

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 лопаток паровых турбин

Студент

А.В. Яковенко

(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 повышение производительности на операции восстановления хвостовиков лопаток паровых турбин.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

1. Разработан технологический процесс восстановления изношенной поверхности хвостовика.
2. Подобрано оборудование для реализации технологии восстановления.
3. Разработана оснастка, необходимая для реализации технологического процесса восстановления
4. Скомпоновано оборудование на производственном участке
5. Предусмотрены мероприятия по обеспечению безопасности жизни и здоровья производственного персонала
6. Экономически обоснованы предложенные технические решения

Пояснительная записка содержит 60 стр., 8 рисунков, 7 таблиц.

Графическая часть работы включает в свой состав 2 листа формата А0 и 4 листа формата А1.

В работе предложено заменить базовую технологию наплавки слоя на изношенную поверхность хвостовика лопатки приваркой калиброванных прокладок. Разработан типовой технологический процесс приварки прокладок. Для реализации технологического процесса выбран выпрямитель ВД-101.

Разработано приспособление, в котором для фиксации привариваемых пластин применяются пневмоцилиндры.

Проанализированы опасные и вредные производственные факторы произведен расчет вентиляции, заземления оборудования, освещения.

Ожидаемый экономический эффект составит 20582,8 руб.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных и известных технических решений	6
1.1 Конструкции турбин.....	6
1.2. Конструктивные особенности лопаток турбин	10
1.3 Базовый технологический процесс восстановления лопаток	14
1.4 Анализ возможных способов восстановления хвостовиков	16
1.5. Задачи работы.....	30
2 Разработка технологического процесса восстановления приваркой прокладок .	32
3 Безопасность и экологичность технического объекта	40
3.1 Характеристика разработанного технического объекта.....	40
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений.....	41
3.3 Разработка мероприятий по минимизации действия профессиональных рисков.....	42
3.4 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности	43
3.5 Мероприятия по безопасности окружающей среды	46
3.6 Заключение по разделу.....	47
4. Экономическая эффективность проекта	48
4.1 Исходные данные для экономического обоснования	48
сравниваемых вариантов.....	48

4.2 Расчет норм времени	51
4.3 Расчет фонда времени работы оборудования и количества оборудования, необходимого для реализации технологического процесса.	52
4.4 Расчет общих капитальных затрат	53
4.5 Расчет технологической себестоимости сравниваемых вариантов.....	55
4.6 Цеховая себестоимость	61
4.7 Заводская себестоимость	61
4.8 Калькуляция и структура себестоимости.....	62
4.9 Расчет экономической эффективности проекта	62
4.10 Выводы по экономическому разделу.....	64
Заключение	65
Список используемых источников	66

Введение

Современное состояние технологии и организация производства турбин характеризуется замедленными темпами создания их новых моделей и резким снижением темпов обновления средств технологического оснащения. Снижение промышленного производства в целом по стране привело к снижению потребности в электроэнергии и стало причиной уменьшения выпуска турбин. Дезинтеграция СССР вызвала разбалансирование спроса и предложения в турбинах и привела к определенному размыванию предметной специализации.

Смягчающим указанные и другие негативные явления обстоятельством послужило происходившее в течение нескольких лет (до 1988 г.) комплектование предприятий и организаций турбостроения совершенным (в основном поставляемыми инофирмами) станочным и других видов оборудованием с ЧПУ и управляемом ЭВМ, а также продолжающаяся и в настоящее время компьютеризация служб ТПП, организации и управления производством.

Однако в сфере ремонта турбин непосредственно на предприятиях производителях электроэнергии пока нет существенных технологических достижений. Например, в Филиале ФЛ ОАО "Волжская ТГК" "Безымянская ТЭЦ" Самары используют ремонтные технологии турбин внедренные еще при запуске ТЭЦ в эксплуатацию. Поэтому модернизация данных технических решений является актуальной.

Одной из операций ремонта является увеличение толщины изношенной поверхности хвостовика. Применяемая технология наплавки слоя характеризуется низкой производительностью, обусловленной необходимостью последовательной наплавки слоя, кроме того, неровный наплавленный слой требует в дальнейшем достаточно трудоемкой обработки шлифованием.

Цель настоящей работы повышение производительности на операции восстановления хвостовиков лопаток паровых турбин.

1 Анализ исходных данных и известных технических решений

1.1 Конструкции турбин

К характеристикам конструкций турбин относятся данные о мощности в одном агрегате, начальные параметры рабочего тела, частота вращения ротора, число цилиндров и формулы их компоновки в турбине, общая и удельная массы, длина рабочей части лопаток последней ступени.

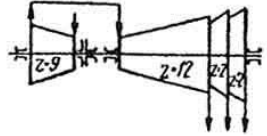
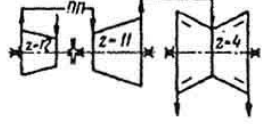
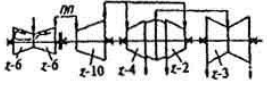
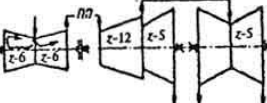
Воплощенные в металле конструкции большой мощности конденсационных турбин соответствуют следующим значениям мощностей в одном агрегате, МВт: 50, 100, 200, (210), 220, 300, 500, 750, 800, 1000 (1100), 1200. Большинство из входящих в ряд мощностей турбин эксплуатируются на электростанциях (ЭС), работающих на органическом топливе, а турбины мощностью 220, 500 (часть турбин), 750, 1000, 1100 МВт предназначены для атомных электростанций (АЭС). Турбины мощностью 135, 160, 180, 250 МВт являются теплофикационными.

Все перечисленные турбины - конденсационные и теплофикационные - отечественных электростанций, работающие на органическом топливе, имеют одну и ту же частоту вращения ротора - 3000 об/мин. Исключение составляют некоторые модели турбин, изготавливаемые на экспорт. Роторы некоторых из указанных турбин вращаются с частотой 3600 об/мин. Частота вращения роторов турбин для АЭС составляет 1500 об/мин (турбины мощностью 220, 500 и 1100 МВт), либо 3000 об/мин турбины мощностью 500, 750 и 1000 МВт. Остальные характеристики конструкции турбин некоторых конкретных моделей приведены в табл. 1.1 [10].

На производстве турбин специализируются следующие предприятия подотрасли тяжелого машиностроения: АО "Ленинградский металлический завод" с заводом "Турбоатомгаз", АО "Турбомоторный завод", АО "Невский завод", АО "Дальневосточный завод энергетического машиностроения", АО "Сызранский турбостроительный завод", АО "Завод турбинных лопаток". На производстве турбин к вспомогательным агрегатам, другого вспомогательного оборудования, трубопроводов, комплектующих изделий специализируются

многие предприятия, сосредоточенные в нескольких подотраслях машиностроения.

Таблица 1.1 – Характеристики турбин

Модель турбины	Схема компоновки	Начальные параметры пара		Компоновка цилиндров (формула турбины)	Масса (без конденсатора и вспомогательного оборудования)		Длина рабочей части последней ступени лопатки, мм
		давление, МПа	температура, °С		турбины, т	удельная, кг/кВт	
<i>Турбины для ЭС на органическом топливе</i>							
К-50-90		8,83	535	1 × 1	165	1,83	665
		12,75	575	1 × 1 × 1	557	2,66	765
T250/300-240		23,5	540	1 × 1 (ЦСД-I) × × 1 (ЦСД-II) × 1	300	3,2	940
К-300-240		23,5	560	1 × 1 × 1	690	2,3	960

подавляющее большинство созданных и эксплуатируемых турбин - одновальные. Паровая электроэнергетическая турбина, как правило, состоит из трех частей: высокого давления (ЧВД), среднего давления (ЧСД), низкого давления (ЧНД). В зависимости от мощности в одном агрегате, выбранных параметров и установленных расходов пара, числа ступеней давления, размеров длин рабочей части рабочих лопаток, числа промежуточного нагрева пара компонуются из меньшего числа частей, т. е. только из ЧВД и ЧСД или из ЧВД и ЧНД. В то же время части среднего и низкого давления у некоторых моделей турбин состоят из более чем одного цилиндра.

Наличие (или отсутствие) той или иной части в конструкции турбины, количество цилиндров в части, а также порядок размещения частей и цилиндров вдоль оси одновальных турбин определяют компоновку цилиндров и тем самым формулу турбины. При создании конструкций турбин принимаются различные

компоновочные решения, часть из которых применительно к некоторым моделям турбин показана на эскизах схем компоновок и описана формулами турбин (см. табл. 1.1).

Часть внутреннего давления приведенных в табл. 1.1 моделей турбин состоит из одного цилиндра высокого давления. Исключение составляет турбина модели К-500-60/1500, в которой ЧВД также представлена одним цилиндром, но совмещенном в единой конструкции ЦВД и ЦСД. Часть среднего давления может быть включена в конструкцию турбины, но в ряде турбин ЧСД не введена в их состав. Часть среднего давления в составе турбины может быть представлена одним ЦСД, либо как в модели Т250/300-240, двумя ЦСД. В последнем случае ЧСД состоит из ЦСД-1 и ЦСД-Н. Часть низкого давления также может быть либо включена в конструкцию турбины, либо нет. При этом ЧНД может состоять из одного, двух, трех и даже четырех ЦНД. Цилиндры у всех турбин для ЭС, работающих на органическом топливе, а также у некоторых моделей турбин для АЭС, расположены последовательно один за другим от ЦВД к ЦНД. Формулы компоновки цилиндров записывают следующим образом: К-50-90 - ЦВДХ-Х-; К-200-130, К-300-240 - ЦВД×ЦСД×ЦНД; К-500-166, К-500-130 - ЦВД × ЦСД × ЦСД×ЦНД; Т250/300-240 - ЦВД×ЦСД-1×ЦСД-Н×ЦНД; К-800-240-3, К-800-240-5, К-1200-240 - ЦВД×ЦСД×ЦНД×ЦНД ×ЦНД. Некоторые турбины, в основном для АЭС, имеют иное расположение цилиндров вдоль оси турбины.

Конструкции основных сборочных единиц, деталей, их компоновки различных моделей электроэнергетических турбин имеют много общего. Представленная на рис. 1.1 конструкция (продольный разрез) турбины Т-100 эксплуатируется на ТЭЦ ВАЗа. В ее состав входит полный набор частей (ЧВД, ЧСД, ЧНД), в каждую из которых включено по одному цилиндру с отнесенным к нему ротором. Ротор высокого давления (РВД) фланцевым соединением сопряжен с ротором среднего давления (РСД), а последний - с ротором низкого давления (РНД); совместно они образуют единый ротор (валопровод) турбины.

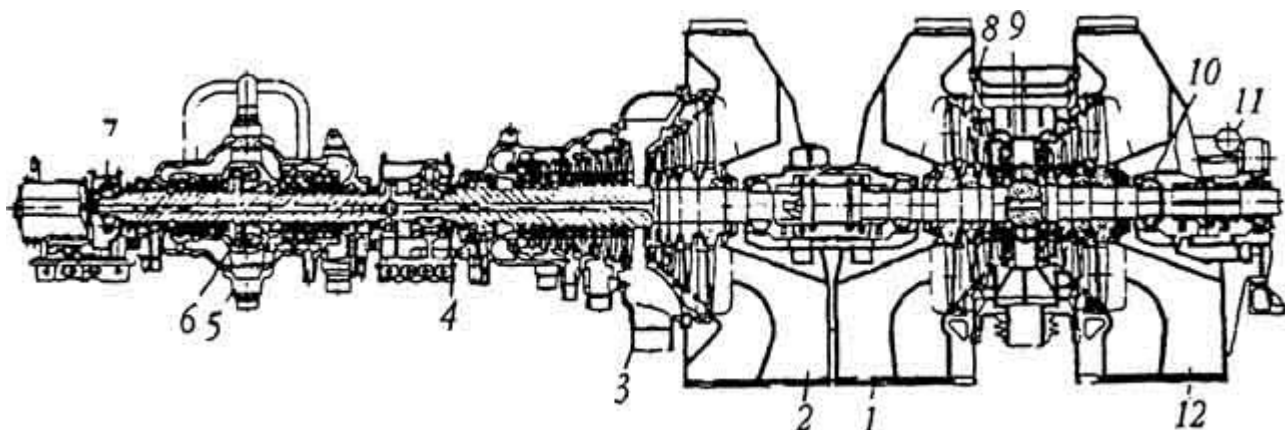


Рисунок 1.1 - Турбина Т-100 (продольный разрез)

Статорная группа турбины состоит из двух основных сборочных единиц: корпуса статора турбины, собранного статора турбины. Корпус статора турбины - это собранные воедино корпуса: переднего подшипника (7, рис. 1.1); ЦВД (5) с размещенными в нем корпусом внутреннего ЦВД (6) и обоймами диафрагм, уплотнениями; опорно-упорного подшипника (4) с обоймой опорно-упорных вкладышей; ЦСД (3) с обоймами диафрагм, уплотнений пристыкованной к ЦСД выхлопной части (2) со своими обоймами диафрагм, уплотнений и уплотнения; ЦНД, состоящего из передней (7), задней (12), средней наружной (8) и средней внутренней (9) частей с размещенными в них обоймами диафрагм. Собранный статор турбины представляет собой собранный корпус турбины, в полости которого размещены и неподвижно зафиксированы вкладыши и уплотнения масла - в отдельно стоящих и встроенных в выхлопные части подшипников, а также диафрагмы и уплотнения пара - в цилиндрах. Кроме того, на корпусе ЦНД размещена стационарная часть валоповоротного устройства (11).

По признаку ориентирования сопряжения поверхностей элементов конструкций ротора с противостоящими им поверхностями статора относительно продольной оси турбины подразделяются на сопряжения, главным конструктивным параметром которых служат размеры радиусов от продольной оси, и не сопряжения, характеризуемые размерами вдоль оси. Первые в дальнейшем будут именоваться радиально ориентированными, а вторые -

ориентированными вдоль оси. Сопряжения поверхностей ротора и статора подразделяются на контактные и бесконтактные.

К контактными сопряжениям ротора и статора относятся радиально ориентированные сопряжения роторов с опорными вкладышами опорных подшипников и ориентированные вдоль оси сопряжения поверхностей гребня РВД с поверхностями колодок упорного подшипника.

1.2. Конструктивные особенности лопаток турбин

Лопатки представляют собой оригинальные детали турбин. Производство деталей необычных конструкций основано на технологии, в значительной степени отличающейся от технологий изготовления иного назначения деталей турбин. А это, в свою очередь, стало главным фактором обособления процессов организации производства на специализированных производственных подразделениях.

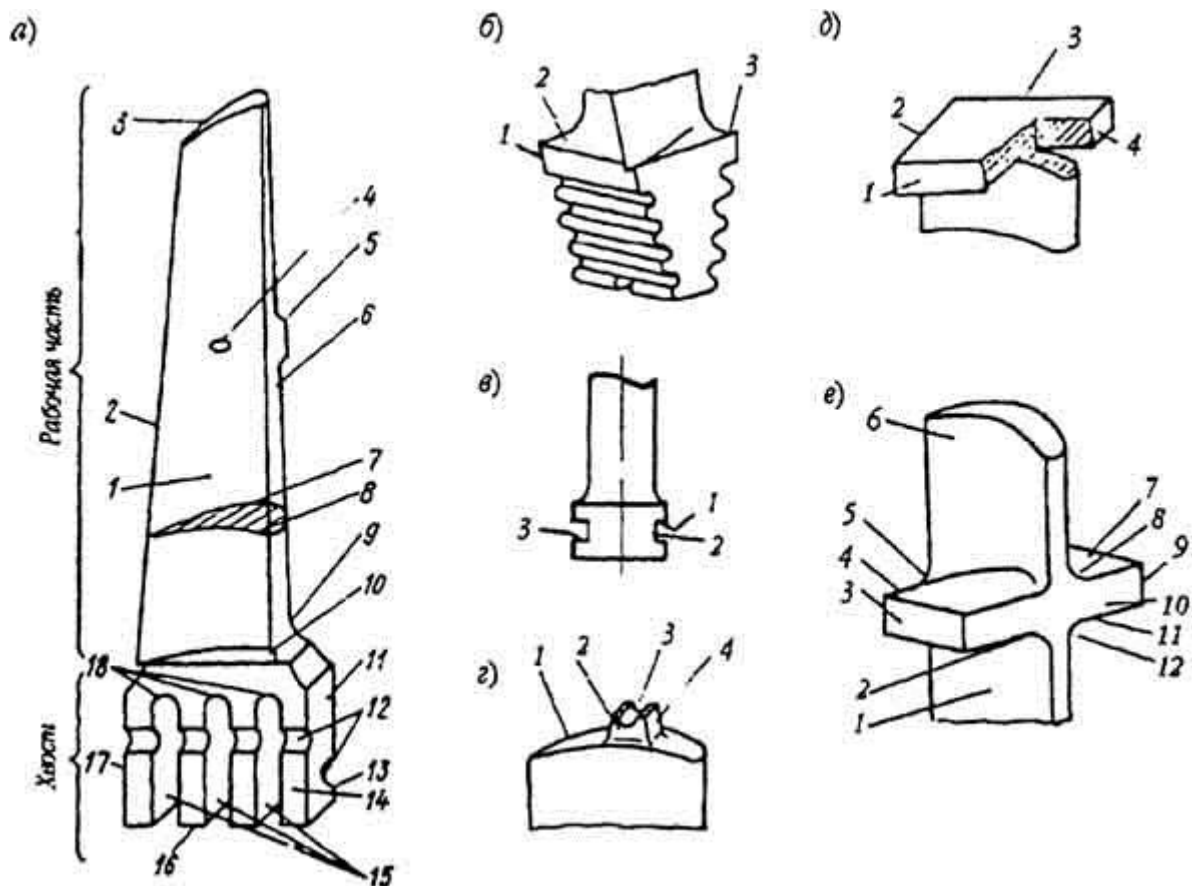
В сформированном лопаточном аппарате потоке происходит преобразование тепловой энергии рабочего тела в механическую работу. От оптимальной реализации этого процесса зависит КПД проточной части турбины. Поэтому для обеспечения надежности, долговечности, ремонтпригодности и других качеств турбины к конструкциям лопаток предъявляются жесткие технические требования - к материалам и их состоянию, к точности соблюдения размеров и геометрической формы элементов конструкции лопаток [10].

Условно лопатки турбин можно представить состоящими из трех основных частей: хвоста, рабочей части, головки, каждая из них имеет множество разновидностей. В состав большого числа конструкций лопаток входит огромное число элементов конструкций, поэтому потребовалось унифицировать определения элементов, их названия, а также названия поверхностей элементов. На рис. 1.2. приведена одна из конструкций лопаток, показаны некоторые элементы конструкций данной и других лопаток, а также обозначены поверхности элементов.

Рабочие части рабочих и направляющих лопаток различают по следующим признакам: форме сечений и их взаимному расположению вдоль оси лопатки, нависанию (или отсутствию нависания) элементов над профилями концов рабочей части, способу построения поверхностей.

По форме сечения и взаимному расположению сечений вдоль оси рабочие части подразделяются на части с постоянным профилем и переменным профилем [10]. Над концами рабочей части лопатки может нависать хвост, полка, оба элемента конструкции одновременно или конструкция лопатки может и не накладывать указанного ограничения на рабочую часть. По этому признаку рабочие части лопаток делят на открытые, полуоткрытые и закрытые. Если элемент нависает с одного конца лопатки, например со стороны хвоста, а со стороны головки или в рабочей профильной части лопатки нависающих элементов нет, то такие конструкции лопаток классифицируются как лопатки с полуоткрытым профилем рабочей части. Лопатки с закрытым профилем имеют нависающие элементы с обоих концов рабочей части. Примером конструкции с закрытым профилем служит лопатка, приведенная на рис. 1.2. У нее над рабочей частью с одной стороны нависает хвост, а с другой - утолщение (позиция 5 на рисунке).

По способу построения поверхностей различают лопатки только с поверхностями переменного профиля рабочей части. По этому признаку их делят на лопатки с аналитическими и с так называемыми скульптурными поверхностями указанной части. Аналитические поверхности составлены из линейных, цилиндрических и винтовых поверхностей и легко поддаются математическому описанию. Определение скульптурной поверхности отражает технологический прием ее формирования. Сечения рабочей части лопатки припасовывают к шаблонам, а между сечениями поверхность доводится на ощупь.



а - лопатка с вильчатым хвостом: 1 - внутренняя поверхность; 2 - выходная кромка; 3 - наружная поверхность; 4- отверстие под скрепляющую проволоку, 5- утолщение; 6- входная кромка; 7-наружный профиль сечения; 8-внутренний профиль сечения; 9 - наружная галтель; 10 - внутренняя галтель; 11 - входная плоскость хвоста; 12 - полуотверстия под заклепки; 13- наружная радиальная плоскость хвоста; 14- внутренняя радиальная плоскость хвоста; 15 - пазы хвоста; 16- торец хвоста; 17-выходная плоскость хвоста; 18-вершина пазов хвоста;

б - хвост елочного профиля, полка, переход полки в рабочую часть:

1 - внутренняя плоскость полки; 2 - переходная галтель;
3 - наружная плоскость полки;

в - хвост пазового двустороннего профиля, поверхности профиля:

1 - верхние; 2 - боковые; 3- нижние;

г -головка с шипом: 1 - торец головки; 2 - внутренняя поверхность шипа;

3 -наружная поверхность шипа; 4 - входная поверхность шипа;

д - бандажная полка: 1 - внутренняя плоскость бандажной полки; 2 - входная плоскость бандажной полки; 3 - наружная плоскость бандажной полки; 4 - выходная плоскость бандажной полки;

е - перемычка двухъярусной лопатки: 1 - нижний ярус; 2 - внутренняя нижняя галтель перемычки; 3- внутренняя плоскость перемычки; 4- выходная плоскость перемычки; 5- внутренняя верхняя галтель перемычки; 6-верхний ярус; 7- наружная плоскость яруса; 8- наружная верхняя галтель перемычки; 9 - наружная

плоскость перемычки; 10 - входная плоскость перемычки; 11 - наружная плоскость нижнего яруса; 12 - наружная галтель нижней перемычки

Рисунок 1.2 - Пример конструкции рабочей лопатки и элементов конструкций лопаток:

В зависимости от способа закрепления лопатки в сборочной единице в ее конструкцию вводятся соответствующие элементы. По этому признаку лопатки делят на имеющие хвостовую часть и не имеющие таковой. К первым относятся направляющие лопатки. Их концевые части могут быть ограничены торцовыми плоскими, цилиндрической формы поверхностями или сложной формы поверхностями.

Наиболее распространены рабочие лопатки с хвостами, ограничивающие профильные поверхности которых могут быть следующих форм: Т-образной без заплечиков и с заплечиками, грибовидной, пазовой двусторонней, вильчатой, елочной. Лопатка с вильчатым хвостом показана на рис. 1.2, а, хвост елочного профиля представлен на рис. 1.2, б, а пазового двустороннего - на рис. 1.2, в.

Для заготовок лопаток применяют высококачественные материалы, обеспечивающие прочность при высокой температуре, высокую пластичность, сопротивление ползучести, коррозионную стойкость, высокую усталостную прочность и высокий декремент затухания. К таким материалам относятся хромистые стали (08X13, 12X13, 20X13 и др.), хромоникелемарганцовистые стали (15X12ВНМФ, ХН35ВТК и др.), металлические сплавы на никелевой основе и т. д. В качестве материала заготовок лопаток последних ступеней ЦНД мощных паровых турбин использовались титановые сплавы (для турбины К-1200-240 марки ТС5) [10].

В данном проекте речь пойдет о лопатках с вильчатым хвостом, см. рис. 1.2.

В процессе эксплуатации из-за динамических, вибрационных нагрузок места крепления лопаток (плоскости хвоста, вилки) испытывают износ. Несоблюдение

посадочных размеров в данном случае недопустимо, поэтому необходима операция восстановления изношенной поверхности лопатки.

1.3 Базовый технологический процесс восстановления лопаток

Для восстановления изношенной поверхности по базовому технологическому процессу применяют дуговую наплавку в среде инертного газа.

Первым этапом базового технологического процесса является подготовительная операция. Вначале производят дефектацию лопаток. На очищенных от загрязнений лопатках выполняют замеры посадочных поверхностей на соответствие требованиям. Используют штангенциркуль, микрометр. Определяют величину износа. Затем лопатки передают на зачистку поверхности, подлежащей наплавке. Изношенные поверхности и прилегающие участки шириной не менее 5 мм зачищают до металлического блеска. В качестве вспомогательного материала применяют наждачную шкурку 50П2Ф. Зачищенные поверхности обезжиривают ацетоном или Уайт-спиритом. После чего просушивают.

Подготовленные лопатки передают на операцию наплавки. Производят наплавку слоя толщиной 1 – 1,2 мм. Наплавку производят по схеме, рис. 1.3.

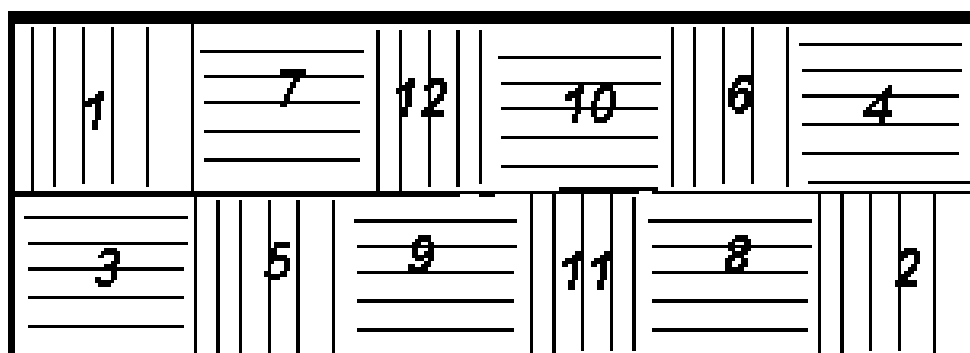


Рисунок 1.3 – Схема наплавки

Параметры режима наплавки следующие: ток постоянный; полярность обратная; напряжение на дуге 25...28 В; Сила тока 70-90 А; скорость наплавки 5-8 м/час; каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий на 1/4 его ширины. В качестве присадочного материала используют сварочную проволоку Св-15Х11МФ или Св-Х18Н10Т диаметром 1,2 мм.

Наплавку производят в среде инертного газа – аргона. Расход аргона 7-9 л/мин.

По окончании наплавки изделие охлаждают, производят зачистку наплавленного слоя до металлического блеска, и производят визуально-измерительный контроль промежуточный. Трещины кратеры, поверхностные поры, непровары не допускаются. Толщина наплавленного слоя не должна быть меньше 1 мм. При наличии недопустимых дефектов производят их выборку абразивным кругом. При этом необходимо углубиться в основной металл не менее 0,5 мм. После контроля выборки ее поверхность и поверхность прилегающего металла обезжиривают. Затем выборку наплавляют. Режимы сварки принимают как указано выше. Охлаждают и повторно контролируют наплавленную поверхность.

В базовом технологическом процессе используют выпрямитель сварочный ДС-200.

Наплавленные лопатки передают на участок механической обработки. Там наплавленные поверхности шлифуют до требуемого размера. Обработка производится на шлифовальном станке 3А151. Скорость резания 25...30 м/сек. Подача 0,01 мм/об. Расход охлаждающей жидкости 0,3 л/сек.

Полностью готовые лопатки идут на операцию заключительного контроля. Производится визуально-измерительный контроль на соответствие требованиям. Производится капиллярный контроль на наличие трещин и пор. Для капиллярного контроля применяют набор ДМК-4. Выдержавшие контроль лопатки направляются на облопачивание турбины.

Анализ технологического процесса показывает, что он не лишен некоторых недостатков. Поскольку приходится вручную наплавлять большую площадь, то получается и производительность труда малая, и достаточно большой расход присадочного материала. Следует отметить, значительный объем шлифования, так как добиться сварщику постоянства толщины наплавляемого слоя проблематично. Поэтому приходится наплавлять слой с запасом.

Большая величина тепловложения в лопатку обусловлена тем, что приходится вести наплавку по всей поверхности, причем греется металл до температуры плавления, а так как у нас сталь с содержанием хрома 10...20%, с добавками никеля и т.д. то и температура плавления ее в пределах 1500° С. Большая величина тепловложения так же оказывает влияние на остаточные напряжения и деформации. Происходят структурные изменения в теле лопатки. Рассмотрим возможные варианты восстановления, позволяющие устранить перечисленные недостатки.

1.4 Анализ возможных способов восстановления хвостовиков

По результатам выполненного анализа применяемого в настоящее время на предприятии технологического процесса сварки были выявлены ряд недостатков. Следовательно, технология нуждается в модернизации. Практика ремонта и восстановления изношенных деталей в машиностроении наработала десятки технологических процессов, позволяющих вернуть исходные размеры утраченные деталью в процессе эксплуатации.

Наплавка – нанесение металла на поверхность изделия с помощью сварки плавлением. Производится, как и при изготовлении задвижки, когда основной металл не обладает коррозионной стойкостью, так и при ремонтных восстановительных работах [1].

Электродуговые способы сварки используются чаще других для нанесения металла на изделие. Позволяют при использовании качественных материалов повысить стойкость к коррозии, эрозии и другому эксплуатационному износу [10].

Чаще всего из всех электродуговых способов наплавки для восстановления задвижек применяется наплавка штучными электродами, рисунок 2.1.

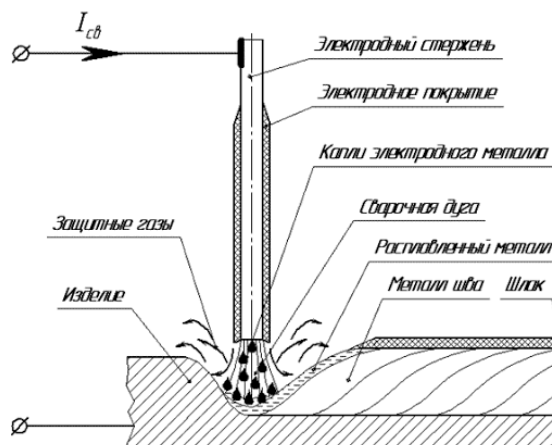


Рисунок 2.1 – Схема наплавки покрытыми электродами

Преимущества наплавки штучными электродами: является простота процесса, несложность оборудования, повышенная мобильность при проведении ремонтных работ (работать можно автономно) сварка во всех положениях, возможность наплавки различных материалов [1].

Недостатки способа: отсутствует частичная или полная механизация процесса, малая производительность процесса наплавки и сварки. Качество сварного шва, наплавленного валика зависит напрямую от уровня подготовки сварщика. Большое число проходов при выполнении наплавки, каждый наплавленный валик требуется зачищать от шлака, доля неметаллических включений может остаться в шве при плохой зачистке. Большое проплавление металла и как следствие неоднородность по составу электродного металла и доли основного металла [18].

Несмотря на все это данный способ остается самым простым и распространенным способом восстановления в промышленности.

Механизированную наплавку производят на постоянном токе, полярность обратная, рисунок 2.2 (рис.25). Электродную проволоку выбирают исходя из

условий работы детали. Если требуются высокие показатели коррозионной стойкости то применяют коррозионностойкие хромоникелевые проволоки типа Св-12Х18Н10Т [16].

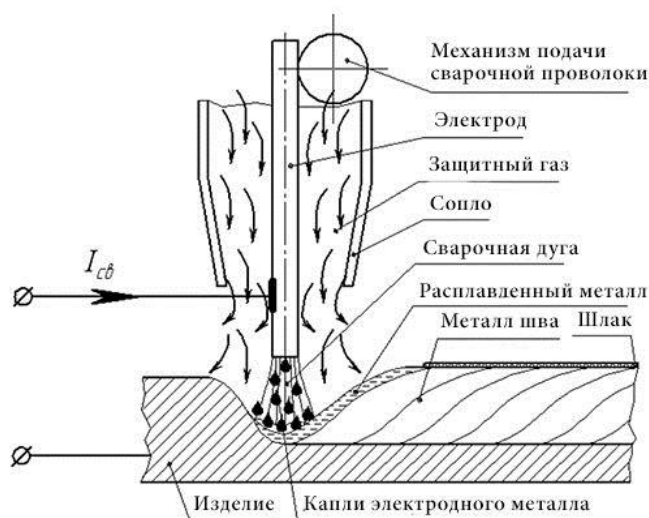


Рисунок 2.2 – Механизированная наплавка в среде защитного газа

Это нужно для обеспечения коррозионной стойкости детали. Получается износостойкая наплавка, которая продлевает срок службы восстановленного изделия. Скорость наплавки выбирается исходя из геометрических параметров детали (толщины изделия). Если нет проблем с агрессивной средой можно использовать проволоку с высоким, до 1% содержанием углерода.

Наплавляют не менее 2ух слоев металла. При этом валики могут перекрывать друг друга на половину или на 1/3 ширины предыдущего [1] [13].

Достоинства наплавки в защитном газе: меньшее проплавление основного металла и как следствие более однородная структура металла шва, эксплуатационные характеристики металла на порядок выше чем при наплавке с помощью покрытых электродов, возможность проводить процесс наплавки в различных пространственных положениях, высокая степень производительности и механизации [14].

К недостаткам можно отнести сильное разбрызгивание металла на повышенных токах. Затруднения процесса сварки при работе на открытых

участках из-за сдувания дуги и загрязнения сопла горелки. Для работы на высоких параметрах режима сварки потребуются горелки с водяным охлаждением.

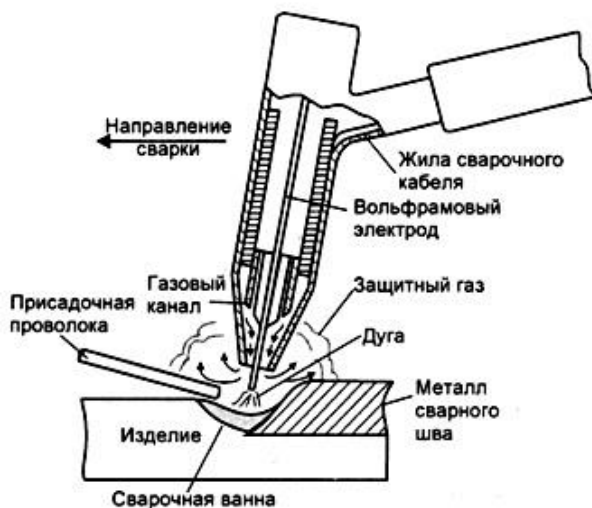


Рисунок 2.3 – Схема аргонодуговой наплавки

Большое применение нашла наплавка неплавящимся электродом в среде защитного газа, рисунок 2.4. Формирование валика осуществляется за счет тепла дуги от неплавящегося электрода и присадки.

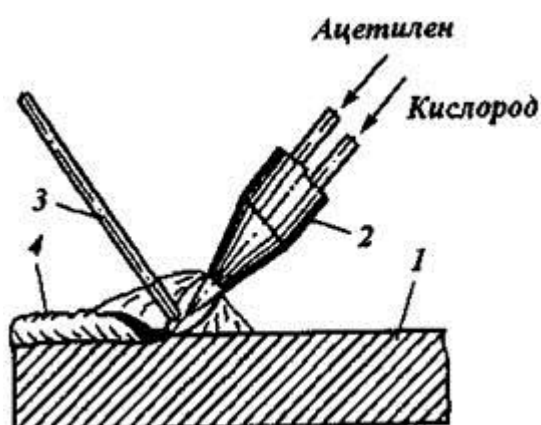
В качестве присадки, для проведения наплавочных работ по восстановлению или упрочнению изношенных деталей используют прутки на основе кобальта и хрома с добавками вольфрама или молибдена. Такие прутки как стеллит ВЗК или Пр-ВЗК [20] [26].

Такие присадки используют для деталей, работающих в агрессивных средах, с различными нагрузками и при больших температурах. Наплавка такими материалами дает повышенный ресурс деталей.

Достоинствами данного способа можно отметить: отсутствие брызг металла во время проведения наплавочных работ, минимальное количество дефектов по сравнению с другими способами сварки, уменьшенные деформации из-за малой зоны нагрева изделия, повышенное качество сварного шва из-за применения защитного газа, аргон не взаимодействует с металлом [20].

Недостатками данного способа можно выделить: способ наплавки не отличается высокой производительностью, защита сварного шва может быть нарушена из-за работы на улице, при больших силах тока требуется использовать горелки с водяным охлаждением, для выполнения работ требуется сварщик высокой квалификации, сложное оборудование и долгая настройка параметров режима наплавки.

Газовая наплавка применяется в промышленности для ремонта деталей машин, ремонта дефектов отливок. Процесс обработки поверхностей металлов при помощи высокотемпературного ацетилено-кислородного пламени. Довольно распространенный способ в прошлом веке. С помощью него можно соединять практически все металлы [1].



1 – деталь, 2 – сопло горелки, 3 – присадочный пруток, 4 – наплавленный валик.

Рисунок 2.4 – Схема газовой наплавки

Наплавку можно производить при помощи присадочных прутков (с флюсом или без) и порошков. В качестве прутков используют стеллиты ВЗК или Пр-ВЗК или сормайты и смесь флюса, основа которого составляет бура. [26] [27].

В качестве порошков для наплавки используют порошки на основе никеля, кобальта и железной основе. Процесс ведут при помощи восстановительного

пламени, формируя валика добавляя присадку или оплавляя пламенем порошок [26].

Достоинства способа: простота оборудование, не требующего питания от электричества, сварка почти любых металлов, уменьшение возникновения трещин из-за предварительного нагрева газовой горелкой и последующего медленного охлаждения

Недостатки способа: требуется строго соблюдать соотношение газов, низкая производительность, медленный нагрев может привести к короблению деталей, высокой температурой пламени можно пережечь металл, взрывоопасность процесса из-за применения горючих газов.

Автоматическая наплавка – высокопроизводительный способ нанесения металла на изношенные детали, рисунок 2.5. При таком способе изношенные детали сборочной оснастки могут быть наплавлены на специальных стандах проволокой сплошного сечения под защитным флюсом или газом. Установка включает в себя источник питания, пульт управления и вращающееся устройство [24] [25].

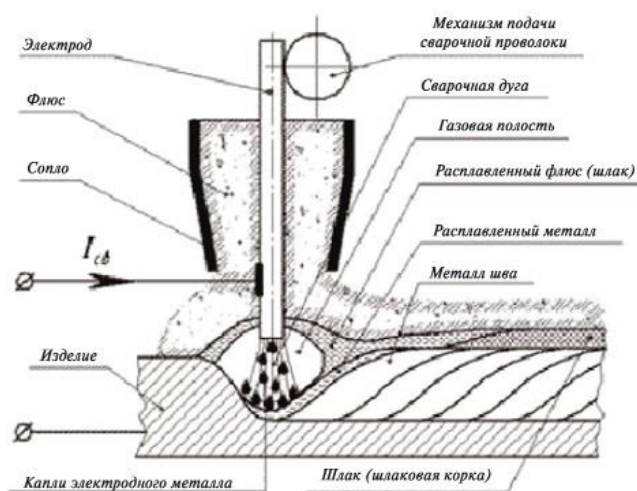


Рисунок 2.5 – Схема автоматической наплавки

Такая установка заменяет собой целый комплекс дополнительного оборудования. Флюс защищает сварочную ванну, обеспечивает высокое качество шва. Защитный слой порошка дает медленное охлаждение валиков, что положительно сказывается на слоях наплавленного металла, снижая пористость.

Достоинства способа: плотный, качественный наплавленный металл, высокая производительность процесса, потери на разбрызгивание минимальные или почти отсутствуют, возможность придания наплавленному металлу улучшенных характеристик (физических и эксплуатационных свойств) через процесс легирования при помощи флюса, благоприятные условия работы для сварщика-оператора [30].

Недостатки: Применение в массовом производстве, значительные тепловложения в металл, применение на деталях малых габаритов – невозможно, сложное оборудование, наплавка только в нижнем положении.

Плазменная наплавка металлов современный способ восстановления изношенных деталей сварочного оборудования, рисунок 2.6. Заключается в нанесении порошкообразной смеси на изношенные детали при помощи плазменной струи газа. Так же можно наносить металл, используя присадочные прутки и ленты.

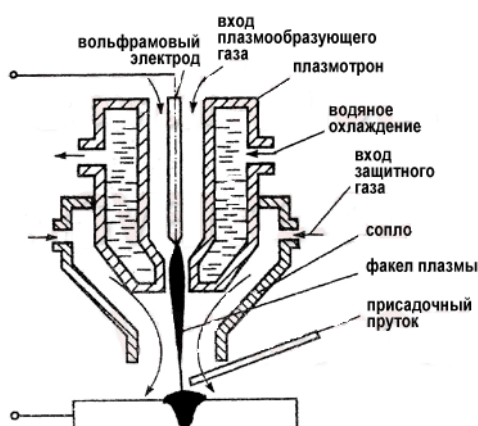


Рисунок 2.6 – Схема плазменной наплавки

Различают способы восстановления деталей плазменной струей такие как: дугой прямого действия (дуга горит между электродом из вольфрама и изделием, на присадочную проволоку питание не осуществляется), независимой дугой (дуга горит между электродом плазмотрона и присадочной проволокой, металл изделия нейтрален) комбинированного действия с использованием двух дуг (одна дуга горит между неплавящимся электродом и затвором арматуры, вторая дуга горит между присадочной проволокой и вольфрамовым электродом) [25]. При использовании дуги прямого действия обеспечить малое проплавление возможно лишь при малых токах, производительность будет не выше, чем при использовании менее производительных способов наплавки [26].

Использование повышенных токов не допустимо – возможно значительное проплавление металла восстанавливаемой детали.

При процессе наплавки независимой дугой проплавление детали меньше, из-за того, что все тепло направлено на расплавление присадки. Основной металл при таком способе нагревается от тепла, расплавленного металла присадочной проволоки.

При таком способе металл изношенной детали покрывается каплями расплавленного металла. В таком случае необходимо обеспечить надежное сцепление двух металлов. Сделать это можно нагрев наплавляемую деталь до температуры плавления присадки.

Для деталей малой толщины и размеров достаточно тепла от расплавленной присадочной проволоки, для деталей больших размеров тепла расплавленной присадки недостаточно – требуется использование комбинированного способа наплавки плазменной струей [13].

Достоинства способов плазменной наплавки: возможность нанесения разнородных покрытий, можно создать биметаллическое соединение с заданными свойствами, высокая концентрация теплоты плазменной струи и минимальная зона влияния на основной металл, возможность нанесения особо тонких слоев от 0,1 мм и выше [13].

Недостатки данного способа: сложность оборудования, повышенное участие металла детали в формировании валика, невозможность наплавки металлов алюминиевых сплавов, геометрические параметры наплавленных валиков далеки от идеала, требуется повышенный припуск на механическую обработку.

Лазерная наплавка выполняется при помощи луча лазера и порошкового материала или проволоки, рисунок 2.7. Один из перспективных способов изготовления и восстановления деталей. Высокий уровень автоматизации процесса, дает возможность регулирование геометрических размеров наплавленных валиков.

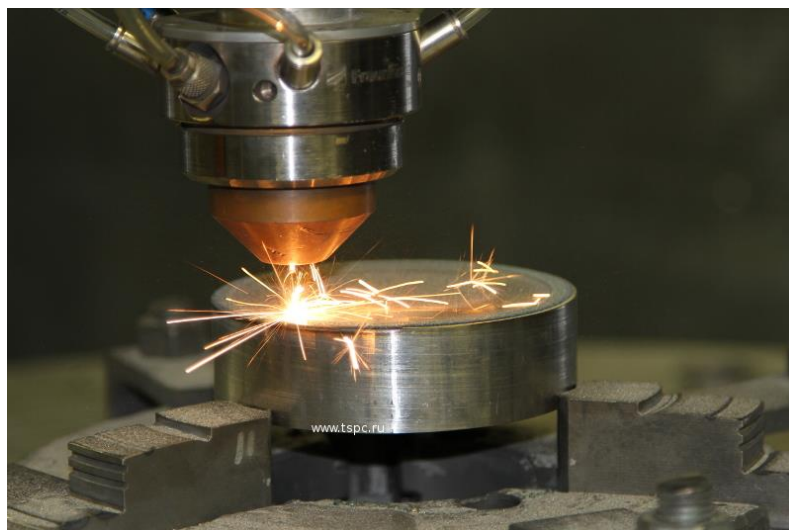


Рисунок 2.7 – Лазерная наплавка

Достоинства способа: возможность получения качественных наплавленных слоев с хорошими физико-химическими свойствами, высококонцентрированный луч дает возможность минимально и точно воздействовать на изделие, возможно наплавка деталей малых толщин, позволяет сократить припуск на дальнейшую механическую обработку резанием, высокая адгезия процесса [9].

Недостатки данного способа: дорогостоящее оборудование, возможность появления трещин из-за высокой температуры луча и деформаций металла,

высокая квалификация персонала, высокое требование к качеству подготовки металла, низкая производительность, возможность наплавлять на детали несложной конфигурации [10].

Наиболее радикальным вариантом модернизации является замена способа наплавки. Промышленное применение нашли множество способов наплавки и нанесения покрытий. Однако, в первую очередь, замена должна обеспечивать экономический эффект. Поэтому логично замену способу сварки выполнить в два этапа. На данном этапе производится анализ достоинств и недостатков всех способов, которые возможны для восстановления нашего изделия и обеспечивающих устранение выявленных в первом разделе работы недостатков. На следующем этапе, в разделе 4 работы, проводится экономическая оценка замены согласно принятым методикам расчета экономической эффективности.

Наиболее радикальным методом замены является применение для восстановления газотермических и иных способов нанесения покрытий на изношенные поверхности деталей молотковых дробилок. Вообще, нанесение покрытий и слоев возможно гальваническими методами, наносят также 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 абразивных нагрузках важным свойством наносимого покрытия является его хорошая адгезия.

Аналогичные недостатки и у разных способов напыления покрытий. При распылении наносимого материала струей плазмы или струей продуктов сгорания углеводородов. По сравнению с гальваническим способом напыляемое изделие, все же, нагревается до незначительных температур, но наносимый слой не переплавляется с основой.

Поэтому, по результатам анализа, с учетом условий эксплуатации, оставляем дуговую наплавку. Но наплавка дугой может быть реализована многими способами.

Для выбора способа наплавки на первом этапе воспользуемся такими критериями как:

1. Химические свойства соединяемых сваркой материалов;
2. Толщины наносимого наплавкой слоя;
3. Пространственные и геометрические параметры сварных соединений;
4. Выбор экономически целесообразных вариантов замены ручного труда сварщика.

Поскольку при сварке, согласно определению процесса, приведенному в ГОСТ 2601-84 предусматривается нагрев соединяемых деталей, химические свойства интересуют, в первую очередь, в плане предотвращения взаимодействия материала с окружающей средой. В состав некоторых материалов входят вещества, обладающие высоким сродством к кислороду. В процессе нагрева

соединяемого материала такие вещества будут окисляться. В некоторых случаях опасность представляет азот. Возможно его растворение в расплавленном металле сварочной ванны и негативное действие на характеристики получаемого сварного соединения.

Протяженность сварного шва и его пространственную конфигурацию также необходимо принимать во внимание при анализе подходящих способов сварки. В некоторых случаях ограничение по сварке накладывается даже не на сам способ сварки, а на применяемые режимы сварки. Так при ручной дуговой сварке штучными электродами применяемые электроды классифицируются для сварки во всех пространственных положениях, для всех положений кроме вертикального на спуск, нижнего. Дело в том, что одна из функций обмазки штучных электродов – обеспечить необходимую величину поверхностного натяжения сварочной ванны. Если компоненты, обеспечивающие данную функцию отсутствуют, расплавленный металл характеризуется высокой жидкотекучестью и сварка, например, в потолочном положении становится невозможной даже для сварщиков высокой квалификации.

Некоторые способы сварки по определению не могут применяться для разных пространственных положений. Так автоматическая сварка под слоем флюса пригодна для получения швов в нижнем положении. Кроме того, большинство способов автоматической сварки предпочтительны для прямолинейных и протяженных швов. Дело в том, что маневренность установок автоматической сварки ограничена. Как правило, требуется много времени для переналадки таких установок на новый шов. Поэтому для коротких швов сложной пространственной конфигурации предпочтительнее варианты, где сварщик вручную манипулирует горелкой или электрододержателем.

По выбору экономически целесообразного варианта замены ручного труда сварщика необходимо, в первую очередь, учитывать вид производства. Для условий массового и крупносерийного производства однотипной продукции

рационально применять автоматические способы сварки. Реализуются они в заводских условиях в составе автоматических линий.

В условиях монтажа, а также при ремонтной сварке, где однотипные дефекты редкость предпочтительнее механизированные и ручные способы сварки. Также механизированные и ручные способы оправданы в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Далее, с учетом изложенной выше информации, рассмотрим возможные для нашего изделия способы сварки. Анализ начнем со способа ручной дуговой сварки штучными электродами.

Ранее мы акцентировали внимание на том, что колоссальное разнообразие присадочных материалов позволяет использовать данный способ для сварки различных металлов и их сочетаний. Например, при сварке алюминия значительную трудность представляет удаление прочной и плотной пленки оксидов. На стержень из алюминия или сплава алюминия наносится покрытие, содержащее хлориды и фториды щелочных и щелочно-земельных металлов. Покрытие такого состава обеспечивает удаление оксидной пленки.

Помимо высокой мобильности сварщика, занятого дуговой сваркой штучными электродами, следует выделить такое достоинство способа как дешевизна и простота оборудования.

Однако главным недостатком является ограниченная длина присадки – электродного стержня. Через достаточно непродолжительный промежуток времени сварщику приходится останавливать процесс, так как присадка закончилась. Выполняется замена электрода и рестарт. Подобного рода старты и остановки негативно отражаются на качестве соединения. Кроме того, при сварке некоторых материалов требуется зачистка кратера перед рестартом, что также увеличивает трудоемкость сварки.

Другим недостатком ограниченной длины присадочного стержня, влияющим, в основном, на качество, является разогрев электродного стержня при пропускании сварочного тока. В начале процесса стержень имеет сравнительно

низкую температуру. В процессе выполнения сварного шва происходит разогрев электродного стержня и обмазки. Поэтому условия выполнения сварного шва меняются, меняются и характеристики наплавленного металла.

Устранить указанный недостаток можно применив присадку большой длины, намотанную в виде бухты. Однако данный вариант решения проблемы требует специальных технологических приемов. Отсюда получаются разные способы механизированной сварки, так как проволока из бухты подается в зону горения сварочной дуги с помощью специальных механизмов.

Один из способов механизированной сварки – сварка в среде защитных или активных газов присадочной проволокой сплошного сечения. Способ позволяет значительно повысить производительность, так как потери времени на остановку процесса сварки, замену присадочного стержня и рестарт отсутствуют. Но данный способ в какой то степени ограничивает возможности технолога по управлению химическим составом наплавленного металла. В ряде случаев обмазка штучных электродов содержит легирующие компоненты.

Кроме того, стоимость некоторых газовых смесей, особенно содержащих большое количество аргона, высока.

Устранить приведенный здесь первым недостаток механизированной сварки в газовых смесях можно применив способ сварки порошковой проволокой. Порошковая проволока по сути является вывернутым наизнанку штучным электродом. Она может применяться при обеспечении газовой защиты зоны горения дуги и без газовой защиты – самозащитная проволока.

К достоинствам сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа следует отнести широкий спектр соединяемых материалов. Практически все цветные металлы успешно соединяются данным способом. В некоторых случаях, при сварке титана, например, требуется дополнительная защита инертным газом и зон, подвергшихся нагреву до высоких температур.

Недостатки способа – при сварке активных металлов требуется в качестве защитного применять дорогостоящий аргон. Кроме того, традиционно сварщик

одновременно выполняет манипуляции присадочным пруток и сварочной горелкой. Различные варианты механизации данного способа приводят к необходимости создания конструктивно сложной и тяжелой горелки, рисунок 1.4.

Можно пластину из исходного материала закрепить на поверхности изношенной посредством сварки. При этом необходимо отметить такие преимущества. Тепловложение меньше, так как плавление металла идет только по периметру пластины, получается меньшая протяженность швов, значит производительность выше, расход аргона меньше. Кроме того, не требуется для сварки внедрять новое оборудование.

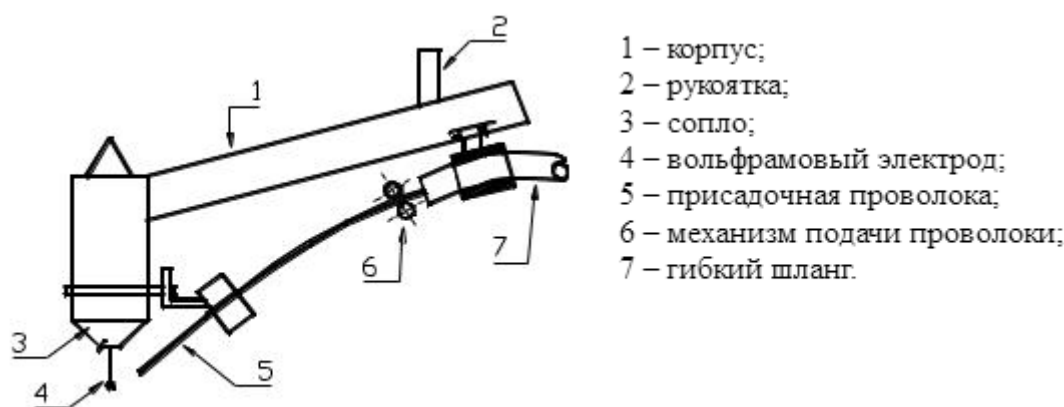


Рисунок 1.4 – Горелка для механизированной подачи присадочной проволоки

1.5. Задачи работы

Лопатки паровых турбин являются оригинальными деталями, технология их производства характеризуется высокой трудоемкостью, для изготовления лопаток применяют дорогостоящие материалы, поэтому важным является продление срока их службы. Однако базовый технологический процесс ручной дуговой наплавки изношенных поверхностей характеризуется такими недостатками как низкая производительность, большой расход вспомогательных материалов.

Анализ возможных вариантов восстановления позволяет остановить свой выбор на технологии приварки пластины на изношенную поверхность – хвостовик.

Поэтому для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать технологический процесс восстановления изношенной поверхности хвостовика.
2. Подобрать оборудование для реализации технологии восстановления.
3. Разработать оснастку, необходимую для реализации технологического процесса восстановления
4. Скомпоновать оборудование на производственном участке
5. Предусмотреть мероприятия по обеспечению безопасности жизни и здоровья производственного персонала
6. Экономически обосновать предложенные технические решения

2 Разработка технологического процесса восстановления приваркой прокладок

При внедрении нового технологического процесса оборудование используемое на операциях сварки и шлифовки остается без изменений. На операции сварки остается источник сварочного тока ДС-200, обеспечивающий плавное гашение дуги. На операции шлифования применяют шлифовальный станок 3А151.

Вводится новая операция и оборудование для изготовления прокладок. Прокладки нарезают из листа стали 12Х13, возможна замена на сталь 15Х11МФ или Х18Н10Т. Толщина листа определяется согласно данным дефектации. Очищают от загрязнений лопатки, выполняют замеры посадочных поверхностей на соответствие требованиям. Используют штангенциркуль, микрометр. Определяют величину износа. По результатам дефектации определяют толщину листа из которого изготавливают прокладки. Вырезают прокладки на универсальном фрезерном станке 6Р82 используют фрезу Р6М5. Для контроля размеров применяют штангенциркуль ШЦ-III. Скорость резания 5...8 м/сек., подача 0,02 мм/об.

Затем лопатки и готовые прокладки передают на зачистку поверхности, подлежащей наплавке. Поверхности на хвостовике по местам установки прокладок и сами прокладки зачищают до металлического блеска. В качестве вспомогательного материала применяют наждачную шкурку 50П2Ф. Зачищенные поверхности обезжиривают ацетоном или Уайт-спиритом. После чего просушивают.

Подготовленные лопатки и прокладки передают на операцию сборки. Прокладки устанавливают на место, прижимают струбцинами. Должно быть обеспечено полное прилегание прокладки к поверхности хвостовика. Зазор не допускается.

Собранные лопатки передают на операцию сварки. Сварку производить источником ДС-200. Для сварки толщин менее 1 мм в среде аргона марки В. Аргон марки В содержит 99,9% аргона, 0,1 азота и рекомендуется для сварки нержавеющей жаропрочных и окалиностойких сталей [3]. Согласно [9] выбираем следующий режим: напряжение на дуге 25...28 В; сила тока 50-60 А; расход аргона 6-8 л/мин; V сварки 5-8 м/час. Сварочную проволоку использовать Св-06Х15Н60М15 или Св-10Х16Н25М6 диаметром 1,2 мм. Длина прихваток на хвостовике 7-10 мм, шаг 25-30. Прокладки на вилках прихватить четырьмя прихватками по одной на каждой стороне.

После прихваток прижимы убрать, обварить прокладки по контуру, на рис. 2.1. показаны сварные швы приварки прокладок на вилках. На рис. 2.2. показаны сварные швы прокладок на хвостовиках. Режим сварки указан выше.

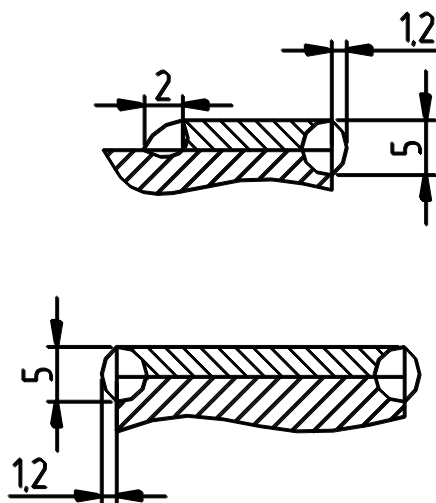


Рисунок 2.1 - Сварные швы прокладок на вилках

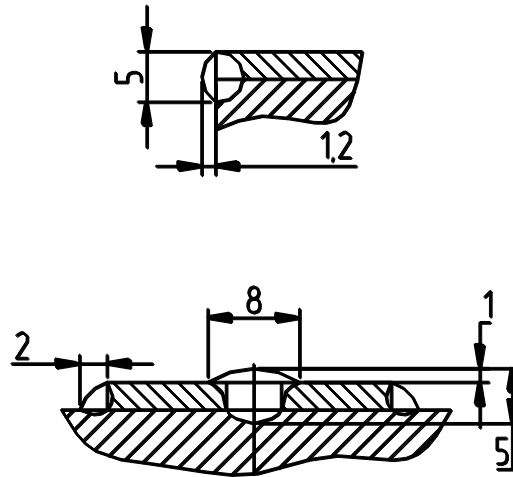


Рисунок 2.2 - Сварные швы прокладок на хвостовике

И в завершение выполнять электрозаклепки, см. рис. 2.2. Предварительно проверить прилегание прокладок к поверхности хвостовика по местам расположения электрозаклепок. При несоответствии подрихтовать. После чего заварить электрозаклепки согласно указанному выше режиму сварки.

Затем следует операция контроля. Прокладки извлечь из ложементов приспособления сборочного. Места сварки зачистить до металлического блеска, произвести визуальный контроль. Не допускаются трещины, кратеры, непровары, поверхностные поры. После визуального контроля выполнить капиллярный контроль. Использовать набор ДМК-4. Не допускаются трещины, поры.

Завершающие операции – механическая обработка и контроль. Операция механической обработки остается неизменной, как и в базовом технологическом процессе, см. п. 1.3.

Операция контроля предполагает визуально-измерительный контроль на соответствие требованиям размеров хвостовика. Используют штангенциркуль и микрометр. Выдержавшие контроль лопатки направляются на облопачивание турбины.

Важным является подбор источника питания. Сварка в защитных газах плавящимся электродом выполняется только на постоянном токе. Используемые источники питания можно разделить на две группы: электромашинные преобразователи (генераторы) и выпрямители. В каждой из групп используют источники, обладающие крутопадающими, полого-падающими, жесткими и возрастающими внешними статическими характеристиками.

Выпрямители типа ВС. Выпрямители ВС-200, ВС-300, ВС-400, ВС-500 и ВС-600 (табл 2.1) построены по общей схеме просты по устройству, надежны в работе. Они состоят из понижающего трансформатора с секционированной первичной обмоткой переключателей, обеспечивающих грубое и тонкое регулирование напряжения, выпрямительного блока, собранного из селеновых вентилей по трехфазной мостовой схеме (А. Н. Ларионова), индуктивной катушки, двигателя, вентилятора воздушного охлаждения и воздушного защитного реле.

Переключатели обеспечивают симметричное изменение числа витков трансформатора и изменение напряжения холостого хода через 0,5—1,2В. Внешние характеристики выпрямителей серии ВС пологопадающие. Переключение производят при отключенной нагрузке. Выпрямители серии ВС обладают высокими скоростями нарастания $I_{к.з}$. Для снижения скорости нарастания $I_{к.з}$ последовательно в сварочную цепь включают дроссели А-780 или А-885.

Таблица 2.1 - Основные характеристики выпрямителей ВС

Тип выпрямителя	Номинальный ток	Max $U_{хх}$	Пределы регулирования		К.п.д.
			I, А	U, В	
ВС-200	200	28,5	30—200	17—26	70
ВС-300	300	43	30—300	19—38	71
ВС-500	500	54,5	50—500	20—45	
ВС-600	600	55	60—600	20—40	70

Выпрямители типа ИПП (табл. 2.2) имеют пологопадающую внешнюю характеристику с наклоном 0,0125—0,04 В/А. Выпрямители ИПП-120П и ИПП-300П имеют одинаковое устройство. Они состоят из следующих основных узлов: понижающего трехфазного силового трансформатора, трехфазного вольтдобавочного трансформатора, трехфазного автотрансформатора, основного селенового выпрямительного блока, индуктивной катушки, включенной в цепь выпрямленного тока, вентилятора воздушного охлаждения и привода для плавного регулирования напряжения. Выпрямители укомплектованы пультом плавного дистанционного регулирования напряжения. Изменение напряжения производится грубо вольтдобавочным трансформатором, посредством его встречного (I ступень) или согласного (II ступень) включения с основным трансформатором, и плавно посредством автотрансформатора. Плавное изменение напряжения можно выполнять под нагрузкой, а грубое — только при отключенной нагрузке.

Выпрямители ИПП-500ПА (табл. 2.2) отличается от выпрямителя ИПП-300П, у него силовой трансформатор имеет секционированную первичную обмотку.

Таблица 2.2 - Технические характеристики выпрямителей

Тип выпрямителя	Ином	Мах U _{хх}	Пределы регулирования		К.п.д.	Масса, кг	Габаритные размеры, мм
			I, А	U, В			
1	2	3	4	5	6	7	8
ИПП-120П	120	30	40— 120	14—19	73	180	900x600x850
ИПП-300П	300	50	60— 300	16—28	75	255	956x660x1054
ИПП-500А	500	63	80- 500	17—25	76	450	1200x1100x760
ВДГ-301	300	46	40— 350	16—30	72	210	697x960x755
ВДГ-502	500	60	60— 500	16—40	90	370	1050x760x960

Продолжение таблицы 2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8
ВД-101	125	68	20- 125	-	62	160	1125x836x745
ВД-102	125	60	20- 125	-	58	160	1125x836x745
ВД-301	300	68	40— 300	—	74	210	1125x836x745
ВД-302	300	60	50— 300	—	68	205	1125x836x745

Секционирование осуществлено путем изготовления части витков из тонких медных пластин, изолированных друг от друга, по поверхности которых перемещаются токосъемные щетки. Щетки перемещаются от электропривода. В остальном электрическая схема их подобна выпрямителям ВС. Выпрямитель ИПП-500А обладает высокими скоростями нарастания $I_{кз}$.

Для сварки с силой тока до 500 А разработан выпрямитель типа ВДГ-502 на кремниевых вентилях (табл. 3.2). Внешние характеристики выпрямителя пологопадающие с небольшим повышением напряжения на малых токах. Последовательно в цепи выпрямленного тока установлен дроссель с двумя ступенями регулирования индуктивности 0,16 и 0,56 мГ, обеспечивающими изменение скоростей нарастания силы тока короткого замыкания от 70 до 185 кА/с.

Выпрямители типов ВД (табл. 2.2) имеют крутопадающую внешнюю характеристику и одинаковую принципиальную электрическую схему. Выпрямители состоят из трехфазного трансформатора с подвижными катушками первичной обмотки, выпрямительного блока, собранного по трехфазной мостовой схеме А. Н. Ларионова, пускорегулирующей и защитной аппаратуры и воздушного охлаждения. Выпрямительный блок выпрямителей ВД-102 и ВД-302 собран из селеновых вентилях, а блок выпрямителей ВД-101, ВД-301 — из

кремниевых вентилях.

Формирование крутопадающих внешних характеристик достигается за счет повышенной индуктивности рассеивания силового трансформатора. Напряжение регулируется переключением обмоток трансформатора.

На основании проведенного анализа оборудования и параметров технологического процесса (напряжение на дуге 25...28 В, сила тока 50-60 А.) можно сделать вывод, что ВД 101 в полной мере соответствует параметрам технологии. Важным является и то, что он весит мало, поэтому можно рекомендовать выпрямитель ВД-101.

Для взаимной фиксации лопаток и привариваемых пластин разработано приспособление. Общий вид приспособления показан на рис. 2.1.

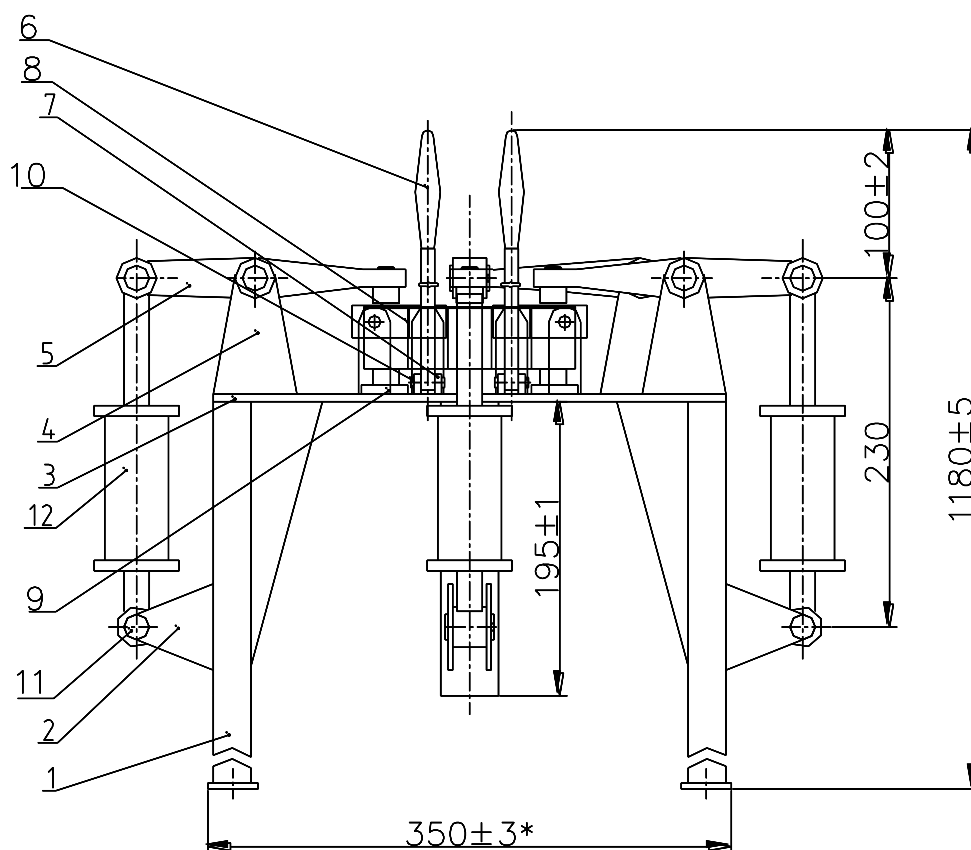


Рисунок 2.1 - Общий вид приспособления

В состав спроектированного приспособления включены следующие узлы и детали: стойка 1, в количестве 4х штук, на них приварена плита 3; кронштейны

нижние 2; кронштейны рычага 4.

На плите 3 смонтированы призмы 9, на которые устанавливают лопатку хвостовой частью. К кронштейнам нижним закреплены пневмоцилиндры 12 с помощью пальцев 11. Посредством рычагов 5 пневмоцилиндры 12 прижимают калиброванные прокладки к хвостовикам лопаток. С помощью рукояток 6 торцевые упоры 8 фиксируют от смещения прокладки калиброванные. Рукоятки 6 закреплены на кронштейнах 7 с помощью втулок 10.

Габаритные размеры приспособления 490*520*1180 мм.

3 Безопасность и экологичность технического объекта

3.1 Характеристика разработанного технического объекта.

Тема выпускной квалификационной работы: «Восстановление изношенных деталей мельницы молотковой аксиальной ММА 1500x1300x750». В процессе выполнения бакалаврской работы разработаны технические мероприятия, обеспечивающие повышение производительности труда при наплавке быстроизнашиваемых бил.

Необходимое для реализации разработанных технических мероприятий оборудование подлежит размещению на производственном участке, рисунок 3.1. Понадобится выпрямитель ВД-101, на схеме обозначен 9.

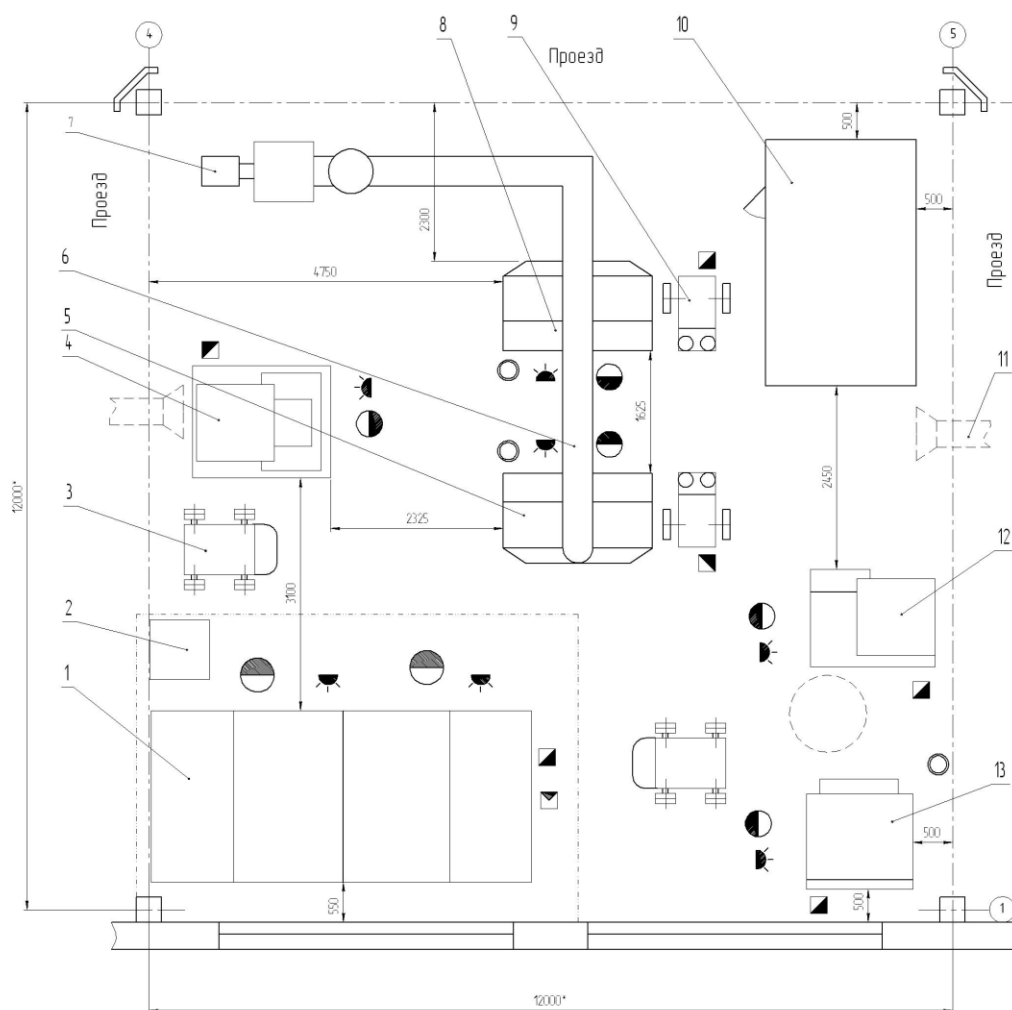


Рисунок 3.1 – Схема компоновочная участка наплавки

Таблица 3.1 - 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	Наплавка изношенной поверхности	Входной контроль	Контролер основного производства	Лупа 4х, УШС-3	Ветошь
2		Дефектация	Контролер основного производства	Штангенциркуль	
3		Наплавка	сварщик изделий из тугоплавких металлов,	Выпрямитель ВД-101	Проволока присадочная, круг абразивный
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 хвостовиков лопаток паровых турбин технологии предложена к внедрению сварка калиброванных прокладок. Помимо действия на производственный персонал негативных температурных факторов, обусловленных горением сварочной 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.	Лопатка
2	Дефектация	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки.	Лопатка
3	Наплавка калиброванных прокладок	Повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Выпрямитель ВД-101, присадочная проволока, круг абразивный.
4	Выходной контроль	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки.	Лопатка

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 наплавки	Выпрямитель ВД-101	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
Наплавка бил	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 воздушную среду	Негативное действие на водную среду	Негативное действие на земную поверхность (литосферу)
Наплавка бил	Входной контроль	-	-	-
	Дефектация		-	
	Наплавка калиброванных прокладок	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	Наплавка
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 наплавкой изношенных лопаток паровых турбин. Подробно рассмотрены ожидаемые профессиональные риски после внедрения в производственный процесс усовершенствованных операций по наплавке изношенных лопаток паровых турбин. Показано, что усовершенствованные операции сопровождаются такими опасными и вредными факторами, как газы и аэрозольные частицы, излучение сварочной дуги, также можно получить повреждения кожных покровов от острых кромок деталей.

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 лопаток паровых турбин сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу) и на литосферу. Разработаны мероприятия по устранению негативных воздействий.

4. Экономическая эффективность проекта

Данная работа посвящена разработке технологии приварки пластин на хвостовики лопаток турбин. Лопатки представляют собой оригинальные детали турбин. Производство деталей необычных конструкций основано на технологии, в значительной степени отличающейся от технологий изготовления иного назначения деталей турбин. В процессе эксплуатации изнашивается поверхность хвостовиков лопаток, появляется недопустимый люфт. Как результат – необходимо увеличить толщину хвостовиков. Применяются разные технологические решения, но наибольшее распространение нашла технология ручной дуговой наплавки поверхности в среде аргона.

Разработанный проектный вариант предусматривает приварку калиброванных прокладок ручной дуговой сваркой в среде аргона с применением присадочной проволоки.

Сравним недостатки базового варианта и возможность устранения их в проектном варианте. Результаты сравнения оформим в виде таблицы 4.1.

Таблица 4.1 - Сравнительный анализ базового и проектного техпроцесса

Базовый вариант	Проектный вариант
Тепловое воздействие дуги идет по всей наплавляемой поверхности, поэтому велики остаточные деформации и напряжения.	Тепловое воздействие дуги только по периметру наплавляемой пластины.
Протяженность шва (наплавка по всей поверхности) большая, много времени у сварщика уходит на наплавку	На наплавку уходит мало времени, так как протяженность шва мала.
Большой расход аргона, долго дуга горит из-за большой протяженности шва	Расход аргона существенно меньше, так как протяженность шва меньше

4.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

В этот раздел занесем все данные не требующие расчета, собранные на предприятии, представленные в методическом руководстве по расчету раздела

дипломных проектов, найденные в литературе и т.д.. Данные сгруппируем 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	$K_{см}$	-	2	2
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	P_p		IV	IV
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	200	200
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	$На$	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	$На.пл.$	%	5	5
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	$м^2$	20	20
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{пл}$	$Р/м^2$	30000	30000

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Сзксп	(Р/м ²)/год	2000	2000
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	Кт -з	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	Кмонт Кдем	%	3	5
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цоб	Руб.	54120	130680
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	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

4.2 Расчет норм времени

Расчет норм времени производим на изменяющиеся операции в технологическом процессе по базовому проектному варианту.

Машинное время берем из технологической части проекта.

Расчет ведем о формуле

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}$$

где $t_{маш}$ – машинное время;

$t_{всп}$ – вспомогательное время, $t_{всп}=10\%$ от $t_{маш}$;

$t_{обсл}$ – время обслуживания оборудования и рабочего места, $t_{обсл} = 8\%$ от $t_{маш}$;

$t_{отл}$ – время на личный отдых рабочего, $t_{отл} = 5\%$ от $t_{маш}$;

$t_{п-з}$ - время подготовительно-заключительное, $t_{п-з} = 1\%$ от $t_{маш}$.

Для базового варианта: общая протяженность сварного шва 1100 мм.

Скорость сварки 8-10 метров час, или 160 мм/мин тогда

$$t_{машб} = 1100/160 = 6,87 \text{ мин} = 0,11 \text{ часа}$$

$$t_{штб} = 6,87 + 6,87 \cdot 10\% + 6,87 \cdot 8\% + 6,87 \cdot 5\% + 6,87 \cdot 1\% = 8,51 \text{ мин.} = 0,14 \text{ час}$$

Для проектного варианта скорость сварки такая же, но протяженность швов 400 мм.

$$t_{машпр} = 400/160 = 2,5 \text{ мин} = 0,041 \text{ часа}$$

тогда

$$t_{штпр} = 2,5 + 2,5 \cdot 10\% + 2,5 \cdot 8\% + 2,5 \cdot 5\% + 2,5 \cdot 1\% = 3,1 \text{ мин.} = 0,051 \text{ час}$$

Для проектного варианта время фрезерования прокладок:

$$t_{машпрфр} = L/v_p$$

где L – протяженность линии реза, см;

v_p – скорость резания см/мин.

$$t_{машпрфр} = 20/8 = 2,5 \text{ мин}$$

$$t_{штпрфр} = 2,5 + 2,5 \cdot 10\% + 2,5 \cdot 8\% + 2,5 \cdot 5\% + 2,5 \cdot 1\% = 3,1 \text{ мин.} = 0,051 \text{ час}$$

4.3 Расчет фонда времени работы оборудования и количества оборудования, необходимого для реализации технологического процесса.

Сначала рассчитаем номинальный годовой фонд времени работы оборудования.

$$F_n = (D_p * T_{см} - D_{п} * T_{п}) * C,$$

где D_p – количество рабочих дней в году $D_p = 277$;

$T_{см}$ – продолжительность смены, 8 час;

$T_{п}$ – количество часов, на которые сокращается смена в предпраздничные дни 1 час;

$D_{п}$ – количество предпраздничных дней $D_{п} = 7$;

C – количество смен - 1.

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

Затем рассчитаем эффективный фонд времени работы оборудования

$$F_э = F_n * (1 - B/100),$$

где B – плановые потери рабочего времени.

$$F_э = 2209 * (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

Теперь произведем расчет количества оборудования, необходимого по тех. процессу, установленная производственная программа восстановления изношенных лопаток составит 1000 лопаток в год.

Число рабочих мест (единиц оборудования), необходимых на каждую операцию составит:

$$n_{расч} = \frac{t_{шт} \cdot П_{г}}{F_э \cdot K_{вн}}$$

где $t_{шт}$ – штучное время наплавки поверхности, час ;

$П_{г}$ – годовая программа, штук в год;

$F_э$ – эффективный фонд времени работы оборудования, час;

$n_{расч}$ – расчетное количество мест, шт.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения нормы, 1,1.

$$n_{РАСЧ.б} = \frac{0,14 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,06ед.$$

$$n_{РАСЧ.пр} = \frac{0,051 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,02ед.$$

Принятое число рабочих мест, $n_{пр}$, (шт), базовый вариант - $n_{пр} = 1$ шт, проектный вариант $n_{пр} = 1$ шт.

Коэффициент загрузки рабочих мест (оборудования) составит

$$Kз = n_{расч}/n_{пр}$$

где $n_{расч}$ – расчетное количество оборудования;

$n_{пр}$ – принятое количество оборудования.

$$Kзб = 0,06/1 = 0,06$$

$$Kзп = 0,02/1 = 0,02$$

Принимаем число основных рабочих по одному.

4.4 Расчет общих капитальных затрат

Определяем капитальные затраты по базовому варианту.

$$K_{ОБЩБ} = K_{ОББ} = n \cdot Ц_{ОББ} \cdot Kзб,$$

где $Ц_{ОБ}$ – остаточная стоимость оборудования с учетом срока службы, руб;

n – количество оборудования, необходимого для выполнения производственной программы;

$Kз$ – коэффициент загрузки оборудования.

$$Ц_{ОББ} = Ц_{ПЕРВ} - (Ц_{ПЕРВ} * T_{СЛ} * N_A / 100),$$

где $Ц_{ПЕРВ}$ – стоимость приобретения оборудования, руб – 64800 по данным предприятия;

$T_{СЛ}$ – срок службы оборудования на момент выполнения проекта, лет – 3 года по данным предприятия;

N_A – норма амортизации оборудования.

$$Ц_{ОББ} = 64800 - (64800 * 3 * 18 / 100) = 29808 \text{ руб.}$$

$$K_{ОБЩБ} = 1 * 29808 * 0,06 = 1788 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты по проектному варианту.

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = K_{\text{ОБ.ПР}} + K_{\text{ПЛ.ПР}} + Z_{\text{СОП.ПР}},$$

где $K_{\text{ОБ.ПР}}$ – капитальные вложения в оборудование, руб;

$K_{\text{ПЛ.ПР}}$ – капитальные вложения в дополнительные площади, руб;

$Z_{\text{СОП.ПР}}$ – сопутствующие капитальные затраты, руб.

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = n \cdot C_{\text{ОБПР}} \cdot K_{\text{Т-З}} \cdot K_{\text{Зпр}}$$

где $C_{\text{ОБ.ПР}}$ – стоимость приобретения нового оборудования, руб;

$K_{\text{Т-З}}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы на доставку оборудования;

n – количество единиц оборудования;

$K_{\text{Зпр}}$ – коэффициент загрузки оборудования по проектному варианту.

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = 1 \cdot 82000 \cdot 1,05 \cdot 0,02 = 1722 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ПЛ.ПР}} = C_{\text{ПЛ}} \cdot (S_{\text{ПР}} - S_{\text{Б}}) \cdot K_{\text{Зпр}}$$

где $S_{\text{ПР}} - S_{\text{Б}}$ – дополнительная площадь по проектному варианту, м^2 ;

$C_{\text{ПЛ}}$ – стоимость приобретения площади, руб/ м^2 ;

$K_{\text{Зпр}}$ – коэффициент загрузки по проектному варианту.

$$K_{\text{ПЛ.ПР}} = 3000 \cdot 9 \cdot 0,02 = 480 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{СОП}} = Z_{\text{ДЕМ}} + Z_{\text{МОНТ}}$$

где $Z_{\text{ДЕМ}} = 0$ – затраты на демонтаж базового оборудования;

$Z_{\text{МОНТ}}$ – затраты на монтаж оборудования, руб.

$$Z_{\text{МОНТ}} = n \cdot C_{\text{ОБПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}} / 100,$$

где $K_{\text{МОНТ}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж проектного оборудования, %.

$$Z_{\text{МОНТ}} = 1 \cdot 82000 \cdot 2 / 100 = 1640 \text{ рублей,}$$

$$Z_{\text{СОП}} = 0 + 1640 = 1640 \text{ рублей.}$$

Определяем капитальные затраты по проектному варианту:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = 1722 + 480 + 1640 = 3842 \text{ рублей}$$

Дополнительные капитальные вложения

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩПР}} - K_{\text{ОБЩБ}}$$

$$K_{\text{ДОП}} = 3842 - 1788 = 2053 \text{ руб}$$

Удельные капитальные вложения

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{ОБЩ}} / \Pi_{\Gamma},$$

где Π_{Γ} – годовая программа выпуска, шт/год.

Для базового варианта:

$$K_{\text{уд.Б}} = K_{\text{ОБЩБ}} / \Pi_{\Gamma} = 1788 / 1000 = 1,78 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта

$$K_{\text{уд.ПР}} = K_{\text{ОБЩ.ПР}} / \Pi_{\Gamma} = 3842 / 1000 = 3,84 \text{ руб.}$$

4.5 Расчет технологической себестоимости сравниваемых вариантов

Расчет технологической себестоимости ведется только по изменяющимся операциям технологического процесса. В нашем случае изменилась операция сварки и введена операция механической обработки.

Затраты на основные материалы

$$M_{\text{об}} = 0$$

$$M_{\text{опр}} = C_{\text{ом}} * N_{\text{ром}}$$

где $C_{\text{ом}}$ – цена основного материала – нержавеющая сталь, руб.

$N_{\text{ром}}$ – норма расхода основного материала, кг

$$M_{\text{опр}} = 54 * 0,080 = 4,32 \text{ руб.}$$

Затраты на вспомогательные материалы

Затраты на электродный сварочный материал – проволока СвХ18Н10Т (базовый вариант и проектный вариант)

$$M_{\text{б}} = M_{\text{элб}} = C_{\text{эл}} * N_{\text{рэл}};$$

где $C_{\text{эл}}$ – цена проволоки, руб/кг;

$N_{\text{рэл}}$ = норма расхода проволоки СвХ18Н10Т, кг.

Норма расхода электродов

$$Нр_{ЭЛ} = У * L$$

где – У - удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м по стандартам предприятия;

L – длина сварного шва.

$$Нр_{ЭЛ} = 0,08 \cdot 1,1 = 0,088 \text{ кг}$$

$$М_{ЭЛБ} = 62 * 0,088 = 5,46 \text{ руб.}$$

Затраты на электродную проволоку (проектный вариант)

$$М_{ЭЛПР} = Ц_{ЭЛ} * Нр_{ЭЛ};$$

где Ц_{ЭЛ} – цена электродной проволоки, руб/кг;

Нр_{ЭЛ} = норма расхода электродной проволоки, кг.

Норма расхода проволоки

$$Нр_{ЭЛ} = У * L$$

где – У - удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м по стандартам предприятия;

L – длина сварного шва.

$$Нр_{ЭЛ} = 0,07 * 0,4 = 0,028 \text{ кг}$$

$$М_{ЭЛПР} = 62 * 0,028 = 1,74 \text{ руб.}$$

Затраты на защитный газ (для проектного варианта и базового - аргон)

$$З_{з.г.} = Ц_{з.г.} * Нр_{з.г.}$$

где Ц_{з.г.} – цена защитного газа, руб/литр;

Нр_{з.г.} – норма расхода защитного газа на 1 погонный метр шва, литр.

Норму расхода защитных газов определяем при сварке:

$$Нр_{з.г.} = У_{з.г.} * L + У_{доп.}$$

где У_{з.г.} – удельная норма расхода защитного газа на 1 метр шва, по стандартам предприятия, л.

У_{доп.} – дополнительный расход газа на подготовительно-вспомогательной операции (продувка магистрали и т.д.), м³.

$$У_{доп.} = t_{всп} * Д_{зг}$$

где $t_{всп}$ – вспомогательное время, мин;

$D_{зг}$ – удельная норма расхода защитного газа за единицу времени, $м^3/мин$.

$$U_{допб} = 0,68 \cdot 0,01 = 0,0068 \text{ м}^3 = 6,8 \text{ л.}$$

$$U_{доппр} = 0,25 \cdot 0,01 = 0,0025 \text{ м}^3 = 2,5 \text{ л.}$$

$$H_{рз.г.б} = U_{з.г.} \cdot L_{б} + U_{допб} = 50 \cdot 1,1 + 6,8 = 61,8 \text{ литров}$$

$$H_{рз.г.пр} = U_{з.г.} \cdot L_{пр} + U_{доп.пр} = 50 \cdot 0,4 + 2,5 = 22,5 \text{ литров}$$

$$З_{з.г.б} = 0,05 \cdot 61,8 = 3,09 \text{ руб.}$$

$$З_{з.г.пр} = 0,05 \cdot 22,5 = 1,125 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы в базовом варианте

$$M_{б} = M_{элпр} + З_{зг} = 5,46 + 3,09 = 8,55 \text{ руб}$$

Затраты на материалы в проектном варианте

$$M_{пр} = M_{опр} + M_{элпр} + З_{зг} = 4,32 + 1,74 + 1,125 = 7,19 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды.

Затраты на основную заработную плату.

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot Сч \cdot Кд$$

где $Сч$ – часовая тарифная ставка рабочего, руб/час;

$Кд$ – коэффициент доплат к основной заработной плате;

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

Для базового варианта

$$З_{оснб} = 0,14 \cdot 34,43 \cdot 1,88 = 9,06 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта: сварщик

$$З_{оснпрсв} = 0,051 \cdot 34,43 \cdot 1,88 = 3,3 \text{ руб.}$$

фрезеровщик

$$З_{оснпрфр} = 0,051 \cdot 28,96 \cdot 1,88 = 2,7 \text{ руб.}$$

Затраты на дополнительную заработную плату

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot К_{доп} / 100$$

где $К_{доп}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на дополнительную

заработную плату.

Базовый вариант

$$Здопб = 9,06 \cdot 12 / 100 = 1,08 \text{ руб}$$

Проектный вариант

$$Здоппр = (3,3 + 2,7) \cdot 12 / 100 = 0,72 \text{ руб.}$$

Фонд оплаты труда

$$ФОТ = Зосн + Здоп.$$

Базовый вариант

$$ФОТб = 9,06 + 1,08 = 10,14 \text{ рублей}$$

Проектный вариант

$$ФОТпр = (3,3 + 2,7) + 0,72 = 6,72 \text{ рубля.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$Осс = ФОТ \cdot Ксс / 100$$

где Ксс – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды, %.

Базовый

$$Оссб = 10,14 \cdot 35,6 / 100 = 3,6 \text{ руб.}$$

Проектный

$$Осспр = 6,72 \cdot 35,6 / 100 = 2,39 \text{ руб.}$$

где Ксс – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды.

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования

Затраты на амортизацию оборудования

$$Аоб = \frac{Коб \cdot тмаш \cdot На \cdot n}{Fэ \cdot 100}$$

где Коб – капитальные вложения в оборудование по базовому и проектному вариантам, руб;

На – норма амортизации оборудования, %;

тмаш – машинное время.

Базовый вариант

$$A_{обб} = \frac{64800 \cdot 0,11 \cdot 18}{2054 \cdot 100} = 0,62 \text{ руб}$$

Проектный вариант

$$A_{обпр} = \frac{64800 \cdot 0,041 \cdot 12}{2054 \cdot 100} = 0,15 \text{ руб}$$

Расходы на электроэнергию

$$P_{э-э} = \frac{M_y \cdot C_{э-э} \cdot t_{ма} \cdot n}{КПД}$$

где M_y – мощность установки, кВт;

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

КПД – коэффициент полезного действия установки;

n – количество установок.

Мощность установки определим по режимам сварки: сила тока и напряжение,

Базовый – сварочная установка

$$M_{уб} = 125 \cdot 23 = 2875 \text{ Вт} = 2,75 \text{ кВт}$$

Тогда

$$P_{э-эб} = \frac{2,75 \cdot 1,79 \cdot 0,11 \cdot 1}{0,7} = 0,77 \text{ руб.}$$

Проектный – сварочная установка

$$M_{упр} = 125 \cdot 23 = 2875 \text{ Вт} = 2,75 \text{ кВт}$$

Мощность фрезерного станка берем по паспорту она 4 кВт.

Тогда

$$P_{э-эпр} = \frac{(2,75 + 4) \cdot 1,79 \cdot 0,041 \cdot 1}{0,7} = 0,7 \text{ руб.}$$

Итого, затраты на оборудование

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э-э}$$

$$Z_{обб} = 0,62 + 0,77 = 1,39 \text{ руб.}$$

$$Z_{обпр} = 0,15 + 0,7 = 0,85 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизацию, содержание и эксплуатацию производственных площадей

Амортизация производственных площадей.

$$A_{пл} = \frac{Ц_{пл} \cdot S \cdot t_{шт} \cdot Н_{амл}}{F_{э} \cdot 100}$$

где $Ц_{пл}$ – стоимость приобретения площадей, руб/м²;

S – площадь, необходимая для выпуска изделий, м²;

$Н_{амл}$ – амортизационные отчисления на площади, %.

$$A_{плб} = \frac{3000 \cdot 10 \cdot 0,14 \cdot 21}{2054 \cdot 100} = 0,42 \text{ руб}$$

$$A_{плпр} = \frac{3000 \cdot 19 \cdot 0,051 \cdot 21}{2054 \cdot 100} = 0,29 \text{ руб}$$

Расходы на содержание и эксплуатацию площадей.

$$Р_{эксп} = С_{эксп} \cdot S \cdot t_{шт} / F_{э}$$

где $С_{эксп}$ – стоимость эксплуатации площадей.

$$Р_{экспб} = 1800 \cdot 10 \cdot 0,14 / 2054 = 1,22 \text{ руб.}$$

$$Р_{эксппр} = 1800 \cdot 19 \cdot 0,051 / 2054 = 0,84 \text{ руб.}$$

Итого, затраты на производственные площади

$$З_{пл} = A_{пл} + Р_{эксп}$$

$$З_{плб} = 0,42 + 1,22 = 1,64 \text{ руб.}$$

$$З_{плпр} = 0,29 + 0,84 = 1,13 \text{ руб.}$$

Значение $С_{тех}$ показателя технологической себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$С_{тех} = М + ФОТ + Осс + Зоб + Зпл$$

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

$$С_{техб} = 8,55 + 10,14 + 3,6 + 1,39 + 1,64 = 25,32 \text{ руб.}$$

$$\text{Стехпр} = 7,19 + 6,72 + 2,39 + 0,85 + 1,13 = 18,28 \text{ руб.}$$

4.6 Цеховая себестоимость

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

$$C_{\text{цех}} = \text{Стех} + \text{Рцех};$$

где Рцех – сумма цеховых расходов, руб.

$$\text{Рцех} = \text{Зосн} \cdot \text{Кцех} / 100$$

где Кцех – коэффициент цеховых расходов, %;

Зосн – основная заработная плата рабочих, руб.

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

$$\text{Сцехб} = 25,32 + 9,06 \cdot 250 / 100 = 25,32 + 22,65 = 47,97 \text{ руб.}$$

$$\text{Сцехпр} = 18,28 + 6 \cdot 250 / 100 = 18,28 + 15 = 33,28 \text{ руб.}$$

4.7 Заводская себестоимость

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

$$C_{\text{зав}} = \text{Сцех} + \text{Рзав} = \text{Сцех} + \text{Кзав} \cdot \text{Зосн} / 100$$

Где Рзав – сумма заводских расходов, руб.

Кзав – коэффициент общезаводских расходов, %.

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

$$\text{Сзавб} = 47,97 + 9,06 \cdot 215 / 100 = 47,97 + 19,48 = 67,45 \text{ руб.}$$

$$\text{Сзавпр} = 33,28 + 6 \cdot 215 / 100 = 33,28 + 12,9 = 46,18 \text{ руб.}$$

4.8 Калькуляция и структура себестоимости

Калькуляцию технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам сведём в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Калькуляция и структура себестоимости

№ п/п	Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
			базов	проект
1	Материалы	М	8,55	7,19
2	Фонд оплаты труда	ФОТ	10,14	6,72
3	Отчисления на социальные нужды	Осс	3,6	2,39
4	Затраты на оборудование	Зоб	1,39	0,85
5	Затраты на площади	Зпл	1,64	1,13
	Себестоимость технологическая	Стех	25,32	18,28
6	Цеховые расходы		22,65	15
	Себестоимость цеховая	Сцех	47,97	33,28
7	Заводские расходы		19,48	12,9
	Себестоимость заводская	Сзав	67,45	46,18

4.9 Расчет экономической эффективности проекта

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

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\%$$

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

$$\Delta t_{шт} = \frac{0,14 - 0,051 \cdot 2}{0,14} \cdot 100\% = 27\%$$

Показатель снижения технологической себестоимости

$$\Delta C_{ТЕХ} = \frac{C_{ТЕХБ} - C_{ТЕХПР}}{C_{ТЕХБ}} \cdot 100\%$$

$$\Delta C_{ТЕХ} = \frac{25,32 - 18,28}{25,32} \cdot 100\% = 27\%$$

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

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}}$$

После подстановки в формулу (4.27) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 27}{100 - 27} = 36\%$$

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

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_T \quad (4.29)$$

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

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (67,45 - 46,18) \cdot 1000 = 21270 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект $\text{Э}_Г$ в сфере производства при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Э}_{\text{ГП}} = [(C_{\text{завб}} + E_n \cdot K_{\text{удб}}) - (C_{\text{завпр}} + E_n \cdot K_{\text{удпр}})] \cdot \Pi_{\text{Г}}$$

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

$$\text{Э}_{\text{ГП}} = [(67,45 + 0,33 \cdot 1,78) - (46,18 + 0,33 \cdot 3,84)] \cdot 1000 = 20582,8 \text{ руб.}$$

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (4.30)$$

$$T_{ок} = \frac{3842 - 1788}{20870} = 0,52 \text{ года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{ср} = 1/T_{ок} = 1/0,09 = 10,0.$$

4.10 Выводы по экономическому разделу

По сравнению с базовым вариантом трудоемкость в проектном варианте снизилась на 27%, себестоимость технологическая снизилась на 27%. Производительность труда повысилась на 36%. Эти результаты достигнуты за счет замены способа нанесения покрытия на изношенную поверхность. Не наплавляем слой, а привариваем пластину. Однако для этого требуются дополнительные капитальные вложения в размере 2054 руб. Срок их окупаемости составит 0,5 года. Имеем экономический эффект в сфере производства.

Предполагается получить суммарный годовой экономический эффект в размере 20582 руб.

Заключение

Технология производства лопаток паровых турбин характеризуется высокой трудоемкостью, для изготовления лопаток применяют дорогостоящие материалы, поэтому важным является продление срока их службы.

Анализ базового технологического процесса операции восстановления хвостовиков лопаток паровых турбин показал, что он не лишен ряда недостатков. Главный из них низкая производительность труда. Условия эксплуатации изделия, размер износа, применяемый материал, позволяют рекомендовать для увеличения производительности приваривать калиброванные прокладки. Данный вариант технологии уменьшает общую протяженность сварных швов, хотя и вводится новая операция – вырезка калиброванных прокладок.

Выполненный анализ возможных вариантов сварки позволил рекомендовать сварку калиброванных прокладок методом TIG. Выбран вспомогательный материал. Выбран вариант неплавящегося электрода – показано что предпочтительным является применение электродом ЭВЛ. Разработан технологический процесс ремонтной сварки калиброванных прокладок, подобрано оборудование.

Выполненный анализ предлагаемой к внедрению технологии показал, что нейтрализация опасных и вредных производственных факторов возможна применяемыми в промышленности методами.

Применение ремонтной сварки по разработанной в бакалаврской работе технологии устранения разнообразных дефектов позволяет получить для предприятия экономический эффект 20582руб.

Учитывая, что общая протяженность швов значительно снизилась, в общем, несмотря на затраты времени по изготовлению прокладок, имеем повышение производительности. Задачи бакалаврской работы выполнены, можно сделать вывод, что цель достигнута

Список используемых источников

1. Молодык, Н. В. Восстановление деталей машин / Н.В. Молодык Н. В., А.С. Зенкин. — М.: Машиностроение, 1989. — 480 с.
2. Климов, А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150 700.62 «Машиностроение» / А.С. Климов. — Тольятти: ТГУ, 2014. — 52с.
3. Сварка в машиностроении. Справочник в 4-х тт.— М.: Машиностроение, 1978.
4. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. — М.: Машиностроение, 1977. — 240 с.
5. Данилевский В.В. Справочник молодого машиностроителя.— М.: Машиностроение, 1974. — 326 с.
6. Антошин, Е.В. Газотермическое напыление покрытий / Е.В. Антошин. — М.: Машиностроение, 1974. — 95 с.
7. Козулин, М.Г. Производство сварных конструкций: Учебн. пособие к дипломному проектированию / М.Г. Козулин. — Тольятти: ТолПИ, 1991 — 62 с.
8. Рыжов, Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. — М.: Машиностроение, 1979. — 176 с.
9. Потапьевский, А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А.Г. Потапьевский. — М.: Машиностроение, - 1974. - 240 с.
10. Березкин, В.В. Технология турбостроения / В. В. Березкин, В. С. Писаренко, С. Ю. Михаэль и др. Л.: Машиностроение, 1980. 720 с.
11. Казаков, Ю.В. Преддипломная практика / Ю.В. Казаков. — Тольятти: ТГУ, 2007. -13 с.
12. Козулин, М.Г. Технология изготовления сварных конструкций. Учеб-метод. пособие к курсовому проектированию / М.Г. Козулин. - Тольятти: ТГУ 2008. - 77 с.

13. Егоров, А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ для бакалавриата и специалитета: учебно-методич. пособие по выполнению дипломного проекта /А.Г. Егоров, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова.- Тольятти.: ТГУ, 2011.- с.8-87.
14. Смирнов, И.В. Сварка специальных сталей и сплавов: Учебное пособие / И.В. Смирнов – Тольятти, издательство ТГУ, 2007. – 301 с.
15. Козулин, М. Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: учеб. пособие для вузов / М. Г. Козулин. - ТГУ; Гриф УМО. - Тольятти: ТГУ, 2010. - 306 с.
16. 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.
17. Горина, Л.Н. Промышленная безопасность и производственный контроль: учеб.-метод. пособие / Л.Н. Горина, Т.Ю. Фрезе. – ТГУ. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. 153 с.
18. Гордиенко, В.А. Экология: базовый курс для студентов небиологических специальностей: учеб. пособие для вузов / В.А. Гордиенко, К.В. Показеев, М.В. Старкова. – СПб.: Лань, 2014. – 633 с.
19. Kadoi, K., Fujinaga, A., Yamamoto, M. et al. The effect of welding conditions on solidification cracking susceptibility of type 310S stainless steel during laser welding using an in-situ observation technique. *Weld World* 57, 383–390 (2013).
20. J. Cao, Y. Gong, K. Zhu, Z.G. Yang, X.M. Luo, F.M. Gu, Microstructure and mechanical properties of dissimilar materials joints between T92 martensitic and S304H austenitic steels, *Mater. Des.* 32 (5) (2011) 2763–2770.
21. Dömstedt, P., Lundberg, M. & Szakalos, P. Corrosion Studies of Low-Alloyed FeCrAl Steels in Liquid Lead at 750 °C. *Oxid Met* 91, 511–524 (2019).
22. Ishigami, A., Roy, M.J., Walsh, J.N. et al. The effect of the weld fusion zone shape on residual stress in submerged arc welding. *Int J Adv Manuf Technol* 90, 3451–3464 (2017).

23. 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.
24. 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.
25. Горина, Л.Н. Промышленная безопасность и производственный контроль: учеб.-метод. пособие / Л.Н. Горина, Т.Ю. Фрезе. – ТГУ. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. 153 с.
26. Гордиенко В.А. Экология: базовый курс для студентов небиологических специальностей: учеб. пособие для вузов / В.А. Гордиенко, К.В. Показеев, М.В. Старкова. – СПб.: Лань, 2014. – 633 с.
27. Краснопевцева И.В. / Выполнение курсовой работы по дисциплине «Организация машиностроительного производства»: Методическое пособие для вузов / Краснопевцева И.В. М-во обр. и науки РФ, Тол. гос. универ. – Тольятти: ТГУ, 2015. - 31 с.
28. Экономика и организация производства в дипломных проектах: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / К.М. Великанов, Э.Г. Васильева, В.Ф. Власов и др.; Под. Общ. ред. К.М. Великанова – 5-е изд., перераб. и доп. – Л: Машино-строение отделение, 1996 – 285 с.
29. Амирджанова И.Ю. Правила оформления выпускных квалификационных работ: учебно-методическое пособие / И.Ю. Амирджанова, Т.А. Варенцова, В.Г. Виткалов, А.Г. Егоров, В.В. Петрова – Тольятти: ТГУ, 2019, 145 с.
30. Горина Л.Н., Фесина М.И. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие. -Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. -51 с.
31. 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.
32. Переплётчиков, Е.Ф. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры / Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 56–58.
33. Лебедев, В.А. Зависимость между скоростями импульсной подачи проволоки и ее плавления при сварке с короткими замыканиями / В.А. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2007. – № 4. – С. 19–22.
34. Федько, В.Т. Импульсная подача сварочной проволоки с управляемым переносом электродного металла / В.Т. Федько, А.В. Крюков, С.А. Солодский // Наука – Образование – производство: материалы научно технической конференции. – Нижний Тагил, 2004. – Т.2. – С. 100–103.
35. Лебедев, В.А. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев, И.В. Лендел, А.В. Яровицын [и др.] // Автоматическая сварка. – 2006. – № 3. – С. 25–30.