

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)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс изготовления памятника воину-солдату
под Ржевом

Обучающийся

К.М. Альмагамбетов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении элементов памятника из бронзовых сплавов.

Для изготовления бронзовой скульптуры применяются заготовки из оловянной бронзы БрО5Ц5С5. В ходе анализа материала сформулированы затруднения при сварке оловянных бронз.

Сформулированы недостатки базовой технологии. Для повышения эффективности сварочных процессов предлагается применить разработку отечественных учёных-сварщиков, которая позволяет существенно повысить качество и производительность механизированной сварки в защитных газах за счёт применения технологии импульсного управления сварочной дугой.

Составлен проектный технологический процесс ремонтной сварки.

Выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, действие которых сопровождает применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Также рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности и проведения экологического мониторинга рассматриваемого технического объекта.

Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 52 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,57 млн. рублей.

Результаты выпускной квалификационной работы предлагаются к внедрению при изготовлении элементов бронзовой скульптуры.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние сварки элементов бронзовых скульптур.	7
1.1 Описание объекта и условия его эксплуатации.	7
1.2 Сведения о материале изделия	10
1.3 Описание базовой технологии сварки фрагментов скульптуры.	13
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	16
2 Проектная технология сварки элементов бронзовой скульптуры.	18
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	18
2.2 Повышение эффективности способа сварки за счёт импульсного управления дугой.	22
2.3 Описание проектного технологического процесса сварки.	26
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений.	29
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта	29
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков	30
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков.	32
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта.	34
3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности.	35
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.	37
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям.	37
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования	39
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного	

и базового вариантов технологии.	40
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам	42
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии.	46
4.6 Показатели экономической эффективности.	48
Заключение	50
Список используемой литературы и используемых источников.	52

Введение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при строительстве и ремонте бронзовой монументальной скульптуры. В качестве предмета исследования принят памятник воину-солдату под Ржевом, строительство которого закончено в 2020 году. Несмотря на то, что сварочные работы на данном памятнике уже проведены, в России предстоит проведение ремонтных работ на аналогичных памятниках. Также следует принимать во внимание возможность строительства на территории России подобных мемориалов памяти и скорби.

Основным материалом для изготовления бронзовых скульптур является алюминиевая бронза. Комплексная технология отливки и сварки фрагментов позволяет во-первых, сократить затраты на литье, так как уменьшается масса каждой заготовки. Во-вторых, может быть существенно повышено качество и сложность исполнения заготовок. В-третьих, применение сварочных технологий позволяет многократно укрупнять фрагменты скульптуры, что делает возможным увеличение размеров возводимых памятников.

Болтовое крепление фрагментов скульптуры на стальном каркасе позволяет, во-первых, уменьшить затраты бронзы, а во-вторых, обеспечить ремонтпригодность памятника.

Сварка оловянных бронз затруднена по причине высокой склонности металла шва к образованию пор и горячих трещин. Проблемы свариваемости оловянных бронз до сих пор до конца не разрешены.

На основании вышеизложенного следует признать актуальность поставленной цели – повышение эффективности сварочных работ при строительстве и ремонте бронзовой монументальной скульптуры.

1 Современное состояние сварки элементов бронзовых скульптур

1.1 Описание объекта и условия его эксплуатации

Во время Великой Отечественной войны под Ржевом проходил один из самых продолжительных и драматичных эпизодов, сопровождающийся значительными потерями с обеих сторон. Длительность боёв составила порядка одного года, потери советской стороны составили порядка 430 тысяч человек убитыми. При этом по другим оценкам безвозвратные потери советской армии (убитые и тяжело раненные) составили около 1,4 миллиона человек. По планам советского командования продолжительность Ржевской операции должна была составить одну неделю. За это время планировалось освободить город Ржев. Однако, эти планы были нарушены организованной обороной немецкой стороны, которая стремилась удержать за собой стратегически выгодный плацдарм, включая города Вязьма, Сычевка и Ржев. В результате вместо одной недели бои растянулись на 13 месяцев. Было проведено три наступательные операции против группы армий «Центр», советская пехота наступала волнами, солдаты шли по трупам убитых товарищей. Именно тогда возникли такие многоговорящие словосочетания, как «долина смерти», «роща смерти». Солдаты наступали по открытой, хорошо пристрелянной немцами местности. Рассказывали, что немецкие пулемётчики испытывали жесточайшие нервные потрясения от того количества плохо вооружённых идущих на верную смерть солдат, которое им приходилось ежедневно убивать. Воспоминания участников Ржевской операции, содержащие ужасающие и возмущающие детали, зафиксированы на видео и их можно найти в сети Интернет [5], [19], [23].

О гигантском количестве жертв Ржевской операции может косвенно свидетельствовать та скорость, с которой был собраны деньги на строительство мемориала. Хоть в сборе средств принимало участие все население России и Беларуси, основное их количество было собрано

родственниками участников сражений. При этом зачастую переводы оформлялись от имени погибших на полях сражений солдат, средняя сумма перевода составила 5 тысяч рублей.

По оценке современных исследователей Второй Мировой войны, победа под Ржевом является переломным моментом. В 2017 году общество ветеранов выступило с инициативой создания мемориального комплекса, посвященного битве под Ржевом. Идея была поддержана сначала Российским военно-историческим обществом, а потом и руководством страны. Летом 2017 года принято решение о создании мемориала, был объявлен конкурс, в результате которого в 2018 году из 32 проектов был выбран проект-победитель под авторством скульптора Андрея Коробцова и архитектора Константина Фомина. Руководителем работ стал Андрей Кончаловский [7]. На рисунке 1 представлен творческий коллектив.



Рисунок 1 – Творческий коллектив (слева направо): Константин Фомин, Андрей Коробцов и Андрей Кончаловский

Строительство мемориала проводилось на болотистой местности рядом с трассой М-9 «Рига-Москва». На месте возведения мемориала проводились сапёрные работы, в результате разминирования было обнаружено 500 опасных объектов. Также были проведены работы по поиску останков солдат.

Центральной частью мемориала стала фигура воина-солдата, которая представлена на рисунке 2. Эта колоссальная статуя имеет высоту 25 метров

и весит около 200 тонн. При этом бронзовая часть фигуры солдата имеет массу 80 тонн, а металлический каркас имеет массу 110 тонн.



Рисунок 2 – Фигура воина-солдата, центральная часть мемориала Ржевской битвы

Памятник изображает молодого воина в гимнастерке и развивающейся за спиной плащ-палатке. Основным творческим решением стало превращение плащ-палатки, которая закрывает воина со спины, в летящих журавлей, количество которых составляет 35 штук. Такое необычно решение было навеяно как минимум, двумя эпизодами из послевоенной культуры. Первый – начало стихотворения «Журавли» Расула Гамзатова, которое было переложено на музыку Яном Френкелем «...полегли когда-то, а превратились в белых журавлей...». Вторым источником вдохновения стала фильм «Баллада о солдате» Григория Чухрая, в котором присутствует сцена безногого солдата на костылях, при ходьбе которого подол плаща развивается так, как будто воин летит по воздуху.

Фигура воина-солдата отлита по частям из оловянной бронзы. Сначала была вылеплена из гипса в натуральную величину фигура, для чего было

использовано около 100 тонн голубой глины. Далее фигуру формовали и разделили на 600 частей, каждую часть отливали из бронзы отдельно. Масса каждой части составляла 50...100 кг. На рисунке 3 представлены примеры таких частей, из которых потом собирали и сваривали саму скульптуру.



Рисунок 3 – Примеры фрагментов памятника перед сборкой и сваркой

На рисунке 4 представлены этапы создания крупного фрагмента скульптуры. На рисунке 4-а представлены отлитые в бронзе части лица. На рисунке 4-б представлена собранная и сваренная голова. На рисунке 4-в представлен процесс сборки и сварки торса. Сваренные фрагменты доставлялись на строительную площадку и крепились при помощи болтов на стальной каркас. Процесс установки и крепления головы представлен на рисунке 5.



Рисунок 4 – Этапы создания фрагментов скульптуры



Рисунок 5 – Процесс установки головы фигуры воина-солдата

Сварку фрагментов скульптуры выполняли с применением аргонодуговой сварки с присадочной проволокой. Всего на сварку памятника было затрачено 30 километров медной проволоки. В настоящий момент в Российской Федерации предстоит проведение ремонта значительного количества бронзовых скульптур. Кроме того, по результатам исторических событий, возможно, в ближайшее время потребуется создание ещё нескольких мемориалов памяти и скорби. На основании этого следует отметить высокую актуальность вопроса повышения эффективности сварочных технологий при ремонте и строительстве бронзовых скульптур [18].

1.2 Сведения о материале изделия

Для изготовления деталей фрагмента скульптуры был использован литейной оловянный сплав БрО5Ц5С5, содержание химических элементов в котором представлено в таблице 1. Температура плавления такой бронзы составляет 977...985 °С.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в сплаве БрО5Ц5С5

Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	P	Al	Si	Sb	примесей
80,7-88	4-6	4-6	4-6	<0,4	<0,1	<0,05	<0,05	<0,5	Всего < 1,3

Наряду с оловом в бронзе в качестве легирующих элементов применён цинк и свинец.

Добавление в бронзу цинка позволяет повысить коррозионную стойкость и добиться равномерного распределения свинца по объему. Также применение цинка позволяет снизить содержание в бронзе олова и свинца, которые намного дороже.

Добавка в бронзу свинца повышает плотность отливок, позволяет снизить количество дефектов при литье, улучшить обрабатываемость с применением механических способов.

Добавление некоторого количества фосфора в бронзу позволяет повысить жидкотекучесть бронзы. Также фосфор вступает в роли элемента-раскислителя, который позволяет снизить пористость при сварке.

Никель в рассматриваемый сплав не добавляется, так как на оловянных бронзах он положительно себя практически не проявляет [15]

При сварке оловянных бронз возникают многочисленные трудности, от успешного решения которых зависит конечный результат проведения технологии сварки.

Первой трудностью является высокая склонность металла шва к образованию пор. При этом следует отметить, что оловянные бронзы склонны к порам намного больше, чем другие сплавы на основе меди.

Второй трудностью является образование большого числа горячих трещин в металле сварного шва и зоне термического влияния.

Повышенное образование пор при сварке оловянных бронз объясняется выделением водорода и паров воды из расплавленного металла при его кристаллизации [9], [17], [21].

Для того, чтобы уменьшить образование пор при сварке бронз, следует применять сварочные материалы, которые обеспечивают снижение

парциального давления водорода в атмосфере дуги. Это может быть достигнуто при увеличении газообразующих составляющих в обмазке электрода для ручной дуговой сварки или шихте порошковой проволоки. Также возможно легирование проволоки активными раскислителями, в качестве которых выступают кремний, алюминий, фосфор и марганец [17].

При сварке бронз возникает большое количество кристаллизационных трещин, которые зарождаются на границе сплавления и имеют вид отдельных проникновений между зёрнами. Такой зародыш трещины представлен на рисунке 6. Причиной образования горячей трещины является наличие жидкой прослойки между кристаллитами при действии растягивающих напряжений. Количество жидкой прослойки между кристаллитами определяется находящимися в бронзе примесями, в качестве которых выступают фосфор, висмут и сера.



Рисунок 6 – Микроструктура зоны сплавления

Также горячие трещины при сварке оловянных бронз возникают по причине образования хрупкой δ -фазы, в составе которой содержится значительное количество олова.

Следует особо отметить недостаточное изучение причин образования трещин и пор при сварке бронз.

Также при сварке бронз возможно образование участков с неравномерными свойствами, что связано ликвацией олова при сварочных

температурах. Для того, чтобы уменьшить ликвацию олова и повысить механические свойства соединений, необходимо назначать такие параметры режима сварки и соблюдать такую технику сварки, чтобы получить минимальную погонную энергию. Также следует соблюдать перерывы при сварке, что позволяет обеспечить равномерное распределение температуры по изделию. Также для сварки следует применить материалы с пониженным содержанием олова относительно основного металла [1], [24].

1.3 Описание базовой технологии сварки фрагментов скульптуры

В настоящей выпускной квалификационной работе рассмотрен случай сварки элементов фрагмента скульптуры толщиной 6 мм и 10 мм.

При помощи пневматической шлифовальной машинки выполняют подготовку кромок. Применяется V-образная разделка с углом раскрытия 60...70°. При сборке следует обеспечить зазор 2...3 мм. Притупление кромок не выполняется. Для облегчения сборки элементы кромки могут быть подточены с получением притупления до 1 мм.

Перед сваркой следует выполнить очистку поверхности деталей на ширину 20 мм от края. Для этого применяется шлифовальный круг. Обезжиривание проводят смоченной ацетоном тканью. Далее кромки протирают сухой тканью. При очистке должны быть устранены окислы, масло, жир и другие загрязнения.

Сборку элементов перед сваркой следует выполнять с зазором по верхнему пределу. Это делается ввиду того, что при сварке бронз металл будет сильно утягиваться.

Температура предварительного подогрева составляет 250...350 °С. Предварительный подогрев ведут газовым пламенем. При этом следует избегать локального перегрева поверхности заготовок, так как это может привести к выплавлению из них олова. Температуру предварительного подогрева контролируют при помощи контактной термопары ТК-5.

При выборе параметров режима рассматривалось значение тока от 190 А до 270 А. При сварке элементов толщиной 6 мм принималась сила сварочного тока 190...230 А. При сварке элементов толщиной 10 мм принималась сила сварочного тока 250...270 А. Напряжение на дуге в обоих случаях составляло 10...15 В. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности. Расход аргона составляет 300...600 литров в час.

В качестве защитного газа использовался аргон. Неплавящийся электрод имел диаметр 5 мм.

В качестве источника питания применялся сварочный инвертор Сварог TIG 200P, который представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Сварочный инвертор Сварог TIG 200P

Прихватки следует выполнять той же проволокой и на тех же режимах, что и сварку основного шва. В противном случае возможно повышение вероятности образования трещин в сварном шве.

Длина прихваток составляет 20...30 мм, расстояние между прихватками составляет 150...300 мм.

После выполнения прихваток проводят их визуальный контроль. К качеству выполнения прихваток предъявляются такие же требования, как и к основному шву. Не допускаются трещины всех видов и направлений,

подрезы, непровары, наплывы. В случае обнаружения дефекта в прихватке, дефектная прихватка удаляется полностью и переваривается.

При сварке корневого слоя шва прихватки не срезаются, а перекрываются и входит в сварной шов.

Сварку ведут без подкладки. Сварку следует вести напроход без поперечных колебаний.

При заполнении разделки применяют присадочную проволоку. В качестве присадочного материала использовались прутки диаметром 3 мм из сплава Бр05Ц5С5. Сварку следует вести с плавными поперечными колебаниями горелки.

Конец сварочной проволоки должен всегда находиться в зоне защитного газа. Проволоку следует подавать перпендикулярно неплавящемуся электроду.

При обрыве дуги необходимо выполнять плавное гашение, следует медленно перевести горелку на ранее выполненный участок сварного шва на расстояние 10...15 мм. После выключения тока продолжают подавать защитный газ в течение 10...15 с, защищая место сварки. После этого отводят горелку и выключают подачу газа. Сварку следует выполнять с минимальным количеством обрывов дуги, тщательно заправляя кратер без применения присадочной проволоки.

Перед наложением очередного валика следует осматривать предыдущий валик на предмет обнаружения дефектов. Не допускаются трещины всех видов и направлений, подрезы, непровары, наплывы. В случае обнаружения дефекта его следует удалить и переварить дефектное место.

После сварки выполняют зачистку усиления сварного шва до уровня основного металла. После зачистки проводят визуальный контроль качества. Не допускаются трещины всех видов и направлений, подрезы, непровары, наплывы. В случае подозрения на наличие внутренних дефектов по результатам визуального контроля проводят ультразвуковой контроль.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных работ при строительстве и ремонте бронзовой монументальной скульптуры.

Для изготовления бронзовой скульптуры применяются заготовки из оловянной бронзы БрО5Ц5С5.

В ходе анализа материала сформулированы затруднения при сварке оловянных бронз. Первой трудностью является высокая склонность металла шва к образованию пор. При этом следует отметить, что оловянные бронзы склонны к порам намного больше, чем другие сплавы на основе меди. Второй трудностью является образование большого числа горячих трещин в металле сварного шва и зоне термического влияния.

Базовая технология предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

Первым недостатком является низкая производительность процесса, кроме того, приходится постоянно выполнять заточку неплавящегося электрода, что также снижает производительность. Вторым недостатком является необходимость использования в качестве защитного газа дорогостоящих аргона, гелия или их смесей, что существенно повышает стоимость аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Третьим недостатком является высокая стоимость и сложность обслуживания сварочного оборудования. Четвёртым недостатком является необходимость привлечения сварщиков высокой квалификации.

На основании вышеизложенного могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки. При этом следует рассмотреть альтернативные способы сварки, дать им экспертную оценку по критериям технологичности, экономичности и

долговечности сварных соединений. Далее необходимо предложить способ сварки, который будет использован для построения проектной технологии.

Второй задачей является построение проектной технологии сварки. При этом следует дать перечень технологических операций, которые будут выполняться при осуществлении процесса. Также необходимо сформулировать требования к выполнению каждой операции и назначить параметры режима обработки, выбрать необходимое технологическое оборудование.

Третьей задачей, которая будет решаться в оценочном блоке является оценка экологичности предложенных в работе решений и на предмет обеспечения безопасности труда. Следует составить перечень опасных и вредных производственных факторов, предложить мероприятия и технические средства для их уменьшения или устранения, дать рекомендации по снижению экологических рисков [4], [6].

Четвёртой задачей является оценка возможного экономического эффекта при внедрении предлагаемых решений в производство. Для этого следует рассчитать себестоимость производства при использовании базовой и проектной технологии, рассчитать и сравнить экономические показатели и сделать вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений [12], [13].

2 Проектная технология сварки элементов бронзовой скульптуры

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Описанные выше трудности сварки бронз частично преодолеваются при применении различных способов сварки. Так, для сварки конструкций из оловянных бронз нашли применение такие способы [15], [22]:

- ручная дуговая варка покрытыми электродами,
- сварка в среде защитных газов плавящимся электродом;
- сварка в инертных газах неплавящимся электродом;
- сварка порошковой проволокой.

Применение сварки под флюсом, электрошлаковой сварки и плазменной сварки в настоящей выпускной квалификационной работе не рассматриваем, так как эти способы эффективны при выполнении работ в массовом производстве. Рассматриваемая конструкция относится к единичному производству, поэтому автоматические и автоматизированные способы сварки применительно к ней эффективными не будут. Также не следует рассматривать газопламенную сварку, так как этот процесс имеет крайне малую производительность и применяется при малых объемах наплавленного металла.

Широко применяется сварка медных сплавов покрытыми электродами. Состав электродов для сварки бронз продолжает совершенствоваться [14], [15]. Для сварки бронз предложен широкий выбор электродов [8]. В качестве стержней для электродов применяется тянутая проволока и литые прутки диаметром не менее 6 мм. В качестве материала для изготовления стержней электродов могут быть применены сплавы БрОФ 6.5-0.15 (6...7 % олова, 0,1...0,25 % фосфора, остальное медь) или БрОЦ4-3 (3,5...4 % олова, 2,7...3,3 % цинка, остальное медь). Наиболее часто для сварки оловянных бронз используются электроды ОЗБ-2М, ОК 94.25, УТР-32? As Bronz, СР-33 [15].

Следует отметить высокую производительность ручной дуговой сварки, которая достигается при условии строго соблюдения требований технологии и правильно назначенных параметрах режима сварки.

Для питания сварочной дуги могут быть применены стандартные источники питания постоянного тока с крутопадающей вольтамперной характеристикой. Сварку ведут постоянным током на обратной полярности. Сварку следует вести в нижнем положении и близким к нему. При этом поддерживают минимальную длину дуги.

В качестве недостатка ручной дуговой сварки бронзовых сплавов следует указать необходимость последовательного удаления прихваток по мере выполнения сварного шва. Прихватки удаляют механическим путём и переваривать их нельзя.

Также на производительности ручной дуговой сварки отрицательно сказывается необходимость очистки каждого валика от шлака.

При использовании ручной дуговой сварки получаются швы с удовлетворительным качеством и прочностными свойствами. При несоблюдении технологии сварки может наблюдаться зашлаковывание сварного шва.

Наиболее распространённым способом при сварке конструкции из бронз следует считать сварку в инертных газах неплавящимся электродом. Это вид сварки позволяет сваривать стыковые соединения бронзовых заготовок толщиной до 25 мм. Особенно ярко положительные качества проявляются при односторонней сварке с полным проваром в различных пространственных положениях. Возможность сварки в различных пространственных положениях особенно важна при выполнении монтажных швов и швов со сложной конфигурацией.

В качестве защитного газа может быть применён чистый аргон или смесь аргона с гелием в отношении 70 % аргона + 30 % гелия.

Сварка конструкций из бронзы может быть выполнена с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Для механизированной сварки применяются стандартные источники питания постоянного тока с жёсткой вольтамперной характеристикой. Механизированную сварку бронз можно вести как в среде аргона, так и в смеси аргона и азота. Также может быть применён чистый азот.

При применении в качестве защитного газа аргона стабильный характер переноса электродного металла наблюдается при использовании проволоки диаметром 1 мм и импульсного тока 115...190 А, напряжение при этом составляет 22...34 В. При использовании проволоки диаметром 1,4 мм сила тока в импульсах должна быть в диапазоне 190...320 А при напряжении 24...31 В.

При применении в качестве защитного газа смеси «аргон+азот» наблюдается устойчивое горение дуги, но существенно усиливается разбрызгивание электродного металла. Также при сварке на форсированных режимах наблюдается повышение вероятности образования горячих трещин в шве.

Применение в качестве защитного газа чистого азота позволяет получить устойчивое горение сварочной дуги, но процесс разбрызгивания усиливается. Также существует вероятность появления трещин в сварном шве, которая повышается при увеличении жёсткости свариваемых элементов.

Зачастую механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения применяют в комбинации с аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом. При этом прихватки и корневой слой шва выполняют сваркой неплавящимся электродом, а заполнение разделки ведут механизированной сваркой.

Следует отметить сложность изготовления присадочных материалов для сварки оловянных бронз. Оловянные бронзы обладают низкими деформационными свойствами, в результате чего изготовление проволок из них крайне затруднено. Особенно сильно проявляется проблема при изготовлении проволоки малого диаметра.

Решение этой проблемы возможно при применении сварки порошковыми проволоками. Порошковые проволоки позволяют получить требуемый состав наплавленного металла [2].

Для сварки и наплавки бронз предложены порошковые проволоки, которые позволяют получать наплавленный металл составом, согласно таблице 2.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в наплавленном металле при использовании различных порошковых проволок [10]

Марка проволоки	Cu	Sn	Zn	Pb	P
ПП-БрОФ	основа	9-10	-	-	0,4-0,8
ПП-БрОЦ	основа	9-10	1,5-3	-	
ПП-БрОЦС	основа	5-6,5	5-6,5	2-4	
ПП-БрОС	основа	7,5-9	-	18-21	

На основании проведённого анализа для построения проектной технологии сварки предлагается применить механизированную сварку порошковой проволокой в защитном газе.

Использование порошковой проволоки позволяет устранить трудности, которые присущи изготовлению проволоки сплошного сечения для сварки бронз.

Также следует принять во внимание, что сварка в среде защитного газа позволит существенно снизить порообразование и повысить коррозионную стойкость сварных швов.

Для повышения эффективности сварки и получения оптимальной структуры металла в сварном шве применим импульсное управление сварочной дугой, разработки в области которого ведутся отечественными и зарубежными инженерами-сварщиками. Достигнуты значительные результаты, удалось существенно снизить разбрызгивание, улучшить внешний вид сварных швов и получить оптимальную структуру металла сварного шва. Также существенно снижается опасность получения пор и трещин за счёт оптимизации термического цикла при сварке.

2.2 Повышение эффективности способа сварки за счёт импульсного управления дугой

Для повышения эффективности сварки предлагается использовать схему импульсного управления сварочной дугой, предложенной отечественными авторами [16]. До настоящего времени питание сварочной дуги выполняли двумя видами тока: постоянным и переменным. Некоторое повышение эффективности сварки и расширение технологических возможностей достигается при импульсном управлении постоянным током, которое позволяет улучшить условия перехода электродного металла в сварочную ванну. При этом частота пульсаций тока составляет порядка 10 Гц.

Предлагаемое изобретение предусматривает сварку однополярными импульсами тока, частота следования которых приближается к ультразвуковой, а нарастание и спад сопровождается модуляцией. На рисунке 8 представлена осциллограмма напряжений при сварке по указанному способу. При этом удаётся обеспечить протекание оптимальных металлургических процессов в сварочной ванне. На металл сварочной ванны оказывается ультразвуковое и электродинамическое воздействие, что позволяет измельчение структуры металла в сварном шве и перемешивание свинца, что особенно важно при сварке бронз с применением порошковых проволок с высоким содержанием свинца в шихте. Также за счёт ультразвуковой частоты следования импульсов обеспечивается усиленная ионизация дугового промежутка, что позволяет повысить пространственную стабильность сварочной дуги и стабилизировать процесс переноса электродного металла, который происходит без брызг даже на форсированных режимах. Ультразвуковое воздействие на металл сварочной ванны повышает эффективность высвобождения растворённых в металле газов, что существенно повышает плотность металла сварного шва и

позволяет релаксировать напряжениям. Таким образом, уменьшается порообразование и не возникают горячие трещины при сварке бронз.

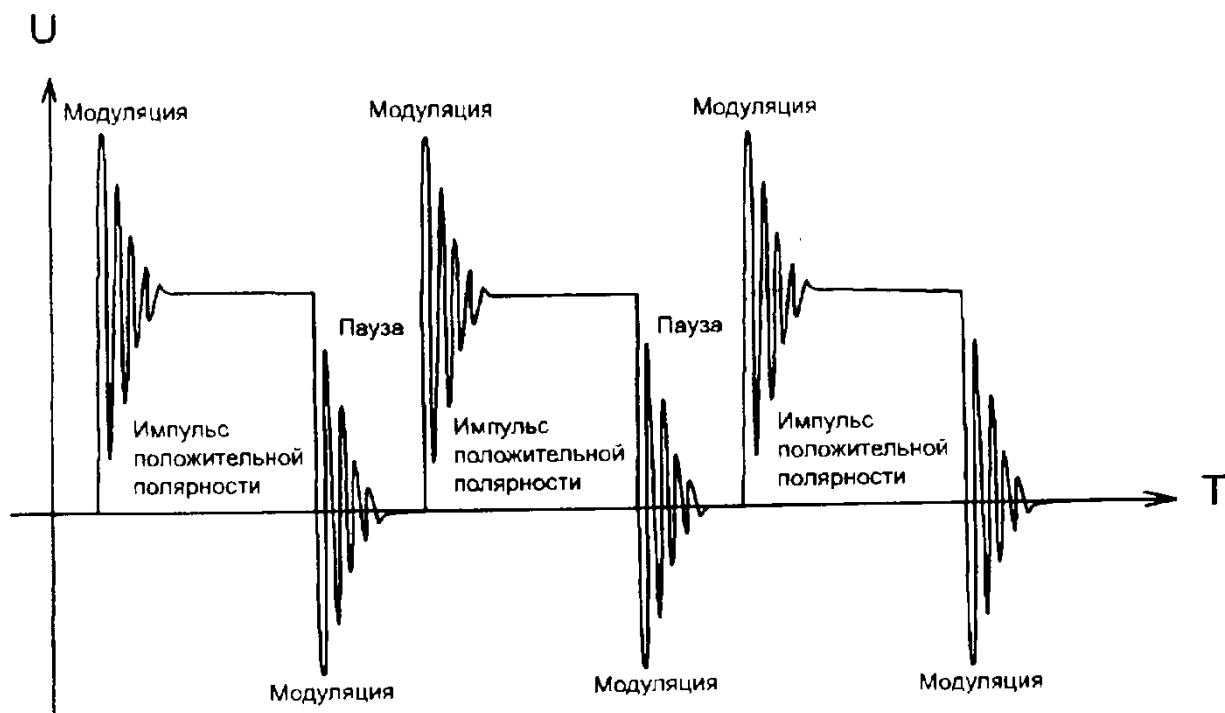


Рисунок 8 – Осциллограмма напряжений при сварке согласно [16]

Таким образом, авторами предлагается новый способ сварки – электроимпульсный. Этот способ обладает значительной универсальностью и может быть использован для сварки как сталей, так и цветных сплавов. При традиционных способах сварки стабильное горение дуги обеспечивается натрий-калиевыми соединениями, которые имеют малый потенциал ионизации. В предлагаемом способе ионизация дугового промежутка происходит за счёт действия синусоидальных напряжений частотой 1...20 МГц. Эти синусоидальные напряжения являются составляющими сварочных импульсов, как показано на рисунке 8. На рисунке 9 представлена функциональная схема предлагаемого источника питания.

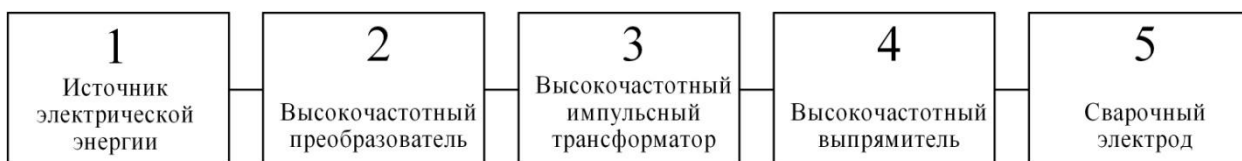


Рисунок 9 – Функциональная схема предлагаемого источника питания

В состав предлагаемого источника питания, который представлен на рисунке 8, входит стандартный сварочный выпрямитель (обозначен на схеме позицией 1) и высокочастотный преобразователь (обозначен на схеме позицией 2), который преобразует напряжение источника питания в разнополярные прямоугольные импульсы. Далее в схему включен высокочастотный импульсный трансформатор (обозначен на схеме позицией 3), который имеет падающую вольтамперную характеристику. Напряжение с высокочастотного трансформатора 3 поступает на высокочастотный выпрямитель (обозначен на схеме позицией 4). Далее напряжение с высокочастотного выпрямителя 4 поступает на сварочный электрод (обозначен на схеме позицией 5).

Для того, чтобы получить падающую вольтамперную характеристику высокочастотного импульсного трансформатора, его выполняют на основе магнитопровода с начальной магнитной проницаемостью в диапазоне 10000...50000 и граничной рабочей частотой не менее 200 кГц. Индуктивность первичной обмотки трансформатора составляет 30...100 Мг. Для того, чтобы получить необходимые частотные свойства обмоток трансформатора, их выполняют однорядными с толщиной изоляции провода 0,5...2 мм.

Сварочный электрод может быть представлен в виде совокупности доменов, каждый из которых состоит из кристаллитов. Кристаллит условно может быть охарактеризован как малый объём металла с минимальными нарушениями в кристаллической решётке. Отрывающаяся от электрода капля расплавленного металла представляет собой набор доменов кристаллитов, которые частично оплавляются, но не потеряли своей структуры. Действующие микроимпульсы сварочного тока приводят к образованию магнитного поля, которое создает электродинамические силы, действующие в течение импульса тока и приводящие к отрыву микрокапли металла от электрода. Под действием электродинамических сил эта микрокапля движется вдоль оси сварочного электрода и перемещается в сварочную

ванну. Такой микрокапельный перенос электродного металла характеризуется высокой стабильностью независимо от пространственного положения, поэтому одинаково высокое качество сварного шва может быть получено как при нижнем, так и верхнем и потолочном положении.

Также микрокапли металла оказывают механическое воздействие на поверхность сварочной ванны, создавая в металле сварного шва ультразвуковые колебания. В результате происходит благоприятное перераспределение легирующих элементов, измельчение структуры металла сварного шва и релаксация напряжений. Также интенсивное перемешивание металла сварочной ванны позволяет существенно снизить тепловложение, позволяет устранить образование пор при кристаллизации. На рисунке 10 представлена структура металла сварного шва при традиционной сварке (рисунок 10-а) и при предлагаемом способе сварки (рисунок 10-б).

Ещё одним положительным свойством предлагаемого способа сварки является интенсивное вымывание шлаковых включений из металла сварочной ванны, что особенно важно при сварке порошковой проволокой.

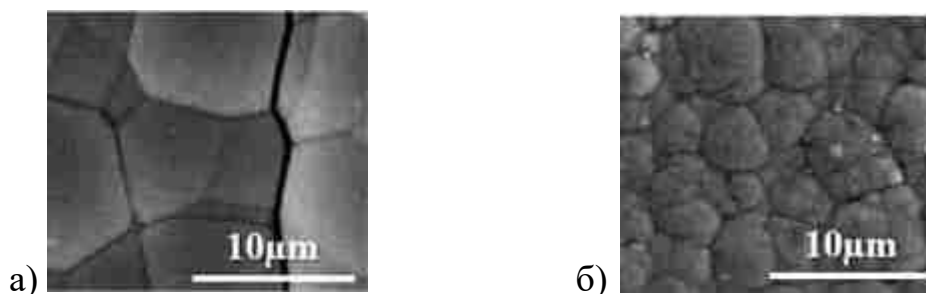


Рисунок 10 – Структура наплавленного металла при традиционной дуговой сварке (а) при предлагаемой микроимпульсной сварке (б)

Также следует отметить ещё одну особенность предлагаемого способа сварки. Под действием микроимпульсов при отрыве частично оплавленной капли происходит захлаживание сварочного электрода, в результате он не перегревается.

Длительность импульсов составляет 2...20 мкс, длительность паузы между импульсами составляет 0,3...18 мкс. Частота пульсаций в импульсе составляет 1...20 МГц.

2.3 Описание проектного технологического процесса сварки

При помощи пневматической шлифовальной машинки выполняют подготовку кромок. Применяется V-образная разделка с углом раскрытия 40...50°. В базовой технологии угол раскрытия кромок составляет 60...70°. Уменьшение угла раскрытия кромок позволяет, во-первых, уменьшить трудозатраты на подготовку кромок, во-вторых, уменьшить затраты сварочной проволоки и продолжительность сварочных работ при заполнении разделки. Также за счёт уменьшения времени сварки снижается тепловое воздействие на основной металл, что позволяет повысить качество сварки.

Базовая технология не позволяла применить сварку в узкую разделку, из-за трудностей сварки оловянистых бронз, описанных в первом разделе настоящей выпускной квалификационной работы. Применение микроимпульсной сварки позволяет устранить все описанные трудности и применить узкую разделку.

При сборке следует обеспечить зазор 2...3 мм. Притупление кромок не выполняется. Для облегчения сборки элементов кромки могут быть подточены с получением притупления до 1 мм.

Перед сваркой следует выполнить очистку поверхности деталей на ширину 20 мм от края. Для этого применяется шлифовальный круг. Обезжиривание проводят смоченной ацетоном тканью. Далее кромки протирают сухой тканью. При очистке должны быть устранены окислы, масло, жир и другие загрязнения.

Предварительного подогрева при сварке по базовой технологии не проводится, так как применение порошковой проволоки и микроимпульсной сварки позволяет отказаться от подогрева деталей перед сваркой.

Для сварки в качестве защитного газа применяется аргон, в качестве сварочной проволоки – порошковая проволока ПП-БрОЦС диаметром 3 мм.

В качестве источника питания сварочной дуги применяется сварочный инверторный полуавтомат Сварог Real Smart MIG 200, представленный на

рисунке 10, силовая электрическая схема которого переработана с возможностью выполнения микроимпульсной сварки.



Рисунок 10 - Полуавтомат Сварог Real Smart MIG 200

Прихватки следует выполнять той же проволокой и на тех же режимах, что и сварку основного шва. В противном случае возможно повышение вероятности образования трещин в сварном шве.

Длина прихваток составляет 20...30 мм, расстояние между прихватками составляет 150...300 мм.

После выполнения прихваток проводят их визуальный контроль. К качеству выполнения прихваток предъявляются такие же требования, как и к основному шву. Не допускаются трещины всех видов и направлений, подрезы, непровары, наплывы. В случае обнаружения дефекта в прихватке, дефектная прихватка удаляется полностью и переваривается.

При сварке корневого слоя шва прихватки не срезаются, а перекрываются и входят в сварной шов.

Сварку ведут без подкладки. Сварку следует вести напроход без поперечных колебаний.

После визуального контроля качества выполнения корневого слоя шва выполняют заполняющую и облицовочную части шва.

Сварку следует вести с плавными поперечными колебаниями горелки. При обрыве дуги необходимо выполнять плавное гашение, следует медленно перевести горелку на ранее выполненный участок сварного шва на расстояние 10...15 мм. После выключения тока продолжают подавать защитный газ в течение 10...15 с, защищая место сварки. После этого отводят горелку и выключают подачу газа. Сварку следует выполнять с минимальным количеством обрывов дуги.

Параметры режима при выполнении корневого слоя и прихваток. Сила сварочного тока составляет 150...200 А, напряжение на дуге 17...20 В, скорость подачи проволоки 88 м/ч, расход газа 10...12 л/мин. Сварку ведут на прямой полярности.

Параметры режима при выполнении заполняющего слоя. Сила сварочного тока составляет 200...250 А, напряжение на дуге 20...24 В, скорость подачи проволоки 112 м/ч, расход газа 10...12 л/мин. Сварку ведут на прямой полярности.

После сварки выполняют зачистку усиления сварного шва до уровня основного металла. После зачистки проводят визуальный контроль качества. Не допускаются трещины всех видов и направлений, подрезы, непровары, наплывы. В случае подозрения на наличие внутренних дефектов по результатам визуального контроля проводят ультразвуковой контроль.

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решались задачи, поставленные в первом разделе.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока [11] в котором предстоит оценить экологичность предложенных в работе решений и дать оценку на предмет обеспечения безопасности труда [4], [6].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство [12], [13].

3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта

В ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы решались вопросы, связанные с повышением эффективности сварочных технологий при изготовлении элементов памятника из бронзовых сплавов. Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. В свою очередь это может привести к возникновению новых опасных производственных факторов. Защита от этих факторов должна быть выполнена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы. Особенности выполнения операций проектного технологического процесса представлены в таблице 3. Первая операция проектного технологического процесса – подготовка кромок. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная машина, комплект для визуально-измерительного контроля. Второй операцией проектного технологического процесса является сборка с прихваткой. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная машина, полуавтомат сварочный, высокочастотный импульсный трансформатор, высокочастотный выпрямитель, высокочастотный преобразователь, комплект для визуально-измерительного контроля. Третьей операцией проектного технологического процесса является сварка. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная машина, полуавтомат сварочный, высокочастотный импульсный трансформатор, высокочастотный выпрямитель, высокочастотный преобразователь, комплект для визуально-измерительного контроля. Четвёртой операцией проектного технологического процесса является контроля качества, используется дефектоскоп и комплект ВИК.

Таблица 3 – Особенности выполнения операций проектного технологического процесса

Наименование технологической операции в	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования
подготовка кромок	Слесарь-сборщик	пневматическая шлифовальная машина, комплект для визуально-измерительного контроля
сборка с прихваткой	Сварщик	пневматическая шлифовальная машина, полуавтомат сварочный, высокочастотный импульсный трансформатор, высокочастотный выпрямитель, высокочастотный преобразователь, комплект для визуально-измерительного контроля
сварка	Сварщик	пневматическая шлифовальная машина, полуавтомат сварочный, высокочастотный импульсный трансформатор, высокочастотный выпрямитель, высокочастотный преобразователь, комплект для визуально-измерительного контроля
контроль качества	Дефектоскопист	комплект для визуально-измерительного контроля, дефектоскоп

Представленные в таблице 3 особенности выполнения операций технологического процесса позволят в дальнейшем идентифицировать опасные производственные факторы и предложить методы защиты от них.

3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков

Применяемое для выполнения проектного технологического процесса оборудование становится источником негативных производственных факторов, которые могут привести как к резкому ухудшению состояния персонала, так и нарушению здоровья. В таблице 4 представлены результаты идентификации возникающих профессиональных рисков.

Таблица 4 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование технологической операции	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
подготовка кромок	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
сборка с прихваткой	<ul style="list-style-type: none"> - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
сварка	<ul style="list-style-type: none"> - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

В результате действия опасного производственного возможно резкое нарушение физического состояния персонала. В результате действия вредного производственного фактора возрастает риск профессиональных заболеваний. Решение по выбору эффективных средств устранения выявленных опасных и вредных производственных факторов должно основываться на основании идентификации этих факторов.

В ходе оценки выделено семь негативных производственных факторов, устранение действие которых будет выполнено далее.

3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков

В ходе оценки выделено семь негативных производственных факторов: острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования, движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования, повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенное значение напряжения в электрической цепи, повышенная температура поверхностей, инфракрасное излучение, ультрафиолетовое излучение.

Следует принимать во внимание, что при выполнении сварочных и наплавочных работ содержание вредных веществ в цехе превышает действующие санитарные нормы в 7...10 раз, что подтверждается рядом отечественных и зарубежных исследователей. Поэтому при организации рабочих мест сварщика следует особое внимание уделять общей и местной вентиляции. Также работа сварочных машин сопряжена с риском получения удара электрическим током, так как первичное напряжение на сварочных установках составляет 220 В или 380 В (для случая питания сварочной установки от трёх фаз).

Технические средства и организационные мероприятия по защите от перечисленных негативных производственных факторов представлены в таблице 5.

Для индивидуальной защиты жизни и здоровья рабочих предлагается оснастить их средствами индивидуальной защиты. В качестве средств индивидуальной защиты используются: специальная одежда, перчатки, защитные очки, маски, резиновые коврики и средства защиты органов дыхания. Разработки специальных технических средств и организационных мероприятий для защиты персонала не требуется.

Таблица 5 – Предлагаемые методики и технические средства для обеспечения производственной безопасности

Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса	Перечень организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих устранение вредного производственного фактора
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны

Представленные в таблице 5 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала при выполнении проектного технологического процесса.

3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта

Сварка и наплавка являются процессами, при которых происходит нагрев до высоких температур, разбрызгивание электродного металла, световое излучение высокой интенсивности. Для защиты предприятия от возможного возникновения пожара следует идентифицировать опасные факторы возможного пожара на рассматриваемом производственном участке, что показано в таблице 6.

Таблица 6 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сборка и сварка
Наименование оборудования	кран-балка, стапель, набор измерительного инструмента, сварочный трансформатор, система формирования сварочных импульсов, механизм подачи проволоки, газовое оборудование, набор для проведения визуально-измерительного контроля, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения

Возникающий на рассматриваемом предприятии пожар относится к классу «Е», который предполагает горение материалов и веществ при наличии опасного напряжения. Основными негативными факторами возможного пожара являются тепловой поток, разлетающиеся искры, повышенная температура воздуха, открытое пламя, токсические продукты термического разложения и горения, плохая видимость вследствие задымления, снижение концентрации кислорода в воздухе. Также следует указать на наличие сопутствующих отрицательных проявлений пожара, к

которым относят нарушение целостности изоляции и порчу электрического оборудования, отравление персонала используемыми при тушении химическими веществами, порчу оборудования используемыми при тушении химическими веществами. В таблице 7 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 7 – Технические средства, обеспечивающие устранение опасных факторов при пожаре

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

Предложенные в настоящем разделе технические средства и мероприятия позволяют максимально снизить риск возникновения пожара и своевременно устранить негативные факторы при его возникновении.

3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности

Реализация предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений приводит к возникновению негативного антропогенного действия на окружающую среду. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы. Предлагаемые средства для защиты от антропогенного воздействия представлены в таблице 8 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств.

Таблица 8 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование составляющего среды	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
Атмосфера	Установка в вентиляционную систему цеха специальных улавливающих фильтров, обеспечивающих задержку выделяющихся при сварке и работе оборудования вредных веществ
Гидросфера	Обеспечить отсутствие протечек масла из гидравлических систем применяемого оборудования. В случае обнаружения таких протечек своевременно их устранять
Литосфера	Размещение на территории предприятия специализированных емкостей для селективного сбора производственного мусора. Проведение инструктажа работников на предмет соблюдения мероприятий по сбору промышленного мусора и отходов.

. Особое внимание следует уделить организации селективного сбора мусора, который в значительных количествах накапливается на производственных участках. Раздельный сбор отходов позволяет выполнять эффективный рециклинг, что не только уменьшает нагрузку на окружающую среду, но и позволяет получать значительный экономический эффект за счёт экономии ресурсов.

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений

4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении элементов памятника из бронзовых сплавов.

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки.

Первая операция проектного технологического процесса – подготовка кромок. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная машина, комплект для визуально-измерительного контроля. Второй операцией проектного технологического процесса является сборка с прихваткой. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная машина, полуавтомат сварочный, высокочастотный импульсный трансформатор, высокочастотный выпрямитель, высокочастотный преобразователь, комплект для визуально-измерительного контроля. Третьей операцией проектного технологического процесса является сварка. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная машина, полуавтомат сварочный, высокочастотный импульсный трансформатор, высокочастотный выпрямитель, высокочастотный преобразователь, комплект для визуально-измерительного контроля. Четвёртой операцией проектного технологического процесса является контроля качества, используется дефектоскоп и комплект ВИК. В таблице 9 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии сборки и сварки с учётом рыночной стоимости используемого оборудования и вспомогательных затрат.

Таблица 9 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	P_p	-	IV	IV
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	540 тыс.	1300 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	4	8
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ m^2	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [11]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие расчёты с использованием представленных выше данных предполагают оценку затрат на осуществление технологического процесса по проектному и базовому вариантам.

4.2 Оценка фонда времени работы оборудования

При выполнении операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса происходит работа оборудования в течение заданного времени. Величина заработной платы и вспомогательных затрат рассчитываются с учётом фонда времени работы оборудования, который следует рассчитать по исходным данным, представленным выше. Также следует принимать во внимание, что время работы оборудования позволяет рассчитать амортизационные отчисления и затраты на производственные площади. В проектом технологическом процессе и базовом технологическом процессе предусматривается выполнение операций в течение одинакового количества смен. Поэтому годовой фонд времени для проектного технологического процесса по отношению к годовому фонду времени базового технологического процесса не изменится.

Количество рабочих дней для одного года принимаем равным $D_p=277$, при этом продолжительность рабочей смены составляет $T_{см}=8$ часов. Также следует принимать во внимание уменьшение рабочей смены на величину $T_{п}=1$ час в предпраздничные дни, количество которых для одного календарного года составляет $D_{п}=7$ дней. Для количества рабочих смен $K_{см}=2$ рассчитываем годовой фонд времени:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418$ часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени $B=7\%$:

$$F_3 = F_H(1-B/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_3 = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108$ часов.

4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии

Величину штучного времени, которое будет затрачиваться на выполнение операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса, рассчитываем с учётом нормирования труда по выполняемым операциям согласно технологической карте. Штучное время $t_{шт}$ включает в себя затраты времени на выполнение основных операций проектного и базового технологического процессов (машинное время $t_{маш}$), подготовительных и вспомогательных операций (вспомогательное время $t_{всп}$), личный отдых (время отдыха $t_{отд}$), подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$ и времени на мелкий ремонт и обслуживание оборудования (время обслуживания $t_{обсл}$):

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (3)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $t_{шт.баз} = 4,0 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 4,84$ часа и $t_{шт.проектн.} = 1,7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,06$ часа.

Размер годовой программы $\Pi_{г}$ рассчитывается с учётом рассчитанных выше штучного времени для проектного и базового вариантов технологии, а также с учётом ранее определённого годового фонда времени работы оборудования:

$$\Pi_{г} = F_{э} / t_{шт} . \quad (4)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\Pi_{г.баз.} = 4108/4,84 = 848$ стыков для базового технологического процесса и $\Pi_{г.пр.} = 4108/2,06 = 1994$ стыков для проектного технологического процесса. На основании анализа потребности в рассматриваемом оборудовании принимаем размер годовой программы для проектного варианта технологии и базового варианта технологии $\Pi_{г} = 400$ стыков в год. Такая программа позволяет выполнять в среднем монтаж

одного памятника в год. Требуемое количество технологического оборудования определяем с учётом ранее рассчитанного штучного времени для проектного варианта технологии и базового варианта технологии. При этом следует учесть коэффициент выполнения нормы $K_{\text{вн}} = 1,03$. Выполняем расчёт:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $n_{\text{расч}} = 4,84 \cdot 400 / (4108 \cdot 1,03) = 0,46$ для базового варианта технологического процесса; $n_{\text{расч}} = 2,06 \cdot 400 / (4108 \cdot 1,03) = 0,20$ для проектного варианта технологического процесса.

В дальнейшем при выполнении экономических расчётов количество оборудования для выполнения операций базового технологического процесса принимаем $n=1$. Количество оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса принимаем $n=1$. На основании этого выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{з}}$ для базового и проектного вариантов технологии:

$$K_{\text{з}} = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $K_{\text{з}} = 0,46/1 = 0,46$ для базового варианта технологического процесса и $K_{\text{з}} = 0,20/1 = 0,20$ для проектного варианта технологического процесса.

Значение величины коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{з}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса в дальнейшем понадобятся для расчёта капитальных затрат на построение технологии. Производительность в проектной технологии по сравнению с базовой технологией значительно увеличилась. Это приводит либо к уменьшению количества применяемого оборудования, либо к уменьшению коэффициента загрузки оборудования. В настоящей выпускной квалификационной работе уменьшается коэффициент загрузки оборудования.

4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам

Выполнение операций проектного технологического процесса и операций базового технологического процесса происходят с применением расходных материалов, затраты на которые рассчитываются в зависимости от коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$, цены материалов C_M и нормы расходов материалов N_p по формуле:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{Т-З} . \quad (7)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $M = 314$ рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса: $M=178$ рублей.

Величина основной заработной платы рассчитывается на основании штучного времени $t_{шт}$, часовой тарифной ставки $C_ч$ и коэффициента доплат K_d , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_d = 1,88$:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_d. \quad (8)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{осн} = 4,84 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1742$ рублей для базового варианта технологического процесса и $Z_{осн} = 2,06 \cdot 200 \cdot 1,88 = 775$ рублей для проектного варианта технологического процесса.

Величина дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ рассчитывается в зависимости от рассчитанной выше основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента доплат $K_{доп}$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_{доп} = 12 \%$:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot K_{доп} / 100. \quad (9)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{доп} = 1742,40 \cdot 12/100 = 209,09$ рублей для операций

базового технологического процесса и $Z_{\text{доп}} = 774,56 \cdot 12/100 = 92,95$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величина фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$. Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\text{ФЗП} = 1742,40 + 209,09 = 1951$ рублей для операций базового технологического процесса и $\text{ФЗП} = 774,56 + 92,95 = 868$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ рассчитываем с учётом коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_{\text{сн}} = 34 \%$:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}}/100. \quad (10)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $O_{\text{сн}} = 1951,49 \cdot 30/100 = 664$ рублей для операций базового технологического процесса и $O_{\text{сн}} = 867,51 \cdot 30/100 = 295$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величину затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ определяем расчётным путём на основании амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (11)$$

При вычислении амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ следует учитывать норму амортизации H_a , которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет $H_a = 21,5 \%$. Также в расчёт включено машинное время $t_{\text{маш}}$, которое ранее было рассчитано для операций проектной и базовой технологий. В формулу включены также эффективный годовой фонд времени работы оборудования F_3 и цена оборудования $\Pi_{\text{об}}$.

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot H_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $A_{об.} = 540000 \cdot 21,5 \cdot 4 / 4108 / 100 = 113$ рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии: $A_{об.} = 1300000 \cdot 21,5 \cdot 1,7 / 4108 / 100 = 116$ рублей.

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций по проектному технологическому процессу рассчитываются с учётом мощности оборудования $M_{уст}$, КПД оборудования, машинного времени $t_{маш}$ и стоимости электрической энергии для предприятий $Ц_{ээ}$:

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{ээ} / КПД. \quad (13)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $P_{ээ} = 4 \cdot 4 \cdot 3,4 / 0,7 = 40$ рублей для базового варианта технологического процесса, $P_{ээ} = 8 \cdot 1,7 \cdot 3,4 / 0,85 = 28$ рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование: $Z_{об} = 113 + 40 = 153$ рублей по базовому технологическому процессу и $Z_{об} = 116 + 28 = 144$ рублей по проектному технологическому процессу.

Размер технологической себестоимости $C_{тех}$ определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы M , отчислений на социальные нужды $O_{сн}$, фонда заработной платы ФЗП и затрат на оборудование $Z_{об}$:

$$C_{тех} = M + ФЗП + O_{сн} + Z_{об}. \quad (14)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{тех} = 314 + 1951 + 664 + 153 = 3082$ рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса $C_{тех} = 178 + 868 + 295 + 144 = 1485$ рублей.

Размер цеховой себестоимости $C_{цех}$ определяется исходя из ранее определённой технологической себестоимости $C_{тех}$, коэффициента цеховых расходов $K_{цех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (15)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{\text{цех}}=3082+1,5 \cdot 1742 = 3082 + 2614 = 5696$ рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса $C_{\text{цех}}=1485+1,5 \cdot 775 = 1485 + 1162 = 2647$ рублей.

Размер заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ определяется исходя из ранее определённой цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, коэффициента заводских расходов и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (16)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $C_{\text{зав}} = 5696+1,15 \cdot 1742 = 5696 + 2004 = 7700$ рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса $C_{\text{зав}}=2647 + 1,15 \cdot 775 = 2647+891= 3558$ рублей.

В таблице 10 представлена калькуляция заводской стоимости.

Таблица 10 – Исходные данные и расчёт заводской стоимости при выполнении операций согласно базового технологического процесса и согласно проектного технологического процесса

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	<i>M</i>	314	178
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	1951	868
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	664	295
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	153	144
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	3082	1485
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	2614	1162
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	5696	2647
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	2004	891
9. Заводская себестоимость» [12]	<i>Сзав</i>	7700	3558

Дальнейшие работы направлены на определение величины капитальных вложений при реализации проектной технологии и реализации базовой технологии. Далее будут вычислены экономические показатели предлагаемых решений и сделан вывод об эффективности внедрения этих решений в производственный процесс.

4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии

Вычисляем капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ на реализацию технологического процесса по базовому варианту. Расчёт следует выполнять с учётом коэффициента загрузки оборудования K_p и остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об. б.}}$.

Величину остаточной стоимости оборудования определяем с учётом рыночной стоимости аналогичного нового оборудования $\Pi_{\text{перв.}}$, срока службы оборудования $T_{\text{сл}}$ и нормы амортизационных отчислений N_a :

$$\Pi_{\text{об. б.}} = \Pi_{\text{перв.}} - (\Pi_{\text{перв.}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot N_a / 100). \quad (17)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_{\text{об. б.}} = 540000 - (540000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 191700$ рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об. б.}} \cdot K_{з. б.} \quad (18)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 191700 \cdot 0,46 = 88182$ рублей.

Расчёт капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ при реализации проектной технологии требует учёта капитальных вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, сопутствующих затрат $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об. пр.}}$:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (19)$$

Величина капитальных затрат на оборудование для реализации проектного варианта технологического процесса рассчитывается с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого для настоящей выпускной квалификационной работы составило $K_{\text{тз}}=1,05$, цены оборудования $\Pi_{\text{об}}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_з$:

$$K_{\text{об. пр.}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{тз}} \cdot K_{з. пр.} \quad (20)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{об.пр.} = 1300000 \cdot 1,05 \cdot 0,20 = 273000$ рублей.

Величина сопутствующих затрат $K_{соп}$ рассчитывается с учётом расходов на демонтаж $P_{дем}$ оборудования по базовому технологическому процессу и монтаж $P_{мон}$ оборудования по проектному технологическому процессу.

Расходы на демонтаж с учётом коэффициента расходов на демонтаж оборудования $K_{дем} = 0,05$ рассчитываются как

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д.} \quad (21)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{дем} = 540000 \cdot 0,05 = 27000$ рублей.

Расходы на монтаж с учётом коэффициента расходов на монтаж оборудования $K_{мон} = 0,05$ рассчитываются как

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м.} \quad (22)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{монт} = 1300000 \cdot 0,05 = 65000$ рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

$$P_{соп} = P_{дем} + P_{монт}. \quad (23)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{соп} = 27000 + 65000 = 92000$ рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты $K_{общ. пр.} = 273000 + 92000 = 365000$ рублей.

Расчёт дополнительных капитальных вложений $K_{доп}$ проводим с учётом капитальных затрат для проектной технологии $K_{общ.пр}$ и капитальных затрат по базовой технологии $K_{общ.б}$:

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб}: \quad (24)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{доп}} = 365000 - 88000 = 277000$ рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы Π_r :

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_r . \quad (25)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{уд}} = 365000/400 = 912$ рублей за единицу продукции по проектной технологии и $K_{\text{уд}} = 88000 /400 = 221$ рублей за единицу продукции по базовой технологии.

4.6 Показатели экономической эффективности

Для выполнения экономического обоснования настоящей выпускной квалификационной работы рассчитаем основные показатели эффективности.

Снижение трудоемкости $\Delta t_{\text{шт}}$ рассчитывается как

$$\Delta t_{\text{шт}} = (t_{\text{шт б}} - t_{\text{шт пр}}) \cdot 100 \% / t_{\text{шт б}} . \quad (26)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta t_{\text{шт}} = (4,84 - 2,06) \cdot 100 \% / 4,84 = 57 \%$.

Повышение производительности Π_r рассчитывается как

$$\Pi_r = 100 \cdot \Delta t_{\text{шт}} / (100 - \Delta t_{\text{шт}}) . \quad (27)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_r = 100 \cdot 57 / (100 - 57) = 133 \%$.

Уменьшение технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$ рассчитывается как

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100 \% / C_{\text{тех.б.}} . \quad (28)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta C_{\text{тех}} = (3082 - 1485) \cdot 100 \% / 3082 = 52 \%$.

Размер условно-годовой экономии $\Pi_{\text{ож}}$ рассчитывается как

$$\Pi_{\text{ож}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot \Pi_r . \quad (29)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{ож} = (7700 - 3558) \cdot 400 = 1656800$ рублей.

Длительность срока окупаемости предлагаемых мероприятий $T_{ок}$ составляет:

$$T_{ок} = K_{доп} / \Delta_{уг}. \quad (30)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $T_{ок} = 277000 / 1656800 = 0,2$ года.

Величина годового экономического эффекта Δ_r рассчитывается как

$$\Delta_r = \Delta_{уг} - E_n \cdot K_{доп}. \quad (31)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta_r = 1656800 - 0,33 \cdot 277000 = 1565390$ рублей.

Таким образом, с учётом особенностей выполнения операций технологического процесса по проектному варианту и базовому варианту был выполнен расчёт основных экономических показателей производства.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 52 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,57 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,2 года.

Следует учесть, что экономический эффект в указанном размере проявит себя при изготовлении уже первого памятника по проектной технологии и затраты объёмом 277 тыс. рублей будут окуплены. На основании этого можно рекомендовать предлагаемые в выпускной квалификационной работе технические решения и организационные мероприятия не только для массового производства, но и для штучного производства монументов памяти и скорби для установки на территории РФ.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении элементов памятника из бронзовых сплавов.

Для изготовления бронзовой скульптуры применяются заготовки из оловянной бронзы БрО5Ц5С5. В ходе анализа материала сформулированы затруднения при сварке оловянных бронз. Первой трудностью является высокая склонность металла шва к образованию пор. При этом следует отметить, что оловянные бронзы склонны к порам намного больше, чем другие сплавы на основе меди. Второй трудностью является образование большого числа горячих трещин в металле сварного шва и зоне термического влияния.

Базовая технология предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Первым недостатком является низкая производительность процесса, кроме того, приходится постоянно выполнять заточку неплавящегося электрода, что также снижает производительность. Вторым недостатком является необходимость использования в качестве защитного газа дорогостоящих аргона, гелия или их смесей, что существенно повышает стоимость аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Третьим недостатком является высокая стоимость и сложность обслуживания сварочного оборудования. Четвёртым недостатком является необходимость привлечения сварщиков высокой квалификации.

Для повышения эффективности сварочных процессов предлагается применить разработку отечественных учёных-сварщиков, которая позволяет существенно повысить качество и производительность механизированной сварки в защитных газах за счёт применения технологии импульсного управления сварочной дугой.

Первая операция проектного технологического процесса – подготовка кромок. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная

машина, комплект для визуально-измерительного контроля. Второй операцией проектного технологического процесса является сборка с прихваткой. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная машина, полуавтомат сварочный, высокочастотный импульсный трансформатор, высокочастотный выпрямитель, высокочастотный преобразователь, комплект для визуально-измерительного контроля. Третьей операцией проектного технологического процесса является сварка. Для её выполнения применяется пневматическая шлифовальная машина, полуавтомат сварочный, высокочастотный импульсный трансформатор, высокочастотный выпрямитель, высокочастотный преобразователь, комплект для визуально-измерительного контроля. Четвёртой операцией проектного технологического процесса является контроля качества, используется дефектоскоп и комплект ВИК.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов. Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 52 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,57 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует считать поставленную цель выпускной квалификационной работы достигнутой.

Результаты выпускной квалификационной работы предлагаются к внедрению при изготовлении элементов бронзовой скульптуры.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абрамович В. Р., Демянцевич В. П., Ефимов Л. А. Сварка плавлением меди и сплавов на медной основе. Л.: Машиностроение, 1988. 215 с.
2. Башмакова Т. Н., Зареченский А. В. Разработка электродных материалов для наплавки изделий из меди // Вестник приазовского государственного технического университета : Мариуполь. 2000. № 10. С. 224–226.
3. Башмакова Т. Н. Электроды для сварки меди // Вестник приазовского государственного технического университета : Мариуполь. 1998. № 6. С. 251–253.
4. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
5. Герасимова С.А. Военные действия в районе ржевско-вяземского выступа в январе 1942 – марте 1943 гг.: Ржевская битва: дис. ... канд. ист. наук. Тверь, 2002.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Завгородская Т. Н. Светодизайн Ржевского мемориала // Практика. №4. С. 290–292.
8. Закс И. А. Электроды для дуговой сварки цветных металлов и сплавов: Справочное пособие. С.-Пб.: Стройиздат, 1999. 192 с.
9. Джевага И. И. Электродуговая сварка цветных металлов и сплавов. Л.: Судпромгиз, 1961. 139 с.
10. Илюшенко В. М., Аношин В. А., Майданчук Т. Б. Эффективность применения новых сварочных материалов при сварке и наплавке меди и её сплавов // Автоматическая сварка. 2014. № 14. С. 83–86.

11. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.
12. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
13. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
14. Майданчук Т. Б., Скорина Н. В. Улучшение технологичности изготовления и сварочных свойств электродов для сварки и наплавки оловянных бронз // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 176–181.
15. Майданчук Т. Б. Электродные и присадочные материалы для наплавки и сварки литейных оловянных бронз // Автоматическая сварка. 2014. № 1. С. 58–64.
16. Патент 2253551 РФ, МПК В23К9/10. Способ дуговой сварки и устройство для дуговой сварки / Леонтьев А. Б., Горячев В. Ф. Заявл. 17.02.2003; опубл. 27.08.2004, Бюл. № 16, 10 с.
17. Редчиц В. В. Предупреждение пор при сварке цветных металлов плавлением // Автоматическая сварка 1991. № 6. С. 31–34.
18. Сидлин З. А. Сварка бронзовой монументальной скульптуры // технология машиностроения. 2020. № 5. С. 24–27.
19. Соболев Г. Л., Заречный Е. Е. Операция «Марс» в новейшей историографии // Russian Colonial Studies. 2014. № 4. С. 136–148.
20. Стрелец Р. В. По велению души и сердца // Вестник военного образования. 2019. № 5. С. 111–115.
21. Хмель Г. П., Красненко Е. Г., Илюшенко В. М. Наплавка изношенных бронзовых деталей металлургического оборудования // Автоматическая сварка. 1966. № 3. С. 68–71.
22. Юдин Д. М., Харченко С. В., Жаткин С. С. Исследование процессов устранения дефектов литых художественных изделий дуговой сваркой и пайкой // известия Самарского научного центра РАН. 2020. № 3. С. 92–97.

23. Glantz D. M. Soviet analysis of tank and mechanized corps operations, November 1942-February 1943 // The Journal of Soviet Military Studies. 1988. № 3. 361 p.

24. Hanke H., Retzlaff O., Schultz H.-W. Schweissen von Gusszinbronze // Schweisstechnik. 1968. № 2. P. 1–12.