная технология сварки

2.1 Повышение эффективности сварки трением с перемешиванием

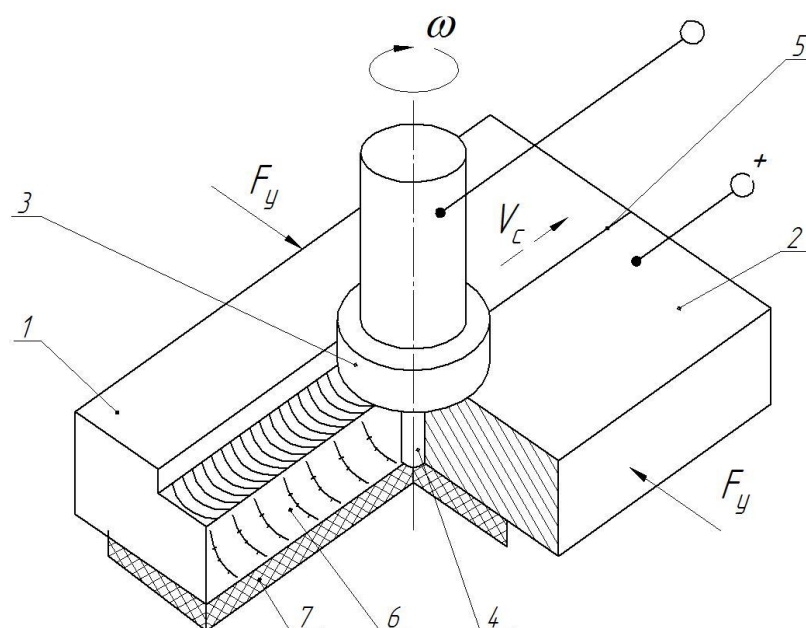
Сварку трением с перемешиванием выполняют следующим образом. Свариваемые детали соприкасают друг с другом и фиксируют. При этом линия соприкосновения деталей в дальнейшем будет являться траекторией движения сварочного инструмента и осью сварного шва. В стык деталей вводится вращающийся зонд. Зонд выполнен из более твердого материала, чем материал свариваемых деталей. За счёт трения при вращении зонда в теле деталей выделяется теплота, а нагреваемый при этом материал деталей в месте сварки переходит в пластифицированное состояние. Вращающийся зонд перемещают вдоль линии стыка деталей, при этом материал перед зондом пластифицируется, а за зондом – затвердевает. Таким образом происходит сварка деталей между собой.

В качестве недостатков сварки трением с перемешиванием следует отметить:

- высокая опасность разрушения инструмента под действием циклических нагрузок, изгиба и нагрева;
- перегрев верхней части сечения соединения, что приводит к увеличению ширины шва;
- на поверхности шва из-за действия заплечиков шва образуются бороздки и другие неровности;
- сварные швы формируются несимметричными из-за неравномерности съёма материала со стыкуемых кромок и его переноса.

Предлагаемый способ сварки трением с перемешиванием (рис. 2.1) предусматривает выполнение следующих операций. Свариваемые детали 1 и 2 закрепляют при помощи сварочного приспособления. Далее в тело свариваемых деталей вводят вращающийся инструмент, который состоит из заплечника 3 и пина 4, выполненных в виде цилиндра. Заглубление пина 4 в

тело свариваемых деталей 1 и 2 осуществляют до касания заплечика 3 поверхности деталей, что соответствует заглублению на 0,90...0,95 толщины свариваемых деталей. После этого перемещают вращающийся инструмент вдоль стыка 5. За счёт трения заплечика 3 о поверхность деталей металл деталей разогревается, переходит в твердожидкое состояние и вытесняется к пину 4 и изоляционной прокладке 7, где формирует расплав 6.



1, 2 - свариваемые детали; 3, 4 - заплечик и наконечник (пин) инструмента;
5 - стык; 6 - разогретый металл; 7 - изоляционная подкладка

Рисунок 2.1 – Способ сварки трением с перемешиванием

При перемещении инструмента вдоль стыка деталей 5 через инструмент и свариваемые детали пропускают импульсы тока, плотность которого составляет 30...50 А/мм². Благодаря этим импульсам металл свариваемых деталей в зоне перед наконечником (пином) дополнительно разогревается и переходит в пластичное состояние. Это уменьшает нагрузку на инструмент.

Принимаемый диапазон плотности тока в пределах 30...50 А/мм² объясняется следующим образом. Если плотность тока составляет меньше 30 А/мм², металл перед пином нагревается недостаточно и не переходит в пластичное состояние, поэтому положительный эффект от предварительного нагрева металла не наблюдается. Если плотность тока превышает 50 А/мм²,

наблюдается подплавление металла на участке касания инструмента с поверхностью деталей, что приводит к нарушению формирования соединения и повышает вероятность получения подповерхностных трещин. Исходя из этого следует признать оптимальными значениями плотности тока в диапазоне 30...50 А/мм².

Импульсы тока характеризуются величиной и длительностью. Длительность импульса тока удобно соотнести с частотой n вращения инструмента. При этом, если длительности импульса недостаточная и составляет менее чем $2,0/n$, перед пином 4 не образуется необходимого количества перегретого металла в твердожидком состоянии, не снижается нагрузка на инструмент и нет возможности увеличить производительность сварки. Если же длительность импульса тока превышает $3,5/n$, происходит перегрев металла и вокруг пина инструмента формируется жидкая прослойка. Это приводит к образованию осевой трещины вдоль стыка соединяемых деталей и пустот в корневом слое шва (рис. 2.2). Также перегрев пина вызывает диффузию в его тело алюминия, разупрочнение инструмента и его разрушение.

Исходя из этого длительность протекания импульсов тока должна быть в пределах $(2,0...3,5)/n$, где n – частота вращения инструмента при сварке трением с перемешиванием.

Экспериментальную сварку трением с перемешиванием выполняли на образцах толщиной 3 мм из сплава Д16Т. Для выполнения сварки фрезерный станок оснастили приспособлением для жёсткой фиксации образцов. Приспособление имело подкладку из изоляционного термостойкого материала. В подкладке была выполнена канавка для формирования корня шва. Подкладку устанавливали в приспособлении под стыком свариваемых деталей. Инструмент для сварки был выполнен из жаропрочного сплава ХН55ВМКТЮ. Запечник имел диаметр 16 мм, пин – высоту 2,7 мм и диаметр 3 мм. Рабочая часть запечника выполнялась полированной. Инструмент

вращался с частотой 800 об/мин. Сварку производили с различными параметрами импульса подогревающего тока (табл. 2.1).

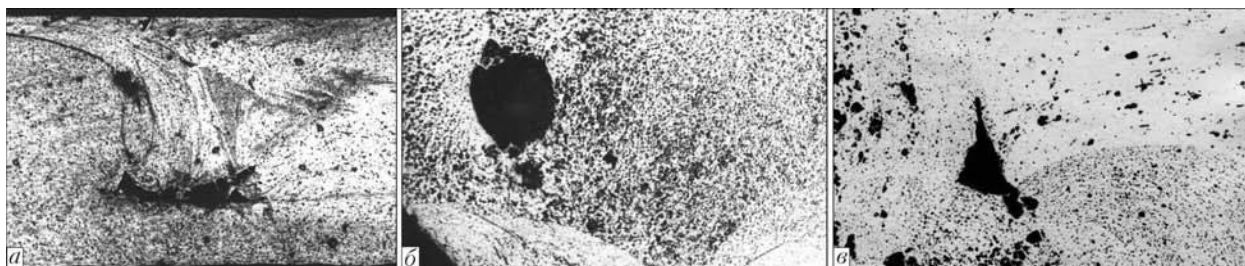


Рисунок 2.2 – Пустоты в корневой части соединения при чрезмерной длительности импульса

Таблица 2.1 – Результаты сварки образцов

Параметры подогревающих импульсов тока		Максимально достижимая скорость сварки, м/мин	Обнаруженная особенность формы шва
Плотность тока в импульсе, А/мм ²	Длительность импульса тока, н		
25	(1,8...3,8)/n	0,9	Сварное соединение формируется также, как и при отсутствии подогревающих импульсов тока
30	2,7/n	1,0	Увеличение скорости сварки, частицы упрочняющих фаз уменьшаются
40		1,7	
50		2,2	
55		2,5	Металл деталей под заплечником подплавляется
40	1,8/n	1,3	Наблюдается повышенный износ инструмента, шов формируется несимметричный
	2,0/n	1,5	Увеличение скорости сварки, частицы упрочняющих фаз уменьшаются
	2,7/n	1,7	
	3,5/n	1,9	Металл деталей под заплечником подплавляется, формируются пустоты в металле шва
3,8/n	2,1		

После сварки измеряли твёрдость в металле шва. Установлено, что подогревающих импульсов тока плотностью 30...50 А/мм² и продолжительностью (2,0...3,5)/n повышают твердость металла шва и

позволяют выровнять твёрдость по сечению шва (рис. 2.3). повышение качества сварного шва при использовании подогревающих импульсов тока объясняется более равномерным распределением упрочняющих интерметаллидных фаз (рис 2.4 а и 2.4 б).

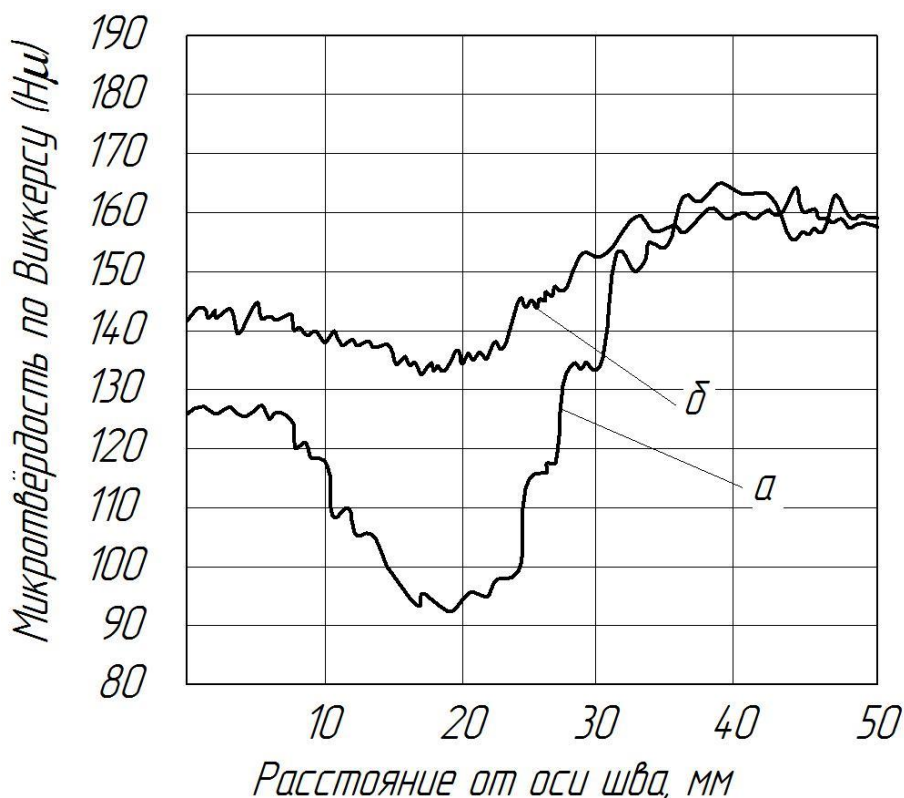


Рисунок 2.3 – Распределение твёрдости в металле шва при сварке без импульсов тока (а) и с импульсами тока (б)

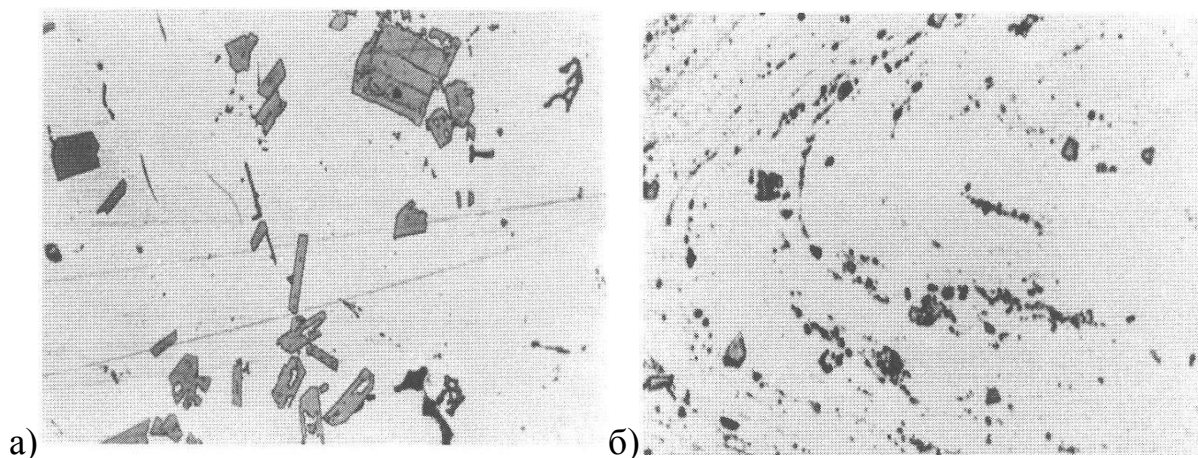


Рисунок 2.4 - Микроструктура металла шва сплава Д16Т: а) при сварке с импульсами тока (×200); б) при сварке без импульсов тока (×200)

Таким образом, в результате проведения комплекса научно-экспериментальных исследований, а также на основе данных зарубежных публикаций определены диапазоны изменения основных параметров процесса, позволяющие получать при помощи сварки трением с перемешиванием качественные сварные соединения листов алюминиевых сплавов.

2.2 Разработка инструмента для сварки трением с перемешиванием

В процессе эксплуатации наконечник инструмента может изнашиваться (чаще всего в результате касания к подкладке), поэтому инструменты необходимо изготавливать из прочных и стойких к износу материалов. Оснастка должна обеспечивать высокую точность сборки стыка и перемещения вдоль него инструмента, а также надежность фиксации кромок и стабильность прижатия инструмента к поверхностям свариваемых деталей.

В качестве инструмента ранее был использован нерасходуемый инструмент согласно ранее проведенным исследованиям [22].

Нерасходуемый инструмент для сварки трением с перемешиванием (рис. 2.5) выполнен в виде вращающегося цилиндрического корпуса. Верхняя часть этого цилиндрического корпуса выполнена большего диаметра и соединяется с двигателем, а на другой стороне цилиндрического корпуса, которая обращена к изделию, размещается цилиндрический палец, который имеет меньший диаметр. Предлагаемый инструмент может быть применен при сварке встык двух деталей из алюминиевого сплава. От двигателя к инструменту прикладывают вращение в угловой скоростью ω , далее палец под давлением вводят в стык между деталями. Фрикционный нагрев обеспечивается при введении под давлением вращающегося пальца в стык между деталями. Щуп имеет внизу наклоненную вогнутую часть, наличие которой формирует на поверхности свариваемых деталей несимметричное

давление, в результате чего возникает вертикальное течение в верхней части металла шва. Применяемая наружная конфигурация пальца приводит к горизонтальному перемещению пластифицированного металла.

В качестве недостатка такого инструмента следует отметить, что сварной шов формируется несимметрично относительно стыка, также на одной из кромок формируется зона термического влияния и происходят структурные превращения в основном металле. Это объясняется особенностями конфигурации пальца, который не позволяет снимать металл и переносить его в зону формирования сварного шва равномерно с обеих кромок.

Для того, чтобы обеспечить симметричный съема металла с обеих свариваемых кромок, его перевод в пластифицированное состояние и выдавливание под цилиндрическую поверхность заплечика, на всей длине пина выполняют несколько канавок. Эти канавки являются направляющими для пластифицированного металла и выполнены с отклонением на угол $10...45^\circ$. Чтобы обеспечить свободное течение пластифицированного металла, необходимо, чтобы суммарная площадь поперечного сечения направляющих канавок составляла $0,03...0,11$ площади поперечного сечения пальца.

Интенсификация перемешивания пластифицированного металла может быть достигнута при оптимизации формы инструмента. В частности, предложено изменить конструкцию пина (рис. 2.5), на котором предлагается выполнить направляющие канавок с наклоном под углом α .

Изменение формы и размеров направляющих канавок на рабочей поверхности пальца (пине) позволяет изменять суммарную площадь их поперечного сечения. Оптимальный выбор должен выполняться в зависимости от значений параметров режима сварки и толщины свариваемых деталей. При оптимальном выборе суммарной площади поперечного сечения направляющих канавок обеспечиваются условия для

симметричного съема пластифицированного металла с обеих кромок, перемещение его в зону формирования соединения.

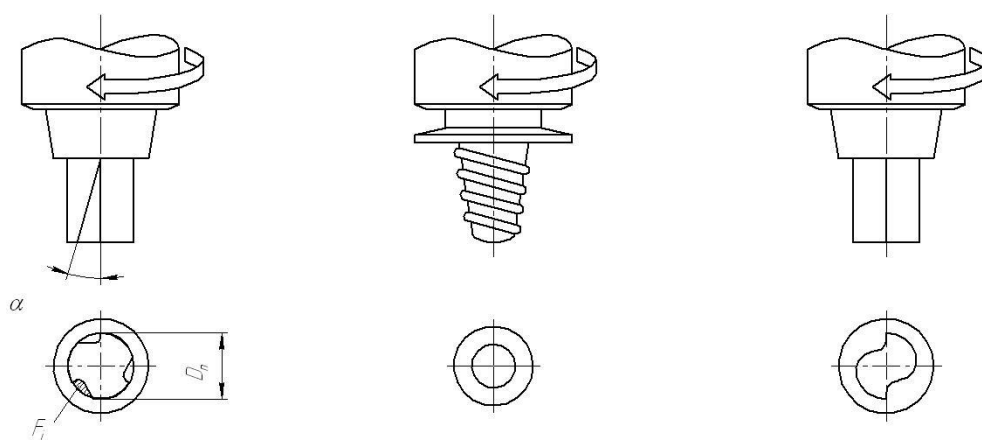


Рисунок 2.5 – Вид сварочного инструмента

Как показали проведённые эксперименты, угол отклонения канавок должен составлять 10...45 градусов. Если угол наклона канавок составляет меньше 10 градусов, происходит частичная потеря пластифицированного металла из-за его выдавливания на поверхность деталей, образование грата на поверхности деталей, а в корневой части шва - рыхлот и пор. Если угол наклона превышает 45 градусов, происходит перегрев свариваемых деталей и нарушается симметрия формы шва, прочность соединения при этом снижается.

Экспериментальную сварку трением с перемешиванием производили на образцах из сплава Д16Т толщиной 3 мм. Для сварки использовались сменные пальцы, в первом варианте пальцы были изготовлены с наклонными направляющих канавками, во втором варианте на поверхности пальца была выполнена винтовая резьба, в третьем варианте на поверхности пальца была выполнена пара поперечно выступающих лезвий (рис. 2.5). Сварку выполняли с параметрами режима: диаметр пина – $D_p=3,5$ мм; скорость сварки – $V_{св}=210$ мм/мин; частота оборотов – $\omega=800$ об/мин.

После сварки выполняли рентгеновскому контролю и металлографические исследования соединений. В образцах, которые были

сварены с пином согласно второму варианту (на поверхности пальца выполнена винтовая резьба,), были обнаружены полости в металле шва. В образцах, которые были сварены с пином согласно третьему варианту (на поверхности пальца выполнена пара поперечно выступающих лезвий), выявлены отдельные мелкие поры, а также нарушение симметрии сварного соединения относительно центральной линии стыка. В образцах, которые были сварены с пином согласно первому варианту (с наклонными направляющих канавками), дефектов не обнаружено.

Результаты проведённых механических испытаний (табл. 2.2) демонстрируют, что сварные соединения, которые были выполнены с использованием пина по первому варианту (с наклонными направляющих канавками), имеют прочность на 10...15% выше, чем у соединений, выполненных с использованием известных инструментов. Макро- и микрографические исследования показывают, что предлагаемый вариант пина с наклонными направляющих канавками позволяет получать сварные соединения с симметричной формой и высокой плотностью металла шва.

Таблица 2.2 – Результаты испытаний сварных соединений

Вариант инструмента	α , град	ΣF_i , мм ²	Прочность сварного соединения σ_B , МПа	Коэффициент прочности	Место разрушения
С канавками	10	1,1	380	1,0	Основной металл
	45	1,1	376	0,99	Основной металл
	10	1,4	384	1,0	Основной металл
	45	1,4	379	1,0	Основной металл
С винтовой резьбой			330	0,85	Металл шва
С парой лезвий			346	0,9	Зона термического влияния

Разработана конструкция инструментов с наконечниками в виде усеченного конуса. Диаметр основания наконечников должен составлять 3,2...3,6 мм, а вершины — 2,4...2,6 мм. Во избежание несплавления в корневой части шва длина наконечника должна быть равна $(0,90...0,95)\delta$,

оптимальный диаметр бурта инструментов — 10...12 мм. Для обеспечения стабильности формирования швов на рабочей поверхности бурта необходимо делать коническую или полусферическую канавку. Изготавливать инструменты для СТП алюминиевых сплавов рекомендуется из инструментальных сталей типа Р6М5. Сварку осуществляют углом вперед при наклоне инструмента относительно вертикальной оси на 2...3°. Сила прижатия инструмента к поверхностям свариваемых деталей составляет 5...10 кН и зависит от марки свариваемого сплава.

Смещение оси стыка относительно инструмента при сварке тонколистовых алюминиевых сплавов не должно превышать 0,5 мм. Зазор между кромками допускается не более 0,3 мм. Завышение кромки со стороны набегания инструмента не должно составлять более 25 %, а со стороны его отхода — 5 % толщины свариваемого металла. В связи с этим в процессе сварки необходимо обеспечивать надежную фиксацию свариваемых деталей поближе к стыку, а впереди инструмента размещать прижимной ролик, препятствующий короблению кромок при сварке.

Получить качественные сварные соединения при соблюдении всех выше перечисленных условий можно только в определенных диапазонах изменения частоты вращения и скорости перемещения инструмента, которые могут быть довольно широкими для пластичных низколегированных сплавов или более узкими для высокопрочных сложнолегированных сплавов. Как правило, для исследованных толщин материалов частота вращения инструмента составляет 1000...3000 об/мин, а скорость сварки — 4...40 м/ч. В зависимости от марки свариваемого сплава и предъявляемых к сварному соединению требований необходимо экспериментальным путем определять оптимальные частоту вращения и скорость перемещения инструмента вдоль стыка.

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварки корпусов космических аппаратов из алюминиевых сплавов. Базовый вариант сварочной технологии предусматривает использование ручной сварки неплавящимся электродом в инертных газах. В проектном варианте сварочной технологии применяется ротационная сварка трением с перемешиванием. Замена способа сварки приводит к появлению или устранению опасных и вредных факторов производства, которые сопровождали базовую технологию.

В связи с этим следует выполнить анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность проектной технологии и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1	2	3	4
1. Подготовительная операция	Электрогазосварщик	Щётка металлическая, сборочное приспособление	Раствор едкого натра 5%, вода техническая, азотная кислота 15%, воздух сжатый
2. Сборочная операция	Слесарь-сборщик	Приспособление для осуществления сборки под сварку	Воздух сжатый

1	2	3	4
3. Сварочная операция	Электрогазосварщик	Стенд для выполнения автоматизированной ротационной сварки трением с перемешиванием	Инденторы (сменные пальцы)
4. Выходной контроль	Контролер основного производства	Аппарат рентгеновского контроля РАП 90У-5	Фотоплёнка

3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые в соответствии с проектной технологией работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющего угрозу негативного фактора
1	2	3
1. Подготовительная операция	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Зачистная металлическая щётка, острые кромки и грани изделия, движущиеся элементы приспособления для сборки под сварку
2. Сборочная операция	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Острые кромки и грани изделия, движущиеся элементы приспособления для сборки под сварку

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
3. Сварочная операция	- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	Стенд для выполнения автоматизированной ротационной сварки трением с перемешиванием
4. Выходной контроль	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования - повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	Острые кромки и грани изделия, движущиеся элементы приспособления для сборки под сварку, аппарат рентгеновского контроля РАП 90У-5

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1. Острые кромки и грани изделия, движущиеся элементы	Инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда.
2. Движущиеся элементы приспособления для сборки под сварку	Предостерегающие надписи, соответствующая окраска, ограждения	-
3. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Инструктаж по технике безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Заземление электрических машин. Периодический контроль изоляции.	-
5. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	Экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне.	-

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Таблица 3.4 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок сварки	Стенд для автоматической сварки, аппарат рентгеновского контроля РАП 90У-5	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму	вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; термохимические воздействия используемых при пожаре огнетушащих веществ на предметы и людей при пожаре

Таблица 3.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-80	Первичные средства пожаротушения
Пожарные автомобили (вызываются)	Мобильные средства пожаротушения
'	Стационарные установки системы пожаротушения
'	Средства пожарной автоматики
Краны пожарные напорные пожарные рукава	Пожарное оборудование
План эвакуации	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре
Лопата, багор, топор	Пожарный инструмент
Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Таблица 3.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Сборка, сварка, контроль	обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности, проведение учений с производственным персоналом по поводу пожарной безопасности	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

3.5 Обеспечение экологической безопасности технологического объекта

Таблица 3.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технологического процесса	Структурные составляющие технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу	Воздействие технического объекта на гидросферу	Воздействие технического объекта на литосферу
Сварка	Подготовка, сборка, сварка	газообразные частицы; сажа	Проявитель и закрепитель рентгеновских снимков	упаковка от проволоки и бумажная и полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; бытовой мусор.

Таблица 3.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Ремонтная сварка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

3.6 Заключение по разделу

В рамках выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выполнялась выявление негативных факторов, сопровождающих предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду.

Произведён поиск путей устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности и санитарии производства в условиях осуществления проектного технологического процесса.

В ходе анализа экологичности предложенных технических решений установлено, что проведение процесса сварки сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу), водную среду (гидросферу), так и на литосферу.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений

4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки корпусов космических аппаратов. Дуговая сварка неплавящимся электродом в инертных газах, применяемая в качестве базовой технологии, обладает малой производительностью и сопровождается получением дефектов, исправление которых требует затрат времени, электрической энергии и сварочных материалов. Проектный вариант технологии предполагает применение сварки трением с перемешиванием, которая позволит существенно уменьшить трудовые затраты и повысить качество сварки.

Таблица 4.1 – Исходные данные для оценки экономической эффективности предлагаемых изменений операций технологического процесса

Наименование экономического показателя	Принятое в экономических формулах условное обозначение показателя	Единицы измерения показателя при подстановке в формулы для экономических расчётов	Количественная характеристика экономического показателя в рассматриваемой технологии	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Количество рабочих смен в день, в течение которых выполняется рассматриваемая работа	$K_{см}$	-	1	1
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	P_p		V	V
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	400	400
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы	$K_{доп}$	%	12	12

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	Ксн	%	30	30
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	На	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	На.пл.	%	5	5
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	м ²	40	40
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	Цпл	Р/м ²	30000	30000
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Сзксп	(Р/м ²)/год	2000	2000
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	Кт-з	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	Кмонт Кдем	%	3	5
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса: - источник питания - позиционер - установка рентгеновского контроля - сварочный комплекс ИТОГО:	Цоб	Руб.	400000 1000000 570000 - 1970000	- - 570000 7800000 8370000
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	100	300
Принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	4,7	4,7
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,7	0,85
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Объём фонда времени, в течение которого происходит работа сварочного оборудования, задействованного в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, может быть определён с использованием формулы:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см}, \quad (4.1)$$

где $T_{см}$ – продолжительность рабочей смены в часах;

D_p – общее число рабочих дней в календарном году;

$D_{п}$ – планируемое количество предпраздничных дней в календарном году;

$T_{п}$ – планируемое сокращение длительности рабочей смены в часах в предпраздничный день;

$K_{см}$ – количество рабочих смен.

После подстановки в формулу (4.1) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Расчёт эффективного фонда времени работы сварочного оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам может быть определён с использованием формулы:

$$F_3 = F_H \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где B – процент планируемых потерь рабочего времени.

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_3 = 2209 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 2054 \text{ ч.}$$

4.3 Расчет штучного времени

Оценку штучного времени для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним с использованием формулы:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}, \quad (4.3)$$

где $t_{шт}$ – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{МАШ}}$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{ВСП}}$ – вспомогательное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение подготовительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{\text{ВСП}} = 10\%$ от $t_{\text{МАШ}}$;

$t_{\text{ОБСЛ}}$ – время обслуживания – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на обслуживание, текущий и мелкий ремонт технологического оборудования задействованного в выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{\text{ОБСЛ}} = 5\%$ от $t_{\text{МАШ}}$;

$t_{\text{ОТЛ}}$ – время личного отдыха – объём времени в часах, которое будет затрачено на работником на обеспечение личных потребностей в отдыхе при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{\text{ОТЛ}} = 5\%$ от $t_{\text{МАШ}}$;

$t_{\text{П-З}}$ – время подготовительно-заключительное – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на выполнение подготовительно-заключительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{\text{П-З}} = 1\%$ от $t_{\text{МАШ}}$.

После подстановки в формулу (4.3) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$t_{\text{шт.баз}} = 6,61 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 8 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 2,07 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,5 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы проведения сварочных работ согласно рассматриваемого технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним по формуле:

$$П_{Г} = \frac{F_{\text{Э}}}{t_{\text{шт}}}, \quad (4.4)$$

где $F_{\text{Э}}$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{шт}}$ – штучное время в часах, которое затрачивает работник на один стык трубопровода по базовому и проектному вариантам технологии;

После подстановки в формулу (4.4) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$П_{Г.\text{баз.}} = 2054/8 = 256 \text{ изделий за год};$$

$$П_{Г.\text{проектн.}} = 2054/2,5 = 821 \text{ изделий за год}.$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы $П_{Г}=200$ изделий в год.

Требуемое в этом случае количество сварочного оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot П_{Г}}{F_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ВН}}}, \quad (4.5)$$

где $П_{Г}$ – годовая программа – принятое ранее количество стыков трубопровода, которые необходимо сварить за один календарный год при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{шт}$ – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$Fэ$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$K_{вн}$ – принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{8 \cdot 200}{2054 \cdot 1,03} = 0,76$$

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{2,5 \cdot 200}{2054 \cdot 1,03} = 0,24$$

На основании выполненных расчётов по определению эффективного фонда времени работы оборудования штучного времени, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, можно сделать вывод о необходимом количестве сварочного оборудования. Для реализации базовой технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования. Для реализации проектной технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле:

$$Kз = n_{расч}/n_{пр} \quad (4.6)$$

где $n_{расч}$ – полученное согласно (4.5) количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$n_{пр}$ – принятое количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$K_{зб} = 0,76/1 = 0,76$$

$$K_{зп} = 0,24/1 = 0,24$$

4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки

При сварке изделия применяются сварочные материалы. Базовая технология сварки предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Проектная технология ремонтной сварки предусматривает применение ротационной сварки трением с перемешиванием. Затраты на сварочные материалы, которые будут использованы при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$M = C_m \cdot N_p \cdot K_{т-з}, \quad (4.7)$$

где C_m – цена, определённая для сварочного материала по каталогам предприятий, которые представлены в сети ИНТЕРНЕТ;

$K_{т-з}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы.

После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$M_b = 2627 \text{ руб.}$$

$$M_{пр} = 3931 \text{ руб.}$$

Объем фонда заработной платы (ФЗП) определяется суммой основной заработной платы $Z_{осн}$ и дополнительной заработной платы $Z_{доп}$.

Объём $Z_{\text{осн}}$ основной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где $C_{\text{ч}}$ – утверждённая часовая тарифная ставка работника;

$K_{\text{д}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате.

После подстановки в формулу (2.8) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 8 \cdot 400 \cdot 1,88 = 6016 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 2,5 \cdot 400 \cdot 1,88 = 1880 \text{ руб.}$$

Объём $Z_{\text{доп}}$ дополнительной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где $K_{\text{доп}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 6016 \cdot 12/100 = 722 \text{ рублей}$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 1880 \cdot 12/100 = 226 \text{ рублей}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{базов.}} = 6016 + 722 = 6738 \text{ рублей}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проектн.}} = 1880 + 226 = 2106 \text{ рублей}$$

Объём $O_{сн}$ отчислений на социальные нужды определим расчётным путём с использованием формулы:

$$O_{сн} = \Phi ЗП \cdot K_{сн} / 100, \quad (4.10)$$

где $K_{сн}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды.

После подстановки в формулу (4.10) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$O_{сс_{баз.}} = 6738 \cdot 34 / 100 = 2291 \text{ руб.},$$

$$O_{сс_{проектн.}} = 2106 \cdot 34 / 100 = 716 \text{ руб.}$$

Объём $Z_{об}$ финансовых затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э-э}, \quad (4.11)$$

где $A_{об}$ – финансовые потери от амортизации технологического оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$P_{э-э}$ – финансовые затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

Финансовые потери на амортизацию оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot N_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100} \quad (4.12)$$

где $C_{об}$ – цена оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, определённая по каталогам предприятий в сети ИНТЕРНЕТ;

N_a – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию;

$t_{МАШ}$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_э$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.12) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{об.б} = \frac{1 \cdot 1970000 \cdot 21,5 \cdot 8}{2054 \cdot 100} = 1650 \text{ рублей,}$$

$$A_{об.пр} = \frac{8370000 \cdot 21,5 \cdot 2,5}{2054 \cdot 100} = 2190 \text{ рублей}$$

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам определим расчётным путём с использованием формулы:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{э-э}}{КПД} \quad (4.13)$$

где $M_{уст}$ – установленная мощность оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$C_{\text{э-э}}$ – принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

КПД – принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса

После подстановки в формулу (4.13) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{\text{э-эб}} = \frac{100 \cdot 8 \cdot 4,7}{0,7} = 2000 \text{ рублей,}$$

$$P_{\text{э-эпр}} = \frac{300 \cdot 2,5 \cdot 4,7}{0,85} = 1544 \text{ рублей,}$$

$$Зоб_{\text{баз.}} = 1650 + 2000 = 3650 \text{ руб,}$$

$$Зоб_{\text{проектн.}} = 2190 + 1544 = 3734 \text{ руб.}$$

Финансовые потери на амортизацию площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{\text{пл}} = \frac{C_{\text{пл}} \cdot Na_{\text{пл}} \cdot S \cdot t_{\text{шт}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}, \quad (4.14)$$

где $Na_{\text{пл}}$ – принятое значение нормы амортизации площади;

$C_{\text{пл}}$ – цена приобретения площадей.

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{\text{ПЛБ}} = \frac{30000 \cdot 6 \cdot 40 \cdot 8}{2054 \cdot 100} = 280$$

$$A_{\text{ПЛПП}} = \frac{30000 \cdot 6 \cdot 40 \cdot 2,5}{2054 \cdot 100} = 88$$

Финансовые потери на эксплуатацию площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$P_{\text{ПЛ}} = \frac{C_{\text{ЭКСПЛ}} \cdot S \cdot t_{\text{шт}}}{F_{\text{Э}}}, \quad (4.15)$$

где $C_{\text{ЭКСПЛ}}$ – расходы на содержание площадей
 S – площадь, занятая под оборудование.

После подстановки в формулу (4.15) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{\text{ПЛБ}} = \frac{2000 \cdot 40 \cdot 8}{2054} = 312$$

$$P_{\text{ПЛБ}} = \frac{2000 \cdot 40 \cdot 2,5}{2054} = 97$$

Финансовые потери на эксплуатацию и содержание площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$Z_{\text{ПЛ}} = P_{\text{ПЛ}} + A_{\text{ПЛ}}, \quad (4.16)$$

После подстановки в формулу (4.16) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$Z_{\text{ПЛБаз.}} = 280 + 312 = 592 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{ПЛППроектн.}} = 88 + 97 = 185 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{тех}}$ показателя технологической себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \text{ФЗП} + \text{Осс} + \text{З}_{\text{ОБ}} + \text{З}_{\text{ПЛ}} \quad (4.17)$$

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 2627 + 6738 + 2291 + 3650 + 592 = 15898 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 3931 + 2106 + 716 + 3734 + 185 = 10672 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{цех}}$ показателя цеховой себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + \text{З}_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}} \quad (4.18)$$

где $K_{\text{ЦЕХ}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.18) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 15898 + 1,5 \cdot 6016 = 15898 + 9024 = 24922 \text{ руб.,}$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 10672 + 1,5 \cdot 1880 = 10672 + 2820 = 13492 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{зав}}$ показателя заводской себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + \text{З}_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (4.19)$$

где $K_{\text{ЗАВ}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.19) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{ЗАВБаз.} = 24922 + 1,15 \cdot 6016 = 24922 + 6918 = 31840 \text{ руб.},$$
$$C_{ЗАВПроектн.} = 13492 + 1,15 \cdot 1880 = 13492 + 2162 = 15654 \text{ руб.}$$

Калькуляцию технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам сведём в таблицу (табл. 4.2).

4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам

Значение $K_{общ}$ капитальных затрат, которые потребуются для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{ОБЩБ} = K_{ОББ} = n \cdot Ц_{ОБ.Б} \cdot K_{З.Б.}, \quad (4.20)$$

где $K_{з}$ – ранее полученное расчётное значения коэффициента загрузки оборудования ;

$Ц_{ОБ.Б.}$ –остаточная стоимость в рублях технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство, который определяется по сроку службы этого оборудования;

n – ранее полученное количество единиц технологического оборудования, для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам.

Таблица 4.3 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	М	2627	3931
2. Объем фонда заработной платы	ФЗП	6738	2106
3. Отчисления на соц. нужды	О _{СН}	2291	716
4. Объем финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	3650	3734
5. Объем финансовых затрат на технологические площади	З _{пл}	592	185
6. Величина технологической себестоимости	С _{тех}	15898	10672
7. Объем цеховых расходов	Р _{цех}	9024	2820
8. Величина цеховой себестоимости	С _{цех}	24922	13492
9. Объем заводских расходов	Р _{зав}	6918	2162
10. Величина заводской себестоимости	С _{зав}	31840	15654

Величину $C_{\text{ОБ.Б.}}$ остаточной стоимости технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ОБ.Б.}} = C_{\text{ПЕРВ.}} - (C_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_A / 100), \quad (4.21)$$

где $C_{\text{ПЕРВ.}}$ – рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

$T_{\text{СЛ}}$ – количество лет, в течение которых рассматриваемое оборудование было использовано в технологическом процессе по базовому варианту;

N_A – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию.

После подстановки в формулу (4.20) и (4.21) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 1970000 - (1970000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 699350 \text{ рублей,}$$

$$K_{\text{ОБЩ.Баз.}} = 1 \cdot 699350 \cdot 0,76 = 531506 \text{ рублей}$$

Величину $K_{\text{ОБЩ.ПР}}$ общих капитальных затрат для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = K_{\text{ОБПР}} + K_{\text{ПЛ.ПР}} + K_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.22)$$

где $K_{\text{ОБ.ПР}}$ – расчётный объём капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{\text{ПЛ.ПР}}$ – расчётный объём капитальных вложений в производственные площади, задействованные для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{\text{СОП.ПР}}$ – расчётный объём сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии.

Объём $K_{\text{ОБ.ПР}}$ капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = C_{\text{ОБПР}} \cdot K_{\text{Т-З}} \cdot K_{\text{ЗБ}}. \quad (4.23)$$

После подстановки в формулу (2.23) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = 8370000 \cdot 1,05 \cdot 0,24 = 2109240 \text{ руб.}$$

Объём $K_{\text{СОП}}$ сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{СОП}} = K_{\text{ДЕМ}} + K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.24)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$K_{\text{МОНТ}}$ – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

Затраты $K_{\text{ДЕМ}}$ на демонтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДЕМ}} = Ц_{\text{Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}}, \quad (4.25)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его демонтаж.

После подстановки в формулу (4.25) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 1970000 \cdot 0,05 = 98500 \text{ руб.}$$

Затраты $K_{\text{МОН}}$ на монтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по проектному варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{МОНТ}} = Ц_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.26)$$

где $K_{\text{МОНТ}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж.

После подстановки в формулу (4.26) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{МОНТ}} = 8370000 \cdot 0,05 = 418500 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{СОП}} = 98500 + 418500 = 517000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.22) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = 2109240 + 517000 = 2626240 \text{ руб.}$$

Размер $K_{\text{ДОП}}$ дополнительных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩ.ПР}} - K_{\text{ОБЩ.Б.}} \quad (4.27)$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДОП}} = 2626240 - 531506 = 2094734 \text{ руб.}$$

Размер $K_{\text{УД}}$ удельных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{УД}} = \frac{K_{\text{ОБЩ.}}}{\Pi_{\Gamma}}, \quad (4.28)$$

где Π_{Γ} – принятое значение годовой программы.

После подстановки в формулу (4.28) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{удБаз.}} = 531506/200 = 2658 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{удПроектн.}} = 2626240/200 = 13131 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Расчётное определение показателей экономической и эффективности предлагаемых решений

Снижение Δt трудоемкости при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% . \quad (4.29)$$

После подстановки в формулу (4.29) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{8 - 2,5}{8} \cdot 100\% = 69\%$$

Повышение Π_T производительности труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} . \quad (4.30)$$

После подстановки в формулу (4.30) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$П_T = \frac{100 \cdot 69}{100 - 69} = 223\%$$

Снижение $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$ технологической себестоимости труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.31)$$

После подстановки в формулу (4.31) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{15898 - 10672}{15898} \cdot 100\% = 33\%$$

Условно-годовую экономию $Пр_{\text{ож}}$ (ожидаемую прибыль) при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Пр_{\text{ож.}} = Э_{\text{у.г.}} = (C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}}) \cdot П_{\text{Г}} \quad (4.32)$$

После подстановки в формулу (4.32) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$Э_{\text{у.г.}} = (31840 - 15654) \cdot 200 = 3237200 \text{ руб.}$$

Срок $T_{\text{ок}}$ окупаемости дополнительных капитальных вложений при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$T_{OK} = \frac{K_{доп}}{\Delta_{уг}} \quad . \quad (4.33)$$

После подстановки в формулу (4.33) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$T_{OK} = \frac{2094734}{3237200} = 0,65$$

Годовой экономический эффект Δ_r в сфере при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta_r = \Delta_{уг} - E_n \cdot K_{доп} \quad (4.34)$$

После подстановки в формулу (4.34) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta_r = 3237200 - 0,33 \cdot 2094734 = 2545937 \text{ руб.}$$

Заключение по экономическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работы выполнена оценка экономической эффективности внедрения предлагаемых технологических решений в промышленное производство. Для этого проведён расчёт затрат при сварке по базовой технологии и расчёт затрат при сварке по проектной технологии, далее выполнено сравнение экономических показателей рассматриваемых вариантов технологии.

Базовый вариант технологии сварки с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом сопровождается получением дефектов и необходимостью переварки места ремонта. В проектном варианте

технологии предложено использовать ротационную сварку трением с перемешиванием. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные соединения без дефектов.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений: уменьшается трудоёмкость на 69 %, увеличивается производительность труда на 223 %, уменьшается технологическая себестоимость на 33 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 3,2 млн. рублей.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 2,5 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 0,65 года.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности предложенных решений, которые должны быть внедрены в производство.

Заключение

В работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварных соединений при изготовлении конструкций космических аппаратов за счёт внедрения сварки трением с перемешиванием.

Базовая технология сварки предусматривает автоматическую аргонодуговую сварку неплавящимся электродом. Недостатками этого способа сварки являются: низкая производительность сварки; вредное воздействие сварочной дуги на персонал; высокая стоимость выполнения сварочных работ.

На основании анализа альтернативных способов сварки следует признать обоснованным выбор сварки трением с перемешиванием для составления проектной технологии сварки.

В ходе подготовки исполнительной части были выполнены следующие работы: повысить эффективность сварки трением с перемешиванием для сварки конкретной детали; назначить оптимальные параметры режима сварки трением с перемешиванием; составить проектную технологию сварки трением с перемешиванием.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 2,5 млн. рублей.

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при сварке корпусных деталей из алюминиевых сплавов.

Список используемой литературы

1. Лебедев, В.К. Сварка трением: Справочник / В.К. Лебедев, И.А. Черненко, Р. Михальски [и др.] – Л.: Машиностроение, 1987. – 236 с.
2. Сергеева, Е.В. Сварка трением с перемешиванием в авиакосмической промышленности / Е.В. Сергеева // Автоматическая сварка. – 2013. – № 5. – С. 58–62.
3. Ищенко, А.Я. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов /А.Я. Ищенко [и др.] // Автоматическая сварка. – 2007. – № 11. – С. 32–38.
4. Овчинников, В.В. Сварка трением с перемешиванием / В.В. Овчинников // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – С. 136–140.
5. Николаев В.А., Фридляндер И.Н., Арбузов Ю.П. Свариваемые алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1990. 296 с.
6. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. Ред. Н.П. Алёшина, Г.Г. Чернышова – М.: Машиностроение, 2004. Т.2 / Н.П. Алёшин [и др.] – 480 с.
7. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г.А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А.И. Акулова, 1978. – 462 с.
8. Короткова, Г.М. Динамические характеристики дуги переменного тока при сварке алюминиевых сплавов / Г.М. Короткова// Автоматическая сварка.-1984.-№ 11.-с.-30-32.
9. Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография / Г.М. Короткова. – Тольятти : ТГУ, 2009.- 335с.
10. Ельцов, В.В. Объект исследований — трехфазная сварочная дуга / В.В. Ельцов // Сборник трудов к 40-летию кафедры ОТСП и 75-летию В.И.

Столбова ; под ред. В. В. Масакова, В.П. Сидорова. - Тольятти : ТГУ, 2007. - С. 105-116.

11. Ельцов, В. В. Формирование сварочной ванны при наплавке трехфазной дугой неплавящимися электродами с подачей присадочной проволоки / В.В. Ельцов, В.П. Потехин, А.С. Зеленков // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2006. — № 12. - С. 2-6.

12. Ельцов, В.В. Ремонтная сварка и наплавка изделий из легких сплавов : учеб. пособие / В.В. Ельцов, В.Ф. Матягин.— Тольятти : ТГУ, 2007. – 215 с.

13. Щицын Ю.Д., Тыткин Ю.М. Плазменная сварка плавящимся электродом алюминиевых сплавов. // Сварочное производство. 1986. №5. С.1-2.

14. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977.

15. Аргоно-дуговая сварка алюминиевых сплавов для строительных конструкций, технологические рекомендации. М.: Госстройиздат, 1963.

16. Котлышев, Р.Р. Механизм образования соединения и особенности технологии сварки алюминиевых сплавов трением с перемешиванием: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет. – 2010.

17. Сизова, О.В. Разрушение стыковых соединений алюминиево-магниевого сплава, выполненных способом сварки трением с перемешиванием / О.В. Сизова и др. – Обработка металлов. – № 3. – 2014. – С. 14–20.

18. Покляцкий, А.Г. Особенности формирования структуры швов при сварке алюминиевых сплавов трением с перемешиванием. – Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции.– Белгород: ИП Петрова М.Г., 2014. – С. 145–152.

19. Сафин, В.Н. Обработка технологии сварки трением с перемешиванием для соединения труб из алюминиевых сплавов / В.Н. Сафин, И.А. Щуров, В.Б. Федоров. – Вестник ЮУрГУ. – 2012. - № 33. – С 117–121.

20. Охапкин, К.А. Влияние конструктивно-технологических параметров на тепловые процессы и формирование соединения при точечной сварке трением: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – 2012.

21. Патент РФ № 2126738 Способ сварки трением с перемешиванием и нерасходуемый шуп для его осуществления

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

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

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

25. Амирджанова, И.Ю. Правила оформления выпускных квалификационных работ: учебно-методическое пособие / И.Ю. Амирджанова, Т.А. Варенцова, В.Г. Виткалов, А.Г. Егоров, В.В. Петрова – Тольятти : ТГУ, 2019. – 145 с.