

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

05.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электронно-лучевая сварка вала реактивной турбины»

Студент

А.А. Соколов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.И. Ковтунов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

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

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2018

## АННОТАЦИЯ

Цель настоящей работы – повышение качества сварки валов за счет автоматизации процесса фокусировки луча

Для достижения цели в работе решены следующие задачи: выбран способ фокусировки; разработана методика и проведены исследования, доказывающие положительный эффект от автоматизации процесса фокусировки; предусмотрены мероприятия для защиты жизни и здоровья производственного персонала, принимающего участие при изготовлении валов методом электронно-лучевой сварки; произведен расчет экономической эффективности предложенных технических мероприятий.

В составе пояснительной записки \_\_51\_\_ стр., \_\_14\_\_ рисунков, \_\_6\_\_ таблиц.

В данной работе проведен анализ технологии сварки валов газотурбинных двигателей методами электронно-лучевой сварки. По результатам анализа сделан вывод, о необходимости повышения параметров фокусировки электронного луча на поверхности свариваемого изделия. Разработан алгоритм фокусировки и доказан положительный эффект от применения его в производственных условиях.

Также разработаны мероприятия по безопасному производству работ и определена экономическая эффективность бакалаврской работы.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 5  |
| 1 Анализ исходных данных и известных решений.....                      | 7  |
| 1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации .....                  | 7  |
| 1.2 Анализ свойств материала конструкции .....                         | 7  |
| 1.3 Базовый технологический процесс изготовления изделия.....          | 8  |
| 1.4 Анализ недостатков базовой технологии и путей их преодоления ..... | 12 |
| 1.5 Задачи бакалаврской работы.....                                    | 16 |
| 2 Методика исследований .....  | 18 |
| 2.3 Исследования на ударный изгиб. ....                                | 21 |
| 3 Результаты исследований.....   | 24 |
| 4 Безопасность и экологичность проекта. ....                           | 26 |
| 4.1 Характеристика участка сварки.....                                 | 26 |
| 4.2 Персональные риски, сопровождающие внедрение проектной.....        | 28 |
| технологии в производство .....  | 28 |
| 4.3 Предлагаемые мероприятия по снижению профессиональных.....         | 29 |
| рисков в ходе внедрения в производство проектной технологии.....       | 29 |
| 4.4 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной.....              | 30 |
| безопасности разрабатываемого технологического объекта.....            | 30 |
| 4.5 Оценка экологической безопасности разрабатываемого.....            | 32 |
| технологического объекта.....  | 32 |
| 4.6 Заключение по разделу .....  | 32 |
| 5 Экономическая эффективность проекта.....                             | 34 |
| 5.1 Исходные данные для расчетов .....                                 | 34 |
| 5.2 Вычисление фонда времени работы оборудования .....                 | 36 |
| 5.3 Капитальные вложения в оборудование.....                           | 37 |
| 5.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов     |    |
| технологии. ....   | 40 |
| 5.5 Цеховая себестоимость.....   | 44 |
| 5.6 Заводская себестоимость.....                                       | 44 |

|  |    |
|--|----|
| 5.7 Расчет показателей экономической эффективности проектного<br>варианта технологии ..... | 45 |
| Выводы по экономическому разделу .....   | 47 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 48 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....   | 49 |

## ВВЕДЕНИЕ

На современном уровне развития техники к качеству деталей и узлов разных механизмов предъявляются все более возрастающие требования по качеству. Поэтому ученые и инженеры непрерывно работают над все более совершенными технологическими решениями, обеспечивающими высокие эксплуатационные характеристики продукции. Следовательно, закономерно растет интерес сварке высококонцентрированными источниками энергии. Применение таких способов обеспечивает минимум деформаций материалов и максимальную надежность сварных швов. Одной из таких технологий является электронно-лучевая сварка. Эксплуатационные параметры швов, получаемых электронно-лучевой сваркой практически недостижимы другими методами сварки. Поэтому для соединения деталей вала газотурбинного двигателя применяют электронно-лучевую сварку.

Следует отметить, что важным параметром процесса электронно-лучевой сварки является фокусировка луча. Фокусировка определяет положение минимального сечения электронного луча относительно поверхности свариваемого изделия. Управление фокусировкой осуществляется путем изменения тока фокусирующей катушки установки для электронно-лучевой сварки. Фокусировка существенно влияет на процесс формирования шва и на качество сварного шва. Причем незначительные, до 1,5% отклонения тока фокусирующей катушки заметно изменяют форму сварного шва. Таким образом, работы направленные на стабилизацию фокуса луча при сварке валов газотурбинных двигателей являются актуальными.

Постоянный контроль и подстройка фокусировки при сварке относится к важным задачам производственного персонала. Методы предварительной настройки затруднительно применять для устранения дрейфа фокуса в процессе сварки, так как требуют остановки процесса. Существуют методы, позволяющие устанавливать ток фокусировки прямо во время сварки, но они не работают в автоматическом режиме.

Таким образом, цель работы сформулируем так: повышение качества сварки валов за счет автоматизации процесса фокусировки луча.

# 1 Анализ исходных данных и известных решений

## 1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации

В настоящее время основным типом силовой установки в авиации является газотурбинный двигатель. Хотя, на заре авиации применялся преимущественно поршневой двигатель. Как в поршневом, так и в газотурбинном реализованы процессы забора атмосферного воздуха, его сжатия, впрыска топлива, горения. Но, в газотурбинном двигателе, указанные процессы разделены в пространстве и происходят в одно время. Кроме того, в газотурбинном двигателе достигается большая степень сжатия, чем в поршневом.

Валы газовых турбин являются ответственными деталями роторной части двигателя. Значительная частота вращения роторов, большие нагрузки от действия осевых и радиальных сил создают высокие напряжения в валах и требуют повышенной точности обработки и балансировки при их изготовлении.

Валы газотурбинных двигателей отличаются разнообразием конструктивных форм, и это не удивительно, учитывая разнообразие размеров и конструкций газовых турбин.

## 1.2 Анализ свойств материала конструкции

Валы газотурбинных двигателей изготавливаются из различных сталей и сплавов. Материалом для валов газотурбинных двигателей служат высококачественные низкоуглеродистые легированные стали 18ХН3А, 12ХН3А, 15Х12Н2МВФАБ. Поверхности низкоуглеродистых сталей подвергаются цементации. В процессе цементации на глубину 0,7...1,2 мм, закалке и отпуску стали 18ХН3А, 12ХН3А получают твердость на поверхности 58 HRC,  $\sigma_b = 1000...1200$  МПа,  $\delta = 11...15\%$ , 390 НВ,  $\psi = 55...70\%$ .

Легированные стали с повышенным содержанием углерода, 38 ХА, 38ХМЮА, 40ХНМА приобретают повышенную твердость за счет закалки и отпуска. Эти стали, могут также подвергаться термохимическому улучшению за счет азотирования поверхностей. При азотировании поверхностей конструкторских и рабочих шеек валов достигается твердость 65 HRC. Для валов разового использования применяются углеродистые стали (40, 45 и др).

Для оценки технологичности конструкции, основных требований по точности и расположению основных поверхностей и других особенностей рассмотрим вал ротора низкого давления ГТД (рис.5.2.). Этот вал изготавливается из высокопрочной коррозионностойкой, жаростойкой и жаропрочной легированной стали 15Х12Н2МВФАБ. Химический состав этой стали следующий, %: 0,15 углерода, 12 хрома, 2 никеля, 1 молибдена, 1 вольфрама, 1 ванадия. Эта сталь по химическому составу улучшена, вредные примеси уменьшены до минимума. Данные получены методом электрошлакового переплава.

Металлическая деталь считается поддающейся сварке данным процессом, если целостность металла достигается при использовании соответствующего способа сварки. При этом швы должны соответствовать указанным требованиям, как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, частью которой они являются. На свариваемость влияют три фактора, а именно материал, конструкция и эксплуатация. Данные факторы являются одинаково важными для свариваемости.

### 1.3 Базовый технологический процесс изготовления изделия

Ротор газотурбинного двигателя является ответственным изделием и его причисляют группе контроля №1. Согласно руководящим документам для этой группы необходимо проверять характеристики качества металла для каждого конкретного вала. Согласно данным требованиям Исходя из этого в первой части технологического процесса механической обработки вала



производится отрезка технологического образца (специальной прибыли). Технологический образец подвергается в лабораторных условиях испытаниям по оценке качественных показателей материала вала. На основании полученных положительных результатов анализа материала разрешается проведение дальнейшей обработки вала.

Определяющее влияние на характеристики сварного соединения оказывают два параметра режима сварки величина тока луча и величина ускоряющего напряжения. Кроме того, к дополнительным параметрам режима следует отнести скорость взаимного перемещения электронного луча и свариваемого изделия. Дело в том, что возможны варианты перемещения электронного луча вдоль свариваемых кромок. Некоторое оборудование для электронно-лучевой сварки предусматривает возможность перемещения свариваемого изделия относительно луча. Так же как и при дуговой сварке, в ряде случаев, применяют сварку импульсами электронного луча. Поэтому в технологической карте могут задаваться продолжительность импульса и продолжительность паузы. Также важной величиной параметра сварки является ток фокусирующей линзы. Естественно, что чем больше степень фокусировки электронного луча, тем больше концентрация энергии.

Так же как при дуговой сварке, в зависимости от необходимости, производится различного рода манипуляция присадкой, так и с помощью отклоняющей системы электронный луч может перемещаться вдоль и поперек шва или по сложной траектории. Установки со сравнительно небольшими значениями ускоряющего напряжения могут применяться для сварки толщиной от 0,5 мм. при соотношении ширины шва и проплавления до 8:1. Установки со значительными значениями ускоряющего напряжения применяют при сварке металла больших толщин и соотношение ширины шва и проплавления у них доходит до 25:1. Высокое качество сварных соединений в изделиях достигается с помощью оптимальных конструктивных решений и технологических приемов сварки, выбор которых должны осуществлять совместно технолог-сварщик и проектант изделия.

Критерием окончательного выбора при этом является наиболее низкая стоимость технологии сварки. При этом следует стремиться, чтобы сварочная операция была одновременно финишной сборочной.

Качество шва при электронно-лучевой сварке, зависит от комплекса технологических и энергетических характеристик процесса сварки. Понятное дело, что стабильность качества зависит от того, насколько стабильно выдерживаются при сварке указанные характеристики. Неправильный выбор режима или нарушение оптимального режима ЭЛС нередко приводят к появлению в швах дефектов даже и на хорошо свариваемых материалах. Некоторые дефекты могут возникать и при других способах сварки плавлением: непровары, подрезы, провисание шва и повышенное разбрызгивание. Однако при ЭЛС возможны и другие специфические дефекты: корневые дефекты, протяженные полости в объеме сварного шва, срединные трещины, отклонения

сварного шва от стыка из-за остаточных или наведенных магнитных полей, периодическая бугристость сварного шва и периодические выплески расплава. Корневые дефекты шва – наиболее распространенный вид дефектов при сварке, они могут иметь место при сварке любых материалов, обычно с глубиной шва более 5 мм, в любом пространственном положении. Протяженные полости встречаются при сварке сталей, титановых и алюминиевых сплавов с глубиной шва более 15 мм. Срединные трещины имеют место лишь при сварке сталей.

Перед электронно-лучевой сваркой важно обеспечить точную сборку деталей и при сварке важно точно вести луч по оси стыка.

Обычно отклонение оси пучка электронов от сварного стыка в процессе сварки не должно превышать 0,2...0,3 мм. При толщине свариваемых пластин до 5 мм допустимая величина зазора, как правило, не превышает 0,05...0,07 мм. При увеличении толщины пластин до 20 мм допустимая величина зазора возрастает до 0,1 мм, но не более.

Предварительная очистка стыкуемых поверхностей и самих деталей выполняется механически, а окончательная – в зависимости от свариваемого металла и степени шероховатости очищаемой поверхности различными физико-химическими способами. Очистке подлежат стыкуемые поверхности, внешние и внутренние поверхности деталей (в случае сквозного проплавления) на расстоянии до 100 мм от кромки при сварке толстолистовых металлов и до 10 мм при сварке тонколистовых металлов. Непосредственно перед сваркой внешнюю поверхность свариваемых в области стыка и стыкуемых поверхностей (насколько возможно через зазор в стыке) можно очищать с помощью маломощного сканирующего электронного луча. При этом луч должен незначительно оплавливать очищаемую поверхность, не заплывая зазор в стыке. Общие требования ко всем типам соединений – это высокая точность сборки перед сваркой.

Размагничивание Элементы конструкций, детали механизмов и конструкции в целом в зависимости от марки материала в процессе изготовления приобретают остаточную намагниченность. Реальные уровни магнитных полей на поверхности деталей из сталей, склонных к остаточному намагничиванию, могут достигать несколько единиц и даже десятков мТл. Остаточная намагниченность изделий приводит к ряду негативных явлений:

- возникновению «магнитного дутья» при дуговой электросварке и наплавке, что ведет к повышенному разбрызгиванию жидкого металла из сварочной ванны и образованию различных дефектов сварного соединения, а также к непопаданию дуги в свариваемый стык или место наплавки;
- искривлению траектории электронного луча при ЭЛС и соответствующему непровару стыка по всей толщине;
- налипанию металлической стружки при штамповке или обработке деталей металлорежущим инструментом, что ухудшает качество обработки и ускоряет изнашивание штампов и инструмента.

Остаточные магнитные поля в изделиях из ферромагнитных материалов отклоняют электронный луч и электрическую дугу при сварке от

плоскости стыка. Компенсировать этот уход электронного луча от стыка возможно лишь при сварке тонколистовых материалов (при условии однородного распределения намагниченности вдоль стыка) с помощью отклоняющей системы сварочной электронной пушки. В остальных случаях необходимо размагничивание изделия.

Операцию размагничивания необходимо осуществлять после сборки стыкового соединения непосредственно перед загрузкой изделия в вакуумную камеру или подачей в зону сварки.

Размагничивание – это процесс воздействия внешнего магнитного поля, в результате которого уменьшается намагниченность ферромагнитного материала. Наиболее полное размагничивание достигается в том случае, если возможен предварительный подогрев изделия до температуры Кюри (993 К для сталей) с последующим охлаждением в отсутствие магнитного поля и механических воздействий.

Наиболее применяемым способом размагничивания является периодическое перемагничивание с убывающей амплитудой, например, с помощью соленоидов или намагничивающих контуров.

После ЭЛС корневую зону шва вместе с конструктивными элементами соединения рекомендуется удалять механообработкой.

#### 1.4 Анализ недостатков базовой технологии и путей их преодоления

В электронно-лучевых установках важна точность слежения за движением электронного луча вдоль свариваемых кромок. Применяют разные варианты, отслеживающие движение электронного луча. Например, могут быть применены вторично-эмиссионные датчики. Сигнал с датчика поступает на систему управления, которая выдает управляющие сигналы на соответствующие катушки, управляющие перемещением луча.

Работает данный вариант следующим образом. При торможении электронного луча, когда он попадает на поверхность свариваемого металла, вырываются вторичные электроны из металла и летят в противоположном направлении, в камеру. Если на их пути поставить коллектор,

присоединенный к датчику, появится на датчике сигнал, на основании его анализа система управления положением луча сможет адекватно реагировать на какие либо возмущения процесса. Интенсивность выделения вторичных электронов находится в прямой зависимости от свойств поверхности металла, на которую падает электронный луч. Если поверхность гладкая и расположена перпендикулярно падающему лучу, количество вырываемых электронов максимально. При пересечении лучом неровностей, поверхность неровная, или попадании луча в глубокие полости происходит уменьшение количества электронов.

На основе указанного принципа разработана установка «Прогноз». В ней для управления положением электронного луча относительно стыка электронный луч с частотой 20...50 Гц выводится на расстояние 5-7 мм из ванны по направлению сварки из ванны, возвращается в сварочную ванну.

Частота тремора луча 20-50 Гц подобрана так, чтобы влияния на качество и геометрические характеристики сварного шва он не оказывал.

В момент выхода луча из ванны скачкообразно меняется интенсивность излучения вторичных электронов. Выполняется сравнение положения скачка импульса с координатой луча, когда ток в отклоняющей системе равен нулю, и при выявленном отклонении происходит коррекция луча прямо в процессе сварки. Система «Прогноз» обеспечивает точность позиционирования электронного луча относительно стыка до сотых долей миллиметра и обладает высоким быстродействием.

В управляющие программы установки «Прогноз» введены подпрограммы, обеспечивающие, при необходимости, сложные траектории перемещения луча. Установка позволяет вести сварку с продольными, поперечными и кольцевыми колебаниями луча, выполняемыми с заданной скоростью и по заданному закону

Необходимость в проведении исследований, направленных на совершенствование технологий электронно-лучевой сварки, обусловлена тем, что в настоящее время при сварке, как правило, используют технологии

дуговой сварки. Они не учитывают специфики эксплуатации и требований по качеству валов газовых турбин.

Так, в работе [6] отмечается, что дуговая сварка способствует образованию в соединениях валов газовых турбин неприемлемо большего количества дефектов. Еще одной особенностью таких соединений является образование в сварном шве вала участков металла с неблагоприятной для условий эксплуатации охрупченной структурой.

Данные работы [7] свидетельствуют, что из-за увеличения уровня остаточных напряжений и образования неоднородностей структуры при дуговой сварке материалов, применяемых для валов газовых турбин, значения ударной вязкости снижаются на 20... 25 % по сравнению с исходного материала.

В работе [5] установлено, что вблизи выполненных дуговой сваркой сварных швов могут возникать дефекты, обусловленные пластическими деформациями укорочения, так как соединение получается кольцевое при сравнительно малых значениях диаметра. Склонность сварных соединений выполненных дуговой сваркой к образованию такого рода дефектов тем больше, чем меньше их деформационная способность. А с учетом специфики формы вала газотурбинного двигателя деформационная возможность невелика.

В работе [8] отмечается, что сварные соединения сталей, применяемых для валов газотурбинных двигателей, выполненные дуговой сваркой обладают низкой сопротивляемостью к образованию усталостных трещин, чем подвергшиеся электронно-лучевой сварке. Сопротивляемость усталостному разрушению указанных сварных соединений возрастает после термообработки – средний отпуск. Но введение в технологический процесс изготовления вала, и так весьма сложный, дополнительной операции не оказывает удешевляющее воздействие на турбину в целом.

По мнению авторов работы [2], технологии электронно-лучевой сварки валов следует уделять больше внимания, чем лазерной. Хотя лазерная сварка

также относится к высококонцентрированным методам сварки. Важнейшей задачей при этом является выбор таких сварочных параметров режима сварки, которые обеспечат низкий уровень остаточных напряжений и позволят в ряде случаев отменять мероприятия по их снятию.

Особенности и причины разрушения конструкций должны быть учтены при разработке технологии их восстановления. В связи с этим в работе [6] рекомендуется перед проведением сварки сталей 18ХНЗА, 12ХНЗА, 15Х12Н2МВФАБ проанализировать следующее:

- позволяют ли условия эксплуатации сварной конструкций из данных сталей производить сварку тем или иным методом;
- какая технология может быть использована для обеспечения лучшей работоспособности и меньшей степени деградации свойств металла вблизи сварного соединения.

Наиболее предпочтительным способом для формирования разделки кромок валов газотурбинных двигателей является механическая обработка [11]. Сварные соединения валов, разделку кромок для сварки которых выполняли способом фрезерования с помощью специального устройства, имели более высокую сопротивляемость усталостным разрушениям, чем соединения с разделкой кромок, произведенной термическими методами.

Поскольку значительная доля разрушений конструкций связана с образованием в них усталостных трещин, естественно, акцент в тематике исследований направлен на разработку способов повышения сопротивляемости сварных соединений этому виду разрушения.

Например, в работах [12, 13] описан способ повышения сопротивляемости сварных соединений усталостному разрушению, основанный на применении присадочной сварочной проволоки с 10 % Nb и 10 % Сг, которая обеспечивает низкую температуру мартенситных превращений в металле сварного шва. Мартенситные превращения сопровождаются увеличением объема и расширением металла шва на конечной стадии охлаждения. Благодаря этому в сварном соединении возникают сжимающие

остаточные напряжения, способствующие повышению сопротивляемости сварных соединений усталостным разрушениям. Однако, с учетом того, что электронно-лучевая сварка вала выполняется без применения присадочных материалов, данный способ не является актуальным для нашего случая.

Рекомендуется подвергать сварные соединения валов таким видам обработки, которые повышают сопротивляемость усталостным разрушениям [9]. Отмечается, что в соединениях валов необходимо снижать уровень остаточных напряжений растяжения, уменьшать остроту надреза, бороться с трещиноподобными дефектами. Для этого, в некоторых случаях сварные соединения валов шлифуют, оплавливают вольфрамовым электродом в инертном газе или плазменной горелкой, проковывают пневматическим молотком. Первые два способа улучшают форму сварного соединения, третий снижает уровень остаточных напряжений растяжения в них.

Поскольку образовавшиеся дефекты валов могут привести к фатальным итогам, процессам контроля сварных швов уделяют особое внимание. Как правило, для контроля качества сварных соединений валов применяют ультразвуковой, рентгенографический, магнитопорошковый. Весь этот комплекс требуется, так как изделие ответственное. Понятное дело, что на специальных стендах нужно контролировать изменение размеров изделия.

Необходимо отметить тот факт, что на практике выполнение электронно-лучевой сварки в одном соединении может повторяться несколько раз. О том, как это сказывается на дальнейшей работоспособности изделия, единого мнения нет.

### 1.5 Задачи бакалаврской работы

Цель настоящей работы – повышение качества сварки валов за счет автоматизации процесса фокусировки луча.

Выполненный в первом разделе анализ базовой технологии, и анализ возможных путей устранения ее недостатков позволяет рекомендовать



использование отраженных электронов и других излучений для .

Таким образом, можно следующим образом сформулировать следующие задачи, после последовательного выполнения которых цель бакалаврской работы будет достигнута:

1. разработать методику исследований свойств сварных соединений, выполненных по базовому технологическому процессу и технологическому процессу со стабилизацией фокуса луча;
2. выполнить исследования;
3. разработать технологические рекомендации сварки со стабилизированным фокусом;
4. обеспечить безопасность производственных рабочих на операции сварки;
5. выполнить экономическую оценку разработок.

.

.

## 2 Методика исследований

Для того, чтобы определить влияние на остаточные деформации разных технологических приемов следует не только провести сварку образцов и, соответственно, выяснить в каком случае остаточные деформации будут минимизированы, но и провести исследования механических характеристик сварных швов.

Исследования механических свойств проводят в соответствии с ГОСТ 6996. Указанный стандарт рассматривает различные способы определения механических характеристик сварных швов.

В ГОСТе изложены методики следующих основных видов исследований механических характеристик сварных соединений:

- а) исследования при растяжении (статическом);
- б) исследования на удар;
- в) исследования на старение;
- г) исследования твердости разных мест наплавленного металла и прилегающего участка образца и т.д.

Все методы приведенных в ГОСТе исследований применять для нашего изделия вряд ли целесообразно. Всякие исследования требуют денег. Поэтому следует из всего перечня ГОСТа выбрать те, которых будет достаточно для получения исчерпывающей информации. Выберем исследования разных участков сваренной детали растяжение (статическое) и на ударную вязкость. В общем то, этих исследований будет достаточно, чтобы ответить на вопрос об изменении прочности сварного соединения, появлении хрупких слоев в валиках наплавленного металла и околошовной зоне.

При выборе образцов следует помнить, что толщина стенки трубы всего то 2 мм. Возникает вопрос. Не воспользоваться ли плоскими образцами? Тем более, что ГОСТ предусматривает для деталей сложных конфигураций вариант плоского образца. Образцы можно изготовить из плоских соединений, которые, конечно, по химическому составу должны

быть близки к материалу исследуемого изделия. Все же приняли решение исследовать круглые образцы. Сварку для их получения вести пластин толщиной 6 мм. Эти пластины после выполнения сварных швов использовали для определения степени деформации.

При выполнении стыков предназначенных для проведения исследований все технологические параметры процесса сварки должны совпадать с технологическими параметрами свариваемых труб.

Контрольные образцы, свариваемые дуговой, сваркой пластин должны отвечать определенным геометрическим характеристикам.

Так при толщине выбранного нами металла,  $\delta=4$  мм ширина пластины должна составлять 50 мм.

Длина пластин выбирается в соответствии с размерами и количеством на одно испытание образцов.

Согласно ГОСТу образцы из сваренных пластин вырезали на металлорежущем оборудовании.

## 2.2 Исследования на статическое растяжение

Информация, которую дают исследователю испытания на статическое растяжение следующая. Это предел текучести, при условии, что металл пластичный, для хрупкого металла исследователь может определить предел текучести условный  $\sigma_{0,2}$ . Следующий определяемый параметр – предел прочности или временное сопротивление. И две характеристики пластичности. Удлинение после разрушения  $\delta$ , %; и сужение после разрушения,  $\varphi$ , %.

Исследования будем выполнять для разных способов сварки и для разных режимов

ГОСТ строго регламентирует форму образцов, вырезаемых из сваренного шва, для проведения исследований. Образцы показаны на рис. 2.1, или рис. 2.2. и таблицы 2.1.

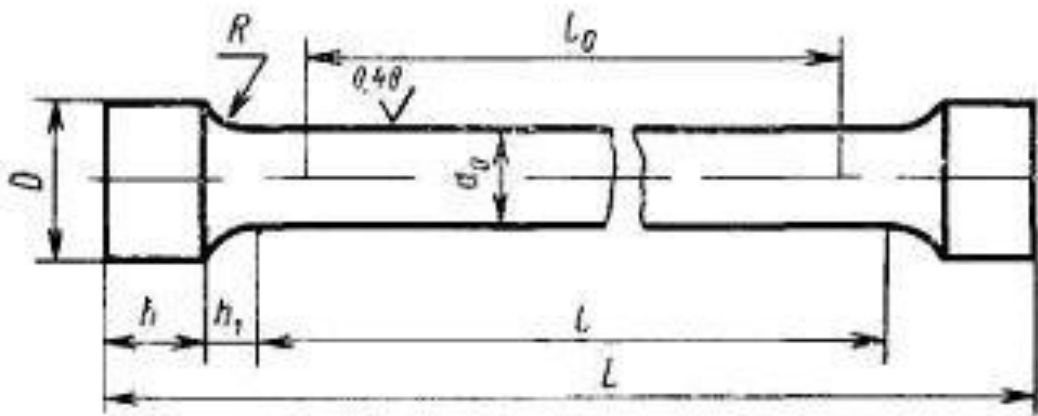


Рисунок 2.1 - Образцы типа I, II, III

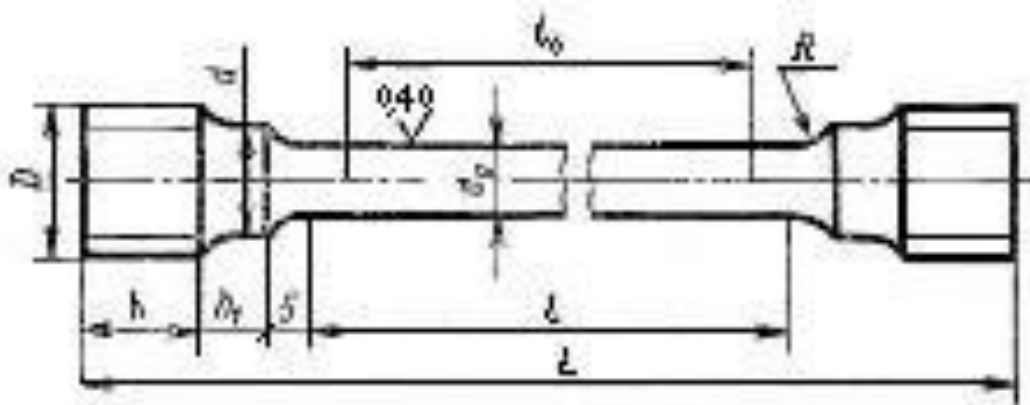


Рисунок 2.2 - Образцы типа IV, V

Размеры головки в месте лыски должны быть: для образцов типов I, II и III — не менее  $d_0+2$ ; для образцов типов IV и V — не менее  $d$ .

Таблица 2.1 – Значения размеров образцов

| Тип образца | $d_0$        | $d$ | K    | D   | h  | $h_1$ | R   | $l_0$ | l  | $L \pm 1$ |
|-------------|--------------|-----|------|-----|----|-------|-----|-------|----|-----------|
| I           | $3 \pm 0,1$  | -   | 0,03 | 6   | 4  | 2     | 1   | 15    | 18 | 30        |
| II          | $6 \pm 0,1$  | -   | 0,03 | 12  | 10 | 2,5   | 1,5 | 30    | 36 | 61        |
| III         | $10 \pm 0,2$ | -   | 0,04 | 16  | 10 | 3     | 3   | 50    | 60 | 86        |
| IV          | $6 \pm 0,1$  | 10  | 0,03 | M12 | 15 | 5     | 5   | 30    | 36 | 86        |
| V           | $10 \pm 0,2$ | 12  | 0,04 | M16 | 15 | 5     | 5   | 50    | 60 | 110       |

Допускается увеличение размера диаметра образца и его высоты.

На поверхности головки могут быть лыски и необработанная поверхность шва или свариваемого металла.

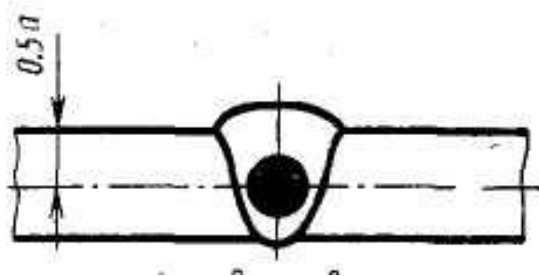


Рисунок 2.3 – Место вырезки образца согласно требований ГОСТ

### 2.3 Исследования на ударный изгиб.

При исследованиях на ударный изгиб определяют значения ударной вязкости. Ударную вязкость вычисляют по результатам исследований в  $\text{Дж/см}^2$  ( $\text{кгс-м/см}^2$ ), если не оговорено иначе. Для испытания выбираем образцы, форма, которых указана на рис.2.4 (образцы с V-образным надрезом). Учитывая толщину свариваемого металла берем образцы типа IX.

Надрез выполняем в различных участках металла околошовной зоны на расстоянии  $t$  от границы сплавления. Место расположения надреза и расстояние  $t$  от границы сплавления до оси надреза оговаривают нормативно-технической документацией. В нашем случае принимаем 5 мм.

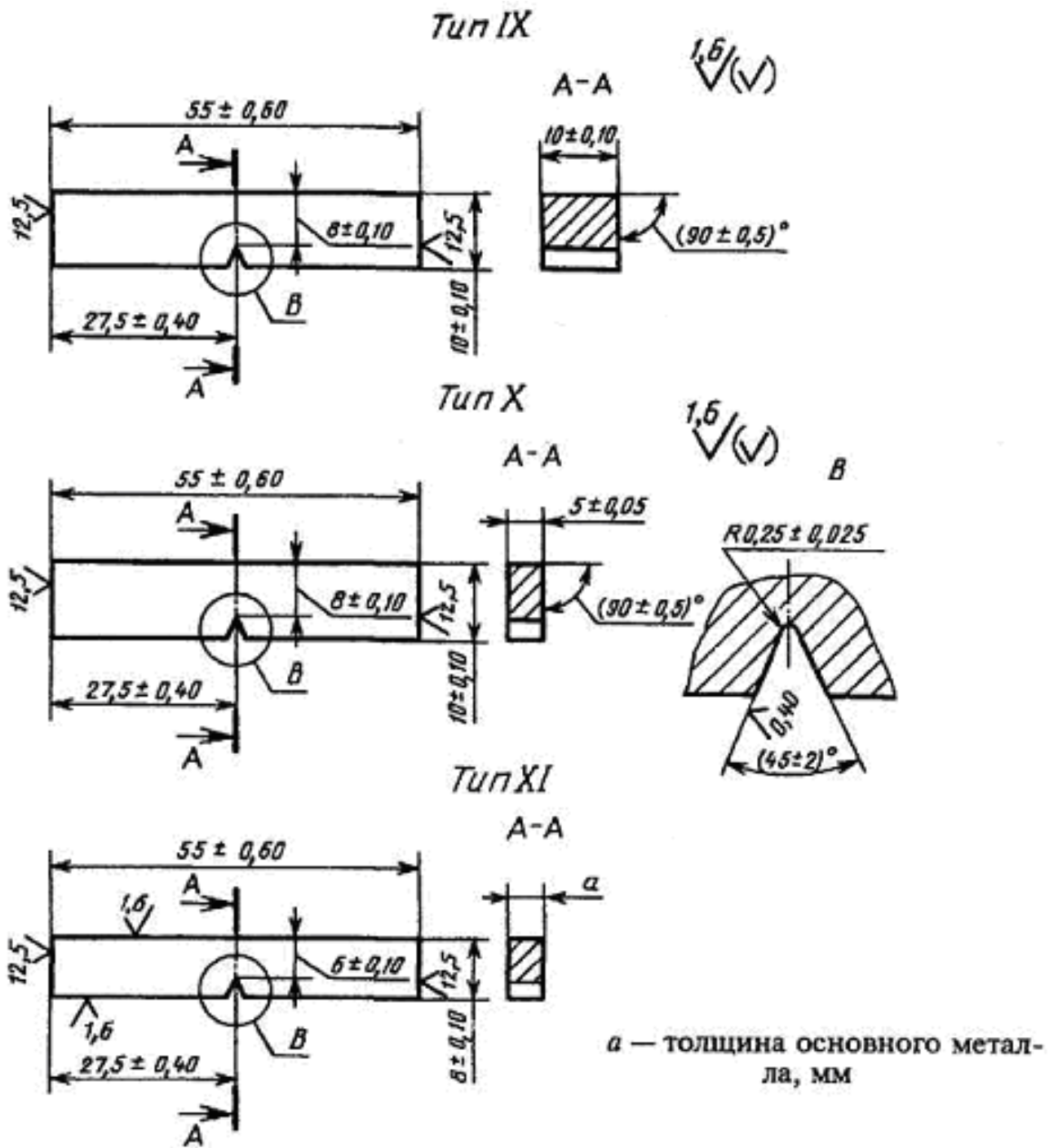


Рисунок 2.4 - Образцы для испытания на ударный изгиб

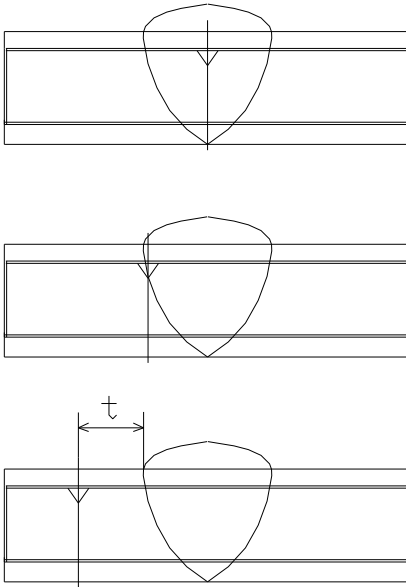


Рисунок 2.5 - Места вырезки образцов для испытаний на ударный изгиб

### 3 Результаты исследований

Сварку образцов проводили для двух вариантов – с автоматической фокусировкой луча и без автоматической фокусировки луча – по базовому варианту.

Изменяемыми параметрами были: сила тока луча, она менялась 45 мА, 50 мА, 55 мА; скорость сварки, 20 см/мин и 30 см/мин.

Предел прочности металла шва показан на диаграмме, рисунок 3.1.

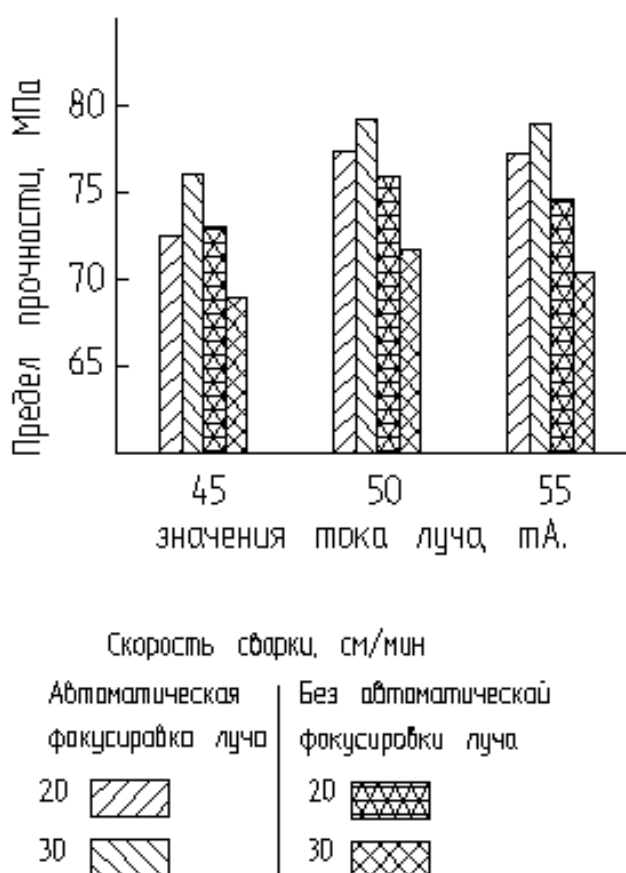


Рисунок 3.1 – Предел прочности металла шва.

Анализ диаграммы показывает, что прочность соединений выполненных с автоматической фокусировкой луча выше.

Предел текучести показан на рисунке 3.2. Значения предела текучести также получились выше.



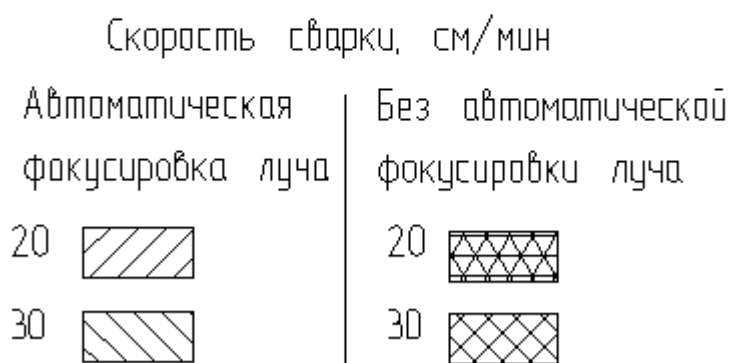
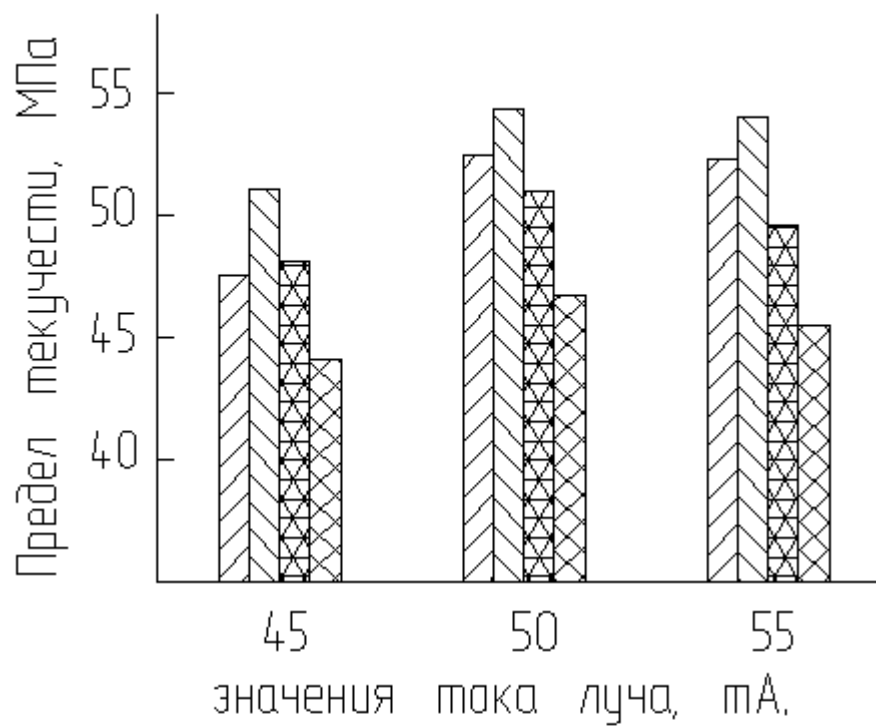


Рисунок 3.2 – Предел текучести металла сварного шва

## 4 Безопасность и экологичность проекта.

### 4.1 Характеристика участка сварки.

Тема выпускной работы бакалавра: «Электронно-лучевая сварка вала реактивной турбины».

Участок сварки показан на рисунке 4.1.

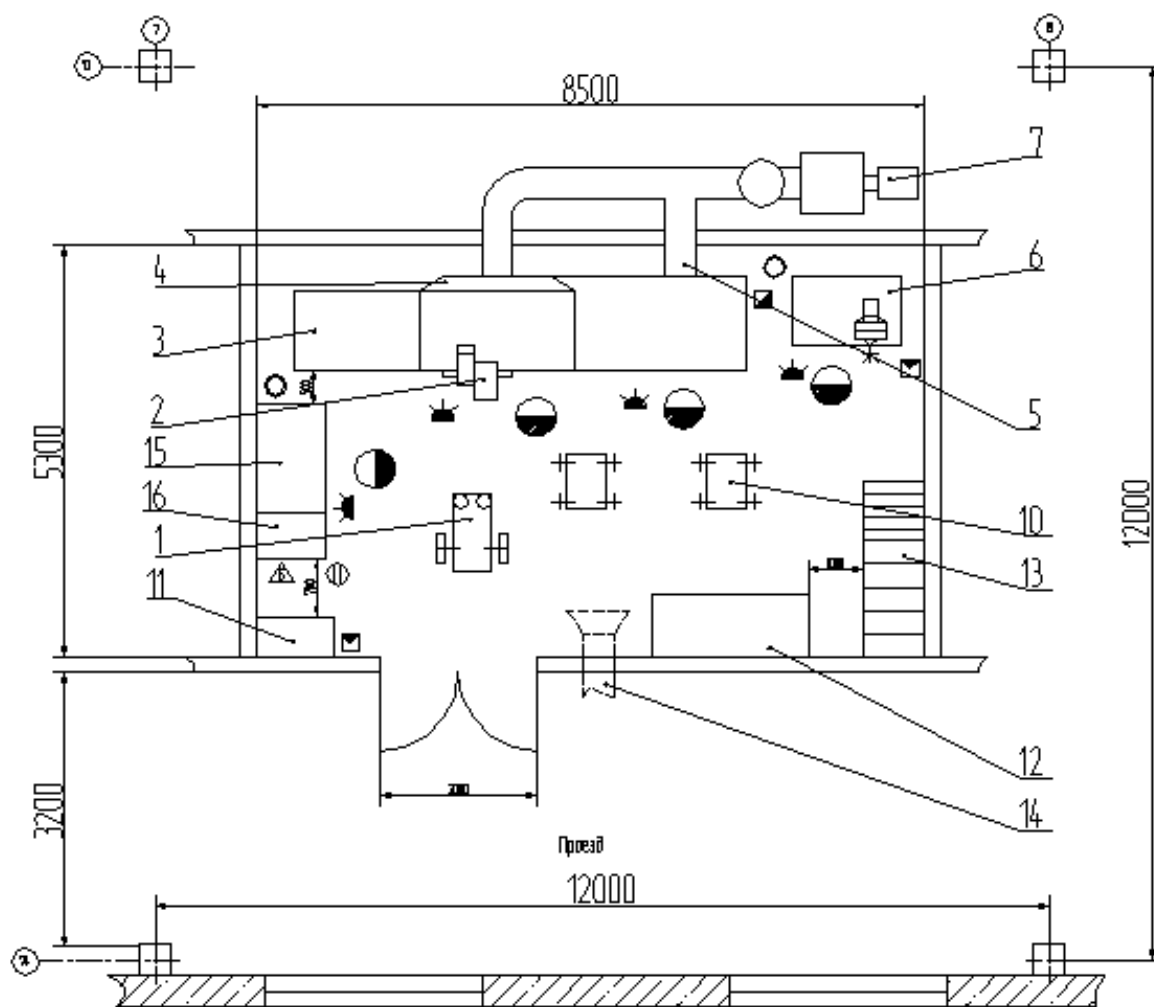


Рисунок 4.1 - Схема участка сварки

Спецификация оборудования участка представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Спецификация оборудования, инструментов для участка пайки.

| № позиции | Наименование оборудования, инструмента | Работы, операции, выполняемые на этом оборудовании или этим инструментом |
|-----------|--|--|
| 1         | Источник питания                       | Питание электронной пушки  |
| 2         | Электронная пушка                      | Сварка   |
| 3         | Установка электронно-лучевой сварки    | Сварка ротора  |
| 4         | Камера установки                       | Сварка ротора  |
| 5         | Трубопроводы вакуумной системы         | Загрузка собранных изделий в электропечь                                 |
| 6         | Верстак                                | Выполнение мелких работ  |
| 7         | Вакуумные насосы                       | Откачка камеры   |
| 8         | Дозатор припоя                         | Нанесение пасты припоя на собираемые изделия                             |
| 9         | Пост сборки                            | Сборка изделий   |
| 10        | Тележка инвентарная                    | Перемещение в пределах участка материалов и инструмента                  |

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

| Наименование технологической операции, выполняемые работы | Должность работника, выполняющего данную технологическую операцию              | Оборудование, устройства и приспособления, применяемые при выполнении технологической операции | Вещества и материалы, применяемые при выполнении технологической операции |
|---|--|--|---|
| 1   | 2  | 3  | 4   |
| 1. Подготовка деталей                                     | Слесарь-сборщик, электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах | 1) Щётка металлическая<br>2) машинка угловая шлифовальная                                      | 1) рукавицы<br>2) круг абразивный   |
| 2. Сборка, прихватка, контроль                            | Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах                  | 1) установка электронно-лучевой сварки   |   |
| 3. сварка   | Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах                  | 1) Установка электронно-лучевой сварки<br>3) шаблон УШС-3<br>4) машинка угловая шлифовальная   |   |
| 4. Контроль качества сварки                               | Дефектоскопист   | 1) лупа x4<br>2) шаблон сварщика УШС-3<br>3) стенд   | -   |

## 4.2 Персональные риски, сопровождающие внедрение проектной технологии в производство

Таблица 4.2 –Профессиональные риски, сопровождающие осуществление проектной технологии

| Наименование технологической операции, выполняемые работы | Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии  | Источник появления опасного или вредного производственного фактора  |
|---|--|---|
| 1   | 2  | 3   |
| 1. Подготовка   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Щётка металлическая</li> <li>2) машинка угловая шлифовальная</li> </ul> |
| 2. Сборка, прихватка, контроль                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов;</li> <li>- повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1) установка электроннолучевой сварки</li> </ul>                           |

Продолжение таблицы 4.2

| 1                           | 2  | 3  |
|-----------------------------|--|--|
| 3. сварка                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов;</li> <li>- повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне</li> </ul> | 1) установка электронно-лучевой сварки   |
| 4. Контроль качества сварки | <ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>1) лупа х4</li> <li>2) шаблон сварщика УШС-3</li> </ul> |

4.3 Предлагаемые мероприятия по снижению профессиональных рисков в ходе внедрения в производство проектной технологии

Таблица 4.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

| Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии                   | Наименование предлагаемого организационного мероприятия и технического средства, осуществляющего защиту, снижение и устранение данного опасного и вредного производственного фактора | Наименование средства для осуществления индивидуальной защиты работника |
|---|--|---|
| 1   | 2  | 3   |
| - Острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования | Проведение периодического инструктажа по вопросам техники безопасности   | Перчатки, спецодежда.   |

Продолжение таблицы 4.3

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

4.4 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 4.4 - Технические средства, обеспечивающие пожарную безопасность технологического объекта

| Наименование первичного средства для осуществления тушения | Наименование мобильного средства для осуществления тушения | Наименование стационарных систем и установок для осуществления тушения | Наименование пожарной автоматики | Наименование пожарного оборудования, применяющегося для тушения | Наименование средств индивидуальной защиты и спасения людей, применяющихся при тушении | Наименование пожарного инструмента | Наименование пожарной сигнализации, связи и систем оповещения |
|--|--|--|----------------------------------|---|--|------------------------------------|---|
| Ящики с песком, кошма, огнетушитель                        | -  | -  | -                                | -   | План эвакуации,  | Лопата, багор, топор               | кнопка извещения о пожаре                                     |

Таблица 4.5 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

| Участок, подразделение  | Оборудование                            | Класс пожара   | Опасные факторы пожара  | Сопутствующие проявления факторов пожара  |
|---|---|--|---|---|
| Участок, на котором осуществляется сварка вала газотурбинного двигателя | Установка для электронно-лучевой сварки | пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е) | Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;<br>уменьшение концентрации кислорода;<br>снижение видимости в дыму | замыкания на проводящих токе частях технологических установок, агрегатов изделий высокого напряжения; термохимическое действие используемых при пожаре огнетушащих веществ, на предметы и людей |

Таблица 4.6 – Проведение организационных и технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

| Наименование технологического процесса  | Реализуемое организационное или техническое мероприятие   | Требования по обеспечению пожарной безопасности   |
|---|---|---|
| Подготовка кромок, сборка нейтрализатора, теплообменника и контроль качества сварных соединений | Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими | Необходимо обеспечить достаточное количество первичных средств пожаротушения, применение защитных экранов с целью ограничения разлёта искр. |

#### 4.5 Оценка экологической безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

| Реализуемый технологический процесс                          | Операции, входящие в состав технологического процесса  | Негативное воздействие технического объекта на атмосферу    | Негативное воздействие технического объекта на гидросферу | Негативное воздействие технического объекта на литосферу   |
|--|--|---|---|--|
| Подготовка кромок, откатка, сварка контроль околошовной зоны | Подготовка стыка, сборка труб под сварку, выполнение сварки, контроль качества сварных швов и околошовной зоны | Выделяемые при сварке и откатке газообразные частицы и сажа | Возможны утечки вакуумного масла                          | Бумажная и полиэтиленовая упаковка от вспомогательных материалов; бытовой мусор, преимущественно стальной металлолом . |

Таблица 4.8 – Организационно-технические мероприятия обеспечивающие снижение негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

| Наименование технического объекта  | Сварка трубопровода   |
|--|---|
| Мероприятия, позволяющие снизить негативное антропогенное воздействие на литосферу | Следует предусмотреть установку контейнеров, позволяющих проводить селективный сбор производственных отходов и бытового мусора. Необходима установка отдельного контейнера для сбора металлолома. На контейнеры следует нанести соответствующие надписи. Необходимо проведение инструктажа среди рабочих сварочного участка по вопросу правильного складывания мусора и отходов в контейнеры. |

#### 4.6 Заключение по разделу

В ходе выполнения данного раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых



возможно при внедрении проектной технологии в производство. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов. В результате проведения этого анализа установлено, опасные и вредные производственные факторы могут быть устранены или уменьшены до необходимого уровня с применением стандартных средств безопасности и санитарии производства. Отсутствует необходимость в разработке дополнительных средств защиты. При внедрении проектной технологии возможны угрозы экологической безопасности. Для устранения этих угроз необходимо соблюдение технологического регламента и производственной санитарии.

## 5 Экономическая эффективность проекта

Цель бакалаврской работы – повышение качества сварки валов за счет автоматизации процесса фокусировки луча. Незначительные изменения тока, фокусирующей катушки изменяют форму сварного шва. Чтобы оставить геометрические характеристики сварного соединения в рамках требований нормативной документации приходится уменьшать такой параметр технологического процесса электронно-лучевой сварки – как скорость,  $V_{св}$ .

Расчет будем выполнять по изменившимся операциям (сварка) технологического процесса на один вал газовой турбины.

Характеристика сравниваемых вариантов обобщена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Краткая характеристика сравниваемых вариантов

| Базовый вариант   | Проектный вариант  |
|---|--|
| При электронно-лучевой сварке за счет изменения положения фокуса луча относительно свариваемой детали приходится уменьшать скорость, чтобы не появились непровары | В проектном варианте при автоматической фокусировке луча возможно увеличение скорости сварки, поэтому более высокая производительность |

### 5.1 Исходные данные для расчетов

Для автоматизации фокусировки было закуплена соответствующая приставка к установке. Поэтому рассчитывая экономический эффект от ее внедрения с базовым вариантом электронно-лучевой сварки. Приставка интегрирована в установку для электронно-лучевой сварки.

Исходные данные необходимые для проведения расчетов, занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные

| № п/п | Наименование экономического показателя   | Обозначение показателя | Единица измерения  | Значения |        |
|-------|--|------------------------|--------------------|----------|--------|
|       |  |                        |                    | Базовый  | Проект |
| 1     | 2  | 3                      | 4                  | 5        | 6      |
| 1     | Значение коэффициента, который учитывает наличие транспортно-заготовительных расходов                  | Ктз                    | -                  | 1,05     | 1,05   |
| 2     | Величина часовой тарифной ставки   | Сч                     | Руб/час            | 74,89    | 53,16  |
| 3     | Значение коэффициента, устанавливающего размер доплат к основной заработной плате                      | Кд                     | -                  | 1,81     | 1,81   |
| 4     | Значение коэффициента, устанавливающего размер отчислений на дополнительную заработную плату           | Кдоп                   | %                  | 12       | 12     |
| 5     | Значение коэффициента, учитывающего размер отчислений на социальные нужды.                             | Ксн                    | %                  | 30       | 30     |
| 6     | Рыночная стоимость применяемого технологического оборудования  | Цоб                    | Руб                | 20350    | 850000 |
| 7     | Установленная норма амортизационных отчислений на используемое в технологическом процессе оборудование | На                     | %                  | 18       | 18     |
| 8     | Значение коэффициента полезного действия технологического оборудования                                 | КПД                    | -                  | 0,7      | 0,7    |
| 9     | Стоимость расходуемой на осуществление технологии электрической энергии                                | Цээ                    | Руб/кВт            | 2,2      | 2,2    |
| 10    | Стоимость эксплуатации производственных площадей   | Сэкспл                 | Руб/м <sup>2</sup> | 3000     | 3000   |
| 11    | Площадь, которая занята технологическим оборудованием  | S                      | М <sup>2</sup>     | 8        | 11     |
| 12    | Значение коэффициента, учитывающего затраты на монтаж и демонтаж технологического оборудования         | кмонт                  | -                  | 0,03     | 0,02   |
| 13    | Принятое значение нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений                         | Ен                     | -                  | 0,33     | 0,33   |
| 14    | Цена приобретения производственных площадей  | Цпл                    | Руб/м <sup>2</sup> | 3000     | 3000   |
| 16    | Значение коэффициента, который учитывает цеховые расходы   | Кцех                   | -                  | 250      | 250    |
| 17    | Значение коэффициента, который учитывает заводские расходы   | Кзав                   | -                  | 215      | 215    |

Продолжение таблицы 5.2

|    |   |      |    |      |      |
|----|---|------|----|------|------|
| 18 | Норма амортизационных отчислений на площадь | Напл | %  | 2    | 2    |
| 19 | Программа годовая                           | Нпр  | Шт | 1000 | 1000 |

### 5.2 Вычисление фонда времени работы оборудования

Для определения временных затрат на выполнение операций технологического процесса используют расчётную зависимость:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{маш}} + t_{\text{всп}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{п-з}} \quad (5.1)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – общее время, которое затрачивает персонал на выполнение операций технологического процесса;

$t_{\text{маш}}$  – время, которое затрачивает персонал непосредственно на выполнение сварочных операций;

$t_{\text{всп}}$  – время, которое затрачивает персонал на подготовку к работе сварочного оборудования и составляет 10% от  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{обсл}}$  – время, которое затрачивает персонал на обслуживание, текущий и мелкий ремонт сварочного оборудования и составляет 8%  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{отл}}$  – время, которое затрачивает персонал на личный отдых, составляет 5%  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{п-з}}$  – время на подготовительно – заключительные операции, 1%  $t_{\text{маш}}$ .

Однако, применительно к электронно-лучевой сварке время вакууммирования рабочей камеры установки и последующего охлаждения в вакуумной камере значительно превышает 10% от машинного времени.

Поэтому машинное время определяем как для автоматической сварки и исходя из того, что диаметр вала в месте сварки составляет 148 мм или 14,8 см. Тогда протяженность шва составит 46,4 см.

При базовом варианте скорость сварки 20 см/мин, машинное время составит 2,32 мин.

При проектном варианте скорость сварки 30 см/мин, машинное время составит 1,54 мин.

Время вакууммирования (время вспомогательное) для обоих вариантов составит 10 минут и взято из технологической инструкции на установку.

Тогда

$$t_{\text{штб}} = 2,32 + 10 + 2,32 \cdot 8\% + 2,32 \cdot 5\% + 2,32 \cdot 1\% = 12,64 \text{ мин} = 0,21 \text{ час}$$

$$t_{\text{штпр}} = 1,54 + 10 + 1,54 \cdot 8\% + 1,54 \cdot 5\% + 1,54 \cdot 1\% = 11,75 \text{ мин} = 0,195 \text{ час}$$

### 5.3 Капитальные вложения в оборудование

Расчётное определение величины капитальных вложений в оборудование производим с использованием следующей зависимости:

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{пр}} + K_{\text{соп}} \quad (5.2)$$

где:  $K_{\text{пр}}$  – прямые капитальные вложения, руб.;

$K_{\text{соп}}$  – сопутствующие капитальные вложения, руб.

Рассчитаем прямые капитальные вложения по базовому и проектному варианту:

$$K_{\text{пр}} = \sum C_{\text{об}} * k_3 \quad (5.3)$$

где  $\sum C_{\text{об}}$  – суммарная цена оборудования, руб.;

$k_3$  – коэффициент загрузки оборудования.

Количество оборудования определяем с использованием формулы:

:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} * t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} * 60} \quad (5.4)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – затрачиваемое штучное время на сварку одного нейтрализатора;

$N_{\text{пр}}$  – принятое значение годовой программы;

Фэф – величина эффективного фонда времени работы сварочного оборудования;

Для выполнения принятой  $N_{пр}$  принимаем целое число единиц оборудования ( $n_{об.прин}$ ).

Расчётное определение величины коэффициента загрузки оборудования выполним с использованием зависимости:

$$k_з = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}} \quad (5.5)$$

Величину годового фонда времени, в течение которого работает оборудование рассчитываем с использованием формулы:

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{пр}) * T_{см} * S * (1 - k_{р.п}) \quad (5.6)$$

Подставив в (5.6) необходимые значения, получим:

$$\Phi_{эф.} = (365 - 110 - 14) * 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,06) = 1812 \text{ час.}$$

$$n_{об.расчетнб} = \frac{1000 * 12,64}{1812 * 60} = 0,11 \text{ шт.}$$

$$n_{об.расчетнпр} = \frac{1000 * 11,75}{1812 * 60} = 0,1 \text{ шт.}$$

$$k_{зб} = \frac{0,11}{1} = 0,11$$

$$k_{зпр} = \frac{0,1}{1} = 0,1$$

Капитальные вложения в базовом

$$K_{общ} = K_{пр} = 20350 \cdot 0,11 = 2238,5 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины общих капитальных затрат при реализации проектного варианта технологического процесса производим с использованием формулы:

$$K_{\text{общпр}} = K_{\text{пр}} + K_{\text{соп}} = K_{\text{пр}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{дем}} + K_{\text{площ}} \quad (5.7)$$

где  $K_{\text{пр}}$  – принятая величина капитальных вложений в технологическое оборудование;

$K_{\text{площ}}$  – принятая величина капитальных вложений в площади

$K_{\text{дем}}$  – принятое значение затрат на демонтаж технологического оборудования для реализации базового процесса;

$K_{\text{монт}}$  – принятое значение затрат на монтаж оборудования.

$$K_{\text{монт}} = \Sigma C_{\text{об}} * k_{\text{монт}} \quad (5.8)$$

где:  $k_{\text{монт}}$  – принятое значение коэффициента расходов на монтаж оборудования = 0,2.

$$K_{\text{монт}} = 850000 \cdot 0,2 = 170000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{дем}} = \Sigma C_{\text{об}} * k_{\text{дем}} \quad (5.9)$$

где:  $k_{\text{дем}}$  – коэффициент, учитывающий расходы на демонтаж = 0,2.

$$K_{\text{дем}} = 20350 \cdot 0,2 = 4070 \text{ руб.}$$

Поскольку закупленная приставка потребовала для своей установки некоторой площади, посчитаем затраты по формуле :

$$K_{\text{площ}} = S_{\text{площ}} * C_{\text{площ}} * g * k_3 \quad (5.10)$$

где:  $g$  – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{\text{площпр}} = 3000 \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 0,79 = 7110 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ}}^{\text{БАЗ}} = K_{\text{пр}} = 2238,5 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ}}^{\text{пр}} = 2238,5 + 7110 + 17000 + 4070 = 30418,5 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины удельных капитальных вложений выполняем с использованием зависимости:

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.11)$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{БАЗ}} = 2238,5 / 1000 = 2,23 \text{ руб.}$$

$$K_{уд}^{пр} = 30418,5/1000 = 30,41 \text{ руб.}$$

#### 5.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии.

Затраты на материалы, используемые при реализации базового и проектного вариантов технологии не определяем, так как материал основной одинаковый и в базовой технологии и в проектной.

Расчётное определение расходов на электроэнергию производим с использованием зависимости:

$$З_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_{об}}{КПД} Ц_{э-э} \quad (5.18)$$

где  $P_{об}$  – полезная мощность сварочного оборудования, кВт;

$Ц_{э-э}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

КПД – КПД установки.

Мощность сварочного оборудования:

Базовый

$$M_{уб} = 90000 \cdot 0,05 = 4500 \text{ Вт} = 4,5 \text{ кВт}$$

Тогда

$$З_{э-эб} = \frac{4,5 \cdot 2,2 \cdot 0,21}{0,7} = 2,97 \text{ руб.}$$

Проектный

$$M_{упр} = 90000 \cdot 0,055 = 4950 \text{ Вт} = 4,95 \text{ кВт}$$

Тогда

$$З_{э-эпр} = \frac{4,95 \cdot 2,2 \cdot 0,195}{0,7} = 3,03 \text{ руб}$$

Расходы, обеспечивающие компенсацию затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования определим согласно зависимости:

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} \quad (5.19)$$

где  $A_{об}$  – амортизационные отчисления на оборудование, руб.;



$P_{т.р}$  – затраты на текущий ремонт оборудования, руб.;

Величину амортизации оборудования вычисляем с использованием формулы:

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} * На_{об} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60 * 100} \quad (5.20)$$

где  $Ц_{об}$  – рыночная стоимость оборудования, руб.;

$На_{об}$  – норма амортизации, в процентах;

Базовый вариант

$$A_{обб} = \frac{20350 \cdot 0,21 \cdot 18}{1812 \cdot 100} = 0,42 \text{ руб.}$$

Проектный вариант

$$A_{обпр} = \frac{85000 \cdot 0,195 \cdot 18 \cdot 1}{1812 \cdot 100} = 1,64 \text{ руб.}$$

Для расчета расходов на выполнение текущего ремонта оборудования воспользуемся зависимостью:

$$P_{т.р} = \frac{Ц_{об} * H_{т.р} * k_3}{\Phi_{эф} * 100} \quad (5.21)$$

где  $H_{т.р}$  – установленные значения коэффициента отчислений, расходуемых на ремонт оборудования,  $\approx 35\%$ ;

$$P_{т.р.б} = \frac{20350 \cdot 35 \cdot 0,11}{1812 \cdot 100} = 0,43 \text{ руб.}$$

$$P_{т.р.пр} = \frac{850000 \cdot 35 \cdot 0,1}{1812 \cdot 100} = 1,64 \text{ руб.}$$

Итого, затраты на оборудование

$$З_{об} = A_{об} + P_{тр} \quad (5.22)$$

Базовый

$$З_{обб} = 0,42 + 0,43 = 0,85 \text{ руб.}$$

Проектный

$$Зобпр = 1,64 + 1,64 = 3,28 \text{ руб.}$$

Расчётное определение затрат на содержание и эксплуатацию площадей производим на основании зависимости:

$$Зпл = Апл + Рэкср \quad (5.23)$$

Расчётное определение затрат на производственные площади производим на основании зависимости:

$$Апл = \frac{Цпл \cdot S \cdot тшт \cdot Напл}{Фэф \cdot 100} \quad (5.24)$$

где Цпл – стоимость приобретения площадей, руб/м<sup>2</sup>;

S – площадь, необходимая для выпуска изделий, м<sup>2</sup>;

Напл – амортизационные отчисления на площади, %.

$$Аплб = \frac{3000 \cdot 8 \cdot 0,21 \cdot 21}{1812 \cdot 100} = 0,58 \text{ руб}$$

$$Аплпр = \frac{3000 \cdot 11 \cdot 0,195 \cdot 21}{1812 \cdot 100} = 0,74 \text{ руб}$$

Расчётное определение затрат на содержание и эксплуатацию площадей производим на основании зависимости:

$$Рэкср = Сэкср \cdot S \cdot тшт / Фэф \quad (5.25)$$

где Сэкср – стоимость эксплуатации площадей.

$$Рэксрб = 3000 \cdot 8 \cdot 0,21 / 1812 = 2,78 \text{ руб.}$$

$$Рэксрпр = 3000 \cdot 11 \cdot 0,195 / 1812 = 3,55 \text{ руб.}$$

Итого, затраты на производственные площади

$$Зплб = 0,58 + 2,78 = 3,36 \text{ руб.}$$

$$Зплпр = 0,74 + 3,55 = 4,29 \text{ руб.}$$

Расчётное определение затрат на фонд заработной платы выполним по следующей зависимости:

$$ФЗП = ЗПЛ_{осн} + ЗПЛ_{доп} \quad (5.26)$$

Для расчётного определения основной зарплаты используем зависимость:

$$ЗПЛ_{ОСН} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot k_{ЗПЛ} \quad (5.27)$$

где  $C_{ч}$  – часовая тарифная ставка рабочего, руб/час;

$t_{шт}$  – норма штучного времени, час;

$k_{ЗПЛ}$  – коэффициент начислений на основную заработную плату, 1,81.

Подставив в (5.27) необходимые значения, получим:

$$ЗПЛ_{ОСН}^Б = 0,21 \cdot 74,89 \cdot 1,81 = 28,46 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{ОСН}^{ПР} = 0,195 \cdot 53,16 \cdot 1,81 = 18,76 \text{ руб.}$$

Для расчётного определения дополнительной заработной платы используем формулу:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{ОСН} \quad (5.29)$$

где  $k_{д}$  – коэффициент, соотношения между основной и дополнительной заработной платой, 10%.

$$ЗПЛ_{доп}^Б = 28,46 \cdot 10 / 100 = 2,84 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{доп}^{ПР} = 18,76 \cdot 10 / 100 = 1,87 \text{ руб.}$$

Подставив в (5.26) необходимые значения, получим:

$$\Phi ЗП_{Б} = 28,46 + 2,84 = 31,30 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП_{ПР} = 18,76 + 1,87 = 20,63 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины отчислений на социальные нужды производим с использованием формулы:

$$O_{СН} = \Phi ЗП \cdot N_{соц} / 100 \quad (5.30)$$

где  $N_{соц}$  – коэффициент отчислений на социальные нужды, 30 %.

Подставив в (5.30) необходимые значения, получим:

$$O_{СН}^Б = 31,30 \cdot 30 / 100 = 9,39 \text{ руб.}$$

$$O_{СН}^{ПР} = 20,63 \cdot 30 / 100 = 6,19 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины технологической себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{\text{ТЕХ}} = 3M + 3_{\text{Э-Э}} + 3_{\text{ОБ}} + 3_{\text{ПЛ}} + \Phi 3\Pi + O_{\text{СН}} \quad (5.31)$$

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{Б}} = 2,97 + 0,85 + 3,36 + 31,30 + 9,39 = 47,87 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{ПР}} = 3,03 + 3,28 + 4,29 + 20,63 + 6,19 = 37,42 \text{ руб.}$$

### 5.5 Цеховая себестоимость

Расчётное определение величины цеховой себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + P_{\text{ЦЕХ}} \quad (5.32)$$

где  $P_{\text{ЦЕХ}}$  - сумма цеховых расходов, руб.

$$P_{\text{ЦЕХ}} = k_{\text{ЦЕХ}} \cdot 3_{\text{ОСН}} \quad (5.33)$$

где  $k_{\text{ЦЕХ}}$  – коэффициент, который учитывает цеховые расходы, 2,5;

$3_{\text{ОСН}}$  – основная заработная плата рабочих, руб.

Подставив в (5.33) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{Б}} = 47,87 + 28,46 \cdot 250/100 = 47,87 + 71,15 = 119,02 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{ПР}} = 37,42 + 18,76 \cdot 250/100 = 37,42 + 46,90 = 84,32 \text{ руб.}$$

### 5.6 Заводская себестоимость

Расчётное определение величины заводской себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + k_{\text{ЗАВ}} \cdot 3_{\text{ОСН}} \quad (5.34)$$

где  $P_{\text{ЗАВ}}$  – сумма заводских расходов, руб.

$k_{\text{ЗАВ}}$  – коэффициент, учитывающий заводские расходы, 1,8

Подставив в (5.34) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{Б}} = 119,02 + 28,46 \cdot 215/100 = 119,02 + 61,18 = 180,21 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{ПР}} = 84,32 + 18,76 \cdot 215/100 = 84,32 + 40,33 = 124,65 \text{ руб.}$$

Калькуляция себестоимости

Результаты выполненных расчетов себестоимости для наглядности отразим в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Калькуляция себестоимости изготовления одного вала

| № п/п | Показатели                     | Условные обозначения | Калькуляция, руб |           |
|-------|--------------------------------|----------------------|------------------|-----------|
|       |                                |                      | Базовый          | Проектный |
| 1     | 2                              | 3                    | 4                | 5         |
| 1     | Материалы                      | М                    | -                | -         |
| 2     | Фонд заработной платы          | ФЗП                  | 31,30            | 20,63     |
| 3     | Отчисления на социальные нужды | О <sub>сн</sub>      | 9,39             | 6,19      |
| 4     | Затраты на электроэнергию      | Зэ-э                 | 2,97             | 3,03      |
| 5     | Затраты на площади             | Зпл                  | 3,36             | 4,29      |
| 6     | Затраты на оборудование        | Зоб                  | 0,85             | 3,28      |
|       | Себестоимость технологическая  | Стех                 | 47,87            | 37,42     |
| 7     | Расходы цеховые                |                      | 28,15            | 46,90     |
|       | Себестоимость цеховая          | Сцех                 | 119,02           | 84,32     |
| 8     | Расходы заводские              |                      | 61,18            | 40,33     |
|       | Себестоимость заводская        | Сзав                 | 180,21           | 124,62    |

### 5.7 Расчет показателей экономической эффективности проектного варианта технологии

Величину условно-годовой экономии (ожидаемой прибыли) определим по формуле:

$$Pr_{ож.} = Э_{у.г.} = \left( C_{зав}^б - C_{зав}^{пр} \right) \cdot N_{пр} \quad (5.35)$$

Подставив в (5.31) необходимые значения, получим:

$$Э_{у.г.} = (180,21 - 124,62) \cdot 1000 = 55590 \text{ руб.}$$

Для определения размера годового экономического эффекта воспользуемся формулой

$$Э_{г.} = [(C_{зав}^б + E_n \cdot K_{уд}^б) - (C_{зав}^{пр} + E_n \cdot K_{уд}^{пр})] \cdot N_{пр} \quad (5.36)$$

$$Э_{г.} = [(180,21 + 0,33 \cdot 2,23) - (124,62 + 0,33 \cdot 30,41)] \cdot 1000 = 46960 \text{ руб.}$$

Величину показателя снижения трудоемкости определим с использованием формулы:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% \quad (5.37)$$

Подставив в (5.33) необходимые значения, получим:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,21 - 0,195}{0,21} \cdot 100\% = 7\%$$

Величину показателя увеличения производительности труда определим по формуле:

$$П_{\text{T}} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (5.38)$$

Подставив в (5.34) необходимые значения, получим:

$$П_{\text{T}} = \frac{100 \cdot 37}{100 - 37} = 7\%$$

Величину показателя снижения технологической себестоимости определим по формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХ}}^{\text{БАЗ}} - C_{\text{ТЕХ}}^{\text{ПР}}}{C_{\text{ТЕХ}}^{\text{БАЗ}}} \cdot 100\% \quad (5.39)$$

Подставив в (5.35) необходимые значения, получим:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{47,87 - 37,42}{47,87} \cdot 100\% = 21\%$$

Величину срока окупаемости дополнительных капитальных вложений определим по формуле:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{K_{\text{общпр}}}{\mathcal{E}_{\text{УГ}}} \quad (5.40)$$

$$T_{\text{ОК}} = \frac{30418}{55590} \approx 0,5 \text{ года}$$

Сравнительная экономическая эффективность

$$E_{\text{СР}} = \frac{1}{T_{\text{ОК}}} = \frac{1}{0,5} = 2 \quad (5.41)$$

### Выводы по экономическому разделу

В разделе Оценка экономической эффективности бакалаврской работы были произведены расчеты с целью определения таких экономических параметров, базового и проектного вариантов, как себестоимость сварки базовая и проектная технологическая и заводская.

Установлено, что проектный вариант сварки после своего внедрения в производство даст такие эффекты, как уменьшение трудоемкости на 7 %, увеличение производительности труда на 7 %, что уменьшило технологическую себестоимость на 21%. Расчётная величина условно-годовой экономии составит согласно результатов расчетов 55590 рублей.

Величина годового экономического эффекта, полученная с учетом затрат на капитальные вложения в оборудование, составит 46960 рублей. Капитальные вложения в оборудование размером 30418 рублей будут окуплены за 0,5 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили стабилизировать фокус электронного луча. Это позволяет уменьшить трудоемкость изготовления изделия за счет того, что увеличивается скорость сварки при неизменной величине проплавления.

Для реализации разработанной технологии изготовлена необходимая оснастка и установлена на электронно-лучевую установку..

При внедрении результатов бакалаврской работы предполагается получить годовой экономический эффект в размере 55590 руб. Цель проекта достигнута



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мейстер Р. А. Нестандартные источники питания для сварки : учеб. пособие / Р. А. Мейстер. - ВУЗ/изд. - Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2004. - 96 с..
2. Гитлевич А.Д., Этитоф А.А. Механизация и автоматизация сварочного производства [Текст] / А.Д. Гитлевич, А.А. Этитоф. – М.: Машиностроение, 1987 – 280 с.
3. Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах : ПОТ РМ-020-2001 : ввод. в действие с 1 янв. 2002 г. - Москва : [б. и.], 2001. - 58 с..
4. Справочник конструктора и технолога / сост. В. М. Михин, Б. Е. Кобызев, В. В. Михайленко. - Королев : ЦНИИМАШ, 2000. - 582 с.
5. Щекин В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов. - Изд. 2-е, перераб / В. А. Щекин - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
6. Цепенев Р. А. Автоматическое управление процессом сварки : учеб. пособие / Р. А. Цепенев ; ТолПИ ; Каф. "Оборуд. и технология сварочного пр-ва". - Тольятти : ТолПИ, 2001. - 76 с.
7. Корольков П. М. Термическая обработка сварных соединений трубопроводов и аппаратов, работающих под давлением / П. М. Корольков. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Стройиздат, 1987. - 233 с.
8. Прыкин Б. В. Технология металлов и сварки : учеб. для вузов по спец. "Пр-во строит. изделий и конструкций" / Б. В. Прыкин. - Киев : Вища шк., 1978. - 240 с. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: Учебник / Р.А. Фахрутдинов. – М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
9. Акшенцева А. П. Структура и свойства никельмолибденовых коррозионностойких сплавов : (с атласом микроструктур) : справочник / А. П. Акшенцева. - Москва : СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 204 с.
10. Изучение сварочного трансформатора : метод. указания к лаб. работе №4 по дисциплине "Электротехнологические установки" / сост. М. А.

- Бондаренко [и др.] ; науч. ред. В. М. Салтыков ; ТГУ ; Каф. "Электроснабжение промышленных предприятий". - Тольятти : ТГУ, 2003. - 13 с.
11. Колганов Л. А. Сварочное производство. Учебное пособие [Текст] / Л.А. Колганов. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. - 512 с.
  12. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. – М.: МЧС России, 1995.
  13. Колганов Л. А. Сварочное производство : учеб. пособие / Л. А. Колганов. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2002. - 504 с.
  14. Спиваков В.И., Орлов Э.А. Исследование влияния деформационно-термических параметров асимметричного охлаждения на плоскостность, микроструктуру и механические свойства листов. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.научн.тр.ИЧМ. К.: — Наукова думка, 2002. – Вып.4. – С. 321.
  15. Сэйдж А.М. Металлофизический обзор высокопрочных низколегированных сталей для труб и фиттингов. // Стали для газопроводных труб и фиттингов. Труды конференции. – М.: Металлургия, 1985. – С.38– 59.
  16. Выбойщик Л. М., Лучкин Р. С., Платонов С. Ю. Структурный фактор коррозионно-механической прочности сварных соединений нефтепромысловых труб // Сварочное производство. - №6 - 2008, с 12-17.
  17. Масленников А.В. Разработка технологического процесса сварки неповоротных стыков трубопроводов на основе оптимизации параметров режима : диссертация ... кандидата технических наук : 05.03.06 / Масленников Александр Васильевич; [Место защиты: Рос. гос. технол. ун-т им. К.Э. Циолковского (МАТИ)] - Москва, 2008.
  18. Ефименко Л. А., Капустин О. Е., Илюхин В. Ю., Коновалова О. В. — Анализ склонности трубных сталей различной категории прочности к термомодеформационному старению // Сварочное производство. 2008. №1 — С. 10-12.

19. Федосеева Е.М. Повышение качества сварных соединений сталей трубного назначения для обеспечения эксплуатационной безопасности магистральных трубопроводов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.10 / Федосеева Елена Михайловна; [Место защиты: Перм. гос. техн. ун-т]. - Пермь, 2011. - 140 с.
20. Уткин И.Ю. Роль микролегирующих элементов в формировании механических свойств околошовной зоны при сварке прямошовных труб большого диаметра групп прочности X70–X80: диссертация ... кандидата Технические наук: 05.16.01 / Уткин Иван Юрьевич; [Место защиты: Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П.Бардина].- Москва, 2016.