

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 Восстановление и ремонт сваркой деталей летательных аппаратов в
аэропорту Внуково

Студент

И.С. Долганов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Л. Федоров

(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

Цель настоящей работы – экономия материальных ресурсов при восстановлении деталей типа тел вращения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) выполнен обзор альтернативных способов нанесения покрытий и обоснован выбор оптимального способа восстановления изношенных валов;
- 2) составлена технология нанесения покрытий.
- 3) выполнен анализ предлагаемой технологии на предмет безопасности для жизни и здоровья производственного персонала;
- 4) выполнена экономическая оценка выбранного способа восстановления изношенных шеек.

Работа содержит 50 страниц записки, 8 рисунков, 9 таблиц.

В работе обоснован метод восстановления изношенных поверхностей валов агрегатов летательных аппаратов плазменным напылением покрытия. Разработана технология напыления покрытий плазменным напылением.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию на авиаремонтных предприятиях.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных и известных технических решений.....	6
1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации.....	6
1.2 Анализ свойств материала валов.....	9
1.3 Анализ применяемой технологии наплавки.....	12
1.4 Задачи работы.....	15
2 Проектный технологический процесс восстановления.....	16
2.1 Анализ альтернативных способов восстановления.....	16
2.2 Технология восстановления.....	17
3 Безопасность и экологичность технического объекта.....	20
3.1 Характеристика разработанного технического объекта.....	20
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений.....	21
3.3 Разработка мероприятий по минимизации действия профессиональных рисков.....	22
3.4 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.....	23
3.5 Мероприятия по безопасности окружающей среды.....	26
3.6 Заключение по разделу.....	26
4 Экономическая эффективность проекта.....	28
4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчетов.....	28
4.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса.....	30
4.3 Расчет затрат на новое оборудование.....	33
2.4 Расчет технологической себестоимости сравниваемых вариантов.....	36
2.5 Цеховая себестоимость.....	41
2.7 Определение экономической эффективности.....	43
2.8 Выводы по разделу.....	44
Заключение.....	46
Список используемых источников.....	47

Введение

Аэропорт Внуково, одна из старейших воздушных гаваней, в этом году будет отмечать 79 лет. В отличие от других аэропортов вокруг Москвы он принимал воздушные суда с высшими должностными лицами СССР и других государств. Из аэропорта Внуково совершали первые рейсы с пассажирами такие воздушные суда как Ил-18, Ил-86, Ту-104, Ту-114, Ту-124, Ту-134, Ту-154. А ведь каждый новый самолет – это и новые технологии его обслуживания.

14 апреля 1961 года во Внуково с космодрома Байконур прилетел первый космонавт планеты. В 1980 году аэропорт обслуживал гостей и спортсменов, принимавших участие в Олимпийских играх.

Отличительным признаком данного предприятия является применение передовых и новых технических решений. Как в организации обслуживания пассажиров, так и для ремонта авиационной техники. Так еще в 1954 году приступили к работе по обслуживанию летательных аппаратов Внуковские авиаремонтные мастерские были преобразованы во Внуковские линейные эксплуатационные мастерские. В 1961 году на производственной базе мастерских начался ремонт реактивных двигателей АИ-20.

В 1981 году Правительство СССР наградило аэропорт орденом Трудового Красного Знамени, причем, с формулировкой «за заслуги в производстве и внедрении новой авиационной техники».

В 2000 годах был открыт новый пассажирский терминал, введен в действие новый командно-диспетчерский пункт, построен пункт по переработке грузов и новая взлетно-посадочная полоса. Все вместе позволило увеличить пропускную способность аэропорта до 35 млн. пассажиров в год.

Также много внимания уделялось и совершенствованию обслуживания летательных аппаратов. Эксплуатационные мастерские непрерывно получали новые технологии и оборудование по обслуживанию

авиационной техники и аэродромного хозяйства. Выпущенный в 2005 году Приказ Минтранса №154, разрешающий авиакомпаниям-перевозчикам не иметь собственных авиационно-технических баз, позволил преобразовать Эксплуатационные мастерские в Центр Технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Сейчас предприятие называется «Внуковский авиаремонтный завод № 400».

Среди стоящих перед центром проблем, для разрешения которых требуется привлечение сварочных технологий, восстановление различного рода валов. Данные детали нашли широкое применение в гидравлических насосах воздушных судов, например, плунжерные насосы НП-89Д, фрикционно-пружинные муфты, и т.д.

Технология ремонта при износе валов в настоящее время предусматривает замену деталей на новые. Однако технологии сварки широко используют для восстановления требуемую толщины слоя на изношенных деталях. При этом известно, что стоимость восстановленной детали процентов на 30 меньше, чем новой [1].

Таким образом, мы можем определить цель настоящей работы – экономия материальных ресурсов при восстановлении деталей типа тел вращения.

1 Анализ исходных данных и известных технических решений

1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации

Датой рождения гражданского воздушного флота России считается 9 февраля 1923. В этот день были приняты постановления об организации Совета по гражданской авиации и постановление о техническом надзоре за воздушными линиями. Воздушный транспорт характеризуется высокими скоростями, на порядок большими, чем наземный. Любой сбой в функционировании систем воздушного транспорта чреват трагедией. Если в 1923 году выполнялись единичные рейсы пассажирских воздушных судов, то в настоящее время только аэропорт Внуково за день выполняется, примерно, 550 рейсов. Рейс каждые три минуты. Естественно, что возрастающая напряженность воздушных сообщений требовала адекватного ответа в сфере обслуживания. Эволюция организационных форм предприятий по ремонту, обслуживанию и техническому надзору показана на рисунке 1.1.

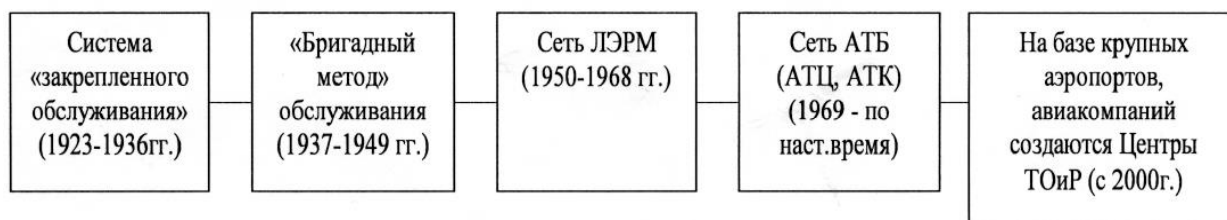


Рисунок 1.1 – Организационные формы предприятий по технической эксплуатации летательных аппаратов

В настоящее время такая организационная форма как Центр ТОиР способна выполнять все виды технического обслуживания воздушных судов, разные виды капитального ремонта или полный комплекс капитального ремонта. У нее должны быть свои ангары, площади для стоянки, лабораторная база, производственная база, складская база. Также должна быть оснащена современными средствами документооборота. Показанный на рисунке 1.2 Центр Технического обслуживания и ремонта авиационной

техники. «Внуковский авиаремонтный завод № 400» в полной мере обладает всем перечисленным.



Рисунок 1.2 – Внуковский авиаремонтный завод № 400

Предприятие оснащено комплексом оборудования для ремонта авиационной техники. Сюда относится металлорежущее оборудование, кузнечное, штамповое, имеется также сварочное оборудование. Различного рода тела вращения, преимущественно валы, нашли широкое применение в современных летательных аппаратах. Например, муфта фрикционная самолета Ту-154, рисунок 1.3. Состоит изделие из корпуса 1, входной шестерни 2, выходного вала 3, рабочей пружины 4, тормозной пружины 5, возвратной пружины 6, электромагнита включающего 7, якоря 8, сухаря 9.

Размеры выходного вала муфты фрикционной составляют: длина 125 мм, диаметр под посадочные места подшипников 6 мм и 10 мм. Износ идет по посадочным поверхностям подшипников. Материал вала сталь 65Г.

Дифференциал привода шасси самолета Ту-154 показан на рисунке 1.4. длина вала составляет 400 мм. Диаметр изнашивающихся поверхностей под посадочные места для подшипников составляет 20 мм. Материал вала сталь 45Х.

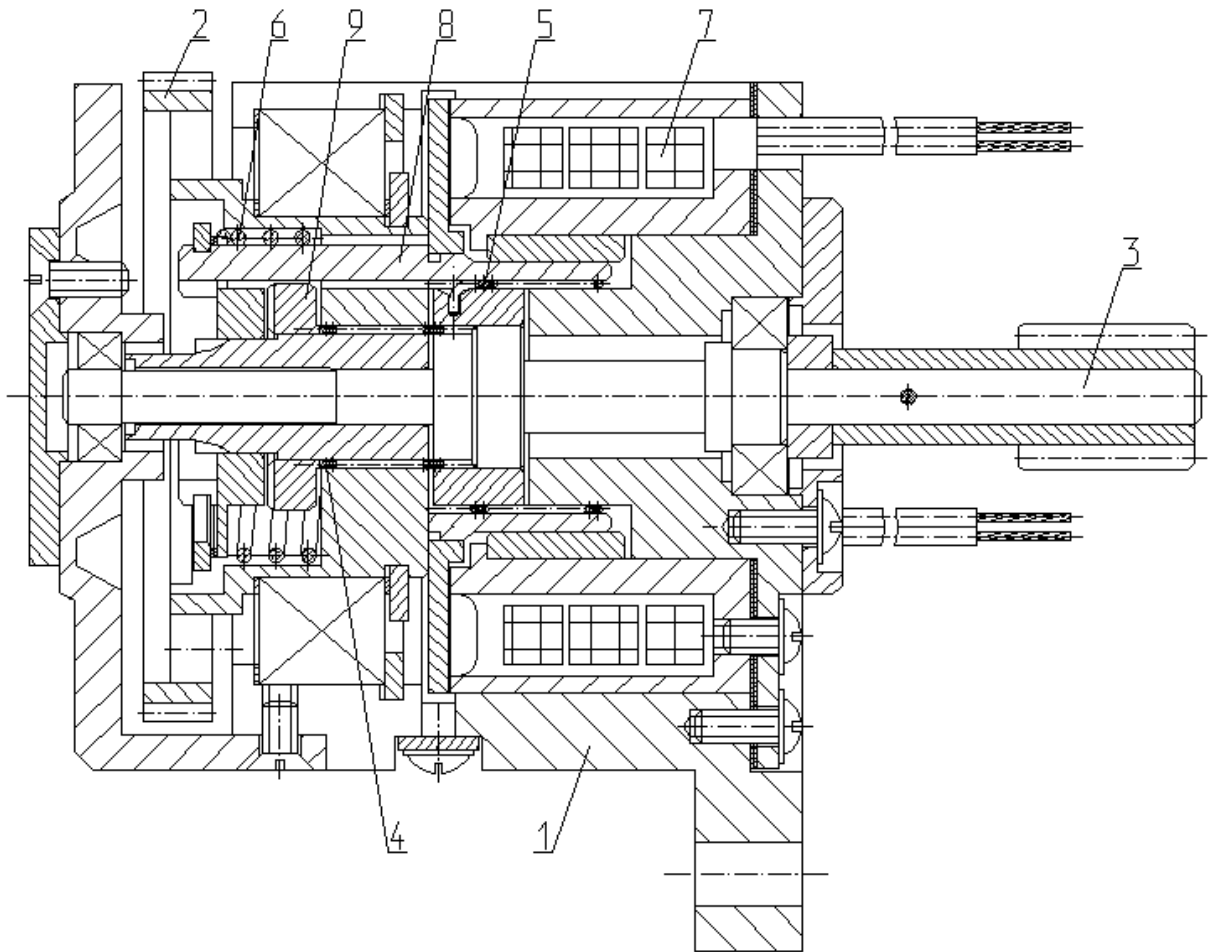


Рисунок 1.3 – Муфта фрикционная

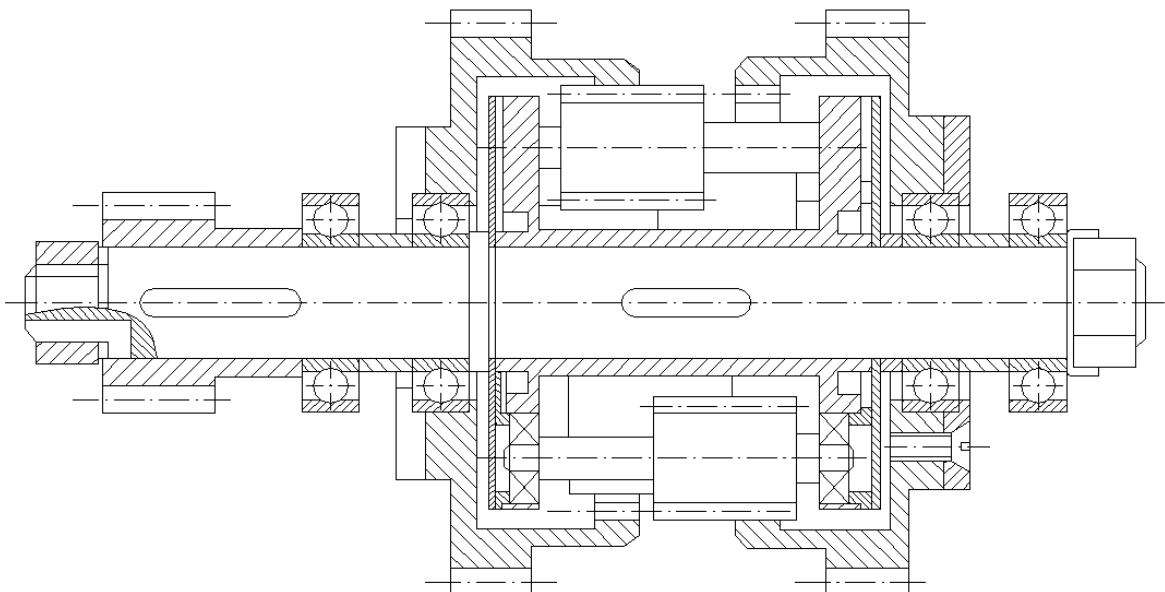


Рисунок 1.4 - Дифференциал

Химический состав материала вала муфты фрикционной отражен в

таблице 1.1. В таблице 1.2 указаны механические свойства стали 65Г.

Таблица 1.1 – Содержание химических элементов в стали 65Г, %, согласно ГОСТ 19282-73

Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Медь	Никель	Сера	Фосфор
				Не более			
До 0,7	0,3-0,4	0,8-1,2	До 0,3	0,3	0,3	0,04	0,035

Таблица 1.2 - Механические свойства стали 65Г

Временное сопротивление, σ_B МПа	Предел текучести, σ_T МПа	Относительное удлинение, δ_0 , %
Не менее		
670	425	12

В таблице 1.3 отражен химический состав вала дифференциала, и свойства показаны в таблице 1.4.

Таблица 1.3 – Содержание химических элементов в стали 45Х, %

Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Медь	Никель	Сера	Фосфор
				Не более			
0,41 – 0,49	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	0,8 – 1,1	0,3	0,3	0,035	0,035

Таблица 1.4 – Механические свойства стали 45Х

Временное сопротивление, σ_B МПа	Предел текучести, σ_T МПа	Относительное удлинение, δ_0 , %
Не менее		
1030	835	9

1.2 Анализ свойств материала валов

В центрах ТОиР для восстановления изношенных поверхностей тел вращения из сталей с повышенным содержанием углерода применяется дуговая наплавка. Из-за повышенного содержания углерода, при сварке

таких сталей приходится сталкиваться со следующими трудностями, зачастую нерешаемыми:

- 1) возникновение в околошовной зоне холодных трещин;
- 2) возникновение в металле шва горячих трещин;
- 3) сложность обеспечения одинаковых свойств наплавленного металла и основного.

Анализ свариваемости сталей позволит выбрать подходящие способы и режимы сварки. Согласно применяемым на практике методикам оценки свариваемости материалы, не способные соединяться сваркой одним способом могут быть успешно соединены другим способом. Или посредством применения специальных технологических приемов. Это следует из того, что методики оценки свариваемости учитывают свойства свариваемого материала, технологию сварки, конструктивные особенности сварного узла и особенности его эксплуатации.

Следовательно, меняя способ или конструкцию, можно получить вполне работоспособный при данных условиях сварной узел.

Однако при этом следует помнить, что все указанные в документации эксплуатационные требования на конкретный сварной узел должны выполняться. Если анализируемый способ сварки не позволяет обеспечить выполнение хотя бы одного показателя, из предъявляемых к сварному узлу, то анализируемый способ не обеспечивает свариваемость. Но если другой способ обеспечивает выполнение всех эксплуатационных требований к сварному узлу, то данный способ обеспечивает свариваемость.

Подытоживая можно сделать вывод, что материал, соединенный одним способом сварки при одних условиях эксплуатации может быть признан обладающим свариваемостью, а при других может быть признан не обладающим свариваемостью. Также можно сделать вывод, что при одних эксплуатационных требованиях одна конструкция сварного соединения обеспечивает их выполнение и материал свариваемостью обладает. А при

другой конструкции эксплуатационные требования не выполняются и материал может быть признан не обладающим свариваемостью.

Поэтому применяемые для оценки свариваемости методики характеризуются комплексностью. Тем не менее, при количественной оценке свариваемости в расчетных формулах, в первую очередь, учитывается содержание тех или иных химических элементов в соединяемом материале. При определении свариваемости, например, сталей, выполняют расчет т.н. углеродного эквивалента. Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей расчет углеродного эквивалента выполняют по следующей зависимости [8]:

$$C_{\text{э}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cu}}{13} + \frac{\text{V}}{14} + \frac{\text{P}}{2},$$

После расчета значений эквивалента углерода выполняется анализ полученных значений. Если эквивалент углерода менее 0,25 сталь относят к категории хорошо сваривающихся. Если эквивалент углерода находится в диапазоне 0,25...0,35 то сталь относят к категории удовлетворительно сваривающихся. В некоторых случаях перед сваркой таких сталей необходим предварительный подогрев свариваемых деталей. Если эквивалент углерода находится в диапазоне 0,35...0,45 то сталь относят к категории ограниченно сваривающихся. Здесь уже необходимы специальные технологические приемы.

Определить вероятность образования при сварке сталей горячих трещин можно используя формулу определения показателя Уилкинсона [6]:

$$\text{HCC} = \frac{C \left(S + P + \frac{\text{Si}}{25} + \frac{\text{Ni}}{100} \right) 10^3}{3\text{Mn} + \text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}},$$

Аналогично первой формуле после выполненных расчетов проводят оценку появления горячих трещин по величине показателя и по величине предела прочности.

Однако расчетные формулы не могут учесть все факторы эксплуатации сварного изделия. Поэтому выполняют сварку технологических проб и по результатам анализа делают вывод о свариваемости. Вывод о свариваемости делают на основании появления горячих или холодных трещин.

Кроме того, в некоторых случаях выполняют разрушение сваренного образца или фрагмента сваренного образца при статическом растяжении или ударном воздействии.

1.3 Анализ применяемой технологии наплавки

В Центрах ТОиР отрасли в настоящее время валы узлов летательных аппаратов, выполненные из сталей с повышенным содержанием углерода восстанавливают наплавкой порошковой проволокой ПП-Нп-60Х5Г2СМ.

Перед выполнением восстановительной наплавки следует провести входной контроль порошковой проволоки. Перед использованием наплавочной проволоки следует проверить:

- а) наличие сертификата, полноту приведенных в нем данных и их соответствие требованиям стандарта, технических условий или паспорта на конкретные сварочные материалы;
- б) наличие на каждом упаковочном месте (пачке, мотке, бухте и пр.) соответствующих этикеток (ярлыков) или бирок с проверкой полноты указанных в них данных;
- в) сохранность упаковок и самих материалов;

Перед наплавкой необходимо очистить поверхность восстанавливаемых валов от масла, загрязнений. Иначе в наплавленном металле возможно образование пор. Следует отметить, что операция очистки деталей перед восстановлением является важной и ответственной. Поэтому применяют для мойки специализированное оборудование – установка АМ 900АК, рисунок 1.5.

Установка снабжена вращающейся корзиной, частота вращения которой может достигать 10 оборотов в минуту. Мойка валов осуществляется щелочным раствором в течение 30-40 минут. Температура моющего раствора задается 80°C.

Очищенные от загрязнений изделия подаются на рабочий стол дефектовщика. Выявляется степень износа шеек вала, составляется дефектовочная ведомость, ремонтный чертеж и валы передаются на операцию обжига масла в маслоканалах. Следует отметить, что данная операция является обязательной только для валов, конструктивно выполненных с каналами.



Рисунок 1.5 – Установка моечная.

Обжиг масла выполняется в печи электрической СНО при температуре 400°C в течение 20 минут. После отжига маслоканалы прочищают, входные отверстия подвергают раззенковке и закрывают их асбестовыми пробками.

Подготовленный к восстановлению вал передается на участок сварки. Перед наплавкой слоя на изношенные шейки валов следует выполнить их предварительный подогрев. Температура предварительного нагрева составляет 200...300 °С.

Затем подготовленный к восстановлению наплавкой вал закрепляют в токарном станке, выполняют необходимые настроечные манипуляции.

Наплавку слоя порошковой проволокой выполняют на обратной полярности при следующих режимах: сила тока $I=140...170$ А, напряжение на дуге $U=22...24$ В, скорость подачи сварочной проволоки 1,5...1,8 м/мин.

Если согласно дефектовочной ведомости наплавку необходимо выполнять в несколько слоев, следует проводить тщательную зачистку каждого предыдущего слоя до чистого металла.

После наплавки обеспечивают замедленное охлаждение валов в ящике с песком. У остывшего вала удаляют асбестовые пробки из отверстий для прохода смазочного масла. На шлифовальном станке обрабатывают наплавленные поверхности по следующему режиму: скорость шлифовального круга $V = 25...30$ м/сек, скорость вращения вала $V = 0,2...0,3$ м/сек, продольная подача $S=3...8$ мм/об, глубина резания 0,005 мм, расход охлаждающей жидкости 0,3 л/сек.

У валов с каналами внутри после выполненной операции шлифования раззенковывают отверстия.

После операций шлифования, и, при необходимости, раззенковывания, валы передают на операцию контроля. Производится визуальный контроль наплавленного слоя. Такие дефекты как трещины в слое, трещины, непровары не допускаются. Измеряют геометрические размеры. Отклонения от требований ремонтного чертежа не допускаются.

Следует отметить, что существенное повышение эксплуатационных свойств восстанавливаемой поверхности при данной технологии восстановления не получается.

1.4 Задачи работы

Цель настоящей работы – экономия материальных ресурсов при восстановлении деталей типа тел вращения. Результатом анализа установлено, что применяемый вариант наплавки обладает такими недостатками как:

- 1) отсутствие повышения эксплуатационных характеристик наплавленного слоя;
- 2) неровная поверхность наплавленного слоя требует большего припуска на механическую обработку, следствием чего является большой расход наплавочной проволоки;
- 3) высокий уровень тепловложения в наплавляемый вал требует применения специальных технологических приемов для устранения короблений и деформаций.

Таким образом, для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- 1) выполнить обзор альтернативных способов нанесения покрытий и обосновать выбор оптимального способа восстановления изношенных валов;
- 2) составить технологию нанесения покрытий.
- 3) выполнить анализ предлагаемой технологии на предмет безопасности для жизни и здоровья производственного персонала;
- 4) выполнить экономическую оценку выбранного способа восстановления изношенных шеек.

2 Проектный технологический процесс восстановления

2.1 Анализ альтернативных способов восстановления

Различные варианты способов дуговой наплавки не устраивают, так как они не устраняют недостатков базового технологического процесса, перечисленных в разделе 1.4. Если получить наплавленный слой с высокими эксплуатационными параметрами можно подобрав соответствующий присадочный материал, то уменьшить тепловложение в наплавляемое изделие до минимума является сложной задачей, так как наплавка подразумевает нагрев поверхности обрабатываемого изделия до температур плавления.

Нанесение покрытий и слоев с малой величиной нагрева поверхности возможно гальваническими методами, наносят также покрытия и в вакууме. Причем, технологии нанесения в вакууме обеспечивают практически неограниченные возможности по управлению структурой и свойствами наносимого слоя.

Однако вариант замены на вакуумные технологии нанесения покрытий не устраивают нас по следующим причинам. Оборудование для электронно-лучевого осаждения покрытий в вакууме является сложным в эксплуатации и дорогостоящим. Требуется высокой культуры производства и квалифицированного обслуживающего персонала. Также негативно на производительность процесса вакуумных технологий нанесения покрытий сказывается длительное время, расходуемое на откачку воздуха из вакуумной камеры. Правда время на данную операцию может быть значительно сокращено в установках с двумя шлюзовыми камерами, но наличие двух шлюзовых камер удорожает оборудование.

Меньшие технологические возможности у способа гальванического осаждения. Хотя оборудование и сама технология осаждения гораздо проще. Кроме того, при нанесении покрытия практически не происходит разогрев дефектного изделия. Следовательно, свойства материала изделия остаются

неизменными. Тем не менее, главным недостатком способа гальванического нанесения покрытий является слабое сцепление наносимого слоя и подложки. С учетом того, что подлежащие восстановлению детали работают при ударных и знакопеременных нагрузках важным свойством наносимого покрытия является его хорошая адгезия.

Наплавка высококонцентрированными источниками энергии обеспечивает уменьшение тепловложения в наплавляемую деталь [11]. К высококонцентрированным источникам энергии относят луч лазера. При лазерной наплавке на поверхность обрабатываемого изделия наносят слой покрытия путем расплавления основы и присадочного материала за счёт энергии лазерного луча. Так как при лазерной наплавке расплавление основы минимально, свойства покрытия в основном определяются свойствами присадочного материала. Деформации и коробления получаются минимальные. Однако источник лазерного излучения относится к дорогостоящему оборудованию.

Немного меньше концентрация энергии при использовании в качестве источника нагрева тепла сжатой дуги. Восстановление деталей с применением плазменной наплавки позволяет получить существенное сокращение расходов на наплавочные материалы, повышение эксплуатационных свойств восстановленных деталей. Плазменная наплавка может считаться одним из самых высокоэффективных технологических процессов. Техничко-экономические показатели (себестоимость, долговечность, производительность) плазменной наплавки существенно выше, чем показатели других способов восстановления деталей.

2.2 Технология восстановления

Выполненный анализ условий эксплуатации изделия, предлагаемых промышленностью порошков для плазменного напыления позволяет остановиться на следующем варианте. Напыление в качестве подстоя

порошка ПТ-НА-01. Затем послойно напылять сплав никель-алюминий, порошок ПН85Ю15М и самофлюсующийся сплав Ni-Cr-B-Si порошок ПР-НХ17СР4. Самофлюсующиеся сплавы обеспечивают хорошую связь между слоями, хорошее сопротивление ударным нагрузкам, а сплав никель-алюминий обеспечивает хорошие антифрикционные свойства.

Операции подготовки напыляемого изделия остаются без изменений, по сравнению с базовой технологией. Вместо входного контроля порошковой проволоки выполнять входной контроль напыляемого порошка. Проверка сертификатов завода – изготовителя, просеивание через сито, для напыления наиболее подходящий размер частиц порошка 60...100 мкм.

Для вращения напыляемого изделия применять тот же токарный станок, что и в базовой технологии.

Напыление подслоя выполнять по режиму $I=315\text{А}$, $U=65\text{ В}$, расход плазмообразующего газа $N=0,5\text{ л/час}$, расход транспортирующего газа $Ar=1,5\text{ л/час}$, расход порошка $0,55...0,62\text{ г/см}$, температура плазмы $14000...16000\text{ С}$, фракция порошка 60 мкм.

Затем напылять основной слой в несколько этапов. 1 слой смесью порошков ПН85Ю15М-95%+ Х17СР1-5% при силе тока $I=350\text{А}$, напряжении $U=70\text{В}$. Расход газа при этом $N=0,5\text{ л/час}$, $Ar=1,5\text{ л/час}$, температура плазмы $14000...18000\text{ С}$, фракция порошка 60 мкм. 2 слой состава ПН85Ю15М-90%+ Х17СР1-10% при тех же режимах. 3 слой состава ПН85Ю15М-85%+ Х17СР1-15%. 4 слой состава ПН85Ю15М-80%+ Х17СР1-20%. 5 слой состава ПН85Ю15М-75%+Х17СР1-25%. Нанесение слоев поочередное, в процессе нанесения слоя выполнять обработку дробью согласно схеме, рисунок 2.1.

Последующие операции по сравнению с базовой технологией изменений не претерпевают. Выполняется контроль нанесенного слоя, его шлифование и повторный контроль.

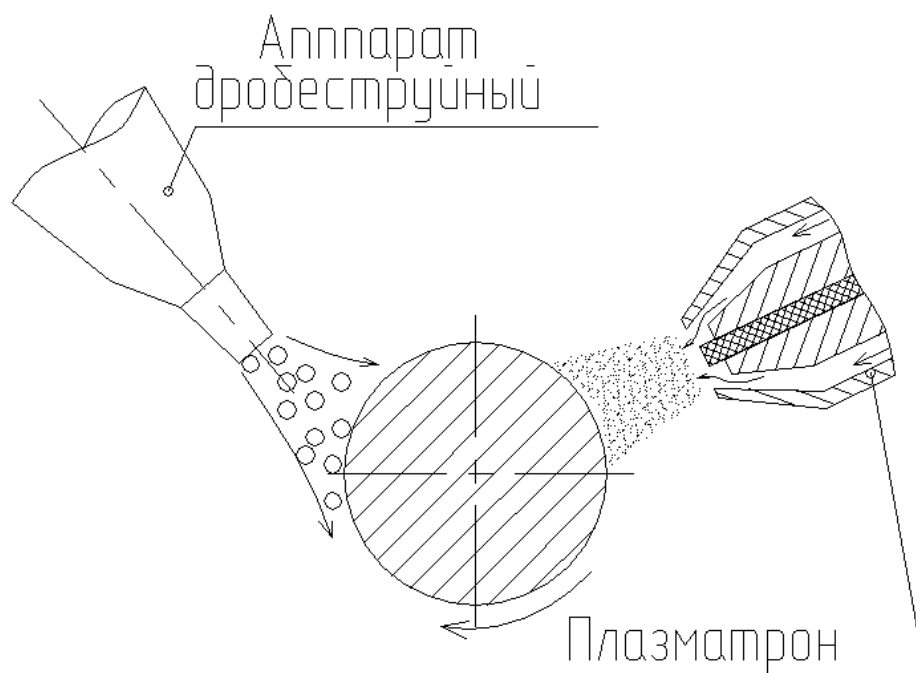


Рисунок 2.1 – Схема процесса напыления.

3 Безопасность и экологичность технического объекта

3.1 Характеристика разработанного технического объекта.

Тема выпускной квалификационной работы: «Восстановление и ремонт сваркой деталей летательных аппаратов в аэропорту Внуково». В процессе выполнения бакалаврской работы разработаны технические мероприятия, обеспечивающие повышение производительности труда при наплавке изношенных валов агрегатов летательных аппаратов.

Необходимое для реализации разработанных технических мероприятий оборудование подлежит размещению на производственном участке, рисунок 3.1. Понадобится установка УПУ-8М, на схеме обозначена 16.

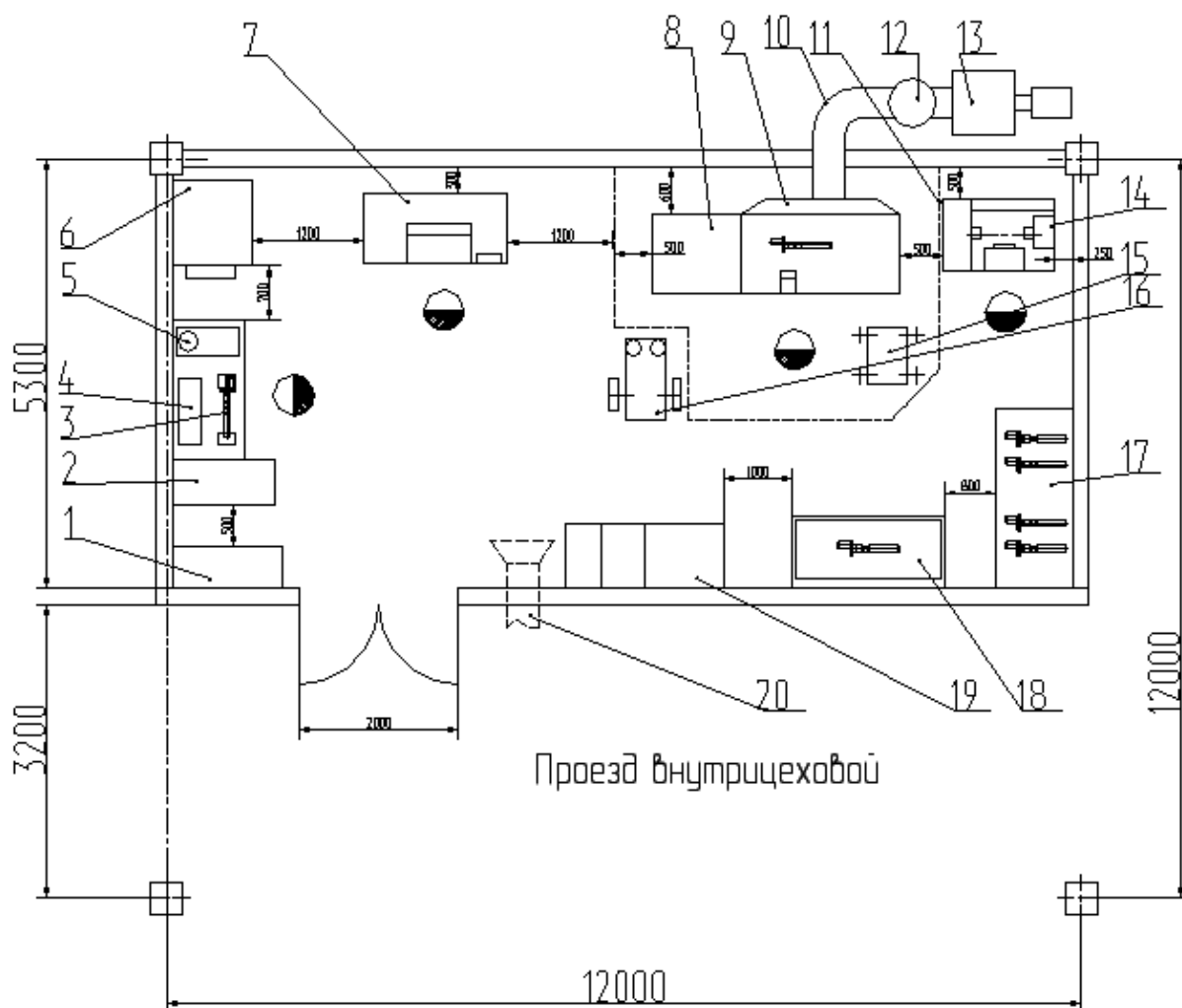


Рисунок 3.1 – Схема компоновочная участка наплавки

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

№ п/п	Внедряемый технологический процесс	Операции внедряемого технологического процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1	Напыление изношенной поверхности	Входной контроль	Контролер основного производства	Лупа 4х, УШС-3	Ветошь
2		Дефектация	Контролер основного производства	Штангенциркуль, микрометр	
3		Напыление	сварщик изделий из тугоплавких металлов,	Установка УПУ-8М.	Порошок для напыления
4		Выходной контроль	Контролер основного производства	Лупа 4х, УШС-3, щетка металлическая	

3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Для устранения выявленных в разделе 1 ВКР недостатков применяемой при наплавке изношенных поверхностей валов узлов и агрегатов летательных аппаратов предложена к внедрению технология плазменного напыления. Помимо действия на производственный персонал негативных температурных факторов, обусловленных горением сжатой дуги, возможно действие светового излучения горячей дуги, выделяемых аэрозолей и газов и т.д. Для анализа сопровождающих разработанные технические мероприятия негативных производственных факторов сведем и систематизируем их в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Идентификация негативных производственных факторов.

№п/п	Выполняемые работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющего угрозу негативного фактора
1	Входной контроль	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки.	Валы
2	Дефектация	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки.	Валы
3	Напыление	Повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Установка для плазменного напыления УПУ-8М
4	Выходной контроль	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки.	Била

3.3 Разработка мероприятий по минимизации действия профессиональных рисков

Для анализа мероприятий по устранению идентифицированных в таблице 4.2 негативных производственных факторов сведем и систематизируем имеющиеся и разработанные мероприятия в таблицу 4.3.

К перечню мероприятий относится вводный; первичный и т.д. инструктажи. Но, поскольку они являются обязательными для проведения на любом предприятии народного хозяйства, акцентировать на них внимание в таблице 3.3 нет нужды.

Таблица 3.3 – Коллективные и индивидуальные средства защиты от негативных факторов производственного участка.

№ п/п	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Коллективные средства защиты от действия негативных факторов	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1	Острые кромки	Информирующие об опасности плакаты и надписи.	Спецодежда.
2	Движущиеся детали оборудования и наплавляемые детали.	Ограждения от проникновения в опасную зону работников. Информирующие об опасности плакаты и надписи.	Спецодежда
3	Мелкодисперсные частицы и вредные газы на участке сварки	Устройства, обеспечивающие удаление загрязненного воздуха и поступление чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4	повышенная температура оборудования и воздуха участка	Устройства, обеспечивающие удаление нагретого воздуха и поступление воздуха извне	Спецодежда
5	Повышенное напряжение.	Заземление оборудования находящегося под напряжением. Периодический контроль состояния изоляции.	Спецодежда
6	световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда.

3.4 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности производственного участка призваны обеспечить защиту от пожара работников предприятия, а также имущество предприятия. Согласно

классификации пожаров по виду горючего материала и учетом производственной ситуации следует классифицировать возможный пожар как пожар класса Е: горение веществ и материалов под напряжением электрического тока. В таблице 3.4 выполним анализ основных и вторичных опасных факторов возможного пожара.

Таблица 3.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

№ п/п	Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
1	Участок напыления	Установка для плазменного напыления УПУ-8М	горение веществ и материалов под напряжением электрического тока Е	А) Пламя, искры. Б) тепловой поток; в) высокая температура окружающей среды; г) опасные продукты горения; Уменьшение содержания кислорода при горении; дым препятствует нормальной видимости.	Из-за высокой температуры при возгорании возможно повреждение изоляции электрическим током.

Участок, на котором планируются к внедрению разработанные технические предложения, с учетом класса возможного пожара (Е) необходимо укомплектовать техническими средствами, обеспечивающими защиту от возможного пожара работников и имущества предприятия. Перечень средств для комплектования производственного участка отразим в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Технические средства

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.	Специализированные расчеты (вызываются)	Нет необходимости	Нет необходимости	Пожарный кран на колонне 2-2.	План эвакуации на колонне 2-2	Ведро конусное, лом, лопата штыковая	Кнопка оповещения на колоннах 1-2 и 2-2.

Также для полноценной защиты работников и имущества предприятия необходимы организационные мероприятия. Перечень мероприятий для обеспечения защиты производственного участка отразим в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Мероприятия организационного характера.

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Напыление изношенной поверхности валов агрегатов летательных аппаратов.	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

3.5 Мероприятия по безопасности окружающей среды

Таблица 3.7 – Идентификация факторов, негативно действующих на окружающую среду

Внедряемый технологический процесс	Операции внедряемого технологического процесса	Негативное действие на окружающую среду	Негативное действие на окружающую водную среду	Негативное действие на земную поверхность (литосферу)
Напыление валов	Входной контроль	-	-	-
	Дефектация		-	
	Напыление	Загрязнение продуктами, выделяемыми при горении сварочной дуги		Загрязнение упаковкой от вспомогательных материалов
	Выходной контроль	-	-	-

Таблица 3.8 – Мероприятия по исключению негативного действия на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Напыление валов
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Монтаж фильтров в систему вентиляции участка для нейтрализации выделяемых при горении сварочной дуги продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	-
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 производственных отходов в соответствующие емкости.

3.6 Заключение по разделу

В данном разделе выполнен анализ операций технологического процесса восстановления напылением изношенных поверхностей валов

агрегатов летательных аппаратов. Подробно рассмотрены ожидаемые профессиональные риски после внедрения в производственный процесс усовершенствованных операций по напылению валов. Показано, что усовершенствованные операции сопровождаются такими опасными и вредными факторами, как газы и аэрозольные частицы, излучение сварочной дуги,

Для защиты задействованных в операции восстановления работников от опасных и вредных факторов предложены широко применяемые в промышленности средства, такие как спецодежда, маска, вентиляционные системы, заземление оборудования.

Также много внимания уделено обеспечению пожарной безопасности производственного участка и реализуемого на нем модернизированного технологического процесса. Проанализированы источники возможных возгораний и их в пожар.

Сделан анализ возможности их устранения и уменьшения, который показал, что использование стандартных средств обеспечения безопасности и санитарии производства вполне обеспечит безопасность работника при реализации предложенных в бакалаврской работе технологических решений.

Разработка специальных и дополнительных средств защиты не требуется.

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

4 Экономическая эффективность проекта

По базовому варианту технологического процесса наплавки изношенных поверхностей валов агрегатов летательных аппаратов предусматривается механизированная наплавка в среде углекислого газа. Предлагаемый вариант предусматривает плазменное напыление слоя на изношенную поверхность.

Сравним недостатки базового варианта, возможность устранения их в проектном варианте. Результаты сравнения оформим в виде таблицы 5.1.

Таблица 4.1 – Сопоставительный анализ базового и проектного варианта технологии

Базовая технология	Проектная технология
Механизированная наплавка предусматривает необходимость контроля большого количества параметров процесса. Для наплавки по базовой технологии требуются рабочие высокого разряда и размер тарифной ставки у них, соответственно, высокий.	При напылении выполняется автоматическая подача порошка в зону горения ацетилено-кислородного пламени, уменьшается количество параметров техпроцесса, которые нужно контролировать. Можно поставить на операцию рабочего с меньшим разрядом, и, соответственно, меньшей тарифной ставкой.
Скорость сварки низкая, так как необходимо закрыть валиками всю изношенную поверхность.	Скорость увеличения толщины наносимого слоя больше, значит напыление до заданного размера будет выполнено за меньший промежуток времени, имеем увеличение производительности.

4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчетов

Исходные данные необходимые для оценки экономической эффективности предлагаемых изменений операций технологического процесса, занесены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – 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	IV
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	95,29	84,87
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
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	K_d	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	$K_{сн}$	%	30	30
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	$На$	%	18	18
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	$м^2$	20	20
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{пл}$	$Р/м^2$	30000	30000
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$C_{зксп}$	$(Р/м^2)/год$	2000	2000

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5
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, нужного для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цоб	Руб.	40000	70000
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	4	7,3
Принятое значение стоимость электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,7	0,7
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,72	1,72
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,97	1,97

4.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

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

$$t_{\text{шт}} = t_{n-3} + t_0 + t_{\text{в}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{н.п}} \quad (4.1)$$

где t_{n-3} – подготовительно-заключительное время, $t_{n-3} = 0,05\%$ от t_0

$t_0 = t_M$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{в}}$ – вспомогательное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками выполнение подготовительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{\text{в}} = 10\%$ от t_0 ;

$t_{\text{отл}}$ – 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_0 ;

$t_{\text{обсл}}$ – 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: $t_{\text{обсл}} = 8\%$ от t_0 ;

$t_{\text{н.п}}$ – время неустраняемых перерывов, предусмотренных технологическим процессом, в картах технологического процесса заложено 1% от t_0 .

Машинное время для ручной и полуавтоматической сварки на единицу изделия определим по формуле:

$$t_0 = \frac{60 * M_{\text{напл.мет}} * L_{\text{ш}}}{I_{\text{св.}} * \alpha_{\text{напл}}}, \quad (4.2)$$

где: $M_{\text{напл.мет}}$ – масса наплавленного металла, кг/м;

$L_{\text{ш}}$ – длина швов в изделии, м;

$I_{св}$ – сила сварочного тока, А;

$\alpha_{напл}$ – коэффициент наплавки при электродуговой сварке = 9 Г/А*час.

При сварке массу наплавленного металла рассчитывают по формуле, кг/м:

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_H \cdot 10^{-3} \quad (4.3)$$

где ρ – плотность наплавленного металла, г/см³ (для нашей стали $\rho = 7,8$ г/см³);

F_H – площадь поперечного сечения шва (наплавляемого валика), мм².

Для однопроходных швов.

$$F_H = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} \quad (4.4)$$

$$F_{Hб} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ мм}^2.$$

$$F_{Hпр} = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ мм}^2.$$

$$M_{напл.мет.б} = 7,8 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,156 \text{ кг/м.}$$

$$M_{напл.мет.пр} = 7,8 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,093 \text{ кг/м}$$

Длину швов примем исходя из того, что наплавка ведется в один слой, ширина каждой шейки 20 мм, и диаметр шейки 50 мм, тогда, с учетом перекрыва валиков длина составит 1350 мм.

Базовый вариант, машинное время:

$$t_{об} = \frac{60 \cdot 0,156 \cdot 1,35}{120 \cdot 9} 11,4 \text{ мин} = 0,19 \text{ час.}$$

Проектный вариант. Для определения машинного времени необходимо учесть, что в патроне токарного станка вращается вал, для нанесения требуемой толщины на ширине шейки 20 мм достаточно $n=570$ оборотов, скорость вращения $N=150$ об/мин. Таким образом.

$$t_{opr} = 3,8 \text{ мин} = 0,06 \text{ час.}$$

Штучное время для применяемого технологического процесса

$$t_{штб} = 0,57 + 11,4 + 1,14 + 0,57 + 0,912 + 0,114 = 14,36 \text{ мин} = 0,239 \text{ час.}$$

Штучное время для предлагаемого технологического процесса

$$t_{штпр} = 0,03 + 3,8 + 0,38 + 0,38 + 0,304 + 0,038 = 4,788 \text{ мин.} = 0,0798 \text{ час}$$

4.3 Расчет затрат на новое оборудование

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

$$K_{\text{ОБЩ}} = K_{\text{ПР}} + K_{\text{СОП}} \quad (4.5)$$

где $K_{\text{ПР}}$ – затраты непосредственно на закупку оборудования, прямые, руб.;

$K_{\text{СОП}}$ – финансовые затраты на демонтаж старого, установку нового оборудования, сопутствующие, руб.

Расчет прямых финансовых затрат выполним по зависимости:

$$K_{\text{ПР}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_3 \quad (4.6)$$

где $\sum \Pi_{\text{об}}$ – суммарные финансовые затраты на закупку оборудования, руб.;

k_3 – коэффициент загрузки оборудования.

Для определения коэффициента загрузки оборудования вначале рассчитаем нужное количество оборудования по формуле:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} \quad (4.7)$$

где: $N_{\text{пр}}$ – годовая программа, количество восстанавливаемых валов 500 шт.;

$t_{\text{шт}}$ – штучное время на восстановление одного вала, мин.;

$\Phi_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы сварочного оборудования, час.

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

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле::

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} \quad (4.8)$$

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:

:

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{пр}) * T_{см} * S * (1 - k_{р.п}) \quad (4.9)$$

где: D_k – количество календарных дней в году;

$D_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$D_{пр}$ – количество праздничных дней в году;

$T_{см}$ – длительность рабочей смены на предприятии, час;

S – принятое на предприятии количество рабочих смен;

$k_{р.п}$ – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

После подстановки в формулу (4.9) численных значений соответствующих переменных, получим

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

$$n_{об.расчетн.б} = \frac{500 * 14,36}{1812 * 60} = 0,06 \text{ шт}$$

$$n_{об.расчетн.пр} = \frac{500 * 4,785}{1812 * 60} = 0,02 \text{ шт}$$

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.

$$k_{зб} = \frac{0,06}{1} = 0,06$$

$$k_{зпр} = \frac{0,02}{1} = 0,02$$

$$K_{прб} = 40000 * 0,06 = 2400 \text{ руб.}$$

$$K_{прр} = 70000 * 0,02 = 1400 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения рассчитываются только для проектного варианта:

$$K_{соп} = K_{монт} + K_{дем} + K_{площ} \quad (4.10)$$

$K_{монт}$ – затраты на монтаж нового оборудования;

$K_{дем}$ – затраты на демонтаж старого оборудования;

$K_{площ}$ – затраты на производственные площади под новое оборудование.

$$K_{монт} = \Sigma Ц_{об} * k_{монт} \quad (4.11)$$

где: $k_{монт}$ – коэффициент монтажа оборудования = 0,2.

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

$$K_{монт} = 70000 * 0,2 = 14000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{дем} = \Sigma Ц_{об} * k_{дем} \quad (4.12)$$

где: $k_{дем}$ – коэффициент демонтажа оборудования = 0,2.

$$K_{дем} = 40000 * 0,2 = 8000 \text{ руб.}$$

Затраты на площадь, дополнительно занимаемую под новое оборудование, рассчитываем по формуле:

$$K_{\text{плоч}} = S_{\text{плоч}} * C_{\text{плоч}} * g * k_3 \quad (4.13)$$

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

$$K_{\text{плоч}} = 3 * 3000 * 3 * 0,02 = 540 \text{ руб}$$

$$K_{\text{ОБЩ}}^{\text{БАЗ}} = K_{\text{пр}} = 2400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ}}^{\text{ПП}} = 1400 + 14000 + 8000 + 540 = 23940 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (4.14)$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{БАЗ}} = 2400/500 = 4,8 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{ПП}} = 18480/500 = 47,88 \text{ руб.}$$

4.4 Расчет технологической себестоимости сравниваемых вариантов

При наплавке изношенных деталей используются сварочные материалы. Базовая технология наплавки предусматривает применение присадочной проволоки. Проектная технология сварки предусматривает применение напыления слоя порошка, поэтому сварочными материалами будет напыляемый порошок. Затраты на сварочные материалы, которые будут использованы при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{эл}} \quad (4.15)$$

$$ЗМ_{\text{эл.}} = H_{\text{эл.}} \cdot C_{\text{эл.}} \quad (4.16)$$

где $C_{\text{эл}}$ – цена присадочного материала (присадочной проволоки) руб/кг;

$H_{\text{эл}}$ норма расхода присадочного материала, кг.

Норма расхода электрода

$$H_{\text{эл}} = Y \cdot L_{\text{ш}} \quad (4.17)$$

где – Y - удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м;

$L_{\text{ш}}$ – длина сварного шва, м.

$$Y = k_p \cdot M_{\text{напл.мет}} \quad (4.18)$$

где k_p – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,7;

$M_{\text{напл.мет}}$ – расчетная масса наплавленного металла.

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (4.19)$$

где ρ – плотность наплавленного металла, 7,8 г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения шва, $F_n = 10d_{\text{эл}} = 20 \text{ мм}^2$.

$$M_{\text{напл.мет}} = 7,8 \cdot 20 / 1000 = 0,156$$

$$Y = 1,7 \cdot 0,156 = 0,265$$

$$N_{p_{\text{эл}}} = 0,265 \cdot 1,14 = 0,291 \text{ кг}$$

$$З_{M_{\text{ЭЛБ}}} = 54 \cdot 0,291 = 15,75 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта

$$З_{M_{\text{СВПР}}} = 3M_{\text{СВПР}} \quad (4.20)$$

Затраты на напыляемый порошок

$$З_{M_{\text{СВПР}}} = C_{\text{ПР}} \cdot N_{\text{ПР}}; \quad (4.21)$$

где $C_{\text{ПР}}$ – цена порошка, руб/кг;

$N_{\text{ПР}}$ = норма расхода порошка, кг.

Норма расхода порошка

$$N_{\text{ПР}} = Y \cdot L \quad (4.22)$$

где Y – удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м;

L – длина сварного шва, м.

$$Y = k_p \cdot M_{\text{напл.мет}} \quad (4.23)$$

где k_p – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,05;

$M_{\text{напл.мет}}$ – расчетная масса наплавленного металла.

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (4.24)$$

Где ρ – плотность наплавленного металла, 7,8 г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения шва, $F_n = 10d_{\text{пр}} = 12 \text{ мм}^2$.

$$M_{\text{напл.мет}} = 7,8 \cdot 12 / 1000 = 0,093$$

$$Y = 1,05 \cdot 0,093 = 0,098$$

$$N_{p_{\text{ПР}}} = 0,098 \cdot 1,14 = 0,111 \text{ кг}$$

$$З_{\text{ПР}} = 248 \cdot 0,111 = 27,52 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы в проектном варианте

$$З_{Мпр} = З_{пр} = 27,52 \text{ руб.}$$

Финансовые затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$З_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_{о}}{КПД} Ц_{э-э} \quad (4.29)$$

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

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

КПД – коэффициент полезного действия установки.

Полезную мощность оборудования определим по режимам сварки и для проектного по режимам напыления: сила тока и напряжение.

$$P_{обб} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт} = 6 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^Б = \frac{3,6 \cdot 0,19}{0,7} 2,2 = 3,58 \text{ руб.}$$

$$P_{обпр} = 300 \cdot 30 = 9000 \text{ Вт} = 9 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^{пр} = \frac{9 \cdot 0,06}{0,75} 2,2 = 3,19 \text{ руб.}$$

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

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} \quad (4.30)$$

где $A_{об}$ – финансовые потери на амортизацию оборудования, руб.;

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

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

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} * N_{об} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60 * 100} \quad (4.31)$$

где $Ц_{об}$ – цена оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, руб.;

Наоб – норма амортизации оборудования, %;

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

$$A_{\text{об}}^{\text{б}} = \frac{15000 \cdot 14,36 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,35 \text{ руб}$$
$$A_{\text{об}}^{\text{пр}} = \frac{42000 \cdot 4,78 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,66 \text{ руб}$$

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле:

$$P_{\text{т.р}} = \frac{C_{\text{об}} * H_{\text{т.р}} * k_3}{\Phi_{\text{эф}} * 100} \quad (4.32)$$

где $H_{\text{т.р}}$ – норма отчислений на текущий ремонт оборудования, $\approx 35\%$;

$$P_{\text{т.р}}^{\text{б}} = \frac{15000 * 35 * 0,06}{1812 * 100} = 0,17 \text{ руб.}$$
$$P_{\text{т.р}}^{\text{пр}} = \frac{42000 * 35 * 0,02}{1812 * 100} = 0,32 \text{ руб.}$$

Итого, затраты на оборудование

$$З_{\text{об}}^{\text{б}} = 0,35 + 0,17 = 1,14 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{об}}^{\text{пр}} = 0,66 + 0,32 = 2,53 \text{ руб.}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей

$$З_{\text{площ}} = \frac{C_{\text{площ}} * S_{\text{площ}} * Ha_{\text{площ}} * t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} * 100 * 60} \quad (4.33)$$

где: $C_{\text{площ}}$ – цена 1 м^2 производственной площади, руб.;

$Ha_{\text{площ}}$ – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{\text{площ}}$ – площадь, занимаемая сварочным оборудованием, м^2 ;

$$З_{\text{площ}}^{\text{б}} = \frac{3000 * 8 * 2 * 14,36}{1812 * 100 * 60} = 0,06 \text{ руб.}$$
$$З_{\text{площ}}^{\text{пр}} = \frac{3000 * 11 * 2 * 4,78}{1812 * 100 * 60} = 0,05 \text{ руб.}$$

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

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{осн} + \text{ЗПЛ}_{доп}. \quad (4.34)$$

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

$$\text{ЗПЛ}_{осн} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot k_{зпл} \quad (4.35)$$

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

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

$k_{зпл}$ – коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$k_{зпл} = k_{нр} * k_{вн} * k_{у} * k_{нф} * k_{н} \quad (4.36)$$

где $k_{нр} = 1,25$ – коэффициент премирования;

$k_{вн} = 1,1$ – коэффициент выполнения норм;

$k_{у} = 1,1$ – коэффициент доплат за условия труда;

$k_{нф} = 1,067$ – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{н} = 1,133$ – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{зпл} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,057 \cdot 1,133 = 1,81$$

$$\text{ЗПЛ}_{осн}^B = 0,239 \cdot 74,89 \cdot 1,81 = 31,17 \text{ руб.}$$

$$\text{ЗПЛ}_{осн}^{ПР} = 0,159 \cdot 53,16 \cdot 1,81 = 14,43 \text{ руб.}$$

Затраты на дополнительную заработную плату

$$\text{ЗПЛ}_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot \text{ЗПЛ}_{осн} \quad (4.37)$$

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

$$\text{ЗПЛ}_{доп}^B = 31,17 \cdot 10 / 100 = 3,12 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{ДОП}^{ПП} = 14,43 \cdot 10 / 100 = 1,44 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗПб = 31,17 + 3,12 = 34,29 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗПпр = 14,43 + 1,44 = 15,87 \text{ руб.}$$

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

$$O_{CH} = \PhiЗП \cdot H_{СОЦ} / 100 \quad (4.38)$$

где $H_{СОЦ}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды, 30 %.

$$O_{CH}^B = 34,29 \cdot 30 / 100 = 10,28 \text{ руб.}$$

$$O_{CH}^{np} = 15,87 \cdot 30 / 100 = 4,76 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость определяется как сумма всех затрат

$$C_{ТЕХ} = ЗМ + З_{Э-Э} + З_{ОБ} + З_{ПЛ} + \PhiЗП + O_{CH} \quad (4.39)$$

$$C_{ТЕХ}^B = 15,75 + 3,58 + 1,14 + 0,06 + 34,29 + 10,28 = 66,24 \text{ руб.}$$

$$C_{ТЕХ}^{ПП} = 27,52 + 3,19 + 2,53 + 0,05 + 15,87 + 4,76 = 54,33 \text{ руб.}$$

4.5 Цеховая себестоимость

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

$$C_{цех} = C_{тех} + P_{цех}; \quad (4.40)$$

где $P_{цех}$ – сумма цеховых расходов, руб.

$$P_{цех} = Z_{осн} \cdot k_{цех} \quad (4.41)$$

где $k_{цех}$ – коэффициент цеховых расходов, 2,5;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата рабочих, руб.

После подстановки в формулу (4.41) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{ЦЕХ}^B = 65,64 + 31,17 \cdot 2,5 = 65,64 + 77,92 = 145,23 \text{ руб.}$$

$$C_{ЦЕХ}^{ПП} = 53,92 + 14,43 \cdot 2,5 = 53,92 + 36,07 = 91,54 \text{ руб.}$$

4.6 Заводская себестоимость

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

$$C_{зав} = C_{цех} + P_{зав} = C_{цех} + k_{зав} \cdot Z_{осн} \quad (4.42)$$

где $P_{зав}$ – сумма заводских расходов, руб.

$k_{зав}$ – коэффициент общезаводских расходов, 1,8

$$C_{зав}^B = 145,23 + 31,17 * 1,8 = 145,23 + 56,10 = 200,56 \text{ руб.}$$

$$C_{зав}^{ПП} = 91,54 + 14,43 * 1,8 = 91,54 + 25,97 = 120,21 \text{ руб.}$$

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

Таблица 4.2 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости восстановления валов

№ п/п	Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
			базов	Проект
1	2	3	4	5
1	Затраты на материалы	ЗМ	15,75	12,23
2	Объём фонда заработной платы	ФЗП	34,29	15,87
3	Отчисления на соц. нужды	О _{сн}	10,28	4,76
4	Объём финансовых затрат на технологическое оборудование	З _{об}	1,14	2,53
5	Затраты на площади	Зпл	0,06	0,05
	Величина технологической себестоимости	$C_{тех}$	66,24	54,33
6	Объём цеховых расходов		77,92	36,07
	Величина цеховой себестоимости	$C_{цех}$	145,23	91,54
7	Объём заводских расходов		56,10	25,97
	Величина заводской себестоимости	$C_{зав}$	200,56	120,21

4.7 расчетное определение показателей экономической эффективности

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

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{y.z.} = \left(C_{зав}^б - C_{зав}^{np} \right) \cdot N_{np} \quad (4.43)$$

После подстановки в формулу (4.43) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{y.z.} = (200,56 - 120,21) \cdot 500 = 42598 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения более производительного оборудования

$$\mathcal{E}_Г = [(C_{зав}^б + E_H \cdot K_{уд}^б) - (C_{зав}^{пp} + E_H \cdot K_{уд}^{пp})] \cdot N_{пp} \quad (4.44)$$

$$\mathcal{E}_Г = [(200,56 + 0,33 \cdot 4,8) - (120,21 + 0,33 \cdot 47,88)] \cdot 500 = 36521 \text{ руб.}$$

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

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штб} - t_{штпp}}{t_{штб}} \cdot 100\% \quad (4.45)$$

После подстановки в формулу (4.45) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta t_{шт} = \frac{0,239 - 0,079}{0,239} \cdot 100\% = 91\%$$

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

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (4.46)$$

После подстановки в формулу (4.46) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$П_T = \frac{100 \cdot 91}{100 - 91} = 102\%$$

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

$$T_{ок} = \frac{Кобщпр}{Э_{\text{УГ}}} \quad (4.47)$$

После подстановки в формулу (4.47) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$T_{ок} = \frac{23940}{42598} \approx 0,5 \text{ года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$Е_{сп} = 1/T_{ок} = 1/0,5 = 2. \quad (4.48)$$

2.8 Выводы по разделу

Анализ применяемой технологии наплавки изношенных валов агрегатов летательных аппаратов выявил основной ее недостаток – применение в качестве присадочного материала проволоки сплошного сечения. А это снижает производительность процесса, так как требуется время на наплавку слоя на изношенную поверхность. Проведенный анализ возможных вариантов сварки позволил рекомендовать плазменное напыление слоя на изношенную поверхность, при котором процесс напыления выполняется сразу по всему сечению изношенной шейки.

Внедрение способа с большей производительностью позволило уменьшить на 91% трудоемкость восстановления одного изделия, при увеличении производительности труда на 102%.

Для внедрения оборудования с большей производительностью нужны финансовые затраты в размере 18480 руб., которые окупятся через 0,5 года. Планируемый размер годового экономического эффекта составит 36511 руб.

С учетом полученных результатов расчетов можно сделать вывод о необходимости замены существующей технологии наплавки на технологию плазменного напыления.

Заключение

Одной из приоритетных задач Центров технического обслуживания и ремонта авиационной техники является разработка новых технологий ремонта. Конечно, эти работы ведутся под присмотром разработчиков, производителей и отраслевых НИИ.

В центрах ТОиР для восстановления изношенных поверхностей тел вращения из сталей с повышенным содержанием углерода применяется дуговая наплавка. Из-за повышенного содержания углерода, при сварке таких сталей приходится сталкиваться со следующими трудностями, зачастую нерешаемыми: возникновение в околошовной зоне холодных трещин; возникновение в металле шва горячих трещин; сложность обеспечения одинаковых свойств наплавленного металла и основного.

Цель настоящей работы – экономия материальных ресурсов при восстановлении деталей типа тел вращения.

Выполненный анализ условий эксплуатации изделия, предлагаемых промышленностью методов восстановления позволяет остановиться на следующем варианте. Плазменное напыление, причем в качестве подстоя использовать порошок ПТ-НА-01. Затем послойно напылять сплав никель-алюминий, порошок ПН85Ю15М и самофлюсующийся сплав Ni-Cr-B-Si порошок ПР-НХ17СР4. Самофлюсующиеся сплавы обеспечивают хорошую связь между слоями, хорошее сопротивление ударным нагрузкам, а сплав никель-алюминий обеспечивает хорошие антифрикционные свойства.

Конечно до внедрения предложенных технических решений в Центр ТОиР АТ Аэропорта Внуково еще предстоит длительный этап согласований, утверждений. Однако выполненные расчеты экономического обоснования показывают, что при незначительных капитальных затратах будет получен экономический эффект в размере 360000 руб. при годовой программе восстановления 500 валов. Можно сделать вывод о достижении цели работы.

Список используемых источников

1. Климов, А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учеб.-метод. пособие / А. С. Климов ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2013. - 52 с.
2. Чинючин, Ю.М. К задачам поддержания летной годности воздушных судов на основе мониторинга их ресурсного состояния / Ю.М. Чинючин, Н. Ойдов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2017. - Т. 20. № 3. - С. 110-121.
3. Далецкий, С.В. Проектирование системы технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации. М.: Изд-во МАИ, 2001. - 364 с.
4. Далецкий, С.В. Новые принципы формирования режимов периодического технического обслуживания воздушных судов по критериям безопасности полетов / С.В. Далецкий, Ю.М. Чинючин, Н. Ойдов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 219 (9). С. 20-26.
5. Молодык Н. В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин.— М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
6. Ельцов В.В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов.: Учебное пособие / В.В. Ельцов – Тольятти: ТГУ, 2012 – 176 с.
7. 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.
8. Грачев, О.Е. Повышение эффективности ремонтов, изготовления и эксплуатации оборудования ТЭС путем применения технологий газотермического нанесения покрытий и лазерной наплавки / О. Е. Грачев, В. М. Неуймин, Д. В. Настека // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. - 2015. - № 6. - С. 55-61.

9. Пащенко, В.Н. Влияние состава плазмообразующей воздушно-газовой смеси на параметры струи плазмотрона / В.Н. Пащенко. // Автоматическая сварка. – 2009. – № 4. – С. 33–38.
10. Козулин М. Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: учеб. пособие для вузов / М. Г. Козулин. - ТГУ; Гриф УМО. - Тольятти: ТГУ, 2010. - 306 с.
11. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. – М.: МЧС России, 1995.
12. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства: Учебник / Р. А. Фахрутдинов – М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
13. Гостюшин, А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций / А. В. Гостюшин. — М.: Изд. «Зеркало», 1995.-288 с.
14. Рыбаков, В.М. Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ / В.М. Рыбаков. - 2-е изд. перераб.- М.: Высш. школа, 1986.- 208 с.
15. Рыбаков, А.М. Сварка и резка металлов. Учебник для средних профессионально-технических училищ / А.М. Рыбаков. - М.: Высшая школа, 1977.
16. Malinov, L.S. Increasing the abrasive wear resistance of low-alloy steel by obtaining residual metastable austenite in the structure / L.S. Malinov, V.L. Malinov, D.V. Burova, V.V. Anichenkov // Journal of Friction and Wear. – 2015. – №3. – P. 237–240.
17. Enhancement of steels wear resistance in corrosive and abrasive medium / V. Kaplun, P. Kaplun, R. Bodnar, V. Gonchar // Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy : monograph /ed. by J. Shalapko, B. Zoltowski. – Bydgoszcz, 2013. – P. 320–329.
18. Думов, С. И. Технология электрической сварки плавлением: Учебник для машиностроительных техникумов / С.И. Думов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1987. - 368 с.
19. Смирнов, И.В. Сварка специальных сталей и сплавов: Учебное пособие / И.В. Смирнов – Тольятти, издательство ТГУ, 2007. – 301 с.

20. Чебац, В.А. Сварочные работы: Учеб. пособие / В.А. Чебац - 3-е изд. перераб.- Ростов-на-Дону: изд. центр «Феникс», 2006. - 412 с.
21. Lucas, W. Choosing a shielding gas. Pt 2 // Welding and Metal Fabrication. – 1992. – № 6. – P. 269–276.
22. Dilthy, U., Reisgen U., Stenke V. et al. Schutgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. – 1995. – 47, № 2. – S. 118–123.
23. Dixon, K. Shielding gas selection for GMAW of steels // Welding and Metal Fabrication. – 1999. – № 5. – P. 8–13.
24. Salter, G. R., Dye S. A. Selecting gas mixtures for MIG welding / G. R. Salter, S. A. Dye // Metal Constr. and Brit. Weld. J. – 1971. – 3, № 6. – P. 230–233.
25. Cresswell, R. A. Gases and gas mixtures in MIG and TIG welding // Welding and Metal Fabrication. – 1972. – 40, № 4. – P. 114–119.
26. Величко, О.А. Лазерная наплавка цилиндрических деталей порошковыми материалами / О.А. Величко, П.Ф. Аврамченко, И.В. Молчан, В.Д. Паламарчук // Автоматическая сварка. – 1990. – № 1. – С. 59–65.
27. Шелягин, В.Д. Лазерно-микроплазменное легирование и нанесение покрытий на стали / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, Ю.Н. Переверзев // Автоматическая сварка. – 2006. – № 2 – С. 3–6.
28. Бабинец, А.А. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла / А.А. Бабинец, И.А. Рябцев, А.И. Панфилов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 11. – С. 20–25.
29. Переплётчиков, Е.Ф. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры / Е. Ф. Переплётчиков, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 56–58.
30. Жариков, С.В. Влияние экзотермической смеси в составе сердечника самозащитной порошковой проволоки на параметры наплавленного

- валика / С.В. Жариков // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганск: СХУ, 2010. – № 2. – С. 102–105.
31. Снисарь, В.В. Влияние легирования аустенитного шва азотом на развитие структурной неоднородности в зоне сплавления с перлитной сталью / В. В. Снисарь, В. Н. Липодаев, В. П. Елагин [и др.] // Автоматическая сварка. – 1991. – № 2. – С. 10–14.
32. Алешин, Н.П. Современные способы сварки: Учеб. пособие / Н.П. Алешин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 59 с.
33. Zhang, Y.M., Liguо E., Kovacevic R. Active metal transfer control by monitoring excited droplet oscillation // Welding Journal. 1998. Vol. 77. N 9. P. 388-s—394-s.
34. Фивейский, А.М. Новые процессы MIG/MAG сварки // Техсовет, 2010. № 4. С. 38.
35. Шолохов, М.А. Эффективность эксплуатации инверторных источников питания / М.А. Шолохов, А.М. Фивейский, Д.С. Бузорина, Е.В. Лунина // Сварка и диагностика, 2012. № 3. С. 53–55.
36. Бранд, М. Высокая производительность и отличное качество MIG/MAG сварки // Марко Бранд, А.М. Фивейский. Состояние и перспективы развития сборочно-сварочного производства: сборник докладов международной научно-технической конференции. Нижний Тагил, 2011. С. 71–78.