

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 Технология и оборудование для сборки и сварки ярмовой балки трансформатора

Студент

Н.В. Сорокин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов

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

Консультанты

к.т.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2022

Аннотация

Для успешного развития промышленности Российской Федерации следует обеспечить её независимость от поставок энергетического оборудования. Среди энергетического оборудования ведущую роль играют силовые электрические трансформаторы подстанций. Поэтому повышение производительности и качества изготовления элементов силовых трансформаторов является очень важной и своевременной задачей.

В выпускной квалификационной работе была поставлена цель – повышение производительности и качества сварки разнородных сталей при изготовлении ярмовых балок трансформаторов.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- предложить способ сварки, обеспечивающий минимальные остаточные напряжения в металле;
- составить технологический процесс сборки и сварки с применением предложенного способа
- произвести экологическую экспертизу проекта и предложить меры защиты от опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую технологию;
- произвести экономическую экспертизу проекта и доказать эффективность его внедрения на производстве.

Анализ выявленных опасных и вредных производственных факторов позволил предложить ряд стандартных средств и методик, направленных на их устранение или уменьшение до приемлемого уровня.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство. Годовой экономический эффект составил 0,82 млн. рублей.

Содержание

Введение	5
1 Анализ современного состояния сварки разнородных сталей при изготовлении ярмовых балок трансформаторов.	7
1.1 Описание изделия.	7
1.2 Сведения о материале изделия.	12
1.3 Особенности выполнения базовой технологии сварки ярмовой балки.	15
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	20
2 Проектная технология сварки ярмовой балки трансформатора.	22
2.1 Анализ альтернативных способов сварки.	22
2.2 Описание способа сварки.	30
2.3 Входной контроль сварочных материалов.	33
2.4 Приспособление для сборки.	34
3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы.	37
3.1 Технологическая характеристика объекта	37
3.2 Идентификация профессиональных рисков	39
3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов.	41
3.4 Пожарная безопасность на производстве.	43
3.5 Экологическая безопасность проектной технологии.	45
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений.	48
4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности.	48
4.2 Расчёт объёмов фонда времени.	50
4.3 Расчет штучного времени	51
4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов	

технологии.	53
4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии.	57
4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии.	59
Заключение	63
Список используемой литературы и используемых источников.	65

Введение

Для успешного развития промышленности Российской Федерации следует обеспечить её независимость от поставок энергетического оборудования. Среди энергетического оборудования ведущую роль играют силовые электрические трансформаторы подстанций. Именно силовые подстанции подвергаются ударам высокоточного оружия, целью которых является нарушение электроснабжения городов и предприятий. Поэтому повышение производительности и качества изготовления элементов силовых трансформаторов является очень важной и своевременной задачей.

Для того, чтобы передавать электрическую энергию на значительные расстояния требуется выполнение пяти- или шестикратной трансформации с применением повышающих и понижающих трансформаторов. В этом случае число трансформаторов многократно превышает количество генераторов электрической энергии. Это объясняется тем, что необходимо обеспечить радиальное распределение энергии между потребителями в различных направлениях. Суммарная же мощность трансформаторов на последующей ступени трансформации должно быть больше, чем мощность трансформаторов на предыдущей ступени, что требуется для обеспечения свободного маневрирования энергией. В связи с вышеизложенным суммарная мощность всех силовых трансформаторов, задействованных в передаче электрической энергии от электростанции к потребителю, превышает генерируемую мощность в 7...8 раз.

В настоящее время совершенствуется конструкция отечественных трансформаторов. Например, трансформатор ТДТН-40000/110 позволяет уменьшить потери на ток холостого хода на 30 %, при этом масса трансформатора меньше на 8 %, чем у аналогов. В трансформаторе применены новые марки электротехнической стали 3408-3409 толщиной 0,23...0,27 мм, которая обладает пониженными удельными потерями. При организации магнитной системы применена схема шихтовки «Step Lap».

Одним из основных элементов силового трансформатора является ярмовая балка, при изготовлении которой применяется сварка. Для изготовления ярмовой балки используется маломагнитная или аустенитная сталь. В процессе работы ярмовая балка подвергается знакопеременным нагрузкам, что требует повышения качества сварных соединений при её изготовлении.

При изготовлении ярмовой балки трансформатора приходится выполнять сварное соединение маломагнитной стали 45Г17ЮЗ и низкоуглеродистой стали 09Г2С. Сварка разнородных сталей сопровождается получением большого количества дефектов, что приводит к уменьшению производительности работ и повышает их стоимость. Вопросу повышения эффективности сварки разнородных сталей посвящено множество работ отечественных и зарубежных исследователей [11], [13], [14], [19], [20], [22].

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки разнородных сталей при изготовлении ярмовых балок трансформаторов.

Объектом исследования в настоящей выпускной квалификационной работе выступает технология сборки и сварки ярмовых балок трансформатора

Предметом исследования в настоящей выпускной квалификационной работе выступает – процесс сварки разнородных сталей (маломагнитных и низкоуглеродистых).

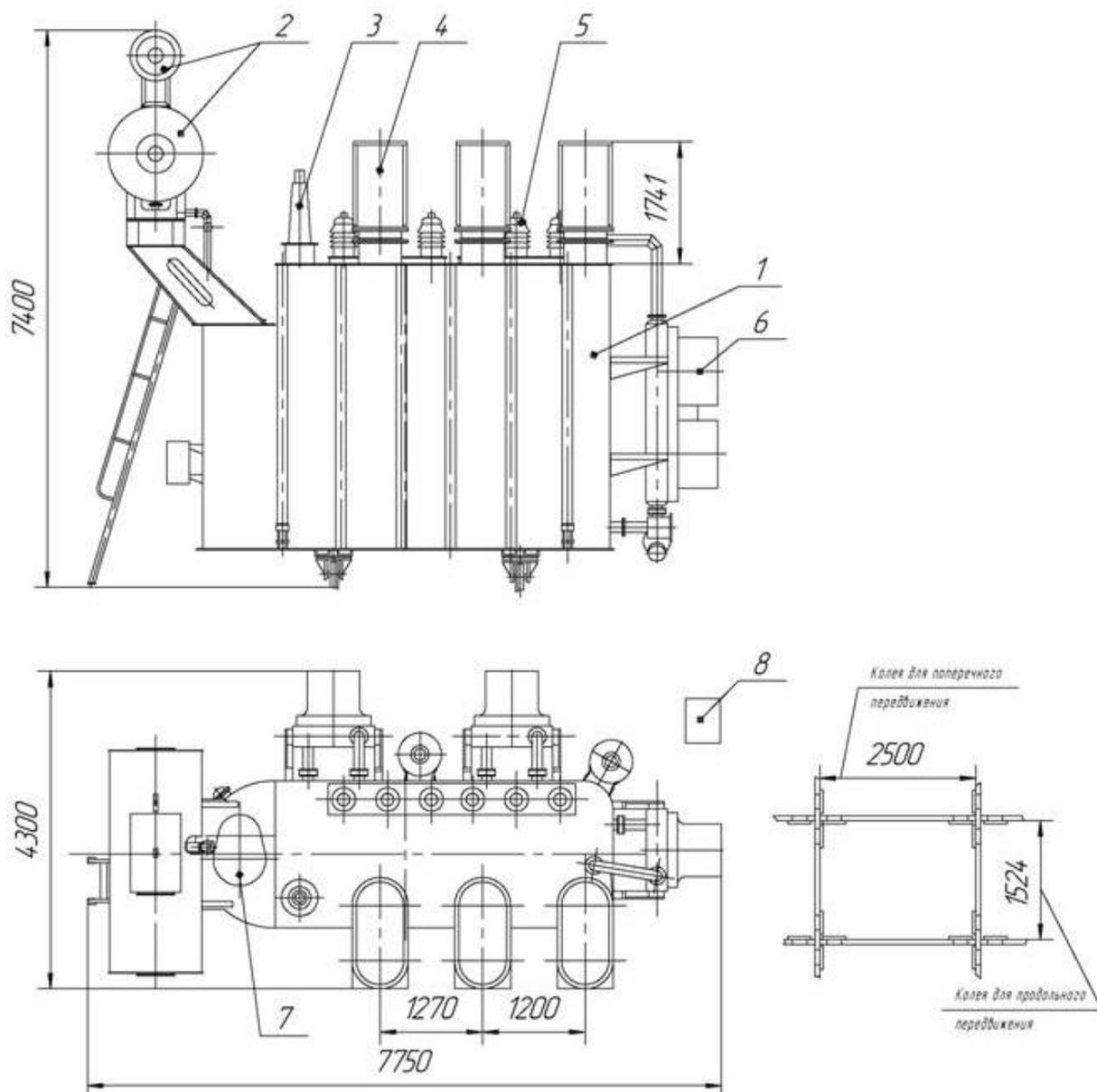
1 Анализ современного состояния сварки разнородных сталей при изготовлении ярмовых балок трансформаторов

1.1 Описание изделия

Масляный трансформатор типа ТМ состоит из магнитопровода с размещенными на нем обмотками высокого напряжения (ВН) и низкого напряжения (НН), переключателя ответвлений, бака с арматурой, крышки с ВН, НН – вводами, защитных и контрольно-измерительных устройств. Схематично можно отобразить трансформатор на примере трансформатора ТРДЦНКМ–63000/100000–У1, который представлен на рисунке 1. Это трансформатор силовой с повышенной нагрузочной способностью, двухобмоточный класса 110 кВ, который выпускается на предприятиях Российской Федерации.

Одним из основных элементов трансформатора является магнитная система, которая представлена на рисунке 2. Она представляет собой комплект пластин из электротехнической стали, собранных в определенной геометрической форме, предназначенный для локализации в нем основного магнитного поля трансформатора. Частью магнитной системы трансформатора является ярмо – не несёт основных обмоток и служит для замыкания магнитной цепи. Для прессовки ярма в магнитной системе и в качестве торцевой опоры для обмоток служит ярмовая балка.

Ярмовые балки имеют одно назначение, к ним предъявляют одинаковые требования: «балки и связанные с ними части должны без повреждения выдерживать усилия, возникающие при коротких замыканиях трансформатора, должны быть достаточно жесткими, чтобы обеспечить прессовку ярма магнитопровода, осевую прессовку обмоток и выдержать подъем трансформатора без возникновения остаточных деформаций. В мощных силовых трансформаторах конструкция ярмовых балок сложная, с большим числом ребер жесткости» [7].

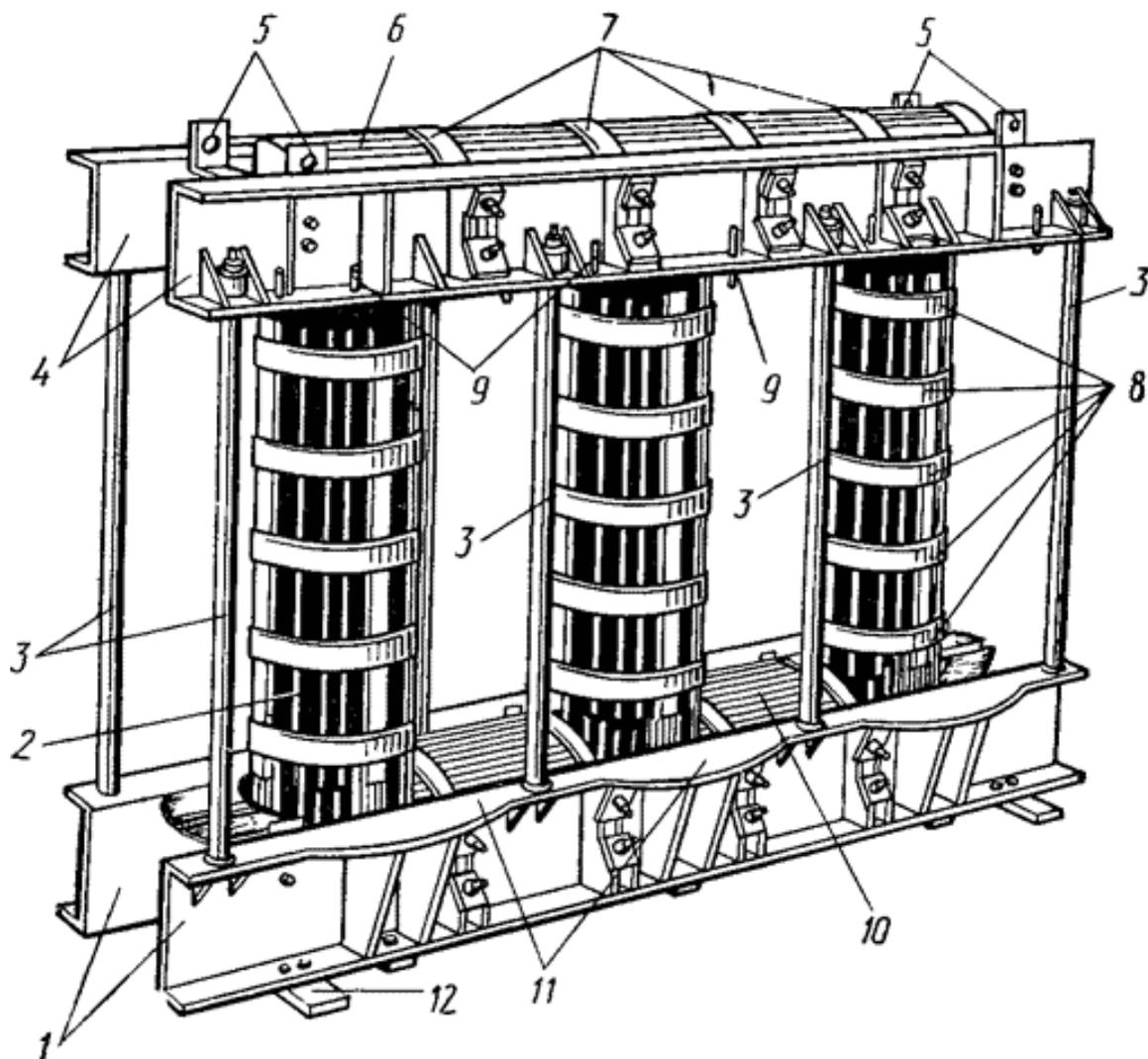


1 – бак трансформатора; 2 – расширитель; 3 – ввод "0" ВН; 4 – ввод ВН; 5 – ввод НН;
6 – охладитель; 7 - устройство РПН; 8 – шкаф

Рисунок 1 – Схема трансформатора ТРДЦНКМ–63000/100000–У1

Поскольку ярмовая балка трансформатора собирается как единый узел, то при составлении проектной технологии будем рассматривать сварку целой балки. Однако, целесообразно отметить наиболее проблемные места, сварка которых вызывает наибольшие затруднения. Это сварка рёбер жёсткости со стенкой и нижней полкой, а также сварка верхней полки и плиты балки со стенкой. Трудности возникают, потому что в этом случае производится

сварка разнородных сталей. Поэтому целесообразно разработать технологию и оснастку для сварки этих узлов.



1 – «нижние ярмовые балки, 2 – стержень, 3 – вертикальные стяжные шпильки, 4 – верхние ярмовые балки, 5 – подъемные планки, 6 – верхнее яро, 7 – стальные полубандажи, 8 – стеклобандажи, 9 – винты прессовки обмоток, 10 – нижнее яро, 11 – полки для опоры обмоток, 12 – опорные пластины» [7]

Рисунок 2 – Магнитная система силового трансформатора

На рисунке 3 представлена рассматриваемая ярмовая баклка, которая состоит из полок верхних 1 и 2, стенки в сборе 3, ребра большого 4 (20 штук) и ребра малого 5 (10 штук).

В таблице 1 представлены сварные швы, которые выполняются при изготовлении ярмовой балки.

Таблица 1 – Спецификация сварных швов ярмовой балки

Номер сварного шва на чертеже	Обозначение сварного шва	Длина сварного шва, м
1	ГОСТ 5264–64 Т1–∠4	1,98
2	ГОСТ 5264–64 Т1–∠10	1,15
3	ГОСТ 5264–64 Т3–∠8	1,53
4	ГОСТ 5264–80 У6 50/100	0,71
5	ГОСТ 5264–64 У6	0,85
6	ГОСТ 5264–64 У6	3,55
7	ГОСТ 14771–76 Т3–∠10	33,5
8	ГОСТ 14771–76 Т1–∠10	38,7
9	ГОСТ 14771–76 Т3–∠8	7,8
10	ГОСТ 14771–76 Т8	0,4
11	ГОСТ 14771–76 С7– <u>UU</u>	5,2

Расположение ярмовой балки – вдоль поверхности ярма, при этом высота ярма несколько превышает высоту ярмовой балки, а длина ярма также несколько меньше длины ярмовой балки. Ярмовая балка представляет собой конструкцию из листового стали, которая выполнена в виде корыта. При сборе трансформатора предусматривают смещение края ярмовой балки относительно края ярма, который обращён к обмоткам трансформатора – таким образом, балка отодвинута от обмоток, что позволяет вывести наружу концы внутренних обмоток.

В поперечном сечении ярмовая балка имеет корытную форму и имеет полки неодинаковой формы. Опорой обмоток трансформатора служат верхние полки ярмовых балок.

Сама конструкция ярмовой балки достаточно сложна и предусматривает наличие большого числа рёбер жёсткости. Для сборки и сварки ярмовых балок применяют специальные кондукторы и шаблоны.

Изготовление ярмовых балок предусматривает выполнение следующих операций: заготовка деталей (пластины, полосы, стенка, рёбра), фиксирование на сборочном стеллаже стенки, сборка и прихватка рёбер жёсткости, установка и прихватка верхней полки, кантовка, установка и прихватка нижней полки, установка косынок и подъёмных крюков, сварка швов.

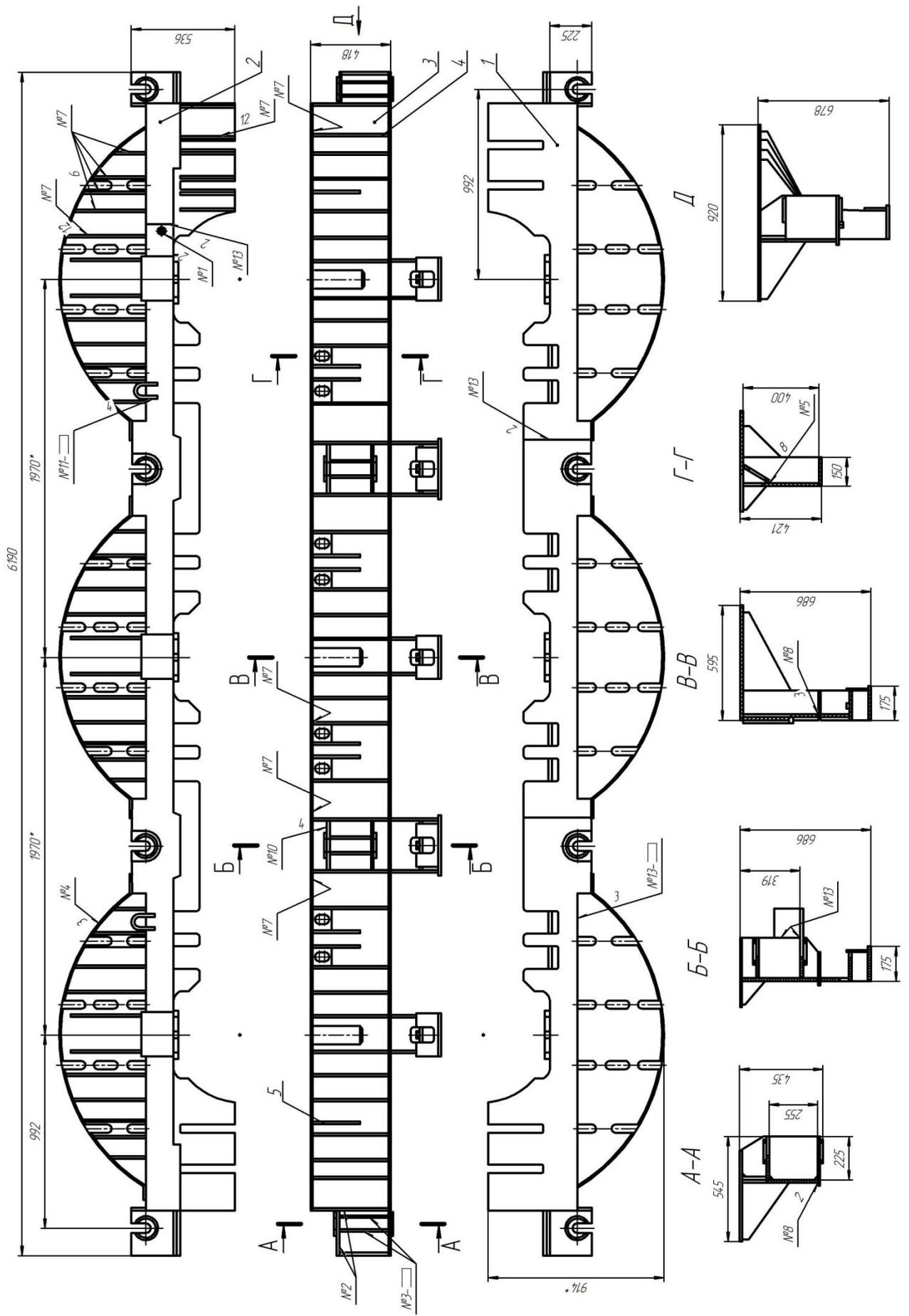


Рисунок 3 – Ярмовая балка трансформатора в сборе

После выполнения сварных швов проводят сверловку отверстий, зачистку сварных швов. Далее следует операция притупления острых кромок и подготовка к покрасочным работам.

1.2 Сведения о материале изделия

Основанием ярмовых балок является швеллер, который изготовлен из низколегированной стали 09Г2С, а ребра жесткости изготовлены из маломагнитной стали 45Г17Ю3. Толщина материалов также зависит от типа и размера трансформатора, диапазона толщин составляют: для основания (09Г2С) – 6...20 мм, а ребра жесткости (45Г17Ю3) – 3...14 мм. Изготовление ярмовых балок из данных материалов происходит благодаря расчетам конструкторов, исходя из расчетов было установлено, что данное сочетание материалов очень хорошо работает:

- при строповке, подъеме, перемещении балок;
- не испытывают намагничивание и не создается сильный нагрев металла;
- долговечно в эксплуатации (срок службы составляет не менее 5 лет).

Основание ярмовой балки изготавливается из конструкционной низколегированной стали 09Г2С. Химический состав регламентирован ГОСТ 19281-89. Конструкционная сталь, используемая для выпуска детали, отличается повышенной прочностью и устойчивостью к температурным перепадам, поэтому изделие не теряет своих прочностных свойств даже при стабильно низких температурах. Рабочий диапазон ее составляет от – 7 до +425 градусов.

Для сварки стали 09Г2С в зависимости от толщины свариваемых деталей может потребоваться предварительный подогрев до температуры 100...120 °С и последующая термическая обработка. Вследствие низкого содержания углерода в стали обеспечивается её хорошая свариваемость.

Также следует отметить, что сталь не склонна к отпускной хрупкости и после термической обработки не происходит снижение её вязкости. Сталь 09Г2С устойчива по отношению к перегреву и образованию трещин.

Содержание химических элементов в стали 09Г2С представлено в таблице 2. При сварке стали 09Г2С требуемая прочность сварного соединения обеспечивается за счёт легирования сварного шва элементами электрода.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в стали 09Г2С [23]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
до 0.12	0.5-0.8	1.3-1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Для изготовления рёбер жесткости применяется сталь 45Г17ЮЗ - маломагнитная сталь аустенитного класса. Магнитная проницаемость $\mu \leq 1,01$ Гс/э. Холодная обработка давлением, а также механическая обработка резанием несколько изменяют магнитную проницаемость стали, но значение этой характеристики после указанных технологических операций не превышает 1,01 Гс/э, если холодная деформация не превосходит 50%. Магнитное поле изделий резко повышается при наличии окалина, которая ферромагнитна. Окалина должна быть полностью удалена. Сталь не может использоваться для деталей работающих на трение и деталей, работающих в агрессивных средах.

Сталь 45Г17ЮЗ имеет аустенитную структуру и относится к трудносвариваемым, т.к. содержание хрома и никеля в данных сталях меньше единицы. Они склонны к образованию горячих трещин, а затем и к охрупчиванию. Поэтому сварку данных сталей нужно вести осторожно, следя за качеством сварного шва, чтобы не было трещин и надрывов. Сварку стали 45Г17ЮЗ ведут без предварительного подогрева. Сварные соединения данного класса подвергают стабилизации при температуре 780...820°С. Ребра

жесткости в балке являются своеобразными изоляторами от намагничивания, а также, согласно конструкторским расчетам усилителями прочности балок при транспортировке

Содержание химических элементов в стали 45Г17Ю3 представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание химических элементов в стали 45Г17Ю3 [23]

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Al
			Не более				
0,40-0,50	≤0,60	16,0-18,0	0,030	0,040	≤0,50	≤0,50	2,40-3,60

Ярмовые балки, состоящие из сталей 09Г2С и 45Г17Ю3, в силовых трансформаторах работают при различных температурах и в сильном электромагнитном поле. Стали 09Г2С и 45Г17Ю3, находясь в данных средах очень хорошо себя зарекомендовали. т. к. они обладают эксплуатационной стойкостью и долговечны в эксплуатации.

Основные трудности сварки рассматриваемых сталей обусловлено разнообразием условий эксплуатации сварных конструкций. При изготовлении ярмовой балки возникает необходимость сварки сталей различных структурных сталей феррито-перлитной и аустенитной. Сварка ферритно-перлитной и аустенитной сталей сопровождается комплексом одновременно протекающих процессов, основными из которых являются: тепловое воздействие на металл в зоне термического влияния, термомодеформационные плавления, металлургической обработки и кристаллизации металла в объёме сварочной ванны в зоне сплавления [21], [22].

Трудностями при сварке являются: высокая вероятность появления межкристаллитных трещин в процессе эксплуатации, горячие трещины, снижение пластичности металла сварного шва, повышенное коробление конструкции.

1.3 Особенности выполнения базовой технологии сварки ярмовой балки

При сборке и сварке ярмовой балки трансформатора выполняют следующие операции:

- заготовка стенки, ребер, пластин и полос с последующей проверкой качества реза, не плоскостности деталей и габаритных размеров;
- установка стенки на сборочный стеллаж, разметка и прихватка ребер жесткости ручной дуговой сваркой;
- поворот стенки на 90° , установка и прихватка верхней полки и пластины под брусью ручной дуговой сваркой;
- кантовка на 180° , установка и прихватка нижней полки; поворот на 90° , установка и прихватка косынок ручной дуговой сваркой;
- кантовка на 180° , установка и приварка подъемных крюков ручной дуговой сваркой с постановкой клейма в месте приварки;
- сварка ярмовой балки – ручная дуговая или полуавтоматическая в среде аргона;
- разметка под сверловку;
- сверловка отверстий на сверлильном станке; зачистка сварных швов, притупление острых кромок;
- подготовка к окраске и окраска;
- контроль ОТК.

В процессе изготовления ярмовых балок производят текущий контроль: наблюдение за выполнением технологического процесса, измерение основных параметров и катетов сварных швов в процессе сварки.

При ручной дуговой сварке штучными электродами применяются электроды ОЗЛ-6 (ГОСТ 9466-75). Основное назначение электродов ОЗЛ-6: Сварочные электроды марки ОЗЛ-6 (стрежень из проволоки Св-07Х25Н13 по

ГОСТ 2246-70 и ТУ 3-1050-83) предназначены для сварки ответственного оборудования и конструкций из литья и проката жаростойких сталей марок: 20Х23Н13, 20Х23Н18, 20Х23Н18Т и им подобных. Для сварки оборудования работающего в окислительных средах при температуре до 1000 °С.

Сварку производят на постоянном токе обратной полярности (плюс на электроде). Используют сварочный выпрямитель ВД-306, представленный на рисунке 4-а. Это мощный промышленный выпрямитель для ручной дуговой сварки штучными электродами постоянным током малоуглеродистых и легированных сталей. Регулировка сварочного тока осуществляется плавно подвижными обмотками трансформатора. Надежное зажигание и стабильное горение дуги даже на малых токах. Имеет воздушно-принудительную систему охлаждения и термозащиту от перегрева. Имеет переключатели двух диапазонов регулирования сварочного тока и амперметр.



а) сварочный выпрямитель ВД-306; б) полуавтомат сварочный MIG-250;
в) разрывная машина WDW-50E

Рисунок 4 – Применяемое при сварке технологическое оборудование

Содержание химических элементов в наплавленном металле сварного шва при использовании электродов ОЗЛ-6 представлено в таблице 4. Механические свойства металла при использовании электродов ОЗЛ-6 представлены в таблице 5. Параметры режима сварки электродами ОЗЛ-6 представлены в таблице 6.

Таблица 4 - Содержание химических элементов в наплавленном металле сварного шва при использовании электродов ОЗЛ-6, % [1]

С	Si	Mn	Ni	Cr	S	P
0,09	0,38	1,9	12,8	24,9	0,11	0,22

Таблица 5 – Механические свойства металла при использовании электродов ОЗЛ-6 [22]

Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, Дж/см ²
610	410	33	150

Таблица 6 – Параметры режима сварки электродами ОЗЛ-6 [22]

Диаметр, мм	Длина, мм	Ток, А	Среднее количество электродов в 1 кг, шт.
3,0	350	50 - 80	39
4,0	350	100 - 140	23
5,0	450	120 - 160	8

Для повышения производительности сварки на предприятии была предпринята попытка механизированной сварки в защитных газах. При механизированной сварке в инертных газах применяют проволоку ОК AristoRod 12.50 1,2 мм. Сварку ведут с использованием полуавтомата сварочного MIG-250 производства компании «РИКОН», который представлен на рисунке 4-б. Содержание химических элементов в проволоке ОК AristoRod 12.50 представлено в таблице 7.

После сварки образцы сталей 09Г2С и 45Г17Ю3 проверяют на разрывной машине WDW-50E, представленной на рисунке 4-в, на растяжение (временное сопротивление разрыва).

Таблица 7 – Содержание химических элементов в проволоке ОК AristoRod 12.50

С	Si	Mn
0,1	0,9	1,5

Образцы после ручной дуговой сварки соответствуют нормам, а образцы, сваренные, механизированной сваркой не соответствуют, что показано в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты механических испытаний после механизированной сварки и ручной дуговой сварки

№ образца	Нагрузка при разрыве, кгс.	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ² .	Угол изгиба, α	Место разрушения при разрыве.	Место разрушение при изгибе.
1. Механизированная сварка					
1.					
1.1.	6100	50,5	10°	По металлу шва	Граница шва с основным Ме (45Г17Ю3)
1.2.	5400	47	54°		
1.3.	6100	55	8°	Основной Ме (09Г2С)	
1.4.	5800	56,8	8°		
2. Ручная дуговая сварка					
2.1.	6200	54	65°	Основной Ме (09Г2С)	Граница шва с основным Ме (09Г2С)
2.2.	6100	52,1	80°		
2.3.	6325	54,1	45°		
2.4.	6300	54,3	70°		

Также были проведены испытания по применению порошковой самозащитной проволоки DT-DUR 240 К

Порошковая самозащитная проволока для сварки марганцовистых сталей (сталей типа «Hadfield»), которые испытывают большие ударные нагрузкам на разрыв и износ (ударные молоты). «Немагнитный наплавленный металл с аустенитной структурой обладает высокой прочностью, стойкостью к растрескиванию и самоупрочняется во время работы. В основном применяется для восстановления зубьев дробилок, железнодорожных стыков и трамвайных путей, зубьев и рабочих кромок ковшей, также для восстановления изношенной поверхности марганцовистых сталей» [22].

Содержание химических элементов в проволоке DT-DUR 240 К представлено в таблице 9. Результаты испытаний представлены в таблице 10.

Таблица 9 – Содержание химических элементов в проволоке DT-DUR 240 К

C	Si	Mn	Cr	Ni
1,0	0,4	14	4,0	0,6

Таблица 10 – Результаты испытаний образцов (09Г2С + 45Г17Ю3) после сварки проволокой DT-DUR 240 К

№ образца	Вид испытания	Нагрузка при разрыве, кгс	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ²	Место разрушения
1	статическое растяжение	8150	50,3	по металлу шва
2		8950	56,7	по металлу шва
3		8950	54,2	по металлу шва
4		8850	56	по металлу шва
1	статический изгиб	1840	25°	по металлу шва
2		1560	15°	по металлу шва
3		1760	20°	по металлу шва
4		1700	15°	по металлу шва

Как показали результаты испытаний, представленные в таблице 10, проволока не показала удовлетворительных результатов на производстве.

Таким образом, недостатками базовой технологии можно назвать:

- необходимость использования двух различных способов сварки – ручной дуговой сварки штучными электродами и механизированной сварки в среде инертного газа (повышается стоимость оборудования, усложняется технологический процесс);
- малая производительность и тяжёлые условия труда при ручной дуговой сварке;
- разбрызгивание металла и малый провар при механизированной сварке в среде инертного газа;
- большое коробление конструкции.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварки разнородных сталей при изготовлении ярмовых балок трансформаторов.

Базовая технология сварки происходит с применением ручной дуговой сварки и механизированной сварки проволокой сплошного сечения.

Недостатками ручной дуговой сварки являются:

- малая производительность и тяжёлые условия труда;
- большое коробление конструкции.

Применение механизированной сварки имеет следующие недостатки:

- разбрызгивание металла;
- малый провар.

Кроме того, при изготовлении ярмовой балки трансформатора приходится выполнять сварку разнородных сталей: аустенитной и ферритно-перлитной.

Сварка аустенитной и ферритно-перлитной сталей относится к проблеме сварки разнородных сталей, решению которой посвящено значительное количество исследований [8], [9], [12], [17].

Среди трудностей, которые сопровождают сварку разнородных сталей, следует отметить образование трещин, которые в основном располагаются в сварном соединении или у границы сплавления.

Также следует отметить неблагоприятные изменения структуры в зоне сплавления сталей, в результате которых образуются прослойки с существенным отличием от структуры свариваемых сталей.

Также необходимо принимать во внимание отличие коэффициентов линейного термического расширения у свариваемых сталей, что приводит к образованию значительных остаточных напряжений и деформаций в конструкции. Эти напряжения не устраняются при термической обработке.

Термическая обработка и работа при повышенных температурах могут сопровождаться скачкообразным увеличением уровня напряжений.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, последовательное выполнение которых позволит достигнуть поставленной цели.

Задачами выпускной квалификационной работы являются:

- предложить способ сварки, обеспечивающий минимальные остаточные напряжения в металле;
- составить технологический процесс сборки и сварки с применением предложенного способа
- произвести экологическую экспертизу проекта и предложить меры защиты от опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую технологию [6], [10];
- произвести экономическую экспертизу проекта и доказать эффективность его внедрения на производстве [15], [16].

Решению первой и второй задач посвящен второй раздел настоящей выпускной квалификационной работы.

Решению третьей задачи посвящен третий раздел выпускной квалификационной работы.

Решению четвертой задачи посвящён четвертый раздел выпускной квалификационной работы.

2 Проектная технология сварки ярмовой балки трансформатора

2.1 Анализ альтернативных способов сварки

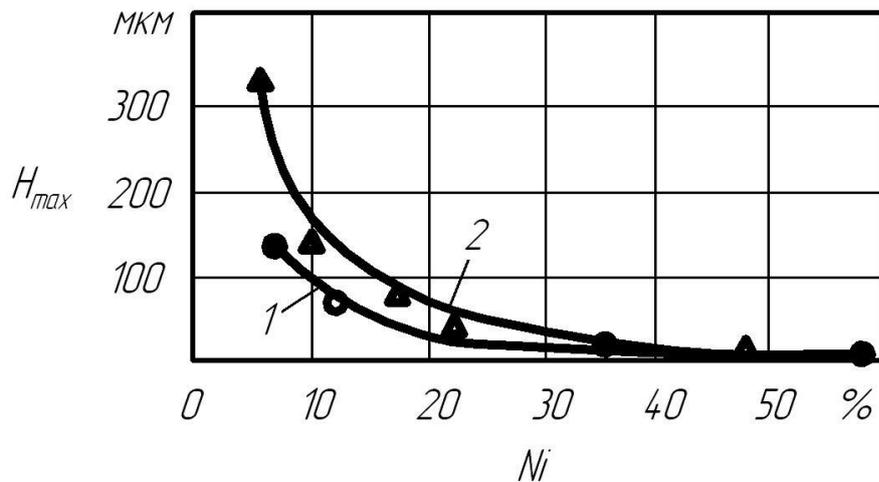
Ручная дуговая сварка до настоящего времени остается основным способом при изготовлении сварных конструкций из разнородных сталей. Основным преимуществом в данном случае является гибкость процесса и возможность обеспечения сравнительно умеренных степеней проплавления. С этой же точки зрения рационально использование методов сварки и наплавки под флюсом, которые обеспечивают минимальное проплавление основного металла - сварка расщепленной дугой, наплавка ленточным электродом и др.

При ручной дуговой сварке положительные результаты получают при снижении температуры сварочной ванны, что зависит от температуры плавления электрода. Снижения температуры плавления электрода достигают увеличением содержания никеля и марганца. Применение таких электродов является наиболее радикальным мероприятием, одновременно уменьшающим ширину кристаллизационных и диффузионных прослоек, как показано на рисунке 5.

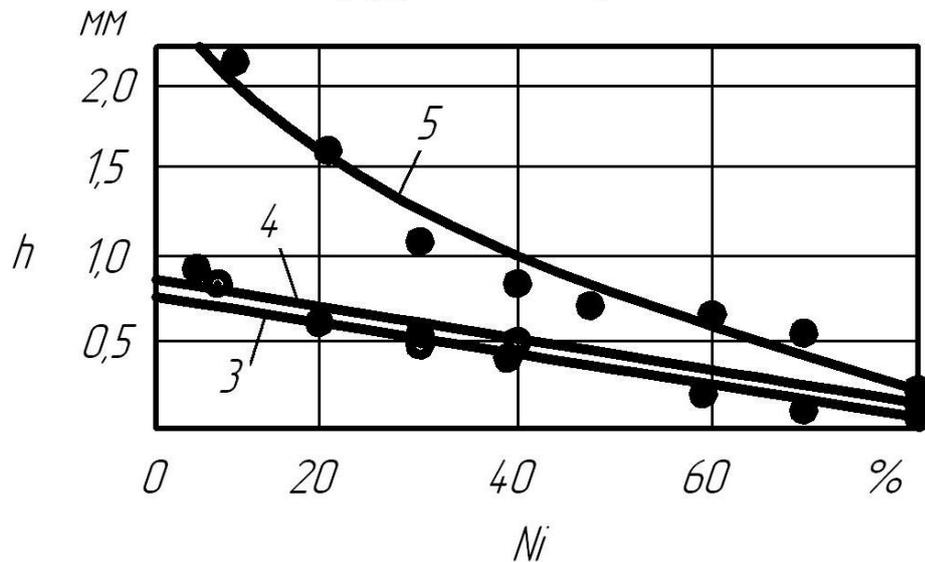
Для сварки разнородных сталей может быть применён электрод согласно [18], «состоящий из стержня, выполненного из стали и нанесенного на него покрытия, содержащего диоксид титана, мрамор, магнезит и феррохром или хром, стержень выполнен из аустенитной стали, а покрытие дополнительно содержит ферромарганец или марганец, ферросилиций и железный порошок» [18]. Состав электродного покрытия представлен в таблице 11.

Стержень может быть выполнен из проволоки марок Св-04Х19Н9, Св-04Х18Н8Г2Б, Св-04Х19Н9С2, Св-07Х18Н9Б. Св-07Х25Н13, Св-10Х16Н25М6, Св-01ХН23Н28МЗДЗТ.

кристаллизационные прослойки



диффузионные прослойки



- 1 - сварка без подогрева; 2 - сварка с подогревом до 500 °С;
3 - обезуглероженная прослойка в углеродистой стали (подогрев до 500 °С, выдержка 1000 ч); 4 - обезуглероженная прослойка в углеродистой стали (подогрев до 650 °С, выдержка 1000 ч); 5 - науглероженная прослойка в аустенитном шве (подогрев до 650 °С, выдержка 1000 ч)

Рисунок 5 – Толщина кристаллизационных и диффузионных прослоек в зоне сплавления при увеличении содержания Ni в металле шва

Преимуществами использования специализированных сварочных материалов является возможность регулирования состава наплавленного металла, не требуется существенного изменения технологии, возможность использования стандартного сварочного оборудования.

Таблица 11 – Состав покрытия электродов согласно [18]

Мрамор	10...28 %
Ферромарганец или марганец	6...15 %
Ферросилиций	1...9 %
Феррохром или хром	5...20 %
Магнезит	3...12 %
Железный порошок	2...10 %
Диоксид титана	остальное

Однако такие электроды «обладают низкой маневренностью в процессе сварки, обусловленной, в частности, требованием поддерживать короткую дугу при выполнении сварки. Кроме того, вследствие низкой эмиссионной способности покрытия дуга не обладает достаточной устойчивостью и эластичностью, возможен крупнокапельный перенос электродного металла через дуговой промежуток, часто обуславливающий повышенное разбрызгивание электродного металла. Сварка такими электродами осуществляется только на постоянном токе, а шлак трудно отделяется, особенно из узких и глубоких разделок» [18].

Уменьшение доли участия сталей в металле шва можно получить при использовании сварки с применением промежуточного слоя [17].

Для сварки кромок a и b из разнородных сталей швом d на поверхность одной из кромок наплавляют промежуточный слой c . Наплавку производят в несколько проходов, как показано на рисунке 6. «При этом каждый проход наплавляют с усилением k и глубиной проплава c . После наплавки первого прохода и остывания шва усиление k удаляют механической обработкой до уровня поверхности кромки, затем наплавляют второй проход с полным проплавлением части c и снова удаляют усиление k . Затем таким же образом выполняют третий, четвертый, пятый и т.д. проходы, пока не будет достигнут требуемый химический состав слоя c » [4].

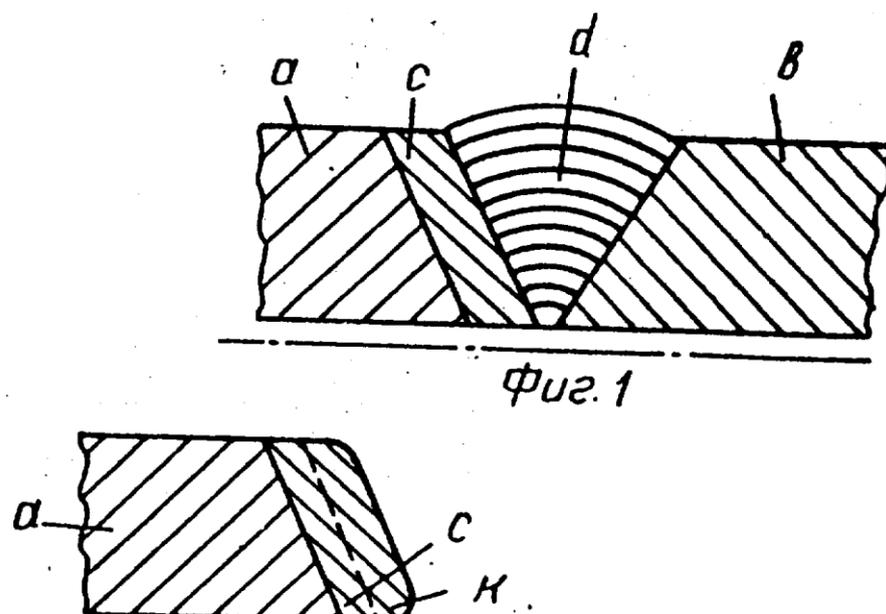


Рисунок 6 – Сварка разнородных сталей с применением промежуточного слоя согласно [4]

Например, при сварке сталей перлитного класса со сталями аустенитного класса на кромку перлитной стали наплавляют аустенитный облицовочный слой толщиной 6...10 мм.

Преимуществами такого способа является отсутствие дорогого высоконикелевого присадочного материала, достижение выравнивания химического состава металла шва, отсутствие трещин и хрупких структур.

Недостатками является высокая трудоёмкость и значительная толщина промежуточного слоя (порядка 10 мм).

Также возможно использование промежуточной проставки [1]. При этом способе осуществляют приварку проставки из стали перлитного класса к заготовке из аустенитной стали, производят термообработку полученного соединения по режиму для сталей аустенитного класса, после чего проставку приваривают к заготовке из стали перлитного класса, как показано на рисунке 7.

Преимуществами являются:

- не требуется дорогого высоконикелевого присадочного материала;
- уменьшается трудоёмкость сварки;

– уменьшается объём наплавленного металла и размеры зоны термического влияния.

Недостатком является значительное увеличение габаритов сварного соединения.

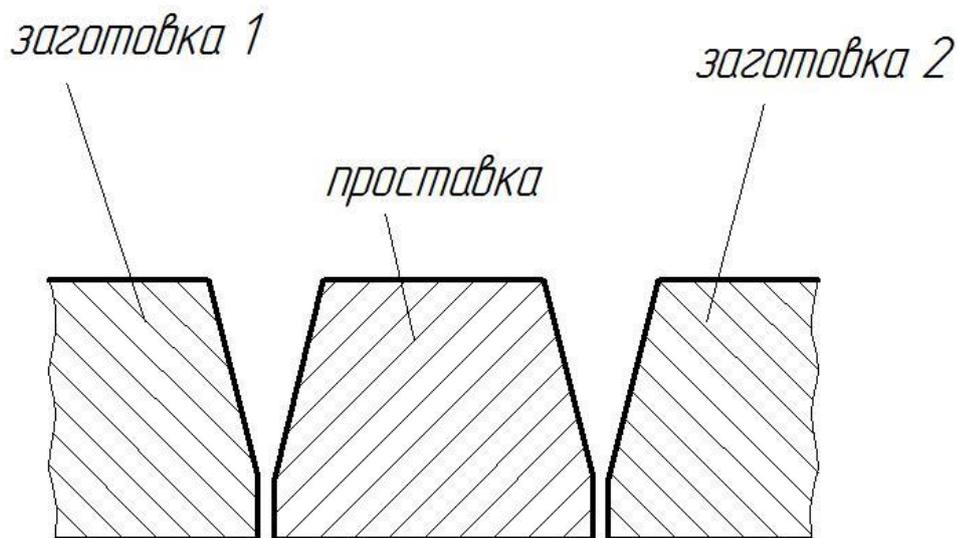


Рисунок 7 – Сварка с использованием промежуточной проставки согласно [1]

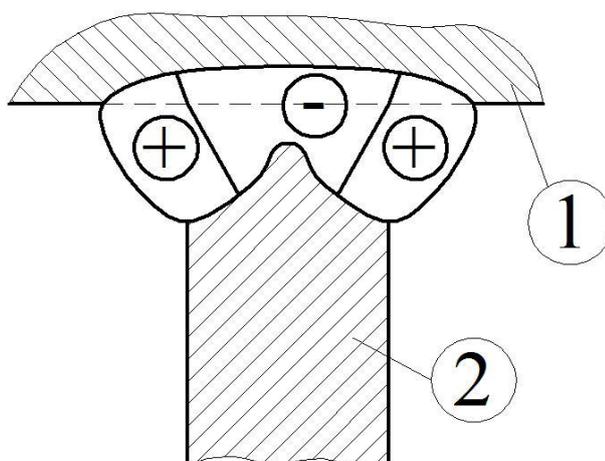
Уменьшения трещинообразования при сварке разнородных сталей можно добиться путём создания сжимающих напряжений в периферийных участках шва. В предлагаемом способе [3] центральный участок шва выполняют из материала с коэффициентом линейного расширения на 30...60 % больше коэффициента линейного расширения аустенитной стали, как показано на рисунке 8.

Периферийные участки шва выполняют из материала, коэффициент линейного расширения которого равен коэффициенту линейного расширения перлитной стали. Это позволяет достичь повышения технологической прочности при сварке за счёт благоприятного перераспределения остаточных напряжений. При термической обработке в центральном участке шва возникают напряжения растяжения, а в периферийном участке шва возникают остаточные напряжения сжатия.

Преимущества: повышение технологической прочности за счёт благоприятного перераспределения остаточных напряжений после термической обработки.

Недостатки:

- необходимость термической обработки для достижения положительного эффекта;
- требуется применение двух различных проволок;
- структурная неоднородность металла шва.



1 – заготовка из ферритно-перлитной стали; 2 – заготовка из аустенитной стали

Рисунок 8 – Сварка разнородных сталей с использованием различных сварочных материалов согласно [3]

При механизированной сварке «повышение в металле шва содержания никеля позволяет несколько повысить термодинамическую активность в нем углерода. Дополнительное введение в шов азота за счет связывания карбидообразующих элементов в нитриды (карбонитриды) позволяет еще больше повысить термодинамическую активность углерода в аустенитном шве и тем самым уменьшить различие в активности углерода между швом и основным металлом. За счет этого уменьшается диффузия углерода из низколегированного металла в аустенитный шов, и устраняются условия, обуславливающие развитие структурной и механической неоднородности в зоне сплавления» [9].

На рисунке 9 представлены результаты измерения микротвердости по поперечному сечению сварного соединения из исследуемых разнородных сталей. Измерения проводили на шлифах, подготовленных по известным методикам микротвердомером ПМТ 3. Измерения проводили в точках через 0,5 мм по срединной линии соединения. Полученные данные свидетельствуют о том, что распределение твердости зависит от характера защитной среды. При сварке с защитной средой в виде аргона повышенной чистоты распределение микротвердости более неравномерно, что объясняется отсутствием металлургических процессов в сварочной ванне [9].

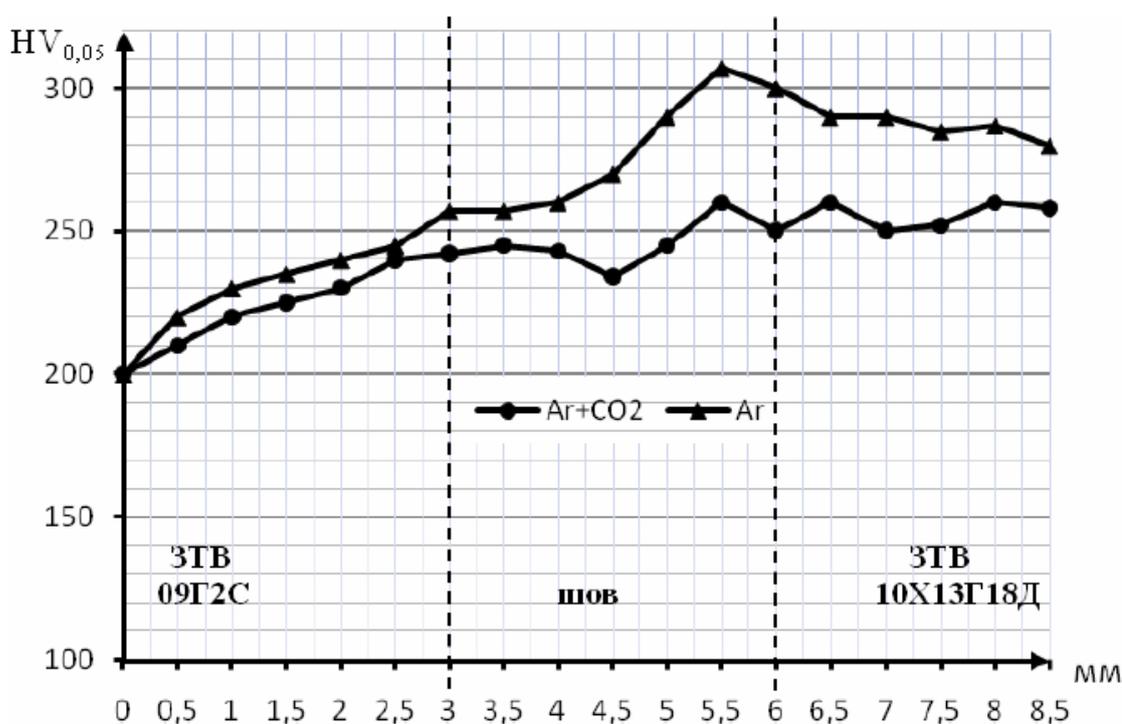


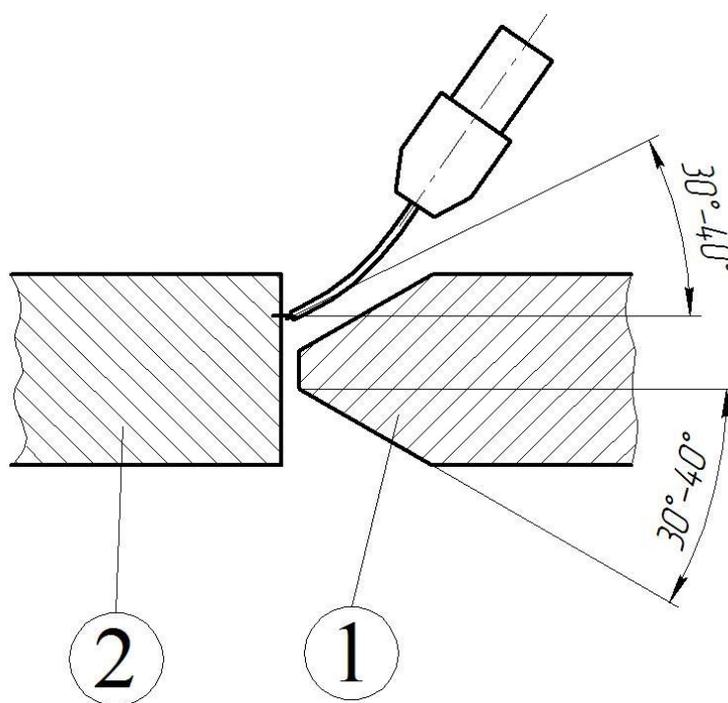
Рисунок 9 – Распределение микротвердости в ЗТВ и сварном шве сварного соединения, выполненного из разнородных сталей 10X13Г18Д+09Г2С при сварке в среде Ar и Ar+CO₂ сварочной проволокой Св-08Х20Н9Г7С

Как видно из данного графика сварное соединение, сваренное в защитной среде, состоящей из смеси Ar+CO₂, имеет более равномерное распределение микротвердости по сравнению со сварным соединением, сваренным в среде Ar. Тем самым за счет применения защитной среды в качестве смеси Ar+CO₂ достигается снижение вероятности такого негативного фактора, как трещина в виде скола. А также увеличивается

способность сварного соединения из разнородных сталей противостоять знакопеременным динамическим нагрузкам, действующим разрушительно в процессе эксплуатации трансформатора. В качестве оптимальной защитной среды при сварке аустенитной и ферритоперлитной стали (10X13Г18Д+09Г2С) была принята смесь $Ar(82\%)+CO_2(18\%)$.

Для повышения производительности механизированной сварки разнородных сталей предложено использовать сварку по специальной разделке [2].

Электродная проволока подаётся на высоколегированную сталь перпендикулярно направлению сварки, а углеродистая сталь имеет скос кромки под углом $30...40^\circ$ к горизонтальной плоскости, как показано на рисунке 10. Под теми же углами электродная проволока подаётся на высоколегированную сталь. Таким образом, присадочный металл одновременно наплавляется на углеродистую сталь и проплавляет кромку высоколегированной стали.



1 – заготовка из ферритно-перлитной стали; 2 – заготовка из аустенитной стали

Рисунок 10 – Сварка разнородных сталей по специальной разделке согласно [2]

Преимущества:

- возможность отказаться от использования высоконикелевой проволоки, так как происходит глубокое проплавление высоколегированной стали и минимальное проплавление кромки углеродистой стали;
- существенно повышается производительность за счёт отказа от вспомогательных операций при сборке и сварке.

Недостатки:

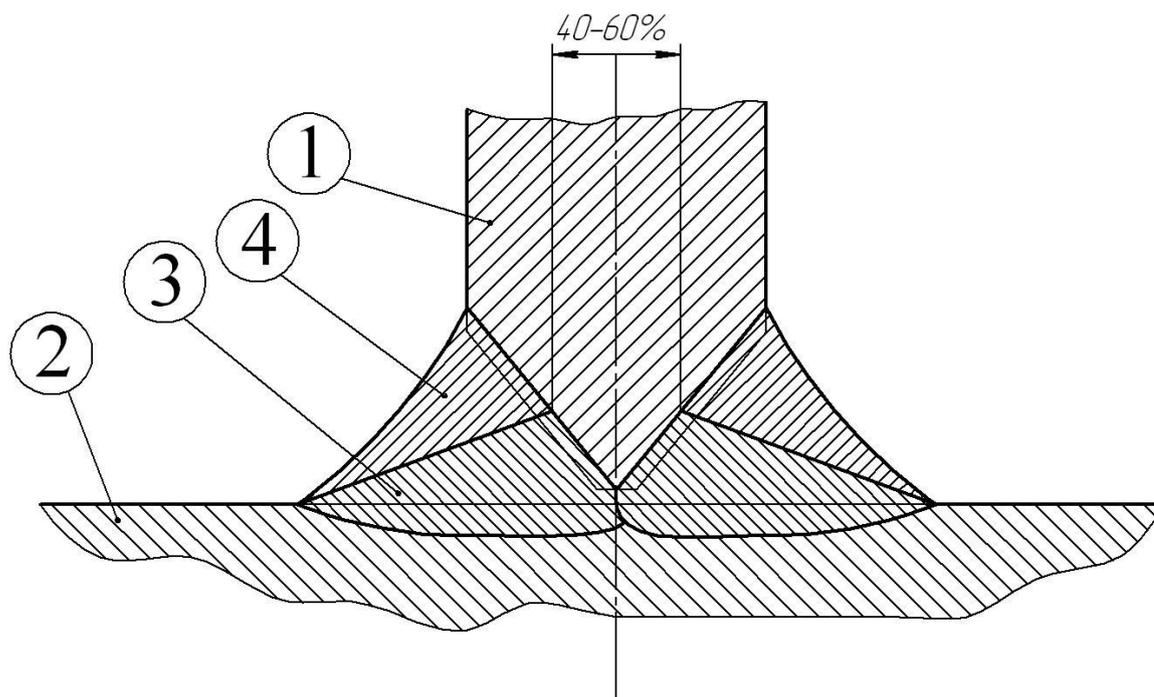
- увеличивается объём наплавляемого металла и термическое воздействие на заготовки;
- увеличение остаточных напряжений в металле шва и околошовной зоны.

2.2 Описание способа сварки

Предлагаемый способ заключается в том, что выполняют сварку двух деталей из высоколегированной стали 1 и низколегированной стали 2 как показано на рисунке 11. «Центральную часть шва 3 выполняют с применением сварочных материалов с низким уровнем легирования, а периферийную часть 4 сварного шва выполняют из более высоколегированного материала. Толщину центральной части сварного шва и кромки детали из менее легированной стали выполняют равной 100 % общей толщины шва и постепенно уменьшают до 40...60 % общей толщины шва у кромки детали из более легированной стали. При толщине центральной части детали из более легированной стали менее 40 % от общего сечения шва не только снижается работоспособность сварной конструкции, а кроме того, при таком выполнении неразъемного сварного соединения неоправданно повышается расход высоколегированных сварочных материалов, что приводит к снижению экономических показателей сварки» [5].

«При толщине центральной части шва у кромки детали из более легированного материала более 60% от общего сечения шва резко снижается работоспособность сварной конструкции, по сравнению со сварной конструкцией, выполненной по предлагаемому способу, так как в этом случае при знакопеременном изгибе усталостная прочность сварного соединения в целом будет определяться прочностью зоны сварного соединения с хрупкими прослойками в наиболее опасном сечении.

Целесообразность увеличения толщины центральной части сварного шва, выполняемой у кромки детали с меньшим легированием, до 100% обусловлена тем, что только в этом случае удастся избежать расположения линии сплавления материалов с различным уровнем легирования перпендикулярно оси шва (изделия), и тем самым повысить работоспособность и качество сварного соединения» [5].



1 - ребро жёсткости (сталь 45Г17Ю3); 2 - ярмовая балка (сталь 09Г2С); 3 - центральная часть шва; 4 - периферийная часть шва

Рисунок 11 – Предлагаемый способ сварки [22]

Выбор диаметра сварочной проволоки производим в зависимости от толщины свариваемых заготовок. Для сварки центральной части шва

применим проволоку Св-08Г2С диаметром 1,0 мм. Для сварки периферийной части шва применяем сварочную проволоку Св-07Х18Н9ТЮ диаметром 0,8 мм. Принимаем следующие режимы сварки, представленные в таблице 12. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности.

Содержание химических элементов в металле сварного шва при использовании проволоки Св-08Г2С представлено в таблице 13. Содержание химических элементов в металле сварного шва при использовании проволоки Св-07Х18Н9ТЮ представлено в таблице 14.

Таблица 12 – Параметры режима сварки

Часть шва	Проволока	∅	Ток сварки	Напряжение	Вылет электрода	Расход газа
		мм	А	В	мм	л/мин
Центральная	Св-08Г2С	1,0	90-100	19-20	8-12	10-12
Периферийная	Св-07Х18Н9ТЮ	0,8	60-80	17-18	8-12	8-10

Таблица 13 – Химический состав наплавленного металла проволокой Св-08Г2С, %

С	Si	Mn	P	S
0,06 ...0,11	0,70...0,95	1,80...2,10	<0,03	<0,0125

Таблица 14 – Химический состав наплавленного металла проволокой Св-07Х18Н9ТЮ, %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Nb
<0,04	0,80	1,5	20	10	0,7

Омедненная сварочная проволока Св-08Г2С сплошного сечения применяется при электродуговой сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей в среде защитных газов. Покрытие проволоки омеднением оказывает положительное влияние на устойчивость горения дуги, уровень разбрызгивания, качество швов, надежность эксплуатации сварочных полуавтоматов и автоматов.

2.3 Входной контроль сварочных материалов

Перед использованием сварочных материалов (сварочной проволоки, защитного газа) должны быть проверены:

- наличие сертификата (на проволоку), полнота приведенных в нем данных и их соответствие требованиям стандарта, технических условий или паспорта на конкретные сварочные материалы;
- наличие на каждом упаковочном месте (пачке, мотке, бухте и пр.) соответствующих этикеток (ярлыков) или бирок с проверкой полноты указанных в них данных;
- сохранность упаковок и самих материалов;
- для баллонов с газом — наличие документа, регламентированного стандартом на соответствующий газ.

При отсутствии сертификата или неполноте сертификатных сведений сварочный материал данной партии может быть допущен к использованию после проведения испытаний и получения положительных результатов по всем показателям, установленным соответствующим нормативным техническим документом — стандартами (техническими условиями) или паспортом на данный вид материала.

При обнаружении повреждения или порчи упаковки или самих материалов вопрос о возможности использования этих материалов решает руководитель сварочных работ совместно с ОТК (СТК) предприятия (организации).

Каждая часть сварочной проволоки, отделенная от бухты (мотка), должна быть снабжена биркой, на которой указываются марка, номер плавки и диаметр проволоки.

Каждая партия сварочной проволоки перед выдачей на производственный участок должна быть проконтролирована путем осмотра поверхности проволоки в каждой бухте (мотке, катушке). На поверхности

проволоки не должно быть окалины, ржавчины, следов смазки, задигов, вмятин и других дефектов и загрязнений.

При необходимости проволоку очищают от ржавчины и грязи пескоструйным аппаратом или травлением в 5%-ном растворе соляной или ингибированной кислоты (3%-ный раствор уротропина в соляной кислоте). Можно очищать проволоку, пропуская ее через специальные механические устройства (в том числе через устройства, заполненные сварочным флюсом, кирпичом, осколками наждачных кругов и войлочными фильтрами). Перед очисткой бухту проволоки рекомендуется отжечь при 150...200 °С в течение 1,5...2 часов. Разрешается также очищать проволоку наждачной шкуркой или другим способом до металлического блеска.

Перед использованием газа из каждого баллона следует проверить качество газа, для чего надо наплавить на пластину или трубу валик длиной 100...150 мм и по внешнему виду поверхности наплавки определить ее качество. При обнаружении пор в металле шва газ, находящийся в данном баллоне, бракуют.

2.4 Приспособление для сборки

Для сборки и сварки балки трансформатора применим кольцевой кантователь, представляющий собой набор из минимум двух стоек кантующих, как показано на рисунке 12. Каждая такая стойка включает в себя: опору 1, ролик в сборе 2, серьгу большую 3, серьгу накладную 4, серьгу малую 5, замок 6, опору винтовую 7, прижим винтовой 8, скобу подвижную 9, угол большой 10, угол малый 11.

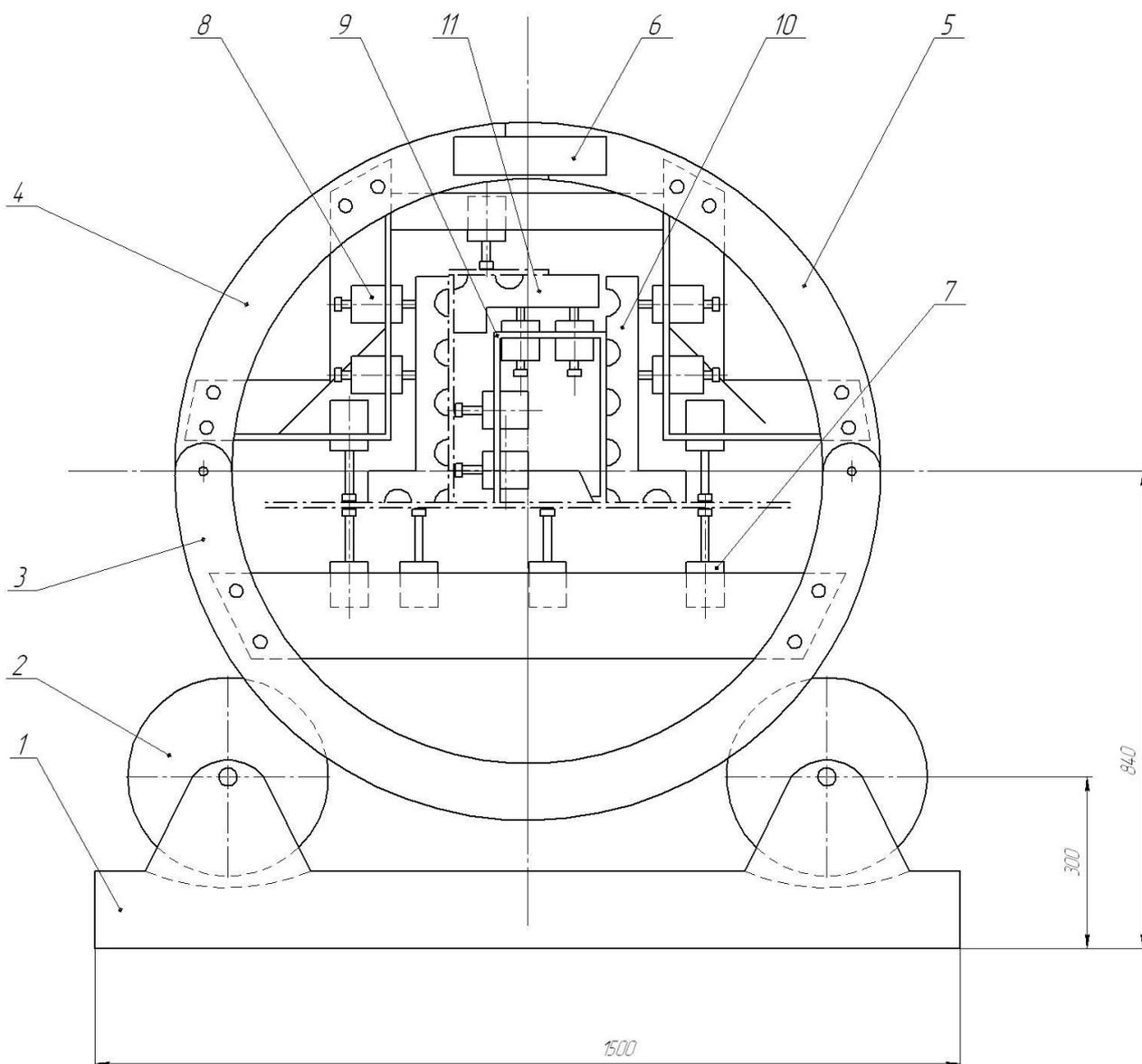


Рисунок 12 – Стойка кантующая в сборе

Большая полка балки укладывается на нижнюю часть кольца, образованную серьгой большой и опорами винтовыми. Далее при помощи винтовых прижимов на серьге накидной производится установка стенки балки и её прижим при помощи прижимов винтовых на серьге малой. Далее укладывается полка малая балки и прижимается винтовым прижимом.

Применение описанного приспособления позволяет автоматизировать процесс сборки и сварки ярмовой балки трансформатора, что, в конечном итоге, повысит производительность и качество сварочных работ.

Выводы по второму разделу

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки разнородных сталей при изготовлении балки трансформатора.

При изготовлении ярмовой балки трансформатора приходится выполнять сварное соединение маломагнитной стали 45Г17ЮЗ и низкоуглеродистой стали 09Г2С. Сварка разнородных сталей сопровождается получением большого количества дефектов, что приводит к уменьшению производительности работ и повышает их стоимость.

Проведённый анализ вопроса позволил сформулировать задачи выпускной квалификационной работы:

- предложить способ сварки, обеспечивающий минимальные остаточные напряжения в металле;
- составить технологический процесс сборки и сварки с применением предложенного способа
- произвести экологическую экспертизу проекта и предложить меры защиты от опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую технологию;
- произвести экономическую экспертизу проекта и доказать эффективность его внедрения на производстве.

Первая задача решена. На основании анализа источников научно-технической информации предложен способ механизированной сварки с малым уровнем остаточных напряжений, который позволит существенно уменьшить образование трещин при сварке и повысить качество соединений.

Вторая задача решена. Составлен проектный технологический процесс сборки и сварки ярмовой балки трансформатора.

Третья и четвёртая задачи будут решены при выполнении оценочных разделов настоящей выпускной квалификационной работы.

3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки разнородных сталей при изготовлении балки трансформатора.

При выполнении базовой технологии предусматривается применение ручной дуговой сварки штучными электродами. Проектная технология сварки ярмовой балки трансформатора предусматривает применение механизированной сварки в защитных газах способом, обеспечивающим снижение остаточных напряжений и деформаций.

При выполнении проектной технологии предусмотрены следующие операции технологического процесса:

- заготовительная;
- сборочно-сварочная;
- сварочная;
- слесарная;
- окрасочная;
- контрольная.

Изменение технологии сборки и сварки сопровождается изменением опасных и вредных производственных факторов, которые оказывают негативное воздействие на персонал и окружающую среду. Поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, оценить их влияние и предложить меры по защите от них персонала. Паспорт объекта представлен в таблице 15. Предстоящий анализ позволит устранить возникающие профессиональные риски.

Таблица 15 – Технологический паспорт участка сварки ярмовой балки трансформатора

«Составляющая технологический процесс операция»	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества» [6], [10]
заготовительная	- слесарь-сборщик	- отрезная машина - угловая шлифовальная машина	- круги отрезные - круги шлифовальные
сборочно-сварочная	- слесарь-сборщик - электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- сборочно-сварочный стенд - мостовой кран - сварочный выпрямитель	- сварочные электроды - набор клейм
сварочная	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- источник питания - механизм подачи проволоки - газовое оборудование	- сварочная проволока - защитный газ
слесарная	- слесарь-сборщик	- сверлильный станок - мостовой кран - угловая шлифовальная машина	- набор зажимов - сверла - круги шлифовальные
окрасочная	- слесарь-сборщик	- окрасочный пистолет	- ацетон - уайт-спирит - краска
контрольная.	- дефектоскопист - слесарь-сборщик	- разрывная машина	- линейка - штангенциркуль

Технологический паспорт объекта – участка для сборки и сварки ярмовой балки трансформатора– позволяет разделить технологический процесс по операциям и указать для каждой операции применяемое оборудование. Также для каждой операции указывается привлекаемый персонал, который может оказаться под негативным воздействием опасных и вредных факторов, сопровождающих выполнение данной операции технологического процесса.

Дальнейшие работы будут направлены на идентификацию персональных рисков, для устранения которых будут предложены технологические и организационные мероприятия. Также будут предложены работы по обеспечению пожарной и экологической безопасности производства.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Профессиональные заболевания и травмы работников, которые были задействованы при выполнении проектного технологического процесса, возникают в результате негативного действия факторов, являющихся профессиональными рисками. При этом воздействия, вызывающие резкое ухудшение состояния человека, травмы и гибель, относятся к опасным производственным факторам. Воздействия, вызывающие появление у работников хронических заболеваний, относятся к вредным производственным факторам.

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 16.

На основании данных таблицы 16 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- «наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;
- механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока;
- нагрев поверхности деталей до высоких температур;
- инфракрасное излучение;
- ультрафиолетовое излучение» [6], [10].

В результате дальнейшего анализа перечисленных негативных факторов могут быть предложены стандартные решения, позволяющие уменьшить их влияние на работающий персонал до приемлемого уровня.

Таблица 16 – Идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникающих при осуществлении проектной технологии

«Операция технологического процесса»	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник негативного фактора» [6], [10]
заготовительная	<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; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	<ul style="list-style-type: none"> - отрезная машина - угловая шлифовальная машина
сборочно-сварочная	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение 	<ul style="list-style-type: none"> - сборочно-сварочный стэнд - мостовой кран - сварочный выпрямитель
сварочная	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - источник питания - механизм подачи поволоки - газовое оборудование
слесарная	<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; 	<ul style="list-style-type: none"> - сверлильный станок - мостовой кран - угловая шлифовальная машина
окрасочная	<ul style="list-style-type: none"> - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; 	<ul style="list-style-type: none"> - окрасочный пистолет
контрольная.	<ul style="list-style-type: none"> - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> - разрывная машина

Данные из таблицы 16 позволят в дальнейшем предложить меры по защите от профессиональных рисков.

3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов

Ранее были выделены опасные и вредные производственные факторы, которые оказывают негативное воздействие на работающий персонал в ходе выполнения каждой операции проектного технологического процесса.

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [6], [10] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 17, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Для уменьшения профессиональных рисков предлагается:

- проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда;
- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;
- оснащение оборудования защитной блокировкой;
- установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону;
- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства;
- применение устройств защитного отключения электропитания оборудования;
- применение защитного заземления и зануления оборудования;
- контроль состояния защитных устройств и изоляции;
- инструктаж по электробезопасности;
- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения;
- автоматизация технологических процессов.

Таблица 17 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов

«Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов» [6], [10]
наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	<ul style="list-style-type: none"> - проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> - установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты
опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	<ul style="list-style-type: none"> - применение устройств защитного отключения электропитания оборудования; - применение защитного заземления и зануления оборудования; - контроль состояния защитных устройств и изоляции; - инструктаж по электробезопасности 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
нагрев поверхности деталей до высоких температур	<ul style="list-style-type: none"> - автоматизация технологических процессов; - инструктаж персонала 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
инфракрасное излучение	- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультрафиолетовое излучение	- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой

Представленные в таблице технические средства и организационные мероприятия направлены на снижение травматизма работников производства и уровня профессиональных заболеваний.

Однако реализация проектной технологии не только сопровождается появлением опасных и вредных производственных факторов, но и риском образования пожаров, в результате которых могут пострадать как сами работники, так и имущество предприятия.

Исходя из этого, дальнейшие работы при выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы направим в сторону обеспечения пожарной безопасности.

3.4 Пожарная безопасность на производстве

Проектная технология, предложенная в настоящей выпускной квалификационной работе, является источником возникновения рисков образования пожара. Для устранения этих рисков следует предложить технические средства и организационные мероприятия. Также следует рассмотреть возможность устранения пожара, если он всё-таки возникнет на предприятии, несмотря на принятые меры.

В качестве основных негативных факторов возможного пожара следует отметить: пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму.

В качестве сопутствующих проявлений пожара следует отметить: негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания.

В таблице 18 представлена идентификация факторов пожара.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 19.

Таблица 18 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Производственный участок с установленным на нём технологическим оборудованием	Станок токарно-винторезный, автомат сварочный, источник питания сварочной дуги, электропечь, подъёмный кран	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [10]	Пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания

Таблица 19 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

«Наименование технологического процесса»	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности» [10]
Сборки и сварка ярмовых балок трансформаторов	- Проведение «ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. - Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими» [10]	- Для ограничения разлёта искр при пожаре необходимо оснастить участок специальными защитными экранами. - На участке должны в достаточном количестве находиться первичные средства пожаротушения.

Для обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка предлагается применение средств, представленных в таблице 20. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 20 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства для тушения	Стационарные системы и установки для тушения	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-15	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка извещения о пожаре

Таким образом, предложенные в выпускной квалификационной работе мероприятия позволяют уменьшить риск возникновения пожара на предприятии при реализации проектной технологии.

3.5 Экологическая безопасность проектной технологии

При реализации предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений возникают не только опасные и вредные производственные факторы, но происходит негативное воздействие на окружающую среду. Борьбе с опасными и вредными производственными факторами посвящена предыдущая часть раздела. Устранению негативных антропогенных воздействий посвящена настоящая часть раздела. Необходимость повышения экологической ответственности предприятий повышает актуальность экологической повестки и заставляет принимать меры по защите атмосферы, гидросферы и литосферы.

Негативные факторы, действие которых на окружающую среду возможно при реализации проектной технологии, представлены в таблице 21.

Действие негативных факторов производства на атмосферу, гидросферу и литосферу следует уменьшить, для чего предусмотрены мероприятия, приведённые в таблице 22.

Таблица 21 – Идентификация негативных экологических факторов проектной технологии

Технологический процесс	Операции, технологического процесса	Негативные факторы проектной технологии, которые отрицательно влияют на окружающую среду		
		в атмосфере	в гидросфере	в литосфере
Сборка и сварка ярмовой балки трансформатора	заготовительная	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	сборочно-сварочная	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	сварочная	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	слесарная	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	окрасочная	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	контрольная.	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 22 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [10]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [10]
За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [10]

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

Выводы по экологическому разделу

В выполнении исполнительского раздела выпускной квалификационной работы была составлена технология сборки и сварки ярмовой балки трансформатора. В настоящем разделе выпускной квалификационной работе выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

Реализация проектной технологии приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, идентификация которых позволила предложить стандартные технические и организационные решения.

Идентификация опасных факторов пожара на рассматриваемом предприятии позволила предложить мероприятия и технические решения по устранению опасности возгорания. Также в настоящем разделе предложены средства борьбы с пожаром, если он все-таки произошёл несмотря на принятые меры.

В ходе выполнения экологического раздела установлено, что осуществление проектной технологии приводит к негативному антропогенному воздействию на окружающую среду. При этом страдают атмосфера, гидросфера и литосфера. Предлагаемые в работе мероприятия позволят соответствовать предприятию современной экологической повестке и свести к минимуму вред окружающей среде.

Таким образом, предложенные в исполнительском разделе выпускной квалификационной работы технические решения не несут недопустимых профессиональных рисков и не оказывают недопустимого антропогенного действия на окружающую среду.

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений

4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при изготовлении ярмовых балок трансформаторов.

Базовая технология сборки и сварки резервуара предусматривает применение ручной дуговой сварки и механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения.

Недостатками ручной дуговой сварки являются:

- малая производительность и тяжёлые условия труда;
- большое коробление конструкции.

Применение механизированной сварки имеет следующие недостатки:

- разбрызгивание металла;
- малый провар.

Кроме того, базовая технология приводит к образованию в конструкции повышенного уровня напряжений и деформаций, что вызывает образование трещин и коробление конструкции.

Проектная технология сварки ярмовой балки трансформатора предусматривает применение механизированной сварки в защитных газах способом, обеспечивающим снижение остаточных напряжений и деформаций.

Таким образом, для выполнения экономических расчётов по оценке эффективности проектной технологии следует свести в таблицу 23 исходные данные по базовому и проектному вариантам технологии.

Таблица 23 – Исходные данные для экономической оценки эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией

Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
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.	600 тыс.	1100 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	20	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	$м^2$	1000	1000
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	$(P/м^2)/год$	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	$P/м^2$	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» [15]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

При расчётах предстоит определить фонд времени работы оборудования, оценить себестоимость проведения работ по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитать капитальные затраты.

4.2 Расчёт объёмов фонда времени

Выполнение операций согласно проектной и базовой технологий предусматривает использование материальных и людских ресурсов в течение определённого количества времени. В зависимости от затрачиваемого времени рассчитывается заработная плата персонала, который задействован при выполнении операций технологического процесса. Также затрачиваемое время влияет на величину расходов на амортизацию оборудования и производственные площади.

В настоящем разделе выполним расчёт фонда времени, который одинаков для проектного и базового вариантов технологического процесса, так как в обоих случаях технология выполняется за одинаковое число смен в сутках.

В календарном году принимается число рабочих дней $D_p = 277$ при стандартной продолжительности смены $T_{см} = 8$ часов. При расчётах следует учитывать сокращение длительности рабочей смены в предпраздничные дни на $T_{п} = 1$ час. Планируемое количество предпраздничных дней составляет $D_{п} = 7$. С учётом вышеизложенного для количества смен $K_{см} = 1$ рассчитаем фонд времени, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (1) получаем:

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

Далее следует рассчитать величину эффективного фонда времени с учётом запланированных потерь рабочего времени $B = 7 \%$, воспользовавшись формулой:

$$F_э = F_H(1 - B/100). \quad (2)$$

При подстановке исходных значений в формулу (2) получаем:

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

4.3 Расчёт штучного времени

Расчитанный выше эффективный фонд времени работы оборудования расходуется на выполнение операций проектного и базового технологического процесса. Годовую программы выполнения работ можно рассчитать, зная штучное время, которое определяет временные затраты на выполнение проектного и базового процессов применительно к одной единице изделия из годовой программы. Величину штучного времени для проектного и базового вариантов технологии определяем с учётом нормирования труда сварщика по технологической карте.

В состав штучного времени $t_{шт}$ входит несколько слагаемых. Во-первых, это машинное время $t_{маш}$, которое затрачивается на выполнение основных операций технологического процесса. Во-вторых, это вспомогательное время $t_{всп}$, которое затрачивается на выполнение подготовительных операций и задаётся как 10 % от машинного времени $t_{маш}$. В-третьих, это время обслуживания рабочего места $t_{обсл}$, которое задаётся как 5 % от машинного времени $t_{маш}$. В-четвёртых, это время личного отдыха $t_{отд}$, которое задаётся как 5 % от машинного времени $t_{маш}$. В пятых, это подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$, которое задаётся как 1% от машинного времени $t_{маш}$. С учётом исходных данных расчёт штучного времени проводим, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (3) получаем для базового варианта: $t_{шт.баз} = 3,4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 6$ часов, проектного варианта: $t_{шт.пр} = 2,3 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4$ часа.

Вычисление годовой программы Π_r работ выполняем с учётом определённых выше эффективного фонда времени и штучного времени для проектного и базового вариантов, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (4) получаем для базового варианта: $\Pi_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/6 = 342$ балки за год,
проектного варианта: $\Pi_{\Gamma.\text{пр.}} = 2054/4 = 513$ балок за год.

При проведении последующих экономических расчетов примем годовую программу для проектного и базового вариантов технологии $\Pi_{\Gamma} = 300$ балок в год, что примерно соответствует современным потребностям отрасли.

Для расчёта требуемого количества оборудования, которое необходимо при выполнении годовой программы с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}} = 1,03$, воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (5) получаем для базового варианта: $n_{\text{расч}} = 6 \cdot 300 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$,
проектного варианта: $n_{\text{расч}} = 4 \cdot 300 / (2054 \cdot 1,03) = 0,6$.

На основании проведённых расчётов принимаем количество единиц технологического оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса согласно проектного и базового вариантов $n = 1$. Для расчёта коэффициента загрузки оборудования в обоих вариантах технологии воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (6) получаем для базового варианта: $K_{\text{э.б.}} = 0,9/1 = 0,9$; проектного варианта: $K_{\text{э.п.}} = 0,6/1 = 0,6$.

Определённые выше значения штучного времени $t_{\text{шт.}}$, годовой программы Π_{Γ} , коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{з}}$ будут использованы при дальнейших экономических расчётах.

4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии

Проведение операции сварки при сборке и сварке ярмовых балок трансформатора требует затрат сварочных материалов. При базовом варианте технологии такими материалами служат сварочные электроды. При проектной технологии сварочными материалами служат электроды, проволока и защитный газ. При дальнейших расчётах себестоимости выполнения работ необходимо определить затраты M на материалы с учётом цены материалов C_M , нормы расхода материалов N_p и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$, воспользовавшись формулой:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

При подстановке исходных значений в формулу (7) получаем:

$$M_{\text{баз.}} = (1,9 \text{ кг} \cdot 110 \text{ р/кг} + 2,1 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 12 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 455 \text{ руб.};$$

$$M_{\text{пр.}} = (4 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 18 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 420 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ выполняем по ранее определённым величинам штучного времени $t_{\text{шт}}$, коэффициента доплат K_d и часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$. Для этого воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (8) получаем для базового варианта технологии: $Z_{\text{осн}} = 6 \cdot 200 \cdot 1,88 = 2256$ руб.; проектного варианта технологии: $Z_{\text{осн}} = 4 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1504$ руб.

Расчёт дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$ проводим с использованием ранее определённого значения основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ для проектного и базового вариантов и с учётом коэффициента дополнительных доплат $K_{\text{доп}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (9) получаем для базового варианта технологии: $Z_{\text{доп}} = 2256 \cdot 12 / 100 = 270$ руб.; проектного варианта технологии: $Z_{\text{доп}} = 1504 \cdot 12 / 100 = 180$ руб.

Объём фонда заработной платы ФЗП определим как сумму дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$. При этом для базового варианта объём фонда заработной платы составил: $\text{ФЗП} = 2256 + 270 = 2526$ руб. Для проектного варианта объём фонда заработной платы составил: $\text{ФЗП} = 1504 + 180 = 1684$ руб.

Величину отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяем с учётом ранее рассчитанного фонда заработной платы ФЗП и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (10) получаем для базового варианта технологии: $O_{\text{сн}} = 2526 \cdot 34 / 100 = 858$ руб.; для проектного варианта технологии: $O_{\text{сн}} = 1684 \cdot 34 / 100 = 572$ руб.

Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ рассчитываем с учётом амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

Величину амортизационных отчислений определим с учётом нормы амортизации $N_{\text{а}}$, цены оборудования $\Pi_{\text{об}}$ для выполнения операций по базовому и проектному вариантам и машинного времени $t_{\text{маш}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

При подстановке исходных значений в формулу (12) получаем для базового варианта: $A_{об.} = 600000 \cdot 21,5 \cdot 6 / 2054 / 100 = 376$ руб.; для проектного варианта: $A_{об.} = 1100000 \cdot 21,5 \cdot 4 / 2054 / 100 = 460$ руб.

Расчёт затрат на электрическую энергию $P_{э}$, выполняем с учётом установленной мощности оборудования $M_{уст.}$, цены электрической энергии для промышленных предприятий $C_{э}$ и коэффициента полезного действия КПД для рассчитанного выше штучного времени $t_{шт.}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{э} = M_{уст.} \cdot t_{шт.} \cdot C_{э} / \text{КПД}. \quad (13)$$

При подстановке исходных значений в формулу (13) получаем для базового варианта: $P_{э} = 20 \cdot 6 \cdot 3,2 / 0,7 = 548$ руб. Для проектного варианта получаем: $P_{э} = 20 \cdot 4 \cdot 3,2 / 0,7 = 366$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (11) получаем для базового варианта: $Z_{об} = 376 + 548 = 924$ руб. Для проектного варианта технологии получаем: $Z_{об} = 460 + 366 = 826$ руб.

Величину технологической себестоимости $C_{тех}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим как сумму затрат на материалы M , фонд заработной платы ФЗП, отчисления на социальные нужды $O_{сн}$ и затраты на оборудование $Z_{об}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (14) получаем для базового варианта: $C_{тех.} = 455 + 2526 + 858 + 924 = 4763$ руб. Для проектного варианта: $C_{тех.} = 420 + 1684 + 572 + 826 = 3502$ руб.

Величину цеховой себестоимости $C_{цех}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной технологической

себестоимости $C_{\text{тех}}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{\text{цех}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (15) получаем для базового: $C_{\text{цех}} = 4763 + 1,5 \cdot 2256 = 4763 + 3384 = 8147$ руб. Для проектного: $C_{\text{цех}} = 3502 + 1,5 \cdot 1504 = 3502 + 2256 = 5758$ руб.

Величину заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ и коэффициента заводских расходов $K_{\text{зав}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (16) получаем для базового: $C_{\text{зав}} = 8147 + 1,15 \cdot 2256 = 8147 + 2594 = 10741$ руб. Для проектного: $C_{\text{зав}} = 5758 + 1,15 \cdot 1504 = 5758 + 1730 = 7488$ руб.

В таблице 24 представлена калькуляция заводской себестоимости проведения проектной и базовой технологии.

Таблица 24 – Калькуляция заводской себестоимости проведения производственного процесса по базовому и проектному варианту технологии

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. «Затраты на материалы	М	455	420
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	2526	1684
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	858	572
4. Затраты на оборудование	Зоб	924	826
5. Технологическая себестоимость	Стех	4763	3502
6. Объём цеховых расходов	Рцех	3384	2256
7. Цеховая себестоимость	Сцех	8147	5758
8. Объём заводских расходов	Рзав	2594	1730
9. Заводская себестоимость» [16]	$C_{\text{зав}}$	10741	7488

Как видно из таблицы 16, проведение производственного процесса по проектной технологии характеризуется меньшей заводской себестоимостью.

4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии

Вычисление общих капитальных затрат $K_{\text{общ. б.}}$ при проведении производственного процесса по базовому варианту технологии проводится с использованием рассчитанного ранее коэффициента загрузки оборудования $K_{з.б.}$ и остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об.б.}} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Величину остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$, которое было использовано в производственном процессе при осуществлении базового варианта технологии рассчитываем с учётом срока службы $T_{\text{сл}}$, рыночной стоимости нового оборудования $\Pi_{\text{перв}}$ и нормы амортизационных отчислений H_a . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{перв}} - (\Pi_{\text{перв}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

При подстановке исходных значений в формулу (18) получаем остаточную стоимость $\Pi_{\text{об.б.}} = 600000 - (600000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 342000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (17) получаем величину общих капитальных затрат $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 342000 \cdot 0,9 = 307800$ руб.

Вычисление общих капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ при проведении производственного процесса по проектному варианту технологии проводится с учётом капитальных вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об. пр.}}$ и сопутствующих затрат $K_{\text{соп.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

Объём капитальных вложений в оборудование $K_{об}$ при осуществлении проектного технологического процесса рассчитывается с учётом цены оборудования $C_{об}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{з.п.}$, который был рассчитан ранее. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (20) капитальные вложения в оборудование $K_{об.пр.} = 1100000 \cdot 1,05 \cdot 0,6 = 693000$ руб.

Объём сопутствующих затрат $K_{соп}$ при проведении производственного процесса по проектной технологии вычисляется с учётом расходов на монтаж $P_{монт}$ проектного оборудования и демонтаж $P_{дем}$ базового оборудования. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{монт.} \quad (21)$$

Расходы на демонтаж $P_{дем}$ определяются исходя из стоимости оборудования по базовому варианту с учётом коэффициента затрат на демонтаж $K_{дем}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{дем} = C_{об. б.} \cdot K_{дем.} \quad (22)$$

При подстановке исходных значений в формулу (22) расходы на демонтаж оборудования составили: $P_{дем} = 600000 \cdot 0,05 = 30000$ руб.

Расходы на монтаж $P_{монт}$ определяются исходя из стоимости оборудования по проектному варианту с учётом коэффициента затрат на монтаж $K_{монт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{монт} = C_{об. пр.} \cdot K_{монт.} \quad (23)$$

При подстановке исходных значений в формулу (23) расходы на монтаж оборудования составили: $P_{монт} = 1100000 \cdot 0,05 = 55000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (21) сопутствующие расходы составили: $P_{\text{соп}} = 30000 + 55000 = 85000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (19) общие капитальные затраты при реализации проектной технологии составили: $K_{\text{общ.пр.}} = 693000 + 85000 = 778000$ руб.

Дополнительные капитальные затраты при внедрении проектной технологии рассчитываются с учётом общих капитальных затрат при проектном варианте $K_{\text{общ.пр.}}$ и общих капитальных затрат при базовом варианте $K_{\text{общ.б.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр.}} - K_{\text{общ.б.}} \quad (24)$$

При подстановке исходных значений в формулу (24) дополнительные капитальные вложения составят: $K_{\text{доп}} = 778000 - 307800 = 470200$ руб.

Размер удельных капитальных вложений $K_{\text{уд}}$ при построении технологии по базовому и проектному вариантам рассчитываются исходя из годовой программы Π_r и общих капитальных вложений. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (25) удельные капитальные вложения по базовому: $K_{\text{уд}} = 307800/300 = 1026$ руб./ед. Удельные капитальные вложения по проектному варианту составляют: $K_{\text{уд}} = 778000/300 = 2593$ руб./ед.

4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям:

- снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$;
- повышение производительности труда P_T ;
- снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$;
- условно-годовая экономия $P_{ок}$;
- срок окупаемости капитальных вложений $T_{ок}$;
- годовой экономический эффект $\mathcal{E}_г$.

За счёт совершенствования технологического процесса получено снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$, которое рассчитывается по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по базовому варианту $t_{шт.б.}$ и по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по проектному варианту $t_{шт.пр.}$ При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (26) снижение трудоёмкости составило: $\Delta t_{шт} = (6-4) \cdot 100 \% / 6 = 33 \%$.

Расчёт повышения производительности труда P_T выполняется с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (27) повышение производительности труда составило: $P_T = 100 \cdot 33 / (100 - 33) = 50 \%$.

Расчёт снижения технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ выполняем с учётом ранее определённых технологической себестоимости по базовому варианту технологии $C_{тех.б.}$ и технологической себестоимости по проектному варианту технологии $C_{тех.пр.}$ При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости при внедрении предлагаемых технических решений составило: $\Delta C_{\text{тех}} = (4763 - 3502) \cdot 100\% / 4763 = 26 \%$.

Расчёт условно-годовой экономии $\Pi_{\text{ож}}$ выполним с учётом годовой программы $\Pi_{\text{г}}$, заводской себестоимости по проектному варианту $C_{\text{зав.пр}}$ и заводской себестоимости по базовому варианту $C_{\text{зав.б}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (29) условно-годовая экономия составила: $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (10741 - 7488) \cdot 300 = 976000$ руб.

При расчёте срока окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ учитывается размер дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}}$ и величина условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}}. \quad (30)$$

При подстановке исходных значений в формулу (30) срок окупаемости дополнительных составил: $T_{\text{ок}} = 470200 / 976000 = 0,5$ года.

Расчёт годового экономического эффекта $\mathcal{E}_{\text{г}}$ при внедрении предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений выполняется с учётом рассчитанных ранее условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$, дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ и коэффициента эффективности капитальных вложений $E_{\text{н}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

При подстановке исходных значений в формулу (31) годовая экономия составила: $\mathcal{E}_{\text{г}} = 976000 - 0,33 \cdot 470200 = 820834$ руб.

Таким образом, проектная технология показывает свою эффективность по всем показателям и может быть рекомендована к внедрению.

Выводы по экономическому разделу

В ходе выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы рассмотрены варианты построения производственного процесса с применением базовой технологии и с применением проектной технологии.

Для проектной и базовой технологии были рассчитаны основные экономические показатели (штучное время; технологическая, цеховая и заводская себестоимость, капитальные вложения).

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям, как снижение трудоёмкости, повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, условно-годовая экономия, срок окупаемости капитальных вложений, годовой экономический эффект.

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 33 % и увеличить производительность на 50 %.

Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 26 %. При этом условно-годовая экономия составила 0,976 млн. рублей.

Дополнительные капитальные вложения окупятся за 0,5 года. При этом годовой экономический эффект составит 0,82 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность построения производственного процесса по проектной технологии. Представленные в выпускной квалификационной работе технические решения могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях Российской Федерации.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки разнородных сталей при изготовлении балки трансформатора.

При анализе состояния вопроса были проведены такие работы, как анализ свариваемости рассматриваемых материалов и анализ базовой технологии сварки, для которой сформулированы недостатки.

Недостатками базовой технологии признаны:

- необходимость использования двух различных способов сварки – ручной дуговой сварки штучными электродами и механизированной сварки в среде инертного газа (повышается стоимость оборудования, усложняется технологический процесс);
- малая производительность и тяжёлые условия труда;
- разбрызгивание металла и малый провар при механизированной сварке в среде инертного газа;
- большое коробление конструкции.

Проведённый анализ вопроса позволил сформулировать задачи выпускной квалификационной работы:

- предложить способ сварки, обеспечивающий минимальные остаточные напряжения в металле;
- составить технологический процесс сборки и сварки с применением предложенного способа
- произвести экологическую экспертизу проекта и предложить меры защиты от опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую технологию;
- произвести экономическую экспертизу проекта и доказать эффективность его внедрения на производстве.

Первая задача решена в исполнительском разделе. На основании анализа источников научно-технической информации предложен способ механизированной сварки с малым уровнем остаточных напряжений, который позволит существенно уменьшить образование трещин при сварке и повысить качество соединений.

Вторая задача решена в исполнительском разделе. Составлен проектный технологический процесс сборки и сварки ярмовой балки трансформатора.

Третья задача решена в оценочном разделе. выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности. Предложены мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Четвертая задача решена в оценочном разделе. Выполнена оценка экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту. Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 33 % и увеличить производительность на 50 %. Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 38%. При этом годовой экономический эффект составит 0,6 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию на предприятиях, выполняющих сварку разнородных сталей, в частности, при изготовлении ярмовых балок трансформаторов.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 585927 СССР, МКИ В23К9/02. Способ сварки высоколегированных сталей / Денисов Б. С., Платонов В. М., Волков А. И. № 2159800/25-27, заявл. 25.07.75; опубл. 30.12.77, Бюл. № 48. 2 с.
2. Авторское свидетельство № 829364 СССР, МКИ В23К9/00. Способ автоматической сварки разнородных сталей / Адерихин А. С., Бронштейн Л. М., Агеев П. В. № 2801308/25-27, заявл. 24.07.79; опубл. 15.10.81, Бюл. № 18. 3 с.
3. Авторское свидетельство № 1082579 СССР, МКИ В23К9/16. Способ изготовления неразъёмных соединений двух деталей / Рымкевич А. И., Корсунов П. М., Суслов В. Н. № 3455752/25-27, заявл. 22.06.82; опубл. 30.10.84, Бюл. № 12. 4 с.
4. Авторское свидетельство № 1614312 СССР, МКИ В23К9/16. Способ сварки плавлением разнородных металлов / Роцин В. В., Пешехонов С. В., Румянцева Е. Л. № 4482009/27, заявл. 14.09.88; опубл. 23.03.93, Бюл. № 11. 3 с.
5. Авторское свидетельство № 1703323 СССР, МКИ В23К9/16. Способ изготовления неразъёмного соединения / Рымкевич А. И., Пронин В. П., Титинер З. К. № 4703309/27, заявл. 09.06.89; опубл. 07.01.92, Бюл. № 1. 3 с.
6. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
7. Галян Э. Т. Однофазные и трехфазные силовые трансформаторы : учебное пособие. Самара : АСИ СамГТУ, 2017. 103 с.
8. Гедрович А. И., Ткаченко С. А., Гальцов И. А. Оценка напряжённо-деформированного состояния разнородных сварных соединений сталей 10Х13Г18Д + 09Г2С // Автоматическая сварка. 2010. № 7. С. 29-32.

9. Гедрович А. И., Ткаченко А. Н., Ткаченко С. А. Структура и свойства соединения сталей 10X13Г18Д+09Г2С // Автоматическая сварка. 2006. №12. С. 44-47.
10. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
11. Готальский Ю. Н. Сварка разнородных сталей. К. : Техника, 1981. 184 с.
12. Гончаров А. Л., Слива А. П., Портнов М. А. Исследование сварных соединений разнородных сталей деталей магнитопровода, выполненных ЭЛС // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2013. № 4. С 74-87.
13. Земзин В. Н. Сварные соединения разнородных сталей. М. : Машиностроение, 1968. 165 с.
14. Калинин Б. П., Шамгун В. К., Перегуда В. Л. Автоматическая сварка под флюсом разнородных сталей // Сварочное производство. 1980. №7, С. 32–33.
15. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
16. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
17. Никулина А. А. Моделирование процессов структурообразования при формировании сварного соединения из разнородных сталей // Обработка металлов. 2011. № 4. С. 54-60.
18. Патент № 2248869 РФ, МКИ В23К35/365. Электрод для сварки высоколегированных и разнородных сталей / Ворновицкий И. Н., № 2003127686/02, заявл. 12.09.2003; опубл. 27.03.2005, Бюл. № 9. 7 с.
19. Петров Г. Л. Неоднородность металла сварных соединений. Л. : Судпрогиз, 1963. 206 с.
20. Рябов В. Р., Рабкин Д. М. Сварка разнородных металлов и сплавов М. : Машиностроение, 1984. 236 с.

21. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А. И. Акулова, 1979. 462 с.

22. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. С.-П.: Лань, 2011. 272 с.

23. Сорокин В. Г. Э Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.