



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа	<u>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</u>
Направление подготовки	<u>15.04.01 Машиностроение</u>
ООП/ОПОП	<u>Машины и технологии сварочного производства</u>
Специализация	<u>Машины и технологии сварочного производства</u>
Отделение	<u>Электронной инженерии</u>

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Повышение эффективности автоматической сварки под флюсом за счёт импульсного управления переменным током

УДК 621.791.7.048.01

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ11	Карамов Кирилл Вадимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭИ	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭИ	Князьков Анатолий Федорович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Дерюшева Валентина Николаевна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец Антон Сергеевич	к.т.н.		

Томск – 2023 г.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи

Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	умеет использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	осознает сущности и значения информации в развитии современного общества
ОПК(У)-3	владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации
ОПК(У)-4	способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способен обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления; умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий
ПК(У)-2	способен разрабатывать технологическую и производственную документацию с использованием современных инструментальных средств
ПК(У)-3	способен обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования; умением осваивать вводимое оборудование
ПК(У)-4	способен участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции, проверять качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции
ПК(У)-5	умеет проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования
ПК(У)-6	умеет проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ

ПК(У)-7	умеет выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения
ПК(У)-8	умеет применять методы стандартных испытаний по определению физико- механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
ПК(У)-9	способен к метрологическому обеспечению технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции
ПК(У)-16	способен к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки
ПК(У)-17	умеет обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов
ПК(У)-18	способен принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения
ПК(У)-19	способен участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности
Профессиональные компетенции университета	
ДПК(У)-1	Способен контролировать соответствие основных и свариваемых материалов, сварочного и вспомогательного оборудования, оснастки и инструмента, технологической документации, соблюдения технологической дисциплины и правильной эксплуатации технологического оборудования
ДПК(У)-2	Способен составлять планы размещения оборудования, технического оснащения и организации рабочих мест, производить расчет производственной мощности и загрузки оборудования
ДПК(У)-3	Способен изучать и анализировать причины возникновения брака и выпуска продукции низкого качества, участие в разработке мероприятий по их предупреждению и устранению



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа	<u>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</u>
Направление подготовки	<u>15.04.01 Машиностроение</u>
ООП/ОПОП	<u>Машины и технологии сварочного производства</u>
Специализация	<u>Машины и технологии сварочного производства</u>
Отделение	<u>электронной инженерии</u>

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ А.С. Гордынец
(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
1ВМ11	Карамов Кирилл Вадимович

Тема работы:

Повышение эффективности автоматической сварки под флюсом за счёт импульсного управления переменным током	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Процесс автоматической сварки под флюсом толщин 2-3 мм встык и угловых швов.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы 2. Мероприятия по улучшению процесса сварки под флюсом 3. Разработка процессов сварки с амплитудно-импульсной и фазо-импульсной модуляцией 4. Разработка функциональной и принципиальной электрической схем 5. Рекомендации по применению разработанной установки для сварки

	6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность Заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Название работы, фамилии участников. 2. Цели и задачи работы. 3. Избранный метод управления 4. Функциональная схема 5. Электрическая принципиальная схема импульсного управления переменным током. 6. Эпюры токов и напряжений 7. Стыковые соединения и изделие для импульсно–фазового управления 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение. 9. Социальная ответственность. 10. Выводы по работе.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы, д.э.н., профессор ОСГН
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна, к.б.н., доцент
Английский язык	Щеголихина Юлия Викторовна, к.ф.н., доцент ОИЯ

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:

1. Обзор литературы
2. Мероприятия по улучшению процесса сварки под флюсом
3. Разработка функциональной и принципиальной электрической схем

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселев А.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ1	Карамов Кирилл Вадимович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
 ООП/ОПОП Машины и технологии сварочного производства
 Специализация Машины и технологии сварочного производства
 Отделение электронной инженерии

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
1ВМ11	Карамов Кирилл Вадимович

Тема работы:

Повышение эффективности автоматической сварки под флюсом за счёт импульсного управления переменным током

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Введение	5
	Обзор литературы	10
	Мероприятия по улучшению процесса сварки под флюсом	15
	Разработка процессов сварки с амплитудно-импульсной и фазо-импульсной модуляцией	15
	Разработка функциональной и принципиальной электрической схем	15
	Рекомендации по применению разработанной установки для сварки	10
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
	Социальная ответственность	10
	Заключение	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселев А.С.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец Антон Сергеевич	К.Т.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ11	Карамов Кирилл Вадимович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 158 листов, 43 рисунок, 25 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: пульсирующая дуга, импульсно-фазовое управление, импульсно-регулируемое сопротивление.

Результаты данной работы позволят модернизировать и расширить область применения процесса автоматической сварки под флюсом.

Объектом исследования является процесс автоматической сварки под флюсом толщин 2-3 мм встык и угловых швов.

Целью работы является разработка процесса и технических средств для автоматической сварки под флюсом малых толщин.

Работа представлена введением, семью разделами и заключением, приведен список использованных источников.

В разделе «Обзор литературы» были рассмотрены сущность, преимущества, недостатки и методы их устранения автоматической сварки под флюсом.

В разделе «Мероприятия по улучшению процесса сварки под флюсом» были рассмотрены сварка пульсирующей дугой и методы управления ей, из которых был избран метод импульсно-фазового управления.

В разделе «Разработка процессов сварки с амплитудно-импульсной и фазо-импульсной модуляцией» были описаны процессы сварки амплитудно-импульсной и фазо-импульсной модуляцией переменного сварочного тока.

В разделе «Разработка функциональной и принципиальной электрической схем» были составлены и описаны принципиальная электрическая и функциональная схемы установки.

В разделе «Рекомендации по применению разработанной установки для сварки» были рассмотрены режимы установки, а также изделие и соединения, которые перспективно сваривать методом импульсно-фазового управления.

Экономическая эффективность данной технологии обусловлена меньшими затратами на заработную плату сварщиков, за счёт снижения требований к квалификации.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Сварка пульсирующей дугой-технологическая схема сварки, относящаяся к методу управления технологическими свойствами дуги за счет периодического изменения электрических параметров режима с заданной частотой, амплитудой и формой импульсов.

Импульсно-фазовое управление переменным током-способ регулирования переменного электрического тока синусоидальной формы путём изменения угла открытия тиристорov, симисторov, тиратронов или иных ключевых электронных приборов, на которых собран выпрямитель или электрический ключ.

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. Приказ Минтруда России от 11.12.2020 N 884н «Об утверждении Правил по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ»
2. ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности»
3. СП 1009-73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов»
4. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.»
5. ГОСТ 12.4.250-2019 «Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла»
6. ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
7. ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

8. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н (ред. от 29.04.2022) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок"

9. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»

10. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ «Вибрационная безопасность. Общие требования»

10. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ Вредные вещества. «Классификация и общие требования безопасности»

11. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

12. МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»

13. ГОСТ 12.1.035–81 «Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений»

В настоящей работе использованы следующие обозначения и сокращения:

- U_d – напряжение дуги;
- U_0 – напряжение холостого хода;
- E_d – пассивная против э. д. с. сварочной дуги;
- I_d – сварочный ток дуги;
- R_d – динамическое сопротивление сварочной дуги;
- K – коэффициент пропорциональности;
- $U_{уз}$ – напряжение на управляющем электроде;
- $i_{уст}$ – ток нагрузки при коротком замыкании тиристорov;
- α – угол открытия тиристорov;
- τ – постоянная времени цепи;
- $\tau_{п}$ – постоянная времени паузы;
- $\tau_{и}$ – постоянная времени импульса;
- R_i – резистор с порядковым номером i ;

- V_i – оптопара с порядковым номером i ;
- C_i – конденсатор с порядковым номером i ;
- VD_i – тиристор (стабилитрон) с порядковым номером i ;
- OPT_i – однопереходной транзистор с порядковым номером i ;
- VS_i – тиристор с порядковым номером i ;
- FU_i – предохранитель с порядковым номером i ;
- FL_i – сигнальная лампочка с порядковым номером i ;
- VT_i – биполярный транзистор с порядковым номером i ;
- I_i – интегратор с порядковым номером i ;
- БА – блок абсолютных значений;
- ПУ $_i$ – пороговое устройство с порядковым номером i ;
- ИЭ $_i$ – импульсный элемент с порядковым номером i ;
- ИУ $_i$ – импульсный усилитель с порядковым номером i ;
- W_i – обмотка с порядковым номером i ;
- К – коллектор;
- Э – эмиттер;
- Б – база;
- ПК – пакетный переключатель;
- М – вентилятор;
- ВР – ветровое реле;
- ОУ – обмотка управления;
- К – контактор;
- АВ – автомат;
- РТ – тепловое реле;
- СТОП – кнопка стоп;
- Тр – трансформатор;
- ТТ – трансформатор тока;
- СТ – сварочный трансформатор;
- ИРС – импульсно-регулируемое сопротивление;
- ИФУ – импульсно-фазовое управление.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	17
1 Обзор литературы	18
1.1 Сущность процесса	18
1.1.1 Схема процесса автоматической сварки под флюсом	18
1.1.2 Образование шва при автоматической сварке.....	20
1.2 Вольтамперная характеристика сварочной дуги под флюсом.....	25
1.3 Перенос электродного металла в сварочную ванну	26
1.4 Силы, действующие на сварочную ванну	30
1.5 Формирование шва в различных условиях	32
1.6 Преимущества и недостатки автоматической сварки под флюсом.....	34
1.7 Методы устранения недостатков.....	37
2 Мероприятия по улучшению процесса сварки под флюсом	39
2.1 Сварка пульсирующей дугой.....	39
2.2 Сварка пульсирующей дугой за счет применения устройств, предложенных Ф. А. Вагнером.....	40
2.2.1 Реле пульсации дуги	40
2.2.2 Прерыватель тока.....	42
2.2.3 Тиристорный коммутатор	43
2.3 Сварка пульсирующей дугой за счет изменения скорости подачи сварочной проволоки.....	46
2.4 Сварка пульсирующей дугой за счет управления током в обмотке шунта трансформатора.....	49
2.5 Импульсно-фазовое управление переменным током.....	51
3 Разработка процессов сварки с амплитудно-импульсной и фазо-импульсной модуляцией	53
3.1 Выбранные способы достижения пульсации сварочной дуги	54
3.2 Варианты сварки больших толщин	55
3.3 Импульсно-фазовое управление переменным током по сварочной цепи	59
4 Разработка функциональной и принципиальной электрической схем.....	63
4.1 Функциональная схема установки для сварки на переменном токе	63

4.2 Сварочный трансформатор	64
4.3 Импульсно-регулируемое сопротивление ИРС	64
4.4 Блок абсолютных значений	64
4.5 Импульсный усилитель	65
4.6 Блок управления сварочным циклом	66
4.7 Принципиальная электрическая схема	67
4.8 Сварочный трансформатор	68
4.9 Релейно-контакторная схема управления трансформатором.....	69
4.10 Схема управления током в обмотке подмагничивания шунта трансформатора	70
4.11 Схема импульсно-фазового управления тиристорами VS1 и VS2 в импульсно-регулируемом сопротивлении	74
4.12 Функциональная схема блока управления сварочным циклом	77
5 Рекомендации	81
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	87
6.1 Оценка конкурентоспособности проекта	87
6.2 SWOT-анализ.....	89
6.3 Планирование научно-исследовательских работ	92
6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	92
Продолжение таблицы 12	93
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	93
6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	94
6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	96
6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	97
6.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	98
6.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	99
6.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	101
6.4.5 Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	101
6.4.6 Накладные расходы	102
6.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	102

6.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	103
7 Социальная ответственность	109
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	109
7.2 Производственная безопасность	111
Продолжение таблицы 23	113
7.2.1 Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего	113
6.2.2 Чрезмерно высокая температура материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	113
7.2.3 Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов	114
7.2.4 Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	116
7.2.5 Повышенный уровень локальной вибрации	121
7.2.6 Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	122
7.2.7 Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего	123
7.2.8 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)	124
7.2.9 Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)	125
7.3 Экологическая безопасность.....	125
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	127
7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований, и ЧС, которые могут произойти на рабочем месте	127
7.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	127
Заключение	130
Список использованных источников	132
Приложение А	134
Приложение Б	155

ВВЕДЕНИЕ

Автоматическая сварка под флюсом является одной из самых распространенных способов дуговой сварки плавящимся электродом. Впервые широкое применение он получил еще во время Отечественной войны на оборонных заводах. При этом данный способ сварки имеет актуальность и в наше время, так как имеет большое количество достоинств, которые будут приведены в работе.

Развитие процесса может идти последующим путям:

- дальнейшее увеличение производительности процесса;
- повышение качества швов;
- увеличение обхвата толщин свариваемых заготовок и т.д.

Для модернизации процесса в работе предлагается метод импульсно-фазового управления (ИФУ). ИФУ обладает увеличенной возможностью регулирования вследствие большой частоты пульсации, что позволяет сваривать тонкостенные изделия, меньшей текучестью расплавленного металла и флюса и одинаковым строением капель электродного металла.

Целью работы является разработка процесса и технических средств для автоматической сварки под флюсом малых толщин.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: анализ процесса сварки под флюсом, обоснование и выбор способа управления процессом, разработка функциональной схемы, разработка полной принципиальной электрической схемы, описание процесса с помощью эпюр токов и напряжений.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Сущность процесса

1.1.1 Схема процесса автоматической сварки под флюсом

Автоматическая сварка под флюсом основана на принципе использования тепла дуги также, как и ручная сварка металлическим электродом. Существенное отличие состоит в том, что при автоматической сварке под флюсом дуга (между концом электрода и местом сварки) горит под слоем сыпучего флюса. Флюс в основном играет такую же роль, как и обмазка электрода при ручной сварке.

Сварка под флюсом производится при помощи сварочной головки, основное назначение которой – автоматически поддерживать горение дуги.

При автоматической сварке под флюсом (рисунок 1) дуга горит между свариваемым изделием 1 и голой электродной проволокой 2, которую по мере сгорания сварочная головка 3 из бухты 4 подает в зону дуги. Зона сварки покрыта слоем гранулированного флюса 5, засыпаемого перед дугой из бункера 6. Дуга горит внутри заполненной газами и парами оболочки, образованной расплавленным флюсом, поэтому дуги не видно.

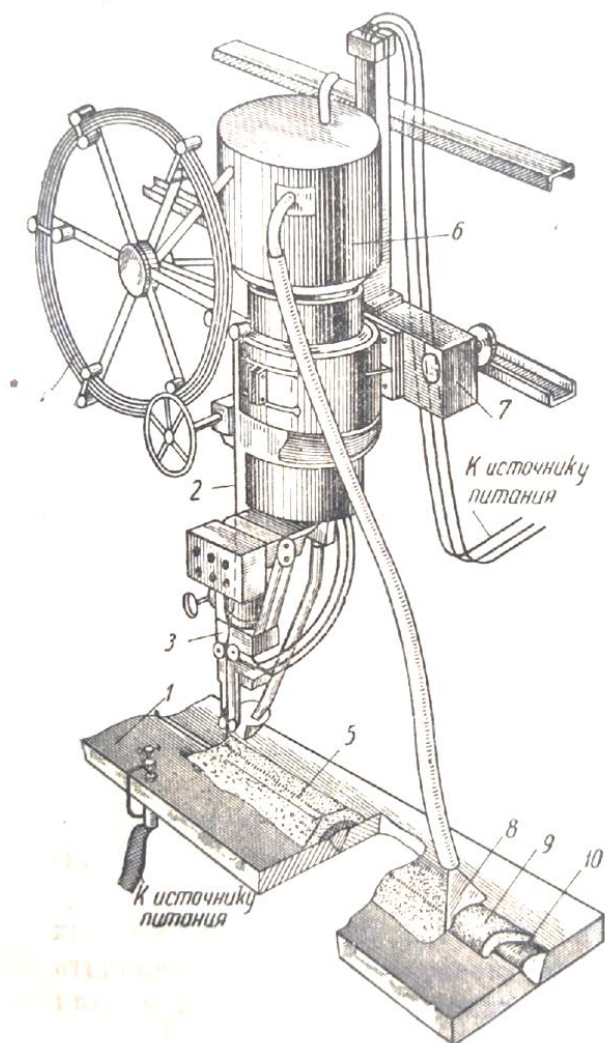


Рисунок 1 – Схема процесса автоматической сварки под флюсом [1]

По мере отложения шва дуга передвигается вдоль места сварки при помощи самоходного привода 7. Неиспользованный флюс при сварке через сопло 8 отсасывается обратно в бункер. Расплавившийся флюс после остывания образует шлаковую корку 9, легко удаляемую с поверхности шва. Шов 10 представляет собой родную и основного металла, имеет серебристую блестящую поверхность с характерными мелкими чешуйками. Питание дуги сварочным током осуществляется от источника питания. Контроль за процессом сварки ведется по амперметру и вольтметру.

Из описания схемы процесса видно, что для автоматической сварки под флюсом требуется специальное устройство с самоходом, осуществляющим перемещение головки по свариваемому изделию или

передвижение самого изделия при неподвижной головке. Свариваемое изделие может укладываться на стеллажи или на манипуляторы для вращения изделия, наконец, свариваемое изделие может находиться в кондукторе, служащем для сборки изделия.

При автоматической сварке требуется флюсовая аппаратура для подачи флюса в зону сварки, для отсоса неиспользованного флюса и для удержания флюса на месте сварки. Для питания установки электроэнергией требуется пункт питания со сварочным трансформатором, силовым контактором и прочей аппаратурой.

Для автоматической сварки применяется гранулированный флюс и электродная проволока: специальная или простая малоуглеродистая.

Для производства автосварочных работ требуется тщательная сборка изделия из ранее заготовленных деталей, а также подготовка свариваемых кромок. В процессе сварки следует производить контроль режима сварки и прочих операций согласно технологическому процессу, разработанному для данного изделия.

1.1.2 Образование шва при автоматической сварке

При сварке пол флюсом плавильное пространство недоступно непосредственному визуальному наблюдению. Поэтому представления о том, что происходит под слоем сыпучего флюса, являются результатом исследований структуры и свойств сварных швов, исследовании зоны сварки с помощью рентгеновских лучей, осцеллографирования тока и напряжения дуги в различных условиях сварки, изучения различных моделей процесса и т. д.

Плавильное пространство можно условно разделить на две зоны. В одной из них, где горит дуга, происходит плавление основного и присадочного металлов и флюса. В другой зоне, удаленной от дуги, протекают процессы затвердевания сварочной ванны и шлака. Эти процессы протекают одновременно, т. е. в каждый момент времени наряду с

расплавлением идет и затвердевание жидких металла и шлака. Однако, для удобства изложения, в дальнейшем условно принята определенная последовательность в описании отдельных фаз процесса образования сварного шва.

Процесс образования шва при сварке под флюсом можно представить в виде схемы на рисунке 2. Помимо продольного разреза зоны сварки (рисунок 2, а), приводятся поперечные сечения, показывающие отдельные стадии образования шва (рисунок 2, б).

Процесс сварки начинается с возбуждения дуги. Сразу же после возбуждения дуга горит между концом электрода и небольшой жидкой ванночкой, мгновенно образующейся на поверхности основного металла.

Слой флюса, насыпаемого на изделие, обычно составляет 50—60 мм. Зерна флюса попадают в зону горения дуги, где под воздействием теплового излучения столба дуги расплавляются и частично испаряются. В слое флюса образуется своеобразный пузырь, имеющий тонкую эластичную оболочку из жидкого флюса. Эта оболочка изолирует от воздуха все плавильное пространство. Пары и газы, находящиеся внутри полости, в которой горит дуга, создают некоторое избыточное давление, обуславливающее существование флюсового пузыря. Без этого давления слой флюса неминуемо препятствовал бы горению дуги. Избыточное давление не превышает 5—7 г/см². Если по какой-либо причине избыточное давление внутри полости чрезмерно возрастает (например, при сварке ржавого или влажного металла, когда выделяется большое количество водорода), то газы прорывают флюсовую оболочку и уходят в атмосферу через слой флюса.

В момент возбуждения столб дуги занимает вертикальное положение. Как только электрод начинает перемещаться вдоль шва, столб дуги отклоняется назад—в сторону, противоположную направлению сварки.

Скорость поступательного перемещения электрода сравнительно велика. Активное пятно, находящееся на основном металле, отстает от конца движущегося электрода. Это отставание, вызывающее наклон столба дуги,

объясняется отставанием от электрода наиболее нагретых участков основного металла, в которых облегчено возникновение дугового разряда (рисунок 2, I и II).

Вследствие значительной концентрации тепловой энергии, обусловленной наличием слоя флюса, дуга глубоко проплавляет основной металл, вытесняет его назад и сама значительной его частью погружается вглубь основного металла. Это позволяет говорить о сварке под флюсом не только как о сварке закрытой дугой, но и как о сварке погруженной дугой

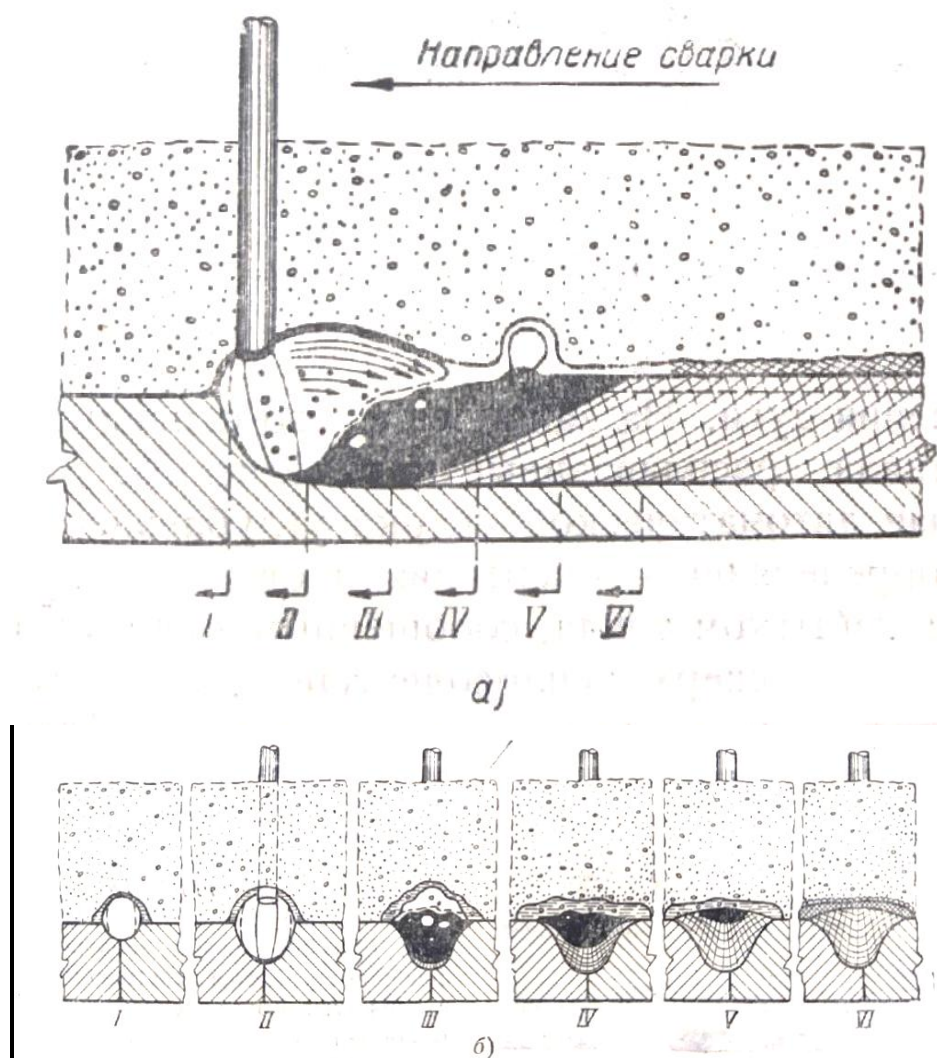


Рисунок 2 – Схема процесса автоматической сварки под флюсом [1]

По мере движения погруженной дуги, под воздействием мощного излучения столба проплавляются лежащие впереди участки твердого металла (рисунок 2, I). Тонкий слой жидкого металла, остающийся у основания дуги, не препятствует проплавлению основного металла под действием тепла, выделяемого в активном пятне (рисунок 2, а). Расплавляемый дугой металл электрода переносится через дуговой промежуток в сварочную ванну в виде мелких капель, часть которых, возможно, заключена в шлаковую оболочку. Попадая в ванну, капли присадочного металла перемешиваются с жидким основным металлом.

Плавление флюса происходит, главным образом, позади электрода, вследствие теплового излучения наклонного столба дуги. Флюс, расплавляясь, стекает по внутренним стенкам полости, где горит дуга (рисунок 2, а). Наблюдение процесса в рентгеновских лучах позволяет говорить о непрерывном, как бы струнном, движении жидкого флюса по стенкам полости. Движение его направлено вниз и назад, в сторону формирующегося шва.

Траектория полета части капель электродного металла, отрывающихся от конца электрода, совпадает с направлением движения жидкого флюса. Представляется возможным говорить о перемещении части капель электродного металла в потоке жидкого флюса. В своем движении назад жидкий флюс омывает поверхность сварочной ванны. При этом некоторая часть его перемешивается с жидким металлом. По мере удаления дуги капельки флюса, попавшие в сварочную ванну, всплывают на ее поверхность и сливаются с шлаковым покровом. Часть капелек (обычно наиболее мелких) не успевает всплыть и остается в металле шва.

Процесс образования шва при сварке под флюсом можно условно разделить на две фазы:

1. расплавление основного металла дугой на некоторую глубину, вытеснение жидкого металла назад и образование канавки, частично заполненной металлом.

2. заполнение канавки (по мере удаления дуги) жидким металлом, представляющим собой смесь электродного металла с металлом, образовавшимся от плавления лежащих впереди участков основного металла.

Поверхность ванны и флюс, находящийся сзади электрода, подвергаются воздействию теплового излучения дуги. В результате температура сварочной ванны доводится до кипения. Избыточное тепло, приобретенное ванной, частично используется для дополнительного оплавления свариваемых кромок уже после того, как они были проплавлены дугой (рисунок 2, III и IV). При этом довольно заметно увеличивается ширина провара. Теплота, запасенная жидким флюсом, не расходуется на плавление металла. Однако в условиях ограниченного теплоотвода, например, при сварке нахлесточных швов без лодочки, происходит некоторое оплавление верхней кромки жидким флюсом.

Часть расплавленного флюса, растекаясь под слоем сыпучего флюса (рисунок 2, III), подогревает кромки, облегчая их дополнительное оплавление перегретым металлом сварочной ванны, поступающим из зоны дуги.

По мере удаления дуги, отвод теплоты в массу холодного металла начинает преобладать на притоком теплоты. На поверхности раздела жидкой и твердой фаз начинается процесс кристаллизации (рисунок 2, III). Затвердевание ванны носит периодический, слоистый характер. В нормальных условиях сварки образуется плотный равномерный мелкочешуйчатый шов (рисунок 3, а, в). Шлак, покрывающий поверхность ванны, остается жидким до конца ее затвердевания и не препятствует свободному удалению газов — продуктов металлургических процессов, протекающих в плавильном пространстве (рисунок 2, V и VI) слой флюса играет роль теплой надставки на изложнице, замедляющей затвердевание верхней части ванны. По истечении некоторого времени шлак полностью затвердевает, превращаясь в корку, легко отделяющуюся от поверхности сварного шва (рисунок 3, б).

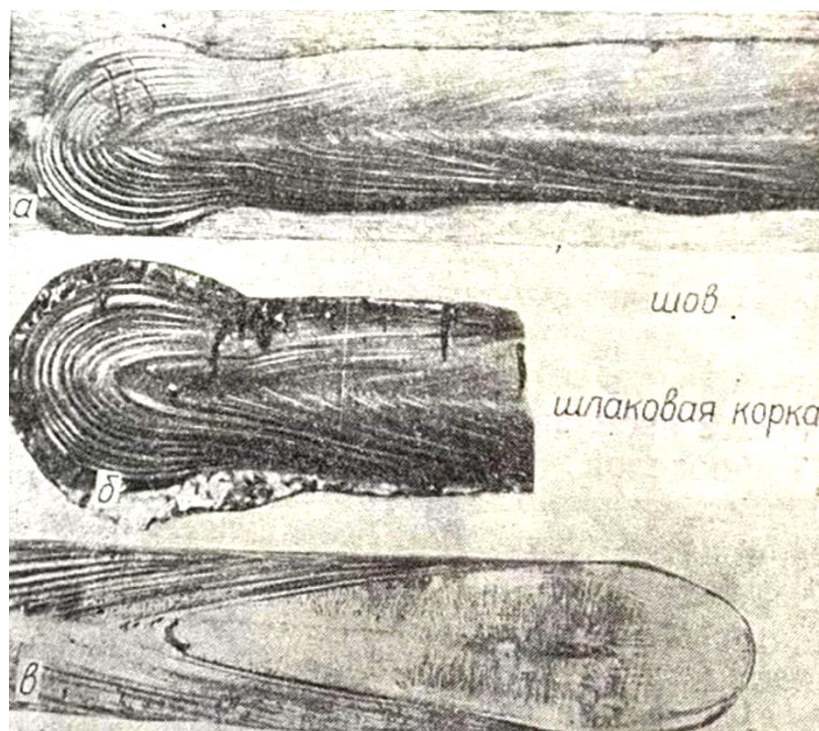


Рисунок 3 – Вид шва, сваренного под флюсом: а – поверхность шва; б – шлаковая корка, удаленная со шва; в – конечная часть шва [1]

1.2 Вольтамперная характеристика сварочной дуги под флюсом

Как элемент электрической цепи – сварочная дуга представляет собой нелинейный элемент. В общем виде вольтамперная статическая характеристика сварочной дуги имеет V-образную характеристику (рисунок 4).

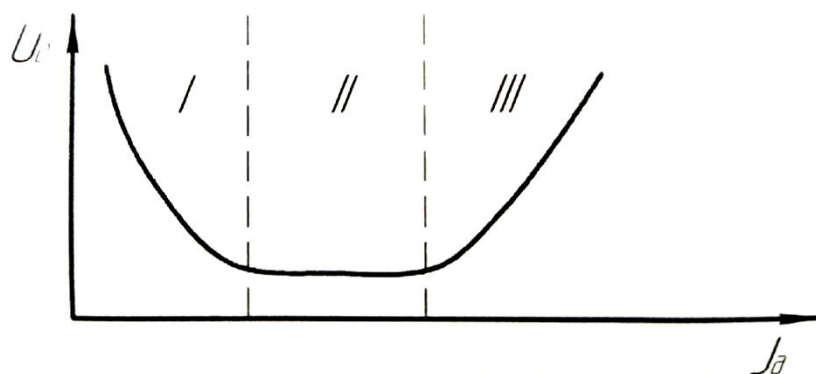


Рисунок 4 – Общий вид вольтамперной характеристики сварочной дуги

На рисунке область I соответствует малым режимам (0,5-10) А, где форма характеристики падающая. Область II соответствует средним режимам с умеренными плотностями тока (сварка под флюсом, электродами с покрытием, неплавящимся электродом в аргоне и др.). В этой области

$$U_d = E_d, \quad (1)$$

где U_d – напряжение дуги, В;

E_d – пассивная противо – Э. Д. С. сварочной дуги, В.

Область III соответствует сварке при высоких плотностях тока. В этой области напряжения дугового промежутка может быть представлено в виде:

$$U_d = E_d + I_d R_d, \quad (2)$$

где R_d – динамическое сопротивление сварочной дуги, Ом;

I_d – сварочный ток дуги, А.

1.3 Перенос электродного металла в сварочную ванну

При сварке открытой дугой электродами с меловым покрытием при малых значениях металл электрода переносится в сварочную ванну крупными каплями. Отрыв этих капель от электрода происходит главным действием электродинамических сил, возникающих благодаря взаимному притяжению линий тока в жидком проводнике, каким является капля металла, образующаяся на конце электрода. Сжимающее действие тока способствует образованию шейки и отрыву капель, которые перетекают с электрода в ванну и кратковременно замыкают дуговой промежуток. Величина осевого усилия пропорциональна квадрату сварочного тока. При сварке в нижнем положении сила тяжести действует совместно с электродинамической силой; при потолочной сварке она препятствует переносу электродных капель.

Кривые напряжения и тока при сварке открытой дугой электродами с толстым покрытием указывают на отсутствие коротких замыканий дугового промежутка крупными каплями электродного металла. Перенос металла в

этом случае происходит в виде мелких капель. Такой характер переноса металла сохраняется и при сварке небольшими токами, что объясняется своеобразным металлургическим действием качественного электродного покрытия.

Осциллограммы, снятые при сварке под флюсом на обычно применяемых режимах, свидетельствуют об отсутствии коротких замыканий дугового промежутка. Это дает основание полагать, что и при сварке под флюсом электродный металл переносится в виде мелких капель.

Косвенным подтверждением мелкокапельного переноса являются результаты исследования мелких металлических шариков, извлеченных из шлаковой корки (рисунок 5). Если допустить, что с конца электрода вылетают с большой скоростью капельки жидкого металла, естественно, можно предположить, что некоторая их часть должна попасть во флюсовую оболочку, окружающую зону сварки. Химический анализ шариков, извлеченных из шлаковых корок, показал, что они по своему составу очень близки к составу сварочной проволоки. опыты показали, что в шлаковой корке застревает не более 1.5% расплавленного электродного металла.

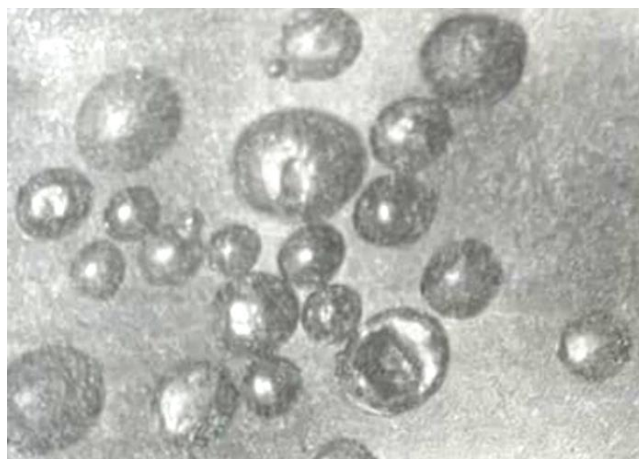


Рисунок 5 – Капли электродного металла, извлеченные из шлаковой корки

[1]

Отрыв капель от электрода происходит под действием электродинами-

ческой силы, бурного кипения железа с выделением окиси углерода силы тяжести, а также под воздействием давления дуги. Отрыву капля препятствует поверхностное натяжение жидкого металла.

Электродинамическая сила возникает благодаря взаимному притяжению линий тока в жидком проводнике, каким является капля металла, образующаяся на конце электрода. Электродинамическое усилие в жидком проводнике переменного сечения направлено от меньшего сечения к большему. Оно способствует отрыву капли, соединенной с электродом шейкой.

На первый взгляд может показаться, что давление дуги на жидкий металл, находящийся на конце электрода, препятствует отрыву капля. В действительности наклонное расположение столба дуги, характерное для сварки под флюсом, приводит к тому, что давление дуги порождает усилия, способствующие отрыву капля жидкого металла.

Силы, действующие на каплю, образующиеся на конце электрода при сварке под флюсом, схематически изображены на рисунке 6. Составляющая P'_d давления дуги P_d стремится отклонить конец электрода, другая составляющая P''_d отгоняет каплю жидкого металла назад вверх. Равнодействующая R силы тяжести G и составляющей давления дуги P''_d совместно с электродинамической силой $P_{эл д}$ отрывают каплю от конца электрода.

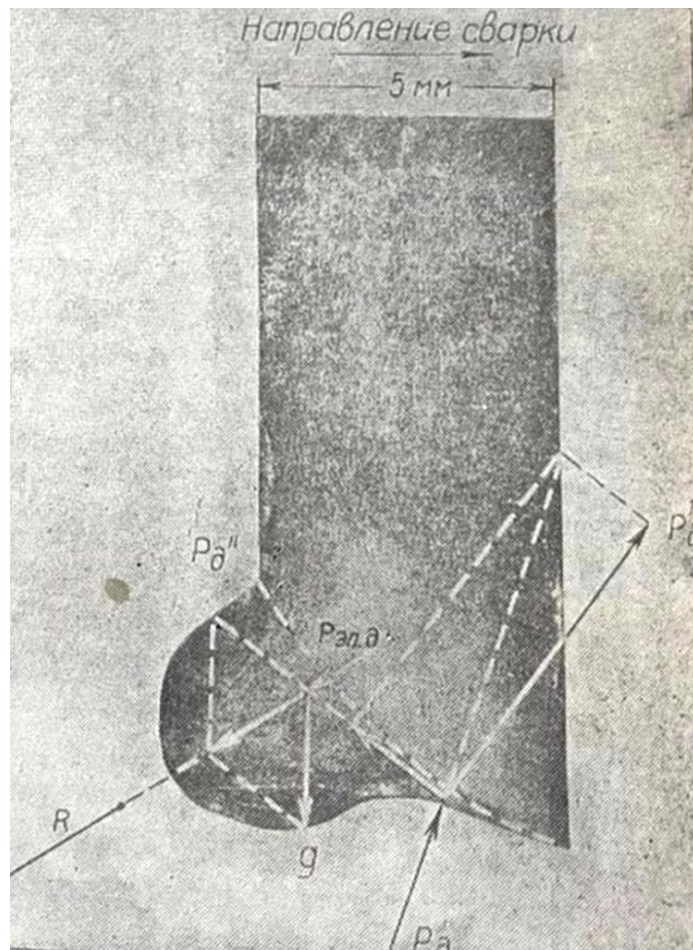


Рисунок 6 – Силы, действующие на каплю, образовавшуюся на конце электрода [1]

Оторвавшиеся капли летят не только вниз, как при сварке открытой дугой, но и назад в сторону, обратную направлению сварки. Отдельные стадии этого процесса схематически изображены на рисунке 7.

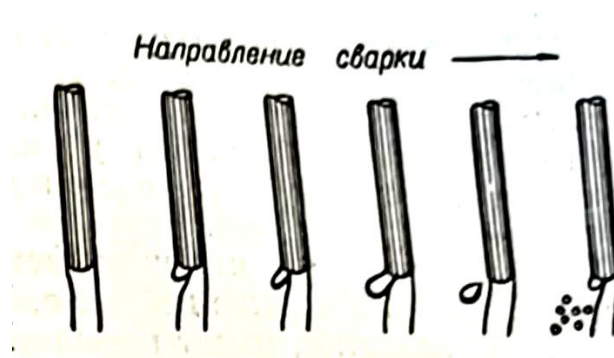


Рисунок 7 – Процесс образования и отрыва капель с конца электрода [1]

При сварке толстопокрытыми электродами основная масса капель летит не назад, а вниз. Такой направленности полета капель, возможно способствует замедленное плавление электродного покрытия, образующего своего рода трубку вокруг верхней части столба дуги.

При сварке под флюсом известная часть капель летит назад, в сторону наклонной поверхности сварочной ванны. По данным исследования зоны сварки в рентгеновских лучах, движение этой части капель происходит в потоке жидкого флюса, омывающего в процессе своего движения поверхность сварочной ванны.

1.4 Силы, действующие на сварочную ванну

При сварке под флюсом объем жидкой ванны обычно бывает во много раз большим, чем при ручной сварке открытой дугой. Ванна имеет своеобразную удлиненную форму с углублением у основания столба дуги. Конечная часть шва дает представление о форме сварочной ванны, иногда ее называют кратером. В действительности кратером является углубление, образуемое дугой в головной части сварочной ванны.

Естественно, что глубина проплавления (провар) основного металла бывает тем большим, чем глубже погружается дуга в толщу основного металла, т е чем глубже кратер.

Для регулирования глубины проплавления нужно знать причины образования кратера. Наличие кратера приводит к тому, что жидкий металл находится на различном уровне в передней и задней частях затвердевающей ванны. Необходимым условием нормального протекания процесса сварки является поддержание постоянной разности уровней жидкого металла. Это означает, что давление жидкого металла и флюса должно уравниваться силами, образующими кратер (рисунок 8). Как только это динамическое равновесие нарушится, жидкий металл либо заполнит кратер (в этом случае провар резко уменьшится), либо совсем уйдет от дуги (при этом провар возрастает).

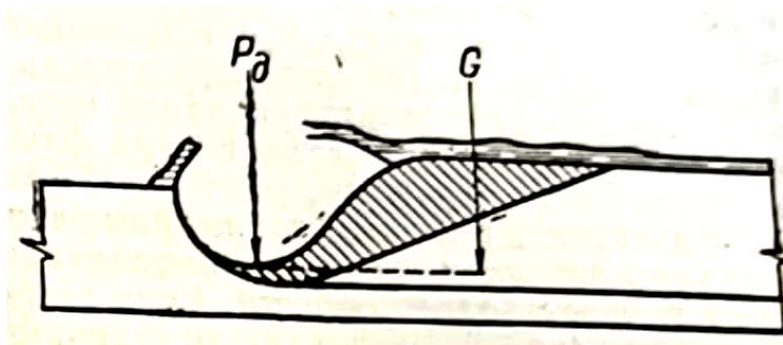


Рисунок 8 – Равновесие сил, действующих в жидкой ванне [1]

Из сил, действующих в кратере ванны, наиболее важные электродинамические и реактивные силы. Давление газа внутри флюсовой оболочки (в полости, выплавленной дугой во флюсе) играет, по-видимому, небольшую роль.

В ванне, образующейся тотчас после зажигания дуги (рисунок 9, а), линии тока идут от активного пятна к поверхности раздела расплавленного и нерасплавленного металла. Создается электродинамическое усилие, вытесняющее жидкий металл из-под дуги. Если дуга неподвижна, металл вытесняется равномерно во все стороны (рисунок 9, б). Если дуга перемещается, металл вытесняется в сторону, противоположную ее движению (рисунок 9, в). Чем больше плотность тока, тем сильнее вытесняется металл ванны из-под дуги.

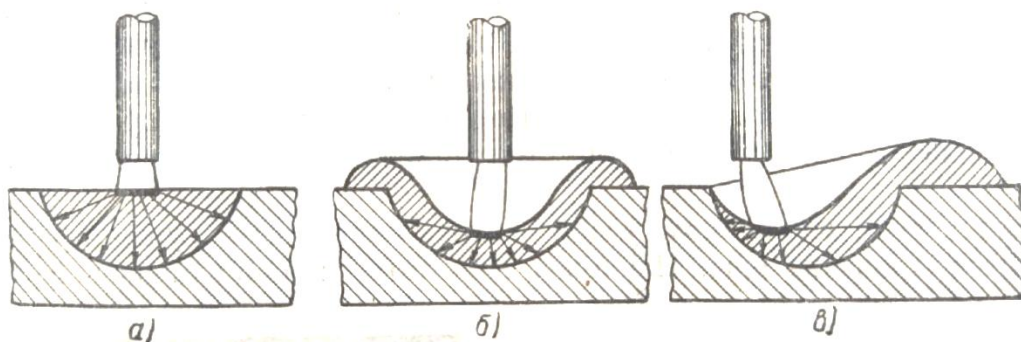


Рисунок 9 – Схема вытеснения жидкого металла из ванны [1]

Известно, что по мере уменьшения диаметра электрода и возрастания плотности тока увеличивается расстояние между плавящимся концом электрода и поверхностью ванны, т. е. усиливается вытеснение жидкого металла из-под дуги.

«Химическое» кипение ванны и реактивное давление, создаваемое выделением окиси углерода, также способствуют образованию кратера. Равнодействующую давления газов, электродинамической и реактивной сил будем называть давлением дуги. Суммарное давление дуги можно выразить приближенной формулой (3):

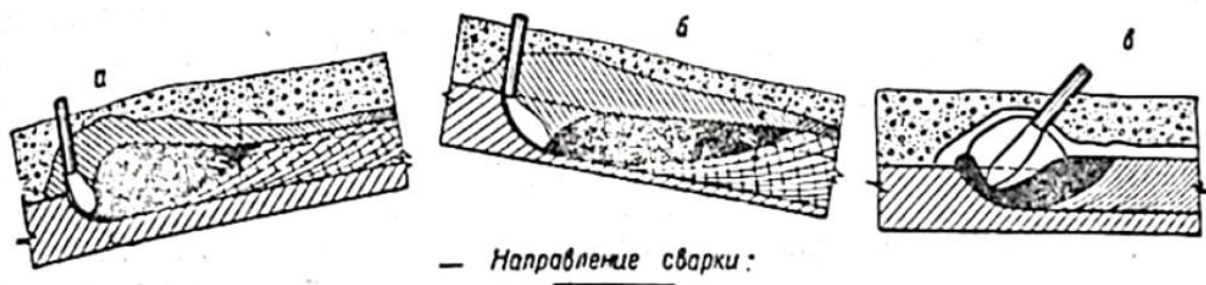
$$S_{\text{д}} = 0,05 \cdot I_{\text{д}}^2 \text{ дин.}, \quad (3)$$

где $I_{\text{д}}$ – сварочный ток в А.

Давление дуги обуславливает вытеснение металла и образование кратера. Формирование ванны зависит от того, как сочетается давление дуги с силой тяжести, подвижностью дуги и условиями растекания металла.

1.5 Формирование шва в различных условиях

Формирование сварного шва зависит от того, как сочетаются давление дуги с гидростатическим давлением жидкой ванны, с условиями растекания жидких флюсов и металла и, особенно, с подвижностью столба дуги.



а – при сварке на спуск; б – при сварке на подъем; в – при сварке электродом, наклоненным вдоль шва углом вперед

Рисунок 10 – Схема расположения жидкой ванны [1]

Сварка на наклонной плоскости. Если наклонить изделие и производить сварку сверху вниз (на спуск), то разность уровней жидкого металла в передней и задней частях ванны уменьшится (рис. 10, а). При этом происходит понижение уровня металла в затвердевающей части и повышение уровня под столбом дуги. Хотя давление дуги не изменилось, толщина жидкого слоя в кратере увеличивается. Вследствие этого изменяется расположение столба дуги; значительной своей частью дуга выступает над поверхностью металла. При этом усиливается блуждание дуги, возрастает ее подвижность; увеличивается поверхность ванны, на которой успевает побывать активное пятно. В результате увеличивается ширина провара. Увеличение жидкого слоя под дугой приводит к уменьшению глубины провара, поэтому при сварке на спуск формируется широкий валик при относительно неглубоком проваре. Если наклонить изделие в противоположную сторону и производить сварку снизу вверх (на подъем), то гидростатическое давление уменьшается. Сила тяжести суммируется с давлением дуги, и жидкий металл уходит из-под нее. Поэтому повышается уровень жидкого металла в затвердевающей части ванны.

Толщина жидкого слоя под дугой уменьшается (рис. 10, б), столб дуги еще глубже погружается в основной металл. Подвижность дуги уменьшается, провар ос ионного металла возрастает, а ширина шва заметно уменьшается.

Сварка длинной дугой. Условия растекания металла оказывают существенное влияние на формирование шва. Известно, что жидкий металл плохо смачивает и не растекается по холодному металлу, образуя при этом наплывы. Чтобы металл ванны, вытесняемый давлением дуги, хорошо смачивал и оплавлял кромки, они должны быть подогреты излучением дуги и расплавленным флюсом. С увеличением длины дуги усиливается подогрев кромок и улучшаются условия растекания металла. Вытеснение жидкого металла из передней части ванны ослабляется, при этом усиливается перегрев ее излучением дуги, поэтому при сварке длинной дугой глубина провара несколько уменьшается, ширина провара заметно увеличивается и

формируется широкий низкий валик с плавными очертаниями.

Следует отметить, что применение пемзовидного флюса вместо стекловидного оказывает такое же действие, как увеличение длины дуги. Стекловидный флюс, как известно, имеет насыпной вес почти вдвое больший, чем пемзовидный флюс, поэтому объем полости, выплавляемой дугой при сварке под пемзовидным флюсом, гораздо больший, чем под стекловидным флюсом. Это повышает подвижность дуги. Кроме того, усиливается подогрев кромок излучением столба дуги. Соответственно улучшаются условия формирования шва.

Сварка наклонным электродом. Наклон электрода вдоль шва углом вперед, как показал, оказывает существенное влияние на условия формирования шва. Наклоняя электрод, можно изменять расположение столба дуги; активное пятно на основном металле перемещается вперед по направлению сварки (рис. 10, в). При этом уменьшается вертикальная составляющая давления дуги, величина которой, как указывалось, определяет глубину провара. Вертикальная составляющая давления дуги при неизменной величине тока уменьшается пропорционально синусу угла наклона электрода. Опытные данные подтверждают, что и глубина провара будет изменяться по такому же закону. При сварке наклонным электродом, вследствие уменьшения вертикальной составляющей давления дуги, столб дуги значительной частью располагается выше уровня свариваемых кромок. Подвижность дуги и подогрев кромок усиливаются в значительно большей степени, чем при сварке длинной дугой или при сварке на спуск. При наклоне электрода под углом 45° глубина провара уменьшается почти в два раза, а ширина провара увеличивается более чем в полтора раза, по сравнению со сваркой вертикальным электродом.

1.6 Преимущества и недостатки автоматической сварки под флюсом

Применение гранулированного флюса вместо покрытия, наносимого на

электрод, обусловило очень ценные и важные преимущества этого вида сварки перед другими способами дуговой сварки.

Производительность сварки под флюсом в 5 - 10 раз выше производительности при ручной сварке металлическим электродом, причем производительность повышается с увеличением толщины свариваемого металла.

Высокая производительность достигается благодаря следующим особенностям сварки под флюсом [1]:

1. Применение больших токов при использовании относительно тонкой проволоки, т. е. увеличение плотности тока, которое возможно благодаря максимальному приближению точки токоподвода к сварочной дуге и наличию защитного слоя флюса. При ручной сварке открытой дугой электродами 5 мм сварочный ток обычно не превышает 200 А (плотность тока 10 А/мм²) При сварке под флюсом проволокой такого же диаметра ток обычно составляет 800—1000 А (плотность тока 40—50 А/мм²) и нередко достигает 1200 – 1600 А. При сварке под флюсом проволокой диаметром 1,6 - 2,0 мм плотность тока обычно равна 70—100 А/мм², а в ряде случаев достигает 150—200 А/мм².

2. Сокращение машинного времени благодаря повышению скорости сварки, которое стало возможным вследствие применения больших токов, увеличения концентрации сварочного нагрева, повышения коэффициента использования сварочной дуги и применения специальных технологических приемов. Так, например, если скорость ручной сварки стали толщиной 8—10 мм не превышает 6 - 8 м/час, то скорость сварки под флюсом такого металла составляет 30—40 м/час и может быть доведена до 120—160 м/час.

3. Уменьшение количества наплавляемого присадочного металла вследствие глубокого проплавления основного металла. Этим обусловлена возможность сварки стыковых швов без разделки кромок и без зазора при толщине до 20 мм или с зазором при толщине листов свыше 20 мм, а также уменьшение угла раскрытия кромок при сварке встык с разделкой.

4. Уменьшение внешнего сечения угловых швов сравнительно со швами, сваренными вручную, вследствие более глубокого проплавления основного металла.

5. Повышение коэффициента наплавки от 7 - 10 г/а.ч при ручной сварке до 14—16 г/а.ч при обычной однодуговой сварке и до 25 - 30 г/а.ч при сварке несколькими дугами, что особенно важно для наплавочных работ и при сварке швов большого сечения.

Повышение качества металла шва и сварного соединения при сварке под флюсом достигается [1]:

- надежной защитой плавильного пространства от воздействия кислорода и азота воздуха;

- получением металла шва более однородного по химическому составу благодаря стабильности режима сварки и, следовательно, постоянству соотношения количеств расплавляемых присадочного и основного металлов и взаимодействующего с ними флюса—шлака;

- увеличением плотности металла шва и лучшим формированием его. чем при ручной сварке;

- сведением к минимуму опасности непровара благодаря более глубокому проплавлению основного металла.

Экономия сварочных материалов и электроэнергии при сварке под флюсом достигается благодаря уменьшению расходов [1]:

- электродной (присадочной) проволоки на угар, разбрызгивание и огарки, а также на заполнение шва вследствие увеличения доли участия основного металла в металле шва;

- на нанесение электродных покрытий на сварочную проволоку;

- электроэнергии, вследствие лучшего использования тепла дуги и отсутствия потерь тепла при разбрызгивании и угаре металла.

Эксплуатационные преимущества сварки под флюсом, весьма значительные по сравнению с ручной сваркой, заключаются в том, что [1]:

- отпала необходимость в защите глаз и лица сварщика, так как горящая под флюсом дуга невидима;

- дуговая сварка из кустарного и тяжелого ремесла превратилась в современный механизированный технологический процесс, в котором тяжелый ручной труд сварщика заменен работой механизмов — сварочных головок, тракторов и т. п., а функции рабочего-сварщика сведены к управлению этими механизмами; высвобождены тысячи высококвалифицированных сварщиков;

- резко улучшились условия труда в сварочных цехах, поскольку при сварке под флюсом выделение вредных газов крайне невелико; отпала также необходимость в специальной вентиляции рабочих мест;

- облегчен контроль режима сварки, что, в известной мере, упростило и облегчило контроль качества сварных соединений.

К минусам сварки под флюсом относится затрудненность сварки тонкостенных изделий и сильная текучесть расплавленного металла и флюса.

1.7 Методы устранения недостатков

При сварке тонкостенных изделий, когда теплоотвод в стенки изделия ограничен, необходимо регулировать проплавленную способность дуги и характер формирования шва, чтобы исключить возможность появления прожогов. Одним из методов управления технологическими свойствами дуги является периодическое изменение электрических параметров режима с заданной частотой, амплитудой и формой импульсов. Сюда относятся такие технологические схемы сварки, как импульсно-дуговая, сварка модулированным током и пульсирующей дугой. Исследования показали, что основным преимуществом первых двух технологических схем сварки плавящимся электродом является возможность управления переносом электродного металла. Сварка же пульсирующей дугой позволяет управлять условиями формирования шва.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Сварка под флюсом является одной из самых распространенных способов дуговой сварки плавящимся электродом, так как имеет большое количество достоинств. При этом сварка под флюсом имеет и недостатки. Одним из таких недостатков является затрудненность сварки тонкостенных изделий.

2 МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПРОЦЕССА СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

2.1 Сварка пульсирующей дугой

Ф. А. Вагнером и В. А. Казаровым был изобретен способ сварки импульсной дугой, отличающийся тем, что с целью повышения качества сварного соединения, используют импульс, передний и задний фронты которого изменяются по экспоненциальному закону. Также этот способ отличается тем, что, с целью получения импульсов в случае применения в качестве источника питания генератора с независимой обмоткой возбуждения, осуществляют периодический разрыв последней.

Изобретение является более предпочтительным чем ранее существующие способы по нескольким причинам [2]:

- характер ввода в изделие тепла соответствует характеру его отвода. Изделие в начальный момент интенсивно отводит тепло, а затем, по мере теплонасыщения, все медленнее. Экспоненциальная форма импульсов учитывает это, и тепло в изделие в начальный момент вводится интенсивно, а затем все медленнее. Таким образом, экспоненциальный характер ода тепла в изделие соответствует условиям усвоения этого тепла изделием. Степень этого соответствия определяется расчетной тепловой схемой и регулируется путем изменения электромагнитных параметров системы сварочный генератор — сварочная цепь;

- результатом достигаемого таким образом соответствия вводимого и отводимого в изделие тепла является исключение непроизводительных затрат энергии на перегрев сварного соединения, понижающий качество металла шва и околошовной зоны;

- экспоненциальный характер изменения сварочного тока приводит к постепенному нарастанию давления дуги, однако интенсивность роста этого давления, как это и требуется, уменьшается с увеличением сварочной ванны,

когда сварочный ток приближается к своему максимальному значению. В результате этого обеспечивается хорошее формирование швов.

В дальнейшем изобретенный способ будет называться сваркой пульсирующей дугой, который имеет применение и для сварки под флюсом.

Таким образом, сварка пульсирующей дугой состоит в том, что скорость и количество вводимой в изделие теплоты определяются режимом пульсации дуги, который устанавливается по определенной программе, зависящей от свойств свариваемого металла, его толщины, пространственного положения сварки [6]. Скорость нарастания и спада электрической мощности дуги, частоту и амплитуду ее пульсации можно изменять в довольно широких пределах. В результате изменения угла открытия на нагрузку подаются неполные полуволны синусоиды, в результате такого регулирования снижается действующее напряжение [7]. Электрический ток при этом пульсирует в пределах от нескольких до сотен ампер при небольшой частоте пульсации, при этом продолжительность цикла колеблется от нескольких десятых секунды до 1,5 с и более [3].

В работе проведен анализ следующих известных способов реализации процесса сварки пульсирующей дугой:

1. С помощью устройств, предложенных Ф. А. Вагнером (реле пульсации дуги, прерыватель тока и тиристорный коммутатор [4]).
2. С помощью изменения скорости подачи сварочной проволоки.
3. С помощью управления током в обмотке шунта трансформатора.
4. С помощью импульсно фазового управления (ИФУ).

2.2 Сварка пульсирующей дугой за счет применения устройств, предложенных Ф. А. Вагнером

2.2.1 Реле пульсации дуги

В качестве реле пульсации дуги применяется реле типа РПД-М, являющееся усовершенствованным вариантом разработанного автором [5]

устройства для ручной дуговой сварки пульсирующей дугой. Реле типа РПД-М серийно выпускается Экспериментальным заводом средств автоматизации Минмон-тяжспецстроя СССР.

Реле пульсации дуги типа РПД-М предназначено для управления током намагничивания в сварочных преобразователях и создания, таким образом, пульсирующей дуги при ручной дуговой сварке. Оно может быть использовано и для механизированных способов сварки. Конструктивно устройство оформлено в виде отдельного блока, на переднюю панель которого выведены все органы управления. Принципиальная схема реле РПД-М приведена на рис. 11. Реле пульсации дуги РПД-М представляет собой бесконтактное переключающее устройство, выполненное на полупроводниковых приборах, и функционально разделено на пять блоков: генератор пульсации, схему ИЛИ, фазорегулятор, тиристорный регулятор-переключатель, блок питания.

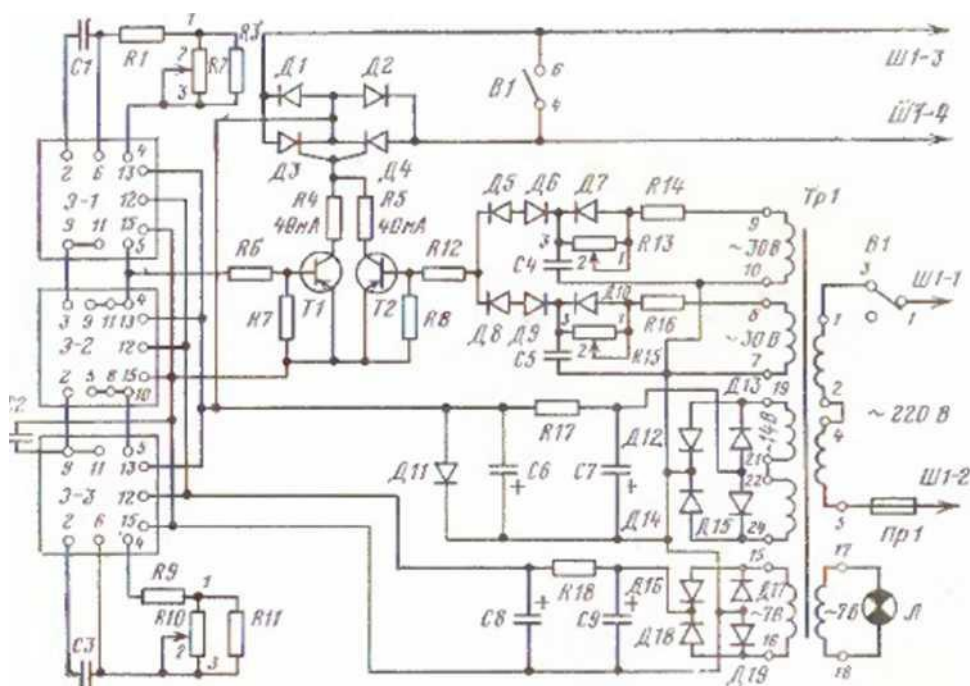


Рисунок 11 – Принципиальная электрическая схема реле пульсации дуги (РПД-М) [4]

В качестве генератора пульсации, собранного на элементах Э-1 – Э-3, применена схема генератора на логических элементах типа Т-303 (выдержка времени) и типа Т-101 (элемент ИЛИ—НЕ). Схема ИЛИ выполнена на двух маломощных транзисторах Т1, Т2 типа МП-42Б. На базу транзистора Т1 подаются импульсы с генератора пульсации, а на базу транзистора Т2 — с фазорегулятора. Нагрузкой схемы ИЛИ является тиристорный регулятор-переключатель.

Для регулировки минимального тока в РПД-М применена фазосдвигающая цепочка, состоящая из переменных резисторов R13, R15 и конденсаторов С4, С5. Отрицательный импульс, сдвинутый по фазе относительно частоты сети переменного тока 220 В, управляет транзистором Т2 схемы ИЛИ.

Тиристорный регулятор-переключатель представляет собой бесконтактный выключатель переменного тока, позволяющий регулировать ток во внешней цепи. Управляется схемой ИЛИ.

Блок питания состоит из силового трансформатора и двух выпрямителей.

2.2.2 Прерыватель тока

Прерыватель тока — устройство, предназначенное для управления сварочным током во вторичной цепи преобразователей типов ПСО-300, ПС-500 или других аналогичных, может быть использовано также при ручной и механизированной сварке.

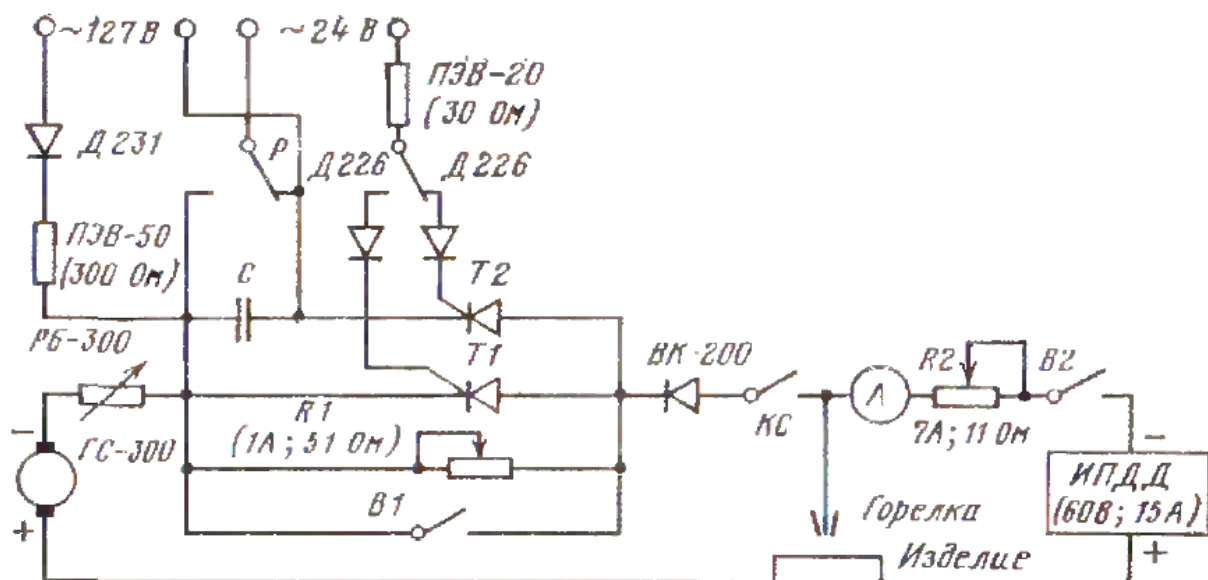


Рисунок 12 – Принципиальная электрическая схема прерывателя. КС – контакты сварочного контактора; В1, В2, Р – переключатели [4]

Блок прерывателя построен по схеме тиристорного триггера с емкостной коммутацией (рис. 12). Напряжение заряда конденсатора С (тип МБГВ 500-160, параллельно 2 шт.) выше напряжения холостого хода генератора и составляет около 120 В. Сварочный ток включается по сигналу, подаваемому на тиристор Т1 блоком управления, а выключается по команде, подающейся на вспомогательный тиристор Т2, при этом тиристор Т1 запирается обратным повышенным напряжением, снимаемым с конденсатора С.

Когда сварочный ток выключен, на электрод подается напряжение от малоомощного блока питания типа ИПДД.

2.2.3 Тиристорный коммутатор

Тиристорный коммутатор выполнен с облегченной емкостной коммутацией применительно к сварочному выпрямителю типа ВД 303. Схема коммутатора представлена на силовых тиристорах Т-150-6. Схема силовой части коммутатора приведена на рисунке 13, а схема управления коммутатором – на рисунке 14.

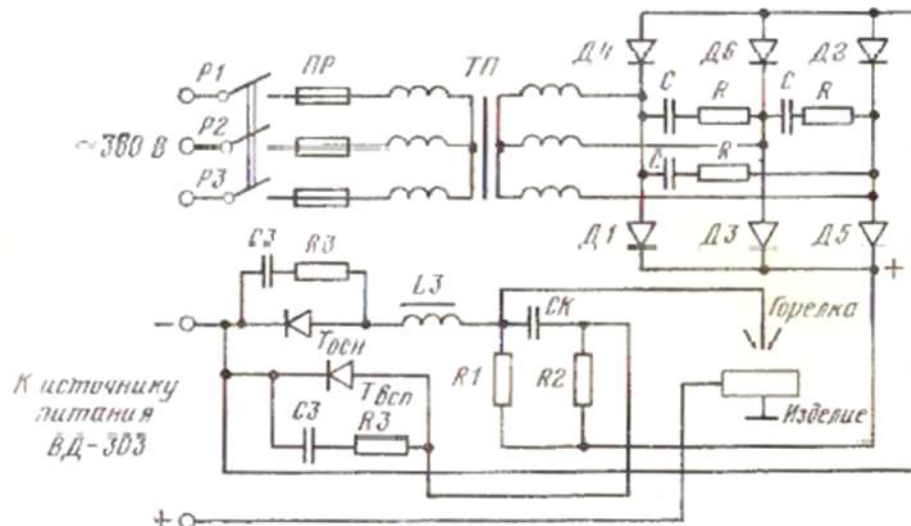


Рисунок 13 – Схема силовой части коммутатора [4]

В цепь основного тиристора Тосн пропускающего через себя импульс сварочного тока, установлен насыщающий реактор L3 с прямоугольной петлей намагничивания. Он позволяет снизить коммутационные потери при включении и выключении тиристорov, а также уменьшить скорость нарастания тока.

Для снятия перенапряжения, которое возникает в момент резкого обрыва импульса обратного тока на индуктивных сопротивлениях, в цепи коммутатора установлен защитный конденсатор C3. Последовательно с ним включен демпфирующий резистор R3 устраняющий затухающие колебания, которые возникают из-за резонанса между индуктивностью L3 и индуктивностью в цепи коммутатора. Для осуществления коммутации тиристорov установлены два резистора R1 и R2 коммутирующий конденсатор СК и вспомогательный трехфазный выпрямитель на диодах Д1 – Д6.

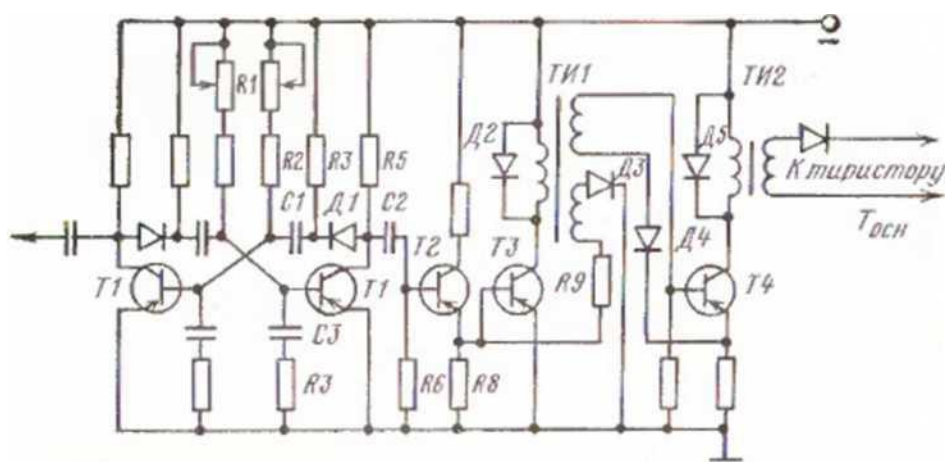


Рисунок 14 – Схема управления коммутатором [4]

Максимальный амплитудный сварочный ток составляет 300 А при следующих постоянных параметрах: $C_K=100$ мкФ; $U_{ком}=300$ В (напряжение коммутации); $T_{в}=100$ мкс (время восстановления управляемости тиристора). При подаче управляющего импульса на основной тиристор последний открывается, в результате чего заряжается коммутирующий конденсатор СК до напряжения 300 В с полярностью, указанной на схеме. От выпрямителя типа ВД-303 подается импульс тока. С подачей импульса управления па тиристор Тосн происходит разряд конденсатора СК и тиристор Тосн закрывается. Наступает пауза, затем конденсатор СК перезаряжается.

Применение водяного охлаждения тиристоры Тосн и Твсп вместо воздушного позволило увеличить амплитудное значение тока до 300 А. Минимальное значение сварочного тока регулируется балластным реостатом типа РБ-300, который подключается параллельно тиристоры Тосн. Для повышения помехоустойчивости тиристорного коммутатора в нем применена схема на транзисторно-трансформаторных элементах с защитным фильтром СЗРЗ.

Для улучшения работоспособности тиристоры Тосн и Твсп в схеме коммутатора управляющие импульсы выбраны с минимальной длительностью (20 мкс) и небольшим фронтом их нарастания (2 мкс). Задающим генератором управляющих импульсов служит симметричный

мультивибратор с улучшенной формой выходных импульсов. Ограничителем длительности импульсов является дифференцирующая цепь R6C2, а формирователем служит блокинг-генератор на транзисторе Т4 и трансформаторе ТИ2. С одного канала снимается управляющий импульс на включение тиристора Тосн, а с другого канала— на включение тиристора Твсп

2.3 Сварка пульсирующей дугой за счет изменения скорости подачи сварочной проволоки

В статье [5] была предложена технологическая схема сварки пульсирующей дугой на переменном токе, при которой в каждом конкретном опыте скорость вращения ведущих роликов N (об/мин) поддерживали постоянной и программировали длительность периодов подачи электрода n и длительность пауз m без синхронного изменения напряжения на выходных зажимах источника питания дуги. Эксперименты проводили на лабораторной установке, оборудованной специальной подающими механизмами, обеспечивающими плавное изменение скорости подачи электродной проволоки и регулировки длительности периодов подачи электрода и пауз. На рисунке 15, а показан подающий механизм, предложенный в статье, с плоскими фигурными ведущими роликами. Регулировка режима пульсации в данном случае достигается за счет изменения протяжённости выступов и впадин на ведущих роликах.

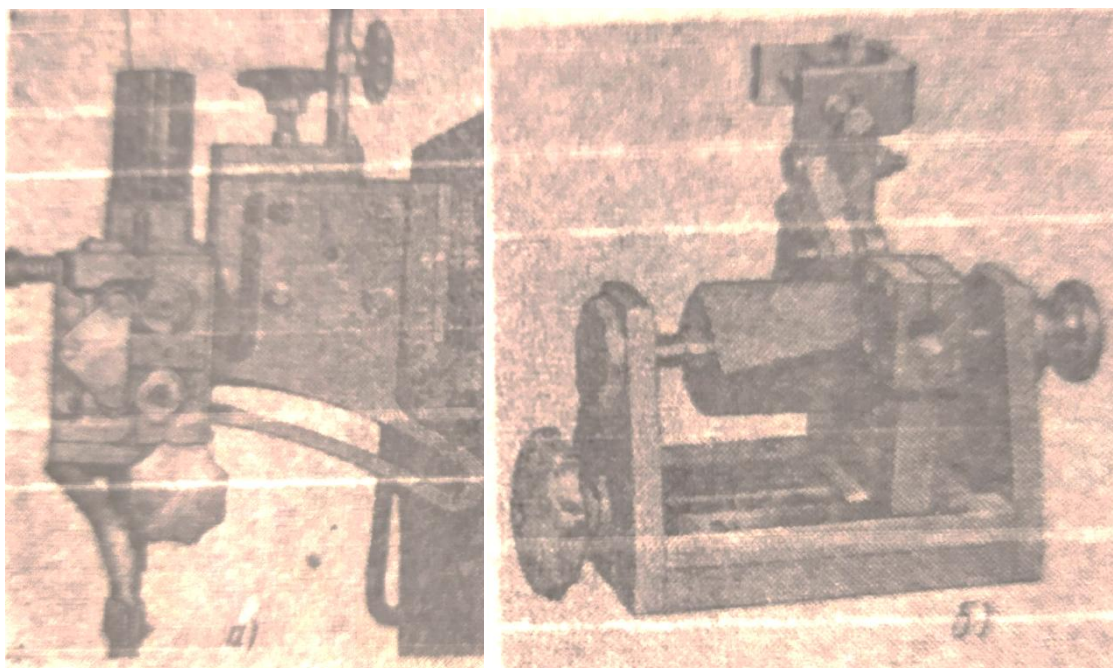


Рисунок 15 – Подающий механизм с плоскими фигурными роликами (а) и удлиненным ведущим роликом (б) [5]

На рисунке 15, б показан подающий механизм, имеющий удлиненный ведущий ролик с пазом переменной ширины на рабочей поверхности. Перемещение прижимного ролика вместе со сварочной проволокой параллельно оси вращения ведущего ролика обеспечивает изменение пульсации режима сварки при постоянной скорости подачи проволоки.

Общую оценку изменения электрических параметров режима при сварке пульсирующей дугой под флюсом производили по осциллограммам тока и напряжения дуги, записанным на пленку. Оценку особенностей изменения тока за время одного периода горения дуги производили по осциллограммам, записанным на бумагу. Их анализ показал, что пульсирующий режим сварки под флюсом обеспечивает стабильное повторение периодов горения дуги (рисунок 16).

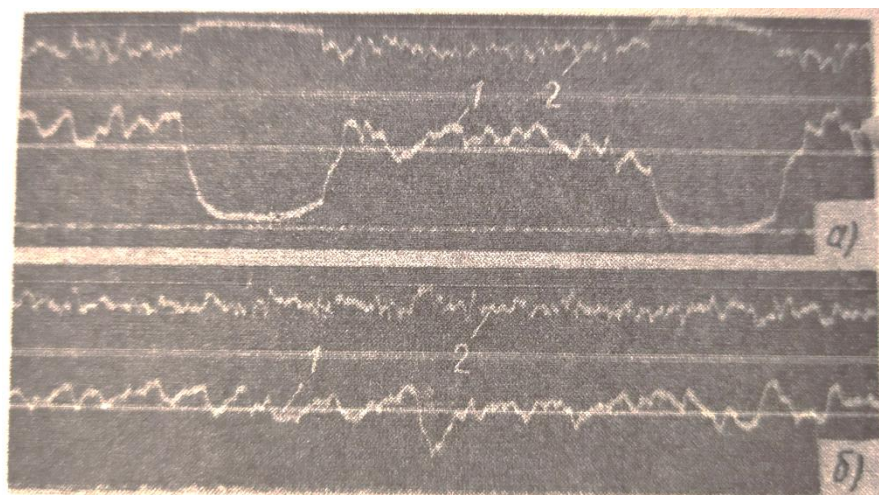


Рисунок 16 – Осциллограммы тока (1) и напряжения дуги (2) при режиме горения дуги [5]

На рисунке 16, а показаны осциллограммы при непрерывном горении дуги, на рисунке 16, б – при пульсирующем.

Проведенные исследования в статье показали, что при постоянных значениях скорости сварки, напряжения дуги и скорости вращения ведущих роликов можно изменить форму и сечение шва в широких пределах, регулируя длительность периода подачи проволоки и длительность паузы (рисунок 17).

Переменные параметры режима			Площадь наплавки в мм ²	Площадь проплавления в мм ²	$F_{н}/F_{пр}$	Глубина проплавления в мм
Длительность периода подачи проволоки в с	Длительность паузы в с	Частота пульсации $f = \frac{1}{n+t}$				
0,35	0,29	1,56	23,3	12,6	1,85	1,6
0,38	0,61	1,01	28,7	15,3	1,875	2,0
1,448	0,617	0,485	32,0	16,9	1,89	2,15
—	—	—	42,6	22,8	1,87	2,3

Примечание. Постоянные параметры режима: $d_э = 1,6$ мм; $v_н = 220$ м/ч; $v_{св} = 10,8$ м/ч; $U_д = 27$ В.

Рисунок 17 – Результаты проведенных исследований в статье [5]

Частота пульсации по результатам исследования в статье находится в

тиристора, питающего обмотку управления, на ОПТ проста, компактна и потребляет небольшую мощность.

На рисунке 19 представлена эпюра изменения тока дуги.

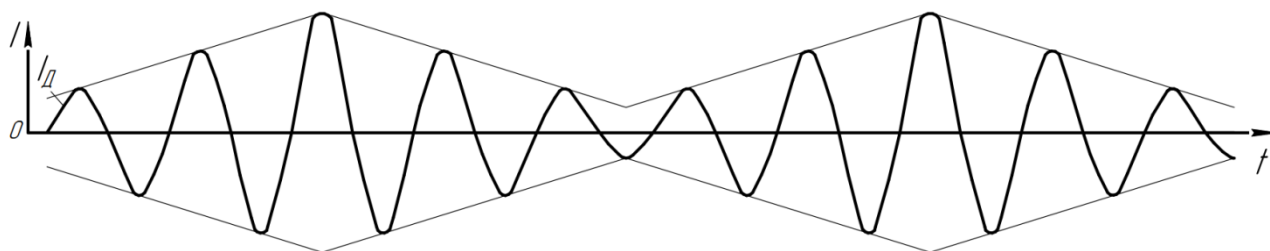


Рисунок 19 – Эпюра изменения тока дуги

Из рисунка видно, что переход тока от максимального к минимальному происходит не мгновенно, а за промежуток времени.

На рисунке 20 показано пересечение вольт–амперной характеристики дуги и двух режимов схемы управления током в обмотке подмагничивания шунта трансформатора.

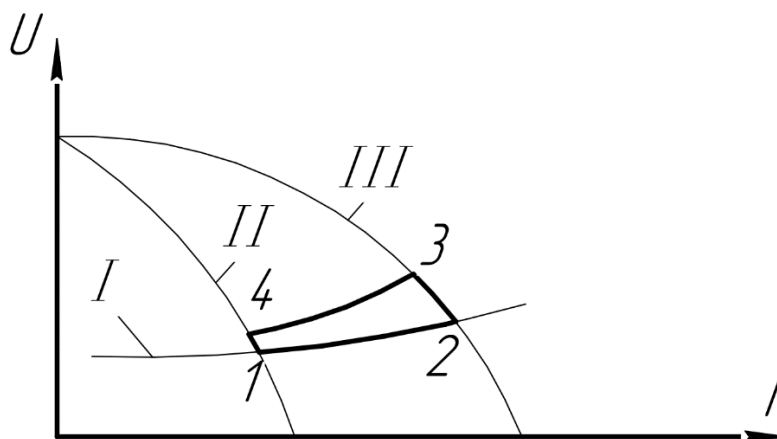


Рисунок 20 – Пересечение вольт–амперной характеристики дуги и двух режимов схемы управления током в обмотке подмагничивания шунта трансформатора

На рисунке под символом I показана вольт–амперная характеристика дуги, под символом II режим схемы, при котором оптотранзистор V2 на рисунке 18 замкнут и под символом III режим схемы, при котором оптотранзистор V2 на рисунке 18 разомкнут.

При замыкании оптотранзистора V2 ток увеличивается и переходит из точки 1 в точку 2. Перемещение из точки 2 в точку 3 происходит из-за оплавления электрода. При размыкании оптотранзистора ток уменьшается и переходит из точки 3 в точку 4, а затем в обратном направлении в точку 1.

Рассмотренный процесс также ограничен максимальной частотой пульсации 2-3 Гц.

2.5 Импульсно-фазовое управление переменным током

Импульсно-фазовое управление переменным током – способ регулирования переменного электрического тока синусоидальной формы путем изменения угла открытия тиристоров, симисторов, тиратронов или иных ключевых электронных приборов, включенных в сварочную цепь, предназначен для сварки малых толщин и корневых слоев.

На рисунке 21 показаны встречно-параллельно включенные тиристоры, зашунтированные сопротивлением R (ИРС), проводящие ток поочередно и управляющие переменным током. Регулирование величины тока осуществляется за счет изменения угла открытия тиристоров α (рисунок 22). При большом угле α ток имеет малые значения, при уменьшении угла α ток увеличивается.

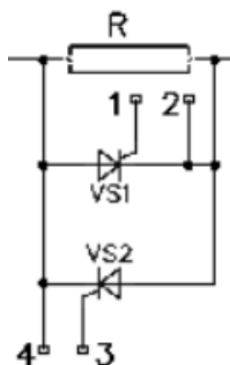


Рисунок 21 – Встречно–параллельно включенные тиристоры

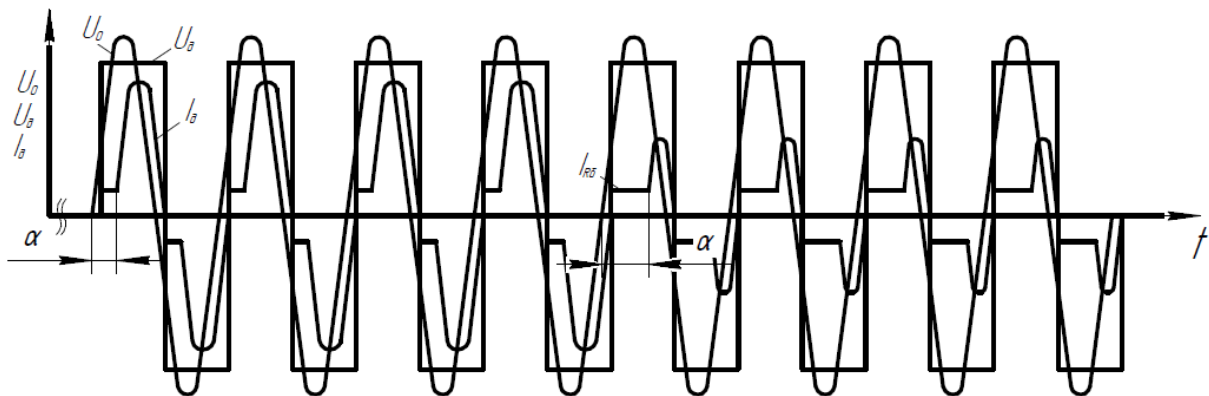


Рисунок 22 – Эпюры тока и напряжений

На рисунке символом U_D обозначено напряжение дуги, символом U_0 напряжение холостого хода и символом I_D ток дуги.

В рассмотренном процессе частота модуляции – фазы открытия силовых тиристоров происходит за половину периода напряжения питающей сети, что позволяет в широких пределах изменять длительность импульса при малом угле сдвига (большом значении тока) и при большом угле сдвига (при малом значении тока).

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Наиболее перспективным способом сварки, позволяющем уменьшить режим сварки, является способ импульсно-фазового управления встречно – параллельно включенными тиристорами в сварочной цепи, зашунтированных резистором для непрерывности протекания тока, сварочной цепи.

3 РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ СВАРКИ С АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНОЙ И ФАЗО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Известен способ сварки пульсирующей дугой, отличающийся тем, что с целью повышения качества сварного соединения, используют импульс, передний и задний фронты которого изменяются по экспоненциальному закону. Также этот способ отличается тем, что, с целью получения импульсов в случае применения в качестве источника питания генератора с независимой обмоткой возбуждения, осуществляют периодический разрыв последней.

Сварка пульсирующей дугой является более предпочтительной, чем ранее существующие способы, по нескольким причинам:

- характер ввода в изделие тепла соответствует характеру его отвода. Изделие в начальный момент интенсивно отводит тепло, а затем, по мере теплонасыщения, все медленнее. Экспоненциальная форма импульсов учитывает это, и тепло в изделие в начальный момент вводится интенсивно, а затем все медленнее. Таким образом, экспоненциальный характер ода тепла в изделие соответствует условиям усвоения этого тепла изделием. Степень этого соответствия определяется расчетной тепловой схемой и регулируется путем изменения электромагнитных параметров системы сварочный генератор — сварочная цепь;

- результатом достигаемого таким образом соответствия вводимого и отводимого в изделие тепла является исключение непроизводительных затрат энергии на перегрев сварного соединения, понижающий качество металла шва и околошовной зоны;

- экспоненциальный характер изменения сварочного тока приводит к постепенному нарастанию давления дуги, однако интенсивность роста этого давления, как это и требуется, уменьшается с увеличением сварочной ванны, когда сварочный ток приближается к своему максимальному значению. В результате этого обеспечивается хорошее формирование швов.

3.1 Выбранные способы достижения пульсации сварочной дуги

Тепловые процессы при сварке протекают по экспоненциальному закону. Известны процессы сварки пульсирующей дугой на его основе.

Сварка пульсирующей дугой предназначена для сварки изделий большой толщины и массы, так как они обладают большой тепловой постоянной (нагрева).

Разработаны также варианты пульсирующей дугой на постоянном токе для сварки неплавящимся электродом в инертных газах, ручной дуговой сварки, сварки в защитных газах плавящимся электродом и для сварки на переменном токе плавящимся электродом под флюсом.

Причем для сварки на постоянном токе пульсация параметров режима осуществляется за счет специальных источников пульсации, а на переменном токе за счет пульсации скорости подачи электрода.

Сварка пульсирующей дугой при помощи специальных источников пульсации имеет следующие преимущества:

- использование стандартного сварочного оборудования (сварочные преобразователи, трансформаторы, выпрямители);
- возможность изменять термический цикл не только в шве, но и в околошовной зоне, что является необходимым условием повышения качества сварных соединений;
- сварка в разных пространственных положениях за счет небольшой частоты пульсации мощности дуги;
- амплитудные значения мощности дуги в процессе ее пульсации могут изменяться в пределах от нескольких до сотен ватт;
- скорость увеличения и уменьшения мощности дуги изменяется в широких пределах.

Сварка же пульсирующей дугой при помощи пульсации скорости подачи электрода позволяет регулировать проплавляющую способность дуги

и характер формирования шва за счет снижения погонной энергии и уменьшения площади проплавления.

Для сварки под флюсом на переменном токе пульсацию параметров режима можно осуществлять за счет специальных источников питания, но с учетом тепловой постоянной сварочной ванны должны быть варианты сварки для больших и малых толщин.

В обоих вариантах используется метод импульсно-фазового управления.

3.2 Варианты сварки больших толщин

В этих вариантах, которые представлены ниже на рисунках 23, 24, 25, частота пульсации в зависимости от толщины изделия может в пределах от долей герца до нескольких герц.

На рисунках 23, 24, 25 приняты следующие обозначения:

t – время;

$I(0)$ – базовое значение амплитуды переменного тока;

I_{\max} – амплитудное значение переменного тока;

$I_1(t)$ – текущее значение амплитуды переменного тока;

τ – постоянная времени – экспонента, по которой изменяется амплитуда тока;

3τ – время установления максимальной амплитуды тока I_{\max} ;

$t_2 - t_1$ – время снижения амплитуды тока до базового значения тока.

На рисунке 23 амплитудное значение тока $I_1(t)$ в момент времени t_1 не достигает установившегося значения и затем снижается до базового значения. Далее процесс повторяется. Значения t_1 и t_2 задаются из технологических требований.

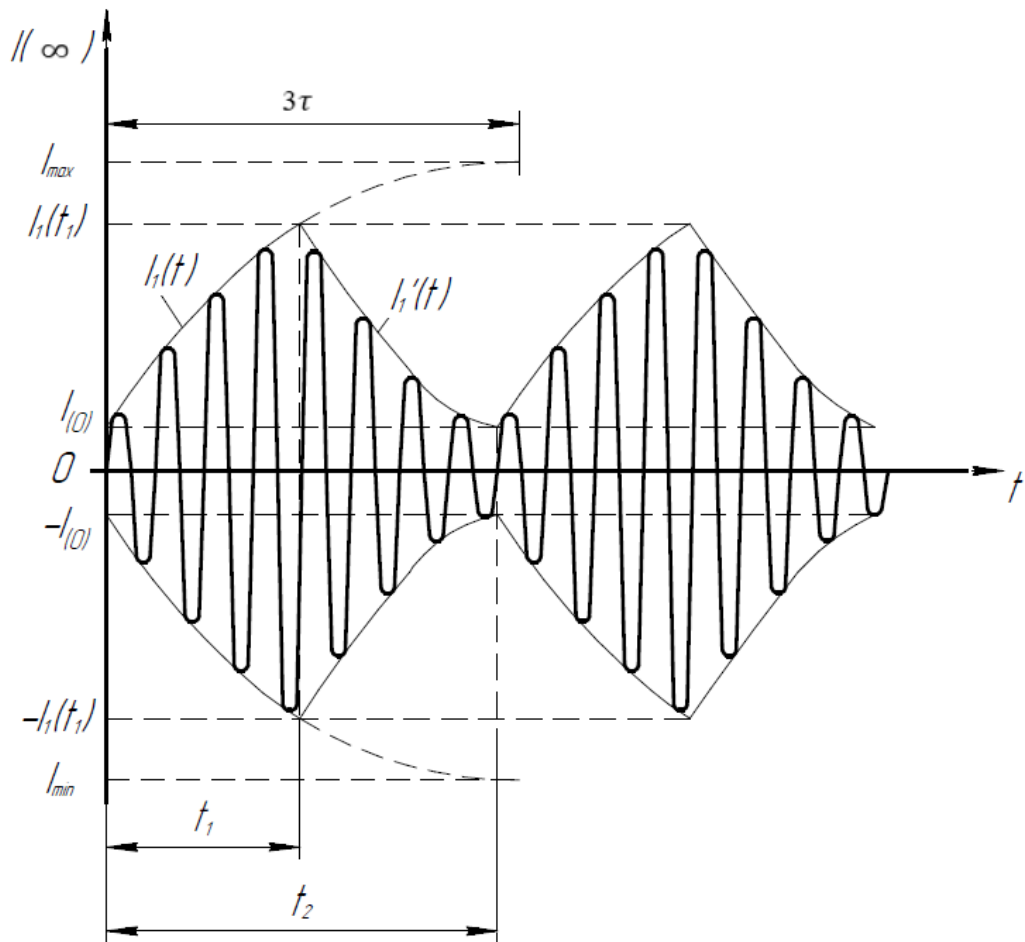


Рисунок 23 – Циклограмма, когда ток дуги не достигает максимального значения

На рисунке 24 за время $t \geq 3\tau$ ток $I_1(t)$ достигает установившегося значения и затем за время $t_3 = t_1 - 3\tau$ остается на этом уровне. После этого снижается до базового значения за время 3τ . Далее процесс повторяется.

Значение времени $t_1 = \tau_2$ (следовательно и $I(t)$) задаются из технологических требований.

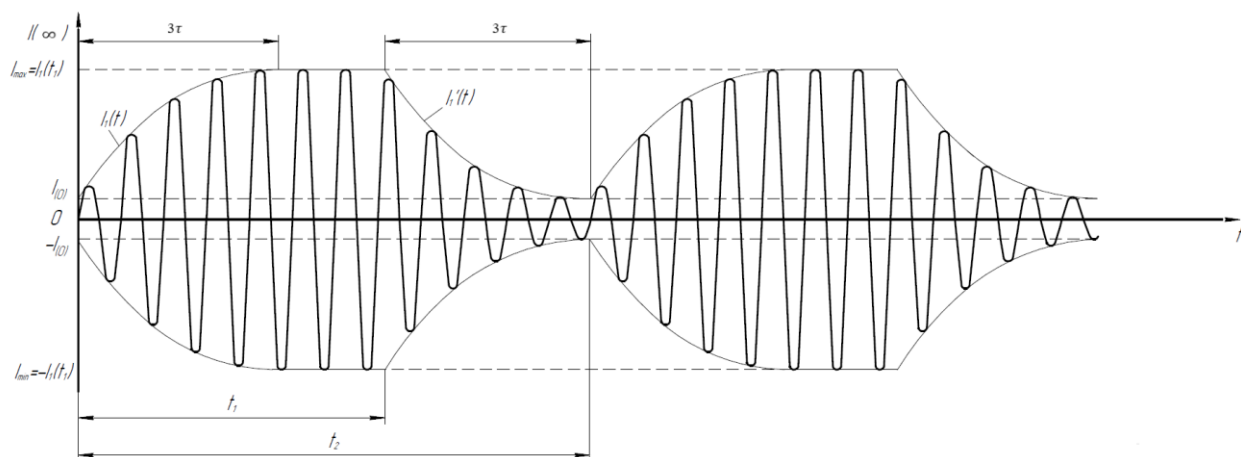


Рисунок 24 – Циклограмма, когда ток дуги достигает максимального значения

На рисунке 25 в цикл сварки вводится пауза на уровне базового значения амплитуды тока $I(t)$, когда из технологических требований необходима частичная кристаллизация сварочной ванны.

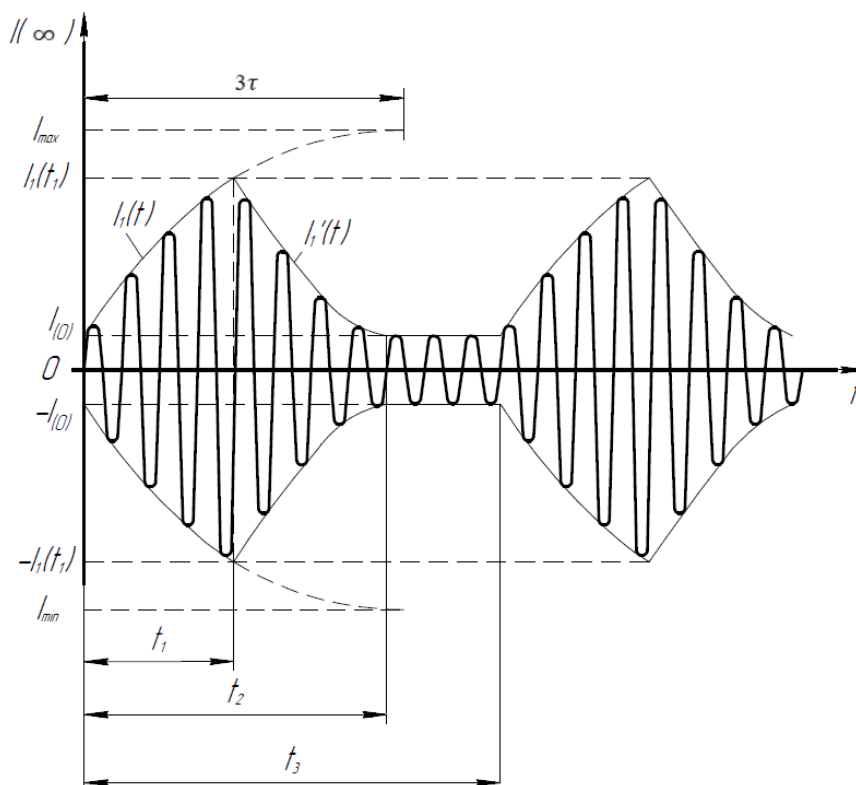


Рисунок 25 – Циклограмма, когда ток дуги при достижении точки $I_1'(t_2)$ принимает постоянное значение на время $t_3 - t_2$

В приведенных эпюрах на рисунках 23, 24, 25.

амплитуда тока при $t = 3\tau$ вычисляется по формуле (4)

$$I_{max} = \frac{U_{2max} - U_d}{R_{ц}}, \quad (4)$$

где τ - постоянная времени сварочной цепи;

при $t \geq 0$ получим

$$I_1(t) = I(\infty) + B e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (5)$$

где $I(\infty) = I(t)$ при $t \rightarrow \infty$

Учитывая, что $I(t)$ при $t = 0$ соответствует $I(t)$ для $t = 0$, получим

$$I(0) = I(\infty) + B. \quad (6)$$

Соответственно

$$B = I(0) - I(\infty). \quad (7)$$

Подставляя равенство, получим

$$I_1(t) = I(\infty) + [I(0) - I(\infty)] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (8)$$

Для $I'_1(t)$ формула будет выглядеть иначе

$$I'_1(t) = I_1(t_1) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (9)$$

При $t=0$ получим

$$I'_1(0) = I_1(t_1) \cdot e^{-\frac{(t_2-t_1)}{\tau}}. \quad (10)$$

Разработанные варианты процессов реализуются за счет управления током в обмотке подмагничивания шунта сварочного трансформатора.

Такой процесс можно охарактеризовать как непрерывную амплитудно-импульсную модуляцию переменного сварочного тока, но при этом ограничен максимальной частотой пульсации 2-3 Гц.

3.3 Импульсно-фазовое управление переменным током по сварочной цепи

Такое управление необходимо при сварке корневых слоев и малых толщин (2÷4 мм), когда необходимо большое давление дуги при малом объеме сварочной ванны.

Импульсно-фазовое управление переменным током – способ регулирования переменного электрического тока синусоидальной формы путем изменения угла открытия тиристорov, симисторов, тиратронов или иных ключевых электронных приборов, на которых собран выпрямитель или электрический ключ.

На рисунке 26 показаны встречно-параллельно включенные тиристоры, проводящие ток поочередно и управляющие переменным током. Регулирование величины тока осуществляется за счет изменения угла открытия тиристорov α (рисунок 27). При большом угле α ток имеет малые значения, при уменьшении угла α ток увеличивается.

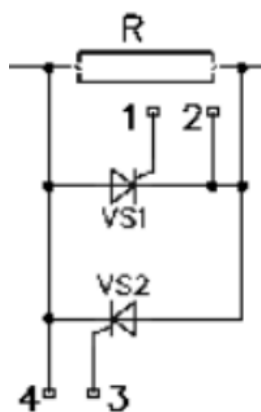


Рисунок 26 – Встречно–параллельно включенные тиристоры

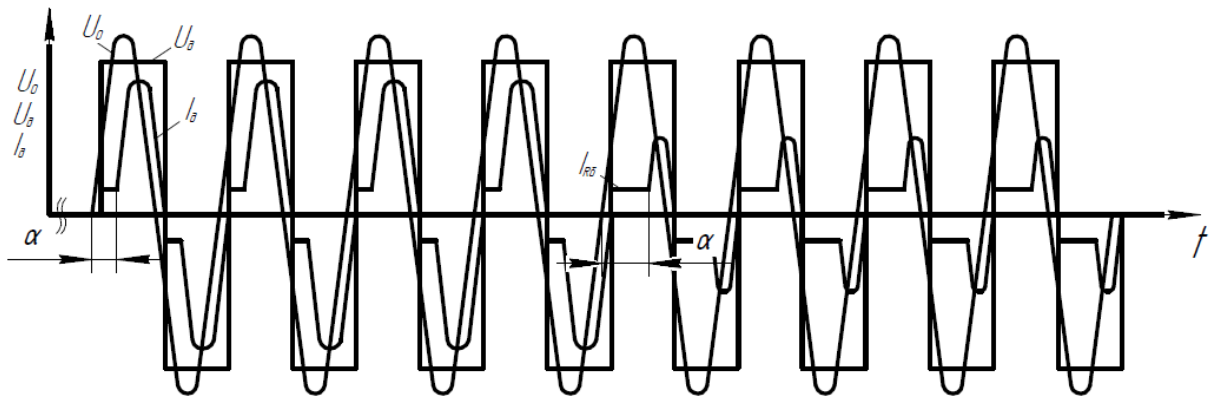


Рисунок 27 – Эпюры тока и напряжений

На рисунке символом U_d обозначено напряжение дуги, символом U_0 напряжение холостого хода, символом I_d ток дуги и символом $I_{RБ}$ ток балластного реостата.

В рассмотренном процессе частота модуляции – фазы открытия силовых тиристорov происходит за половину периода напряжения питающей сети, что позволяет в широких пределах и независимо друг от друга изменять длительность импульса при малом угле сдвига (большом значении тока) и при большом угле сдвига (при малом значении тока).

Минимальное значение угла α определяется из следующих соображений.

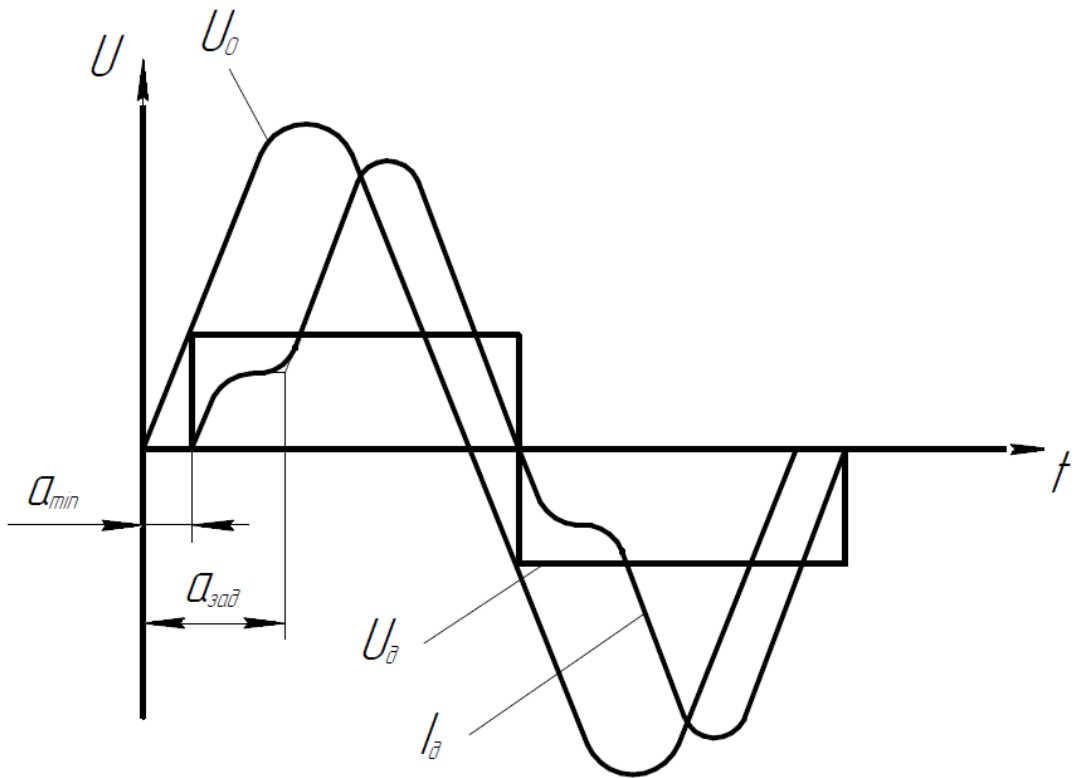


Рисунок 28 – Эпюры тока и напряжений

На рисунке 28 представлены эпюры тока и напряжений с указанными обозначениями, приведенными ниже.

$$U_D = U_{0MAX} \cdot \sin \alpha_{MIN}, \quad (11)$$

где U_D - напряжение горения дуги;

U_{0MAX} – амплитуда напряжения источника тока;

α_{MIN} - минимальный угол.

Для нахождения α произведение преобразуется

$$\frac{U_D}{U_{0MAX}} = \sin \alpha_{MIN}, \quad (12)$$

$$\alpha_{MIN} = \arcsin \frac{U_D}{U_{0MAX}}. \quad (13)$$

Импульсно-фазовое управление встречно параллельно-включенными тиристорами позволяет уменьшить режимы сварки и, соответственно, производить сварку малых толщин.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Разработанные способы сварки под флюсом позволяют за счет амплитудно импульсной модуляции (АИМ) переменного сварочного тока расширить диапазон сварочных режимов в сторону меньших значений и существенно улучшить качество сварных соединений.

Разработанный способ импульсно-фазовой модуляции (ФИМ) переменного тока по сварочной цепи позволяет осуществить сварку корневых слоев и малых толщин от $1,5 \div 2$ мм и выше.

- импульсно-регулируемое сопротивление (ИРС), которое состоит из параллельно-встречно включенных тиристоров VS1 и VS2 зашунтированных сопротивлением R и включенных последовательно в сварочную цепь;
- амперметр А с трансформатором тока ТТ;
- блок управления сварочным циклом (пороговые устройства ПУ2 и ПУ3, интеграторы И2 и И3, импульсные элементы ИЭ2 и ИЭ3, элемент 4 2 ИЛИ НЕ);
- блок управления фазой открытия тиристоров VS1 и VS2 (пороговое устройства ПУ1, интегратор И1, импульсный усилитель ИУ, импульсный элемент ИЭ1, БА-блок абсолютных значений напряжения холостого хода U_0 сварочного трансформатора СТ);
- блок управления подмагничивания шунта трансформатора (пороговое устройство ПУ4, интегратор И4, импульсный элемент ИЭ4).

4.2 Сварочный трансформатор

Установка для сварки создана на основе модернизированного сварочного трансформатора ТДФ-1001, регулируемого подмагничиванием шунта (ТРПШ).

4.3 Импульсно-регулируемое сопротивление ИРС

Состоит из двух встречно-параллельно включенных тиристоров VS1 и VS2, зашунтированных сопротивлением R и включено последовательно в сварочную цепь. Оно имеет два значения: заданное значение R_3 , когда оба тиристора закрыты, а сварочный ток протекает через него и второе значение равное нулю, когда один из тиристоров открыт и закорачивает это сопротивление.

4.4 Блок абсолютных значений

Блок абсолютных значений напряжения холостого хода U_0 сварочного трансформатора ТДФ-1001 представляет собой однофазную мостовую схему

(рисунок 30) выпрямления, на выходе которой оба полупериода синусоиды положительные.

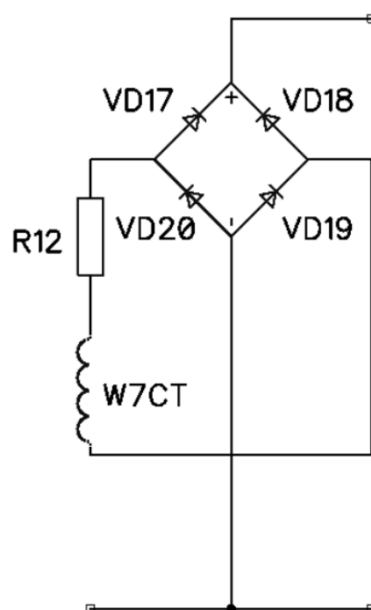


Рисунок 30 – Блок абсолютных значений-БА

4.5 Импульсный усилитель

Импульсный усилитель выполнен на биполярном транзисторе VT1 (рисунок 31), в коллекторную цепь которого включена первичная обмотка трехобмоточного импульсного трансформатора Tr_1 . При приходе импульса через сопротивление R16 протекает ток по цепи R16-база-эмиттер-VD5.

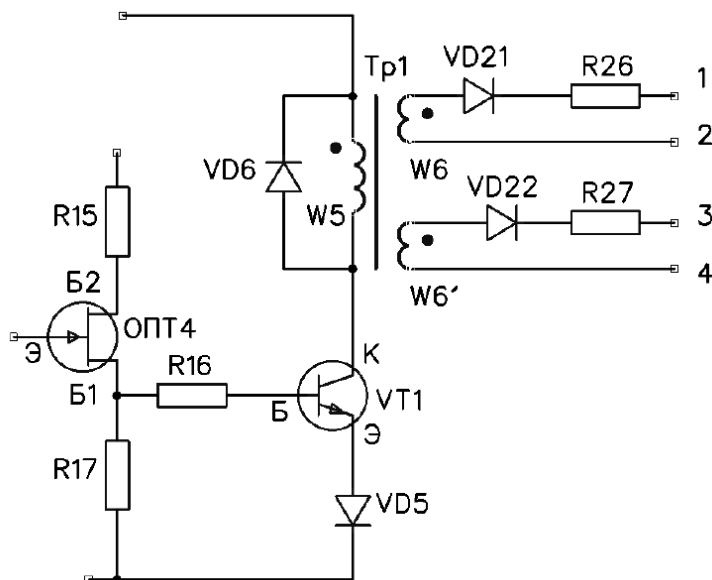


Рисунок 31 – Импульсный усилитель

На время импульса транзистор открывается и через первичную обмотку трансформатора Тр1 протекает импульс тока по цепи W5-коллектор-эмиттер-VD5. Этот импульс трансформируется во вторичные обмотки и передается дальше для управления другими элементами. Диод VD6 необходим для снятия перенапряжений возникающих при закрытии транзистора VT1. Диод VD5 необходим для защиты от помех.

4.6 Блок управления сварочным циклом

На рисунке 32 представлена принципиальная схема блока управления сварочным циклом

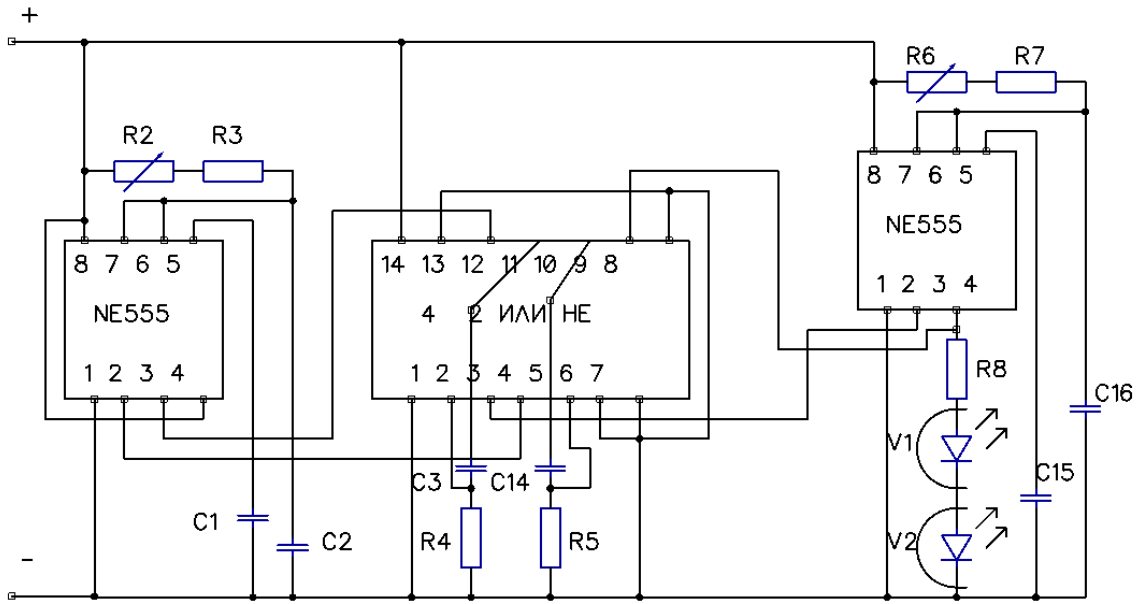


Рисунок 32 – Принципиальная схема блока управления сварочным ЦИКЛОМ

4.7 Принципиальная электрическая схема

Разработанная в соответствии с функциональной полная принципиальная электрическая схема представлена на рисунке 33.

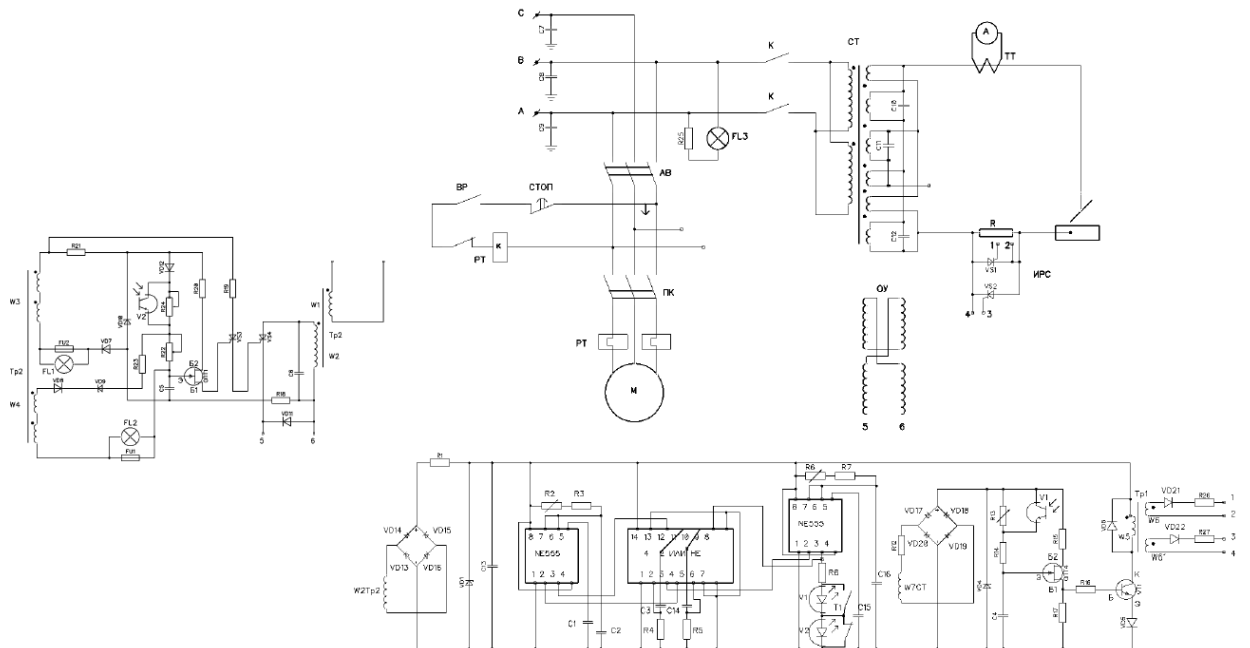


Рисунок 33 – Полная принципиальная электрическая схема

Сварочный трансформатор выполнен с частично разделенными обмотками, то есть часть вторичной обмотки находится на стержне вместе с первичной обмоткой. Эти обмотки обладают незначительным индуктивным сопротивлением. Вторая часть вторичной обмотки находится на другом стержне магнитопровода трансформатора и обладает повышенным индуктивным сопротивлением за счет чего обеспечивается внешняя крутопадающая характеристика трансформатора. Повышенное индуктивное сопротивление размещением магнитного шунта в воздушном пространстве между обмотками. На шунте расположена обмотка постоянного тока ОУ. При отсутствии тока в обмотке подмагничивания часть основного магнитного потока первичной обмотки замыкается магнитным шунтом и не проходит через вторичную обмотку, находящуюся на отдельном стержне. При этом индуктивное сопротивление этой обмотки велико и сварочный ток будет минимальным. Увеличивая ток в обмотке подмагничивания можно увеличивать сварочный ток. Измерение сварочного тока производится амперметром А через трансформатор тока ТТ.

4.9 Релейно-контакторная схема управления трансформатором

Работа релейно-контакторной схемы происходит следующим образом. При наличии поданного напряжения 3 на 380 В, которое фиксируется сигнальной лампочкой FL3, включают автомат АВ, подающее напряжение на блок управления трансформатором. После этого включают пакетный переключатель ПК. При этом подается напряжение к двигателю вентилятора М. Двигатель включается и создает поток воздуха, на пути которого расположено ветровое реле. При срабатывании ветрового реле замыкается его контакт ВР. При этом подается напряжение на обмотку контактора К. Контактор срабатывает и замыкает свои контакты в цепи первичной обмотки трансформатора СТ. Для защиты электродвигателя М служит тепловое реле РТ. Для выключения трансформатора необходимо нажать кнопку СТОП.

и обеспечивающий протекание тока при закрытом тиристоре VS4, защитный фильтр R18, С6.

Остальная часть схемы состоит из двух блоков: управления фазой отпирания тристора VS4 (обмотка W3, сопротивления R19-R22, R24, VS3, VD7, VD12, ОПТ1) и стабилизации режима при колебании напряжения сети (обмотка W4, VD8, VD9, R23).

Для электробезопасности и контроля работоспособности в схему включаются плавкие предохранители FU1, FU2, а также сигнальные лампы FL1 и FL2.

На рисунке 36 представлены эпюры тока и напряжения на основных элементах схемы.

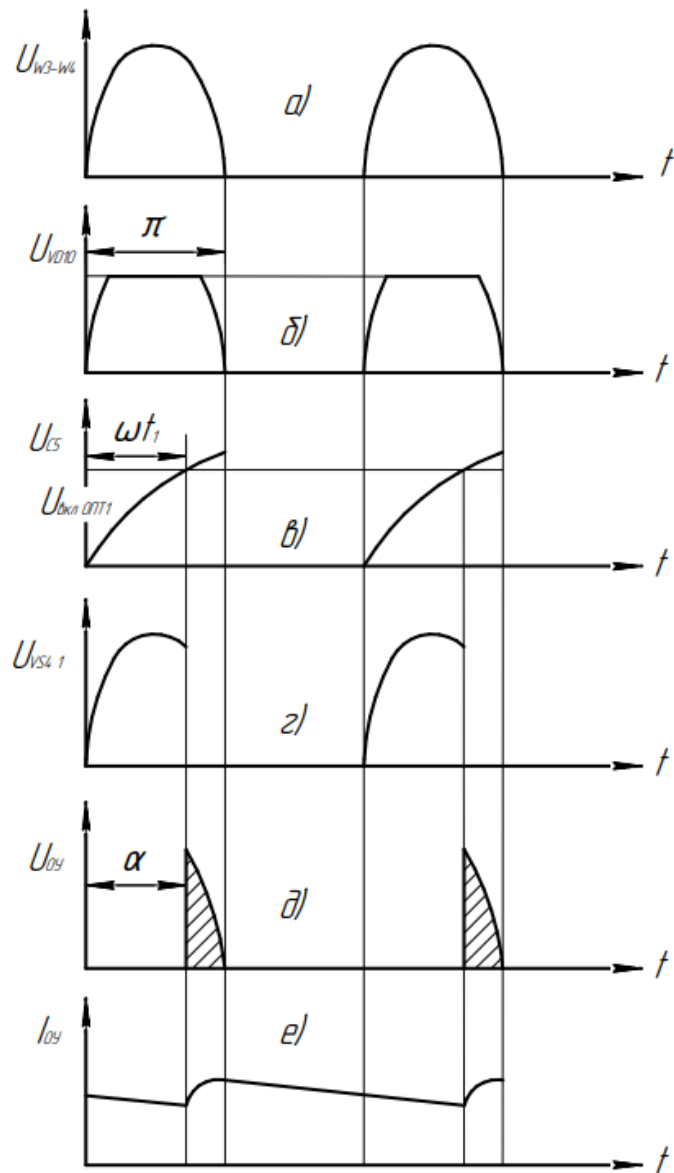


Рисунок 36 – Эпюры тока и напряжения на основных элементах модернизированной схемы управления

Для упрощения схемы обмотки W3 и W4 намотаны поверх вторичной обмотки W2 трансформатора Tr2 (имеющийся зазор в его окне и небольшое число витков позволяет это легко сделать).

Напряжение на обмотке W3 имеет вид полусинусоиды (рисунок 36, а), которая совпадает с полусинусоидой напряжения на обмотке W2, приложенного к аноду тиристора VS4. Стабилитрон VD10 стабилизирует напряжение этой полусинусоиды на уровне 30 В (рисунок 36, б), от которого заряжается времязадающий конденсатор C5 по цепи: «плюс», VD12, R24,

R22, C5; «минус». Время его заряда до напряжения переключения транзистора ОПТ1, а следовательно, и угол открытия тиристора VS4 регулируется переменным резистором R24. В момент достижения на конденсаторе C5 напряжения, равного напряжению переключения транзистора ОПТ1 (рисунок 36, в), он разряжается по цепи: верхняя обкладка конденсатора, эмиттер ОПТ1, его база, управляющий электрод тиристора VS3, нижняя обкладка конденсатора. При этом тиристор VS3 отпирается и открывает тиристор VS4 благодаря протеканию тока через управляющий электрод по цепи: верхний конец обмотки W3, сопротивление R19, тиристор VS3, управляющий переход тиристора VS4, нижний конец обмотки W3. Тиристор VS4 открывается в момент времени $\omega t_1 = \alpha$ (рисунок 36, г), который, как уже отмечалось, регулируется сопротивлением R24 и к обмотке управления магнитного шунта сварочного трансформатора прикладывается часть полуволны напряжения обмотки W2 длительностью $\pi - \alpha$ (рисунок 21, д, заштрихованная область). Форма тока в обмотке управления имеет непрерывный характер (рисунок 36, е). Сопротивление R22 ограничивает минимальное значение угла α и, следовательно, максимальный ток в обмотке управления.

Для стабилизации режима сварки при колебаниях напряжения сети предусмотрен блок стабилизации, питание которого осуществляется от дополнительной обмотки W4, находящейся также на сердечнике трансформатора Tr2. Через диод VD8 и стабилитрон VD9 напряжение, синфазное с напряжением обмотки W3, подается на сопротивление R22 в цепи заряда времязадающего конденсатора C5. Напряжение обмотки W3 и стабилитрон VD9 подобраны таким образом, что при минимальном допустимом сетевом напряжении последний не пропускает ток и блок стабилизации не работает. При увеличении сетевого напряжения стабилитрон начинает проводить ток - к сопротивлению R22 прикладывается напряжение, замедляющее заряд конденсатора C5. Это приводит к

увеличению угла α , а следовательно к уменьшению тока подмагничивания шунта, что в свою очередь обеспечивает постоянство сварочного тока.

4.11 Схема импульсно-фазового управления тиристорами VS1 и VS2 в импульсно-регулируемом сопротивлении

Схема импульсно-фазового управления тиристорами (ИФУ) включает блок управления сварочным циклом и блок управления фазой открытия тиристоров.

На рисунке 37 представлена схема блока управления сварочным циклом, включенного в цепь. Питание схемы осуществляется стабилизированным напряжением от однофазной мостовой схемы на диодах VD13-VD16, стабилитроне VD7 и ограничивающем резисторе R1.

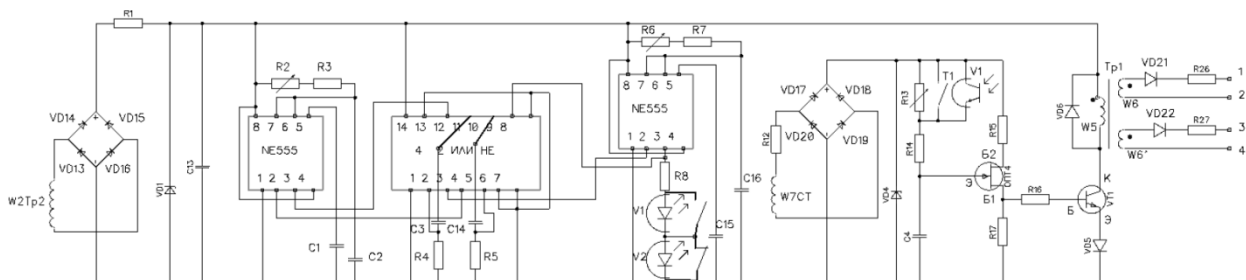


Рисунок 37 – Блок управления сварочным циклом, включенный в цепь

Схема управления сварочным циклом состоит из следующих элементов:

- τ_1 – таймер определяющий длительность импульса сварочного тока;
- τ_2 – таймер определяющий длительность паузы протекающего сварочного тока;
- К176ЛЕ5 – 4 элемента 2 ИЛИ НЕ;
- C_1, C_{15} – фильтрующие конденсаторы;
- $R_2 - R_3 - C_2; R_6 - R_7 - C_{16}$ – времязадающие цепи таймеров;
- $C_3 - R_4; C_{14} - R_5$ -дифференцирующие цепи;

- V1, V2 – светодиоды оптотранзисторов, управляющих длительностью импульсов сварочного тока;

- ИУ1, – импульсный усилитель. Усилитель состоит из составного транзистора (VT1 – VT2 – схема Дарлингтона);

- Тр2 – импульсный трансформатор;

- VD14 – диод шунтирующий первичную обмотку трансформатора в обратном направлении с целью снятия перенапряжений.

Работа схемы осуществляется следующим образом. При запуске, например таймера τ_1 – который определяет длительность импульса сварочного тока на его выходе (клемма 3) появляется логическая единица, которая поступает на один из входов (9) элемента 2 ИЛИ НЕ, а второй вход (8) заземлен. При поступлении логической единицы с выхода таймера (1) на вход (9) элемента 2 ИЛИ НЕ, на его выходе (10) устанавливается логический ноль. После отсчета времени на выходе (1) таймера τ_1 появляется логический ноль, который поступает на вход (9) элемента 2 ИЛИ НЕ и на его выходе (10) появляется логическая единица. После дифференцирования импульс сопротивления R20 поступает на вход (5) элемента 2 ИЛИ НЕ. В результате на выходе (4) кратковременно появляется логический ноль, который поступает одновременно на вход (2) таймера τ_2 и запускает его. На выходе (3) таймера появляется логическая единица.

После отсчета таймером τ_2 времени паузы между импульсами сварочного тока на выходе его (3) появляется логический ноль, который поступает на вход (12) элемента 2 ИЛИ НЕ на выходе (11) которого появляется логическая единица. После дифференцирования импульс сопротивления R19 поступает на вход (2) элемента 2 ИЛИ НЕ, вследствие этого на выходе (3) кратковременно образуется логический ноль, который поступает на вход (2) таймера τ_1 и запускает таймер, который отсчитывает длительность импульса сварочного тока, а на выходе (3) появляется логическая единица, которая одновременно подается на вход (9) элемента 2 ИЛИ НЕ и на выходе его появляется логический ноль.

Работа схемы иллюстрируется эюрами – приложение В.

Работа схемы управления фазой открытия тиристорov.

На вход схемы подается с обмотки $W7CT$ напряжение синфазное с напряжением холостого U_0 сварочного трансформатора СТ. Это напряжение выпрямляется однофазным выпрямительным мостом на диодах VD17-VD20 и поступает на стабилитрон VD4. Ток стабилитрона ограничивается резистором R12. Напряжение со стабилитрона в виде трапеций одной полярности поступает на интегрирующую цепь R13, V1, R14, C4. Происходит заряд конденсатора C4 по экспоненциальному закону до порогового значения однопереходного транзистора ОПТ4. Пороговым напряжением является напряжение обратимого пробоя перехода ОПТ4 эмиттер-база 1. При пробое происходит мгновенным разряд конденсатора C4 по цепи Э-Б1-R17. На сопротивлении R17 появляется импульс напряжения U_{R17} . От этого импульса протекает ток базы транзистора VT1 по цепи R16-Б-Э-VD5, при этом транзистор VT1 на время протекания базового тока открывается и через него протекает ток по цепи W5-К-Э-VD5. Импульс напряжения на первичной обмотке W5 импульсного трансформатора Tr1 трансформируется во вторичные обмотки W6 и W6', в результате чего по цепям VD21-R26 и VD22-R27 протекают импульсы пока управления через переходы-управляющий электрод-катод силовых тиристорov VS1 и VS2. При этом на открывается силовой тиристор, у которого на аноде положительный потенциал. Открытие тиристора происходит со сдвигом на угол α по отношению начала полусинусоиды напряжения холостого хода сварочного трансформатора для каждой полуволны (положительной и отрицательной). Угол α определяется временем заряда конденсатора C4 до напряжения пробоя перехода эмиттер-база 1 однопереходного транзистора ОПТ4. Оптотранзистор V1, подключенный параллельно резистору R13 при работе в ключевом режиме позволяет ступенчато изменять сопротивление в цепи заряда конденсатора C4. При разомкнутом состоянии его постоянная времени цепи заряда будет определяться выражением (14):

$$\tau = C_4 \cdot (R_{13} \cdot R_{14}). \quad (14)$$

При этом угол α будет большим и через силовой тиристор будет проходить ток только при небольшой части полусинусоиды (меньше половины полуволны). При замкнутом состоянии транзистора V1 постоянная времени цепи заряда будет определяться выражением (15):

$$\tau = C_4 \cdot R_{14}. \quad (15)$$

При этом угол α будет небольшим. Он должен быть несколько больше угла сдвига сварочного тока по отношению к напряжению U_0 сварочного трансформатора СТ, определяемого параметрами самого трансформатора. В этом случае сварочный ток будет протекать практически в течении всего полупериода U_0 (положительного и отрицательного).

За счет управления оптотранзистором V1, в ключевом режиме создается цикл сварки модулированным током-импульс в протекании сварочного тока и пауза. Во время импульса α -мал, во время паузы α -большой. Поскольку при импульсно-фазовом управлении переменным током создается прерывистый режим-параллельно-встречно включенные тиристоры шунтируются резистором R на ток-(30÷60) А.

4.12 Функциональная схема блока управления сварочным циклом

Питание схемы программного управления фазы открытия тиристоров осуществляется от схемы импульсно-фазового управления тиристорами в импульсно-регулируемом сопротивлении.

На рисунке 38 представлена функциональная схема блока управления сварочным циклом.

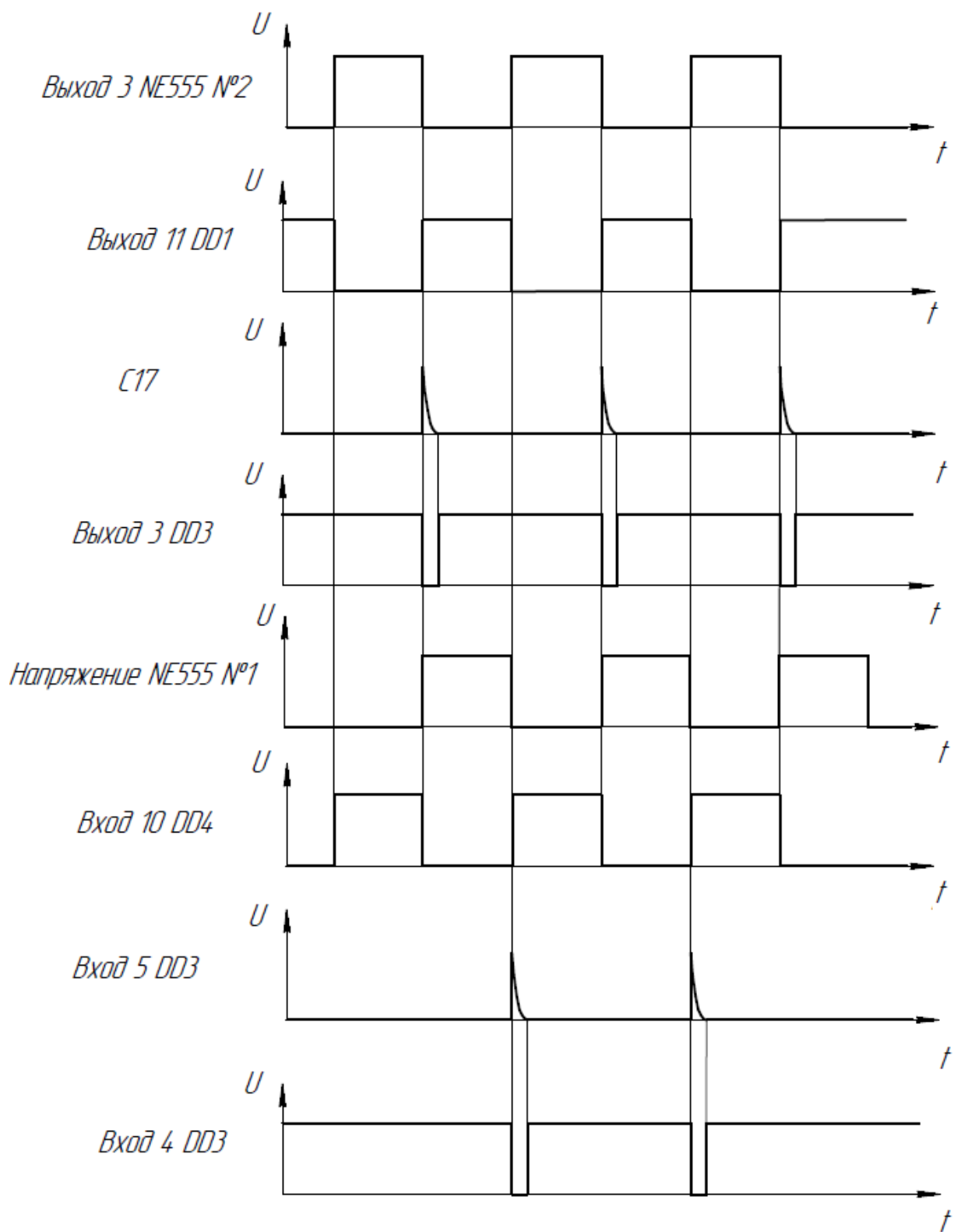


Рисунок 39 – Эпюры напряжений на элементах схемы блока сварочным ЦИКЛОМ

Когда оптодиод V1 освещает базу оптотранзистора V1, последний будет открыт и закоротит сопротивление R13. За счет этого уменьшится постоянная времени цепи, равная

$$\tau = C_4 \cdot R_{14}, \quad (16)$$

и время заряда конденсатора C4 до порогового напряжения однопереходного транзистора ОПТ4. Угол α при этом будет иметь минимальное значение и сварочный ток будет максимальным.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Разработанная функциональная схема обеспечивает импульсно-фазовое управление переменным сварочным током.

Принципиальная электрическая схема соответствует функциональной схеме и обеспечивает:

- амплитудно-импульсное управление переменным током с пульсацией тока по экспоненциальному закону в трех вариантах (для различных толщин свариваемых изделий);

- фазо-импульсное управление током встречно-параллельно включенными тиристорами в сварочной цепи. Такое управление позволяет обеспечить высокое давление сварочной дуги при небольшом размере сварочной ванны и небольшом значении среднего сварочного тока, что необходимо при сварке корневых слоев и малых толщин (от 2÷3) мм и выше.

При этом непрерывность протекания переменного сварочного тока обеспечивается сопротивлением R, шунтирующим встречно-параллельно соединенные тиристоры VS1 и VS2.

Разработанная схема ИФУ сварочным переменным током обеспечивает быстроедействие в широком диапазоне длительностей импульсов и пауз сварочного тока во всех предложенных вариантах сварки.

Разработанная схема отличается простотой и высокой надежностью т.к. выключение тиристорov происходит за счет естественной коммутации.

5 РЕКОМЕНДАЦИИ

Возможность снижения сварочного тока при автоматической сварке под флюсом, обеспечивающая устойчивое горение дуги и формирование шва, позволяет решить технологические задачи, где нежелательно применять механизированную сварку в CO_2 и ручную (РД) электродами с покрытием. При указанных видах сварки возможно набрызгивание, а при ручной сварке электродами с покрытием еще и возможность появления дефектов в местах смены электрода.

Применение предложенных методов импульсно–фазового при сварке под флюсом при отсутствии указанных недостатков имеются дополнительные преимущества:

- повышение производительности;
- нужен оператор, а не сварщик;
- нет излучения дуги;
- значительно меньше количество выделения газов;
- выше качество сварного соединения.

Ниже на рисунках 40 и 41 представлены стыковые соединения и изделие соответственно, которые более перспективно сваривать методами с использованием импульсно–фазового управления.

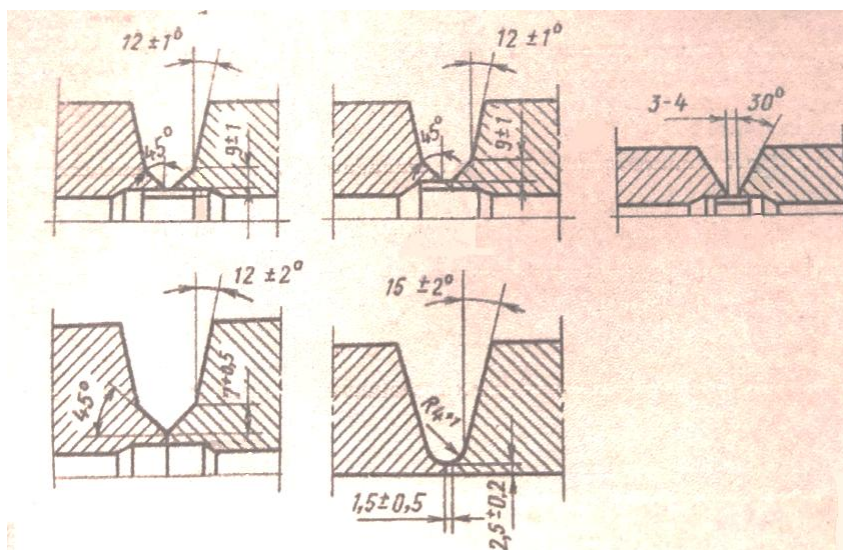


Рисунок 40 – Стыковые соединения

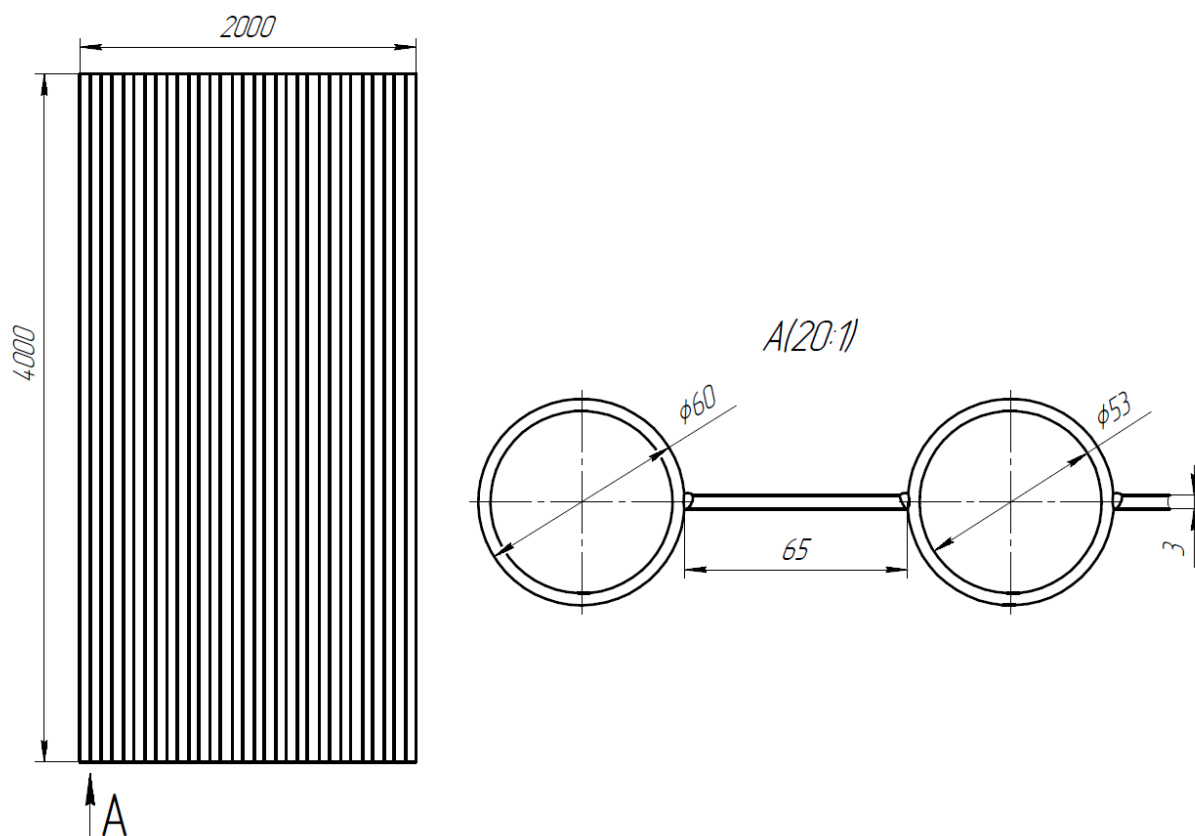


Рисунок 41 – Трубчатая панель

При этом необходимо учитывать, что при импульсно-фазовом управлении тиристорами в сварочной цепи нижний предел толщин $2 \div 3$ мм, а при ИФУ подмагничиванием шунта трансформатора СТ- $3,5 \div 4$ мм.

В таблицах 1, 2, 3 описаны режимы сварки амплитудно-импульсной модуляцией переменного сварочного тока.

Таблица 1 – Описание режимов для циклограммы 1

Циклограмма 1 (рис. 23)			
t_1	t_2	$I_1(t)$	$I_1'(t)$
$0 \div 3\tau$	$3\tau \div 0$	$I(0) \div I_{max}$	$I_{max} \div I(0)$

Таблица 2 - Описание режимов для циклограммы 2

Циклограмма 2 (рис. 24)			
t_1	t_2	$I_1(t)$	$I_1'(t)$
$0 \div (3\tau + t_y)$, при этом $t_y=0 \div \tau$	$(3\tau + t_y) \div 0$	$I(0) \div I_{max}$	$I_{max} \div I(0)$

Таблица 3 - Описание режимов для циклограммы 3

Циклограмма 3 (рис. 25)			
t_1	t_2	$I_1(t)$	$I_1'(t)$
$0 \div 3\tau$	$(3\tau + t_n) \div 0$, при этом $t_n=0 \div \tau$	$I(0) \div I_{max}$	$I_{max} \div I(0)$

В таблице 4, описаны режимы сварки импульсно-фазовой модуляцией переменного сварочного тока.

Таблица 4 – Описание режимов сварки импульсно-фазовой модуляцией переменного сварочного тока

$\alpha, ^\circ$	$\alpha_{min} \div 150$
I_d, A	$30 \div I_{max}$

На рисунке 42 схематично представлено сечение сварочной ванны при импульсно-фазовом управлении сварки на переменном токе. Обозначением P_d показано давление дуги. Оно достигается за счет ионов и электронов, имеющих кинетическую энергию и являющихся основной составляющей давления дуги. Заданные параметры импульсов и пауз в свою очередь не дают сварочной дуге образовать прожег металла.

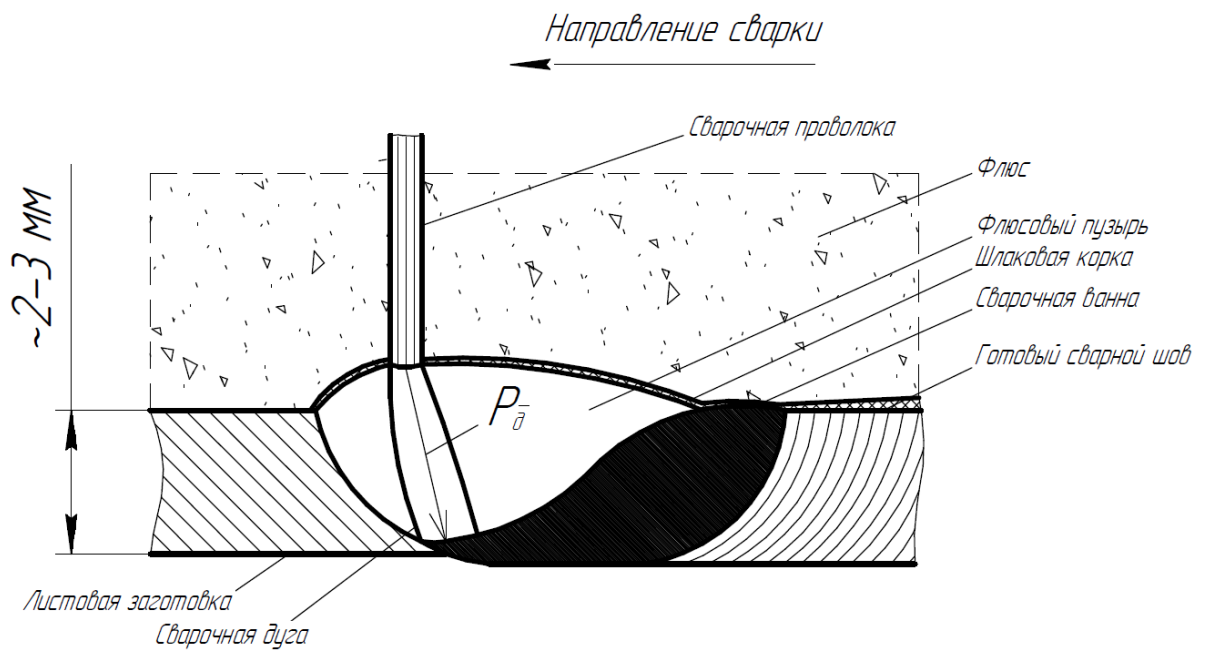


Рисунок 42 – Сечение сварочной ванны при импульсно-фазовом управлении сварки на переменном токе

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
1ВМ11	Карамову Кириллу Вадимовичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 284000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 200000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4,6 из 5 баллов</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Расчет интегрального критерия: Интегральный финансовый показатель разработки; Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки; Интегральный показатель эффективности; Сравнительная эффективность вариантов исполнения.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности ИП 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта 4. Бюджет НИ 5. Основные показатели эффективности НИ
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов Магеррам Али оглы	Доктор экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ11	Карамов Кирилл Вадимович		

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках ИР. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы – разработка схемы для фазово-импульсного управления переменным током сварки под флюсом. Данная схема позволит производить автоматическую сварку под флюсом корневых швов и тонкостенных изделий.

6.1 Оценка конкурентоспособности проекта

Выберем способы сварки, которые будут рассматриваться:

1. Дуговая сварка под флюсом (ДСФ).
2. Ручная дуговая сварка (РДС).
3. Дуговая сварка в защитных газах (ДСЗГ).

Сравнение конкурентных технических решений занесены в таблицу 5.

Таблица 5 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		ДСФ	РДС	ДСЗГ	ДСФ	РДС	ДСЗГ
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Безопасность	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
2. Простота эксплуатации	0,11	5	3	4	0,55	0,33	0,44
3. Качество сварного соединения	0,21	5	3	4	1,05	0,63	0,84
4.Производительности труда	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,11	3	5	4	0,33	0,55	0,44
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
3. Послепродажное обслуживание	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Итого	1	31	26	27	4,53	3,59	3,8

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum Vi \cdot Bi , \quad (17)$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;
 Vi – вес показателя (в долях единицы);

Bi – балл i-го показателя.

Итогом данного анализа является то, что метод, предложенный в дипломе эффективнее, чем методы конкурентов.

6.2 SWOT-анализ

Чтобы оценить сильные и слабые стороны проекта во внутренней и внешней среде необходимо произвести SWOT – анализ. Для этого составим SWOT – матрицу, представленную в виде таблицы 6.

Таблица 6 - Матрица SWOT

Сильные стороны научноисследовательского проекта: С1. Простота работы с оборудованием С2. Отсутствие конкурентов на рынке С3. Актуальность проекта С4. Высокое качество сварных соединений	Слабые стороны научноисследовательского проекта: Сл1. Высокая стоимость оборудования Сл2. Развитие новых технологий Сл3. Не проработаны вопросы выхода на рынок
Возможности: В1. Возможность быстрого внедрения в производство В2. Независимость от уровня квалификации рабочего В3. Повышение производительности труда	Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах.

Таблица 7 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	-	-	-
	B3	+	-	-	-

Таблица 8 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	+	-	-

Таблица 9 - Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	+	+	-
	У2	-	-	-	-
	У3	-	-	+	-

Таблица 10 - Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-

Продолжение таблицы 10

	У2	+	-	+
	У3	-	+	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 11.

Таблица 11 - SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научноисследовательского проекта:</p> <p>С1. Простота работы с оборудованием</p> <p>С2. Отсутствие конкурентов на рынке</p> <p>С3. Актуальность проекта</p> <p>С4. Высокое качество сварных соединений</p>	<p>Слабые стороны научноисследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость оборудования</p> <p>Сл2. Развитие новых технологий</p> <p>Сл3. Не проработаны вопросы выхода на рынок</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность быстрого внедрения в производство</p> <p>В2. Независимость от уровня квалификации рабочего</p> <p>В3. Повышение производительности труда</p>	<p>В1В2В3С1-за счет простоты работы с оборудованием увеличится возможность быстрого внедрения в производство, независимость от уровня квалификации рабочего и производительность труда.</p> <p>В1С2С3С4-отсутствие конкурентов на рынке, актуальность проекта и высокое качество сварных соединений также увеличит возможность быстрого внедрения в производство.</p>	<p>В3Сл1-высокая стоимость понесет за собой автоматизацию процессов сварки и увеличит производительность.</p>

Продолжение таблицы 11

Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции	У1У3С3-актуальность проекта повлечет за собой появление новых технологий и введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У1С2-отсутствие конкурентов на рынке также вызовет появление новых технологий.	У2Сл1Сл3-высокая стоимость оборудования и непроработанность вопросов выхода на рынок будут способствовать отсутствию спроса на новые технологии. У1У3Сл2-развитие технологий повлекут за собой появление новых и введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.
--	---	--

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 12 прописаны этапы проекта и исполнители проекта.

Таблица 12 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	5	Календарное планирование работ	

Продолжение таблицы 12

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Составление функциональной и принципиальной схем установки	Научный руководитель, студент
	8	Сбор необходимых элементов для схемы	Научный руководитель
	9	Сборка установки	Научный руководитель, студент
	10	Сварка образцов	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	12	Вывод по цели	

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (18)$$

где: $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i}, \quad (19)$$

где: T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} , \quad (20)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} , \quad (21)$$

где: $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1.47.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (таблица 5.3.3.1).

После заполнения таблицы 13 строим календарный план-график (таблица 14).

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и

декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования



Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
Составление и утверждение темы проекта	2	3	2,4	Научный руководитель	3	5
Анализ актуальности темы	1	2	1,4	Научный руководитель	2	3
Поиск и изучение материала по теме	7	10	8,2	Студент	9	14
Выбор направления исследований	2	4	2,8	Научный руководитель	3	5
Календарное планирование работ	1	2	1,4	Научный руководитель	2	3
Изучение литературы по теме	7	9	7,8	Студент	8	12
Составление функциональной и принципиальной схем установки	12	15	13,2	Научный руководитель, студент	14	21
Сбор необходимых элементов для схемы	3	6	4,2	Научный руководитель	5	7
Сборка установки	7	9	7,8	Научный руководитель, студент	8	12
Сварка образцов	2	3	2,4	Научный руководитель, студент	2	3
Анализ результатов	1	2	1,4	Руководитель, студент	1	2

Продолжение таблицы 13

Вывод по цели	1	2	1,4	Научный руководитель, студент	1	2
---------------	---	---	-----	-------------------------------------	---	---

Таблица 14 - Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ работ	Исполнители	Т _{ки} , кол.дн.	Продолжительность выполнения работ								
			Март			Апрель			Май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Науч. рук.	5	■	■	■						
2	Науч. рук.	3		■	■						
3	Студент	14	▨	▨	▨						
4	Науч. рук.	5		■	■						
5	Науч. рук.	3			■						
6	Студент	12			▨	▨					
7	Науч. рук, студент	21				▨	▨	▨			
8	Науч. рук.	7						■	■	■	
9	Науч. рук, студент	12						▨	▨	▨	
10	Науч. рук, студент	3							▨	■	
11	Науч. рук, студент	2							▨	■	
12	Науч. рук, студент	2							▨	■	

 -научный руководитель;
  -студент

6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} , \quad (22)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Все материальные расходы занесены в таблицу 15.

Таблица 15 – Материальные затраты

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед, руб.	Затрат на материалы, (Z _м), руб.
1	Труба из стали Ст20	Шт.	3	850	3060
2	Лист из стали Ст20	Шт.	2	600	1440
3	Флюс сварочный	Кг.	2	150	360
4	Сварочная проволока	Кг.	1	500	600
				Итого	5460

6.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование	Количество	Цена за ед, руб.	Затрат на оборудование, (З _м), руб.
1	Тиристор	2	2400	5520
2	Балластный реостат	1	3000	3450
3	Однопереходной транзистор	4	150	690
4	Диод	10	70	805
5	Стабилитрон	4	60	276
Итого				10741

Рассчитаем амортизацию:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (23)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot t, \quad (24)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Амортизация для тиристоров, однопереходных транзисторов, диодов и стабилитронов:

$$A = \frac{0,1 \cdot 6340}{12} \cdot 3 = 160 \text{ руб.}$$

Амортизация для балластного реостата:

$$A = \frac{1 \cdot 3000}{12} \cdot 3 = 750 \text{ руб.}$$

Всего амортизация составит 910 руб.

6.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 20.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (25)$$

где: $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (26)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (27)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (28)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер

обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия:
15-20 % от Зтс);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	24/15	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	260	265

Должностной оклад работника в месяц:

Для научного руководителя:

$$Z_m = 24800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 48360 \text{ руб.}$$

Для студента:

$$Z_m = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя)

$$Z_{\text{дн}} = \frac{48360 \cdot 11,2}{260} = 2083,2 \text{ руб.}$$

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя студента)

$$Z_{\text{дн}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{265} = 2044 \text{ руб.}$$

Результаты занесены в таблицу 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб	$k_{пр}$	$k_{д}$	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб
Науч. р.	24800	0,3	0,2	1,3	48360	2083,2	41	85411
Студент	17000	0,3	0,2	1,3	33150	2044	43	87892
Итого $Z_{осн}$								173303

6.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (29)$$

где: $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Для научного руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 85411 = 12812 \text{ руб.}$$

Для студента:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 87892 = 13184 \text{ руб.}$$

6.4.5 Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (30)$$

где: $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Общая ставка взносов составляет в 2023 году – 30 %.

Для научного руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (85411 + 12812) = 29467.$$

Для студента:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (87892 + 13184) = 30323.$$

Результаты отчислений приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	85411	12812
Студент	87892	13184

Продолжение таблицы 19

Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30
Итого	59790

6.4.6 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}/5) \cdot K_{\text{нр}}, \quad (31)$$

где: $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны:

$$Z_{\text{накл}} = (276200/6) \cdot 0,16 = 7365 \text{ руб.}$$

6.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Результаты всех расходов приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб
Амортизация	910
Материалы, сырье	5460
Специальное оборудование	11651
Основная заработная плата	173303
Дополнительная заработная плата	25996
Отчисление на социальные нужды	59790

Продолжение таблицы 20

Накладные расходы	7365
Бюджет	283565

6.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Импульсное управление порошковой проволокой (исп. 2);
2. Импульсное управление собственным магнитным полем (исп. 3).

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (32)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{283565}{300000} = 0,94; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{300000}{300000} = 1; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{270000}{300000} = 0,9.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (33)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания;
 n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 21).

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.Производительность	0,25	5	3	4
2.Стабильность работы	0,25	4	4	3
3.Простота эксплуатации	0,15	5	4	4
4.Энергосбережение	0,15	4	5	3
5. Безопасность	0,2	5	3	5
Итого	1	4,6	3,7	3,8

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 = 4,6 ;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 = 3,7 ;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 = 3,8 ;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}}, \quad (34)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,6}{0,94} = 4,87; \quad I_{исп2} = \frac{3,7}{1} = 3,7; \quad I_{исп3} = \frac{3,8}{0,9} = 4,2 .$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\Theta_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{\text{cp}} = \frac{I_{\text{исп } i}}{I_{\text{исп } \text{max}}}. \quad (35)$$

В таблице 22 представлена сравнительная эффективность разработок.

Таблица 22 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	1	0,9
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,7	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,87	3,7	4,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,76	0,86

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

В ходе выполнения раздела были выполнены:

- 1) выявлена конкурентоспособность мелкосерийного производства изготовления детали;
- 2) проведен SWOT-анализ, в котором рассматриваются все сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы, связанные с проектом;
- 3) распланирован график НИР, по которому руководителю отводится 41 рабочий день, студенту 43 рабочих дня;
- 4) при планировании комплекса работ по проекту была построена диаграмма Ганта, которая позволяет координировать работу исполнителей в ходе выполнения исследования;
- 5) рассчитан бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 283565 рублей.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
1ВМ11	Карамов Кирилл Вадимович

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Объект исследования – импульсно-фазовое управление переменным током при сварке под флюсом. Область применения–работы, где необходимо произвести автоматическую сварку под флюсом малых толщин. Рабочая зона – отапливаемое помещение площадью 120 м² со смешанным освещением. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: сварочная головка, бункер для флюса, кассета с электродной проволокой, самоходная тележка сварочного трактора. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: закрепление заготовок, установка катушки с проволокой, регулировка параметров сварки при помощи пульта управления, сбор неизрасходованного флюса после остывания заготовок, зачистка сварочного шва от шлака</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <p>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Приказ Минтруда России от 11.12.2020 N 884н "Об утверждении Правил по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ" (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2020 N 61904) П. VIII ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности.» СП 1009-73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов»</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <p>2.1 Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p> <p>2.2 Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего; 2. чрезмерно высокая или низкая температура материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека; 3. электрический ток, вызываемый разницей электрических

	<p>потенциалов</p> <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения; 2. повышенный уровень локальной вибрации 3. чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания 4. аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего 5. производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума) 6. производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов) <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: защита от поражения электрическим током и электрической дуги; защита органов дыхания; инструктаж рабочих по работе с оборудованием.</p> <p>Расчет: расчет системы искусственного освещения</p>
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	Загрязнение атмосферы: выброс газа, задымление. Загрязнение литосферы: металлическая стружка и пыль, окалины, шлак.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – возникновение пожара, взрыва. <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – возникновение пожара, взрыва.
Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Антоневич Ольга Алексеевна	Кандидат биологических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ11	Карамов Кирилл Вадимович		

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основной задачей регулирования проектных решений разрешается за счет соблюдения законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

Требования к размещению машин для сварки, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с [9].

Установки для сварки под флюсом согласно [8]:

- 1) приспособление для механизированной засыпки флюса в сварочную ванну;
- 2) флюсоотсос с бункером-накопителем и фильтром (при возврате воздуха в помещение) для уборки использованного флюса со шва.

Установки для сварки под флюсом оборудуются механизированными устройствами для очистки шва от шлаковой корки с одновременным его сбором. Ручная уборка флюса допускается только в случаях, когда применение флюсоотсосов не представляется возможным. При этом обязательно применение средств индивидуальной защиты органов дыхания.

В системе подачи и сбора флюса должна предусматриваться очистка выбрасываемого воздуха от пыли и газов.

Полы производственных помещений для выполнения сварки по [9] должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами;

В оборудовании, предназначенном для всех видов механизированной сварки (электродуговой, электродуговой под флюсом, в защитных газах, порошковой проволокой и др.), следует предусматривать встроенные местные отсосы, обеспечивающие улавливание сварочного аэрозоля непосредственно у места его образования. При сварке и наплавке крупногабаритных изделий на кондукторах, манипуляторах и других устройствах местные отсосы следует встраивать в приспособления для этих работ, а при резке - в секционные раскроечные столы (СП 1009-73).

Посты стационарной автоматической сварки под флюсом следует оборудовать удлиненными (не короче 300 мм) местными отсосами с равномерным всасыванием воздуха. При сварке под флюсом полуавтоматами и сварочными тракторами следует применять передвижные флюсоотсасывающие аппараты. Ручная уборка флюса допускается только в случаях, когда применение флюсоотсосов не представляется возможным [10].

Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека;

Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.;

Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств;

Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты;

При выполнении сварки на разных уровнях по вертикали должна быть предусмотрена защита персонала, работающего на ниже расположенных уровнях, от случайного падения предметов, огарков электродов, брызг металла и др. [9].

7.2 Производственная безопасность

В процессе исследования с точки зрения возникающих вредных или опасных факторов общий этап работ может быть разделен на три основных этапа:

1) разработка установки для автоматической сварки под флюсом: проведение теоретических расчетов и составление принципиальной схемы установки (работа на персональном компьютере);

2) сборка установки: пайка разработанной схемы;

3) эксплуатация образцов: проведение сварки экспериментальных образцов, проведение механических испытаний, изучение структуры образцов с помощью микроскопа.

В таблице 23 представлены опасные и вредные факторы с нормативной документацией.

Таблица 23 - Опасные и вредные факторы при эксплуатации процесса сварки дугой, горячей в динамическом режиме.

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего	ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.»

Продолжение таблицы 23

2	Чрезмерно высокая температура материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	ГОСТ 12.4.250-2019 «Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла» ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
3	Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов	ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н (ред. от 29.04.2022) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок"
4	Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
5	Повышенный уровень локальной вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования.
6	Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ Вредные вещества. «Классификация и общие требования безопасности»
7	Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
8	Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)	MP 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»;

Продолжение таблицы 23

9	производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)	ГОСТ 12.1.035–81 «Оборудование для дуговой и контактной электросварки Допустимые уровни шума и методы измерений»
---	--	---

7.2.1 Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего

При работе применяются автомат для сварки под флюсом, то есть имеется опасность нанесения вреда человеку движущимися частями машин.

В качестве защиты необходимо проводить регулярный инструктаж рабочих по технике безопасности, все движущиеся механизмы должны быть аттестованы [9].

Проходы: между оборудованием, движущимися механизмами и перемещаемыми деталями, а также между постами – не менее 1 м; свободная площадь на один сварочный пост – не менее 3 м. Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м [9].

По [11] для большей безопасности работы необходимо выставить предупредительные таблички о наличии передвигающихся механизмов.

6.2.2 Чрезмерно высокая температура материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека

Термические ожоги возникают вследствие непосредственного контакта с раскаленным металлом сварочной ванны, электрической дугой и пламенем газовой горелки. Для предотвращения термических ожогов кожного покрова необходимо использовать индивидуальные средства защиты.

Спецодежда – костюм и брюки, а также рукавицы, изготавливаются из брезента и служат для защиты тела и рук от брызг сварки, и теплового излучения.

Для защиты ног сварщиков используют специальные ботинки, исключающие попадание искр и капель расплавленного металла [12].

Для защиты рук от брызг и лучистой энергии применяют брезентовые рукавицы со специальной противопожарной пропиткой.

Для защиты от лучистой энергии рабочих, не связанных со сваркой, наплавкой или резкой металлов, сварочные посты должны ограждаться экранами из несгораемых материалов высотой не менее 1,8 м.

Требования по безопасности согласно [13].

7.2.3 Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов

При сварке под слоем флюса (как автоматической, так и полуавтоматической) каждый сварочный аппарат должен быть оснащен отдельным заземляющим проводом непосредственно с заземляющей магистралью, все части автоматов и полуавтоматов должны быть надежно заземлены, плавкие предохранители должны соответствовать паспортным данным, шкафы, пульты должны иметь дверцы с блокировкой, отключающей первичное напряжение при их открытии.

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями [14].

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением.

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применять следующие технические способы и средства [14]:

- основная изоляция;
- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные); - защитные барьеры;
- безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями;
- ограничение напряжения, применение сверхнизкого (малого) напряжения;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- ограничение установившегося тока прикосновения и электрического заряда; - электрическое разделение;
- предупредительная световая, звуковая сигнализации, блокировки безопасности, знаки безопасности;
- электрозащитные средства и другие средства индивидуальной защиты.

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применять следующие технические способы и средства (основная защита):

- основная изоляция;
- защитные оболочки;
- защитные ограждения;
- защитные барьеры;
- безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями;
- защитное отключение;
- предупредительная световая, звуковая сигнализации, блокировки безопасности, знаки безопасности;
- электрозащитные средства и другие средства индивидуальной защиты.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда (Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н (ред. от 29.04.2022) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок"). К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

От поражения током электрической дуги могут применяться диэлектрические перчатки, обувь, коврики [8].

7.2.4 Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк [16].

Для освещения цеха необходимо использовать, как правило, газоразрядные источники света: лампы ДРЛ, ДРИ; для освещения высоких цехов (до 4 м) большой площади - люминесцентные лампы. Допускается применение ламп накаливания. Для местного освещения рекомендуются светильники с непрозрачными отражателями, имеющими защитный угол $\geq 30^\circ$. Если светильники расположены ниже глаз сварщика, то защитный угол может быть в пределах 10... 30° [16].

При сварке внутри емкостей освещение осуществляется светильниками направленного света, установленными вне свариваемого объекта, или ручными переносными светильниками, оборудованными защитной сеткой. Освещенность в этих случаях должна быть ≥ 30 лк [16]. При этом трансформатор для переносных светильников нужно устанавливать вне свариваемого объекта с обязательным заземлением

вторичной обмотки трансформатора. Не допускается применение автотрансформаторов.

Недостаточная освещенность может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной загрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности (Кп) должен быть не больше 10%. Коэффициент естественного освещения для наших сварочных и сборочно-сварочных работ должен быть не менее 1.5 % при боковом и 5 % при верхнем или комбинированном освещении [16].

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного фактора является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

Проведем расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности методом коэффициента светового потока, учитывающего световой поток, отраженный от потолка и стен. Дано помещение с размерами: длина $A = 20$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 4,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_p = 1$ м. Требуется создать освещенность $E_n = 200$ лк

$$S = A \cdot B, \quad (36)$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 20 \cdot 6 = 120.$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $r_C=50\%$, свежепобеленного потолка $r_{II}=70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z= 1,1$.

Выбираем лампу холодно-белого света ЛХБ, световой поток которой равен ФЛД = 4400 Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-80. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266 мм.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, м:

H – высота помещения;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_n = H - h_c$ – высота светильника над полом, высота подвеса;

h_p – высота рабочей поверхности над полом;

$h=h_n - h_p$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью;

L – расстояние между соседними светильниками или рядами;

l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 4$ м. Расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 1$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_c - h_p = 4,5 - 1 - 1 = 2,5. \quad (37)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = h \cdot \lambda = 2,5 \cdot 1,1 = 2,75. \quad (38)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$H_b = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,75} = 2,18 \Rightarrow 3. \quad (39)$$

Число светильников в ряду:

$$H_a = \frac{A}{L} = \frac{20}{2,75} = 7,27 \Rightarrow 8. \quad (40)$$

Общее число светильников:

$$N = H_a \cdot H_b = 24. \quad (41)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется из уравнения:

$$L = N_a \cdot L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + N \cdot L_{lam}. \quad (42)$$

Согласно «Практикум БЖД 2009» равномерность освещения обеспечивается расстоянием от крайних светильников до стенок = $L/3$.

Составим уравнения с 1 неизвестной:

$$L_1 = \frac{(L - N \cdot L_{lam})}{N_a + \frac{2}{3}}, \quad (43)$$

$$20000 = 7 \cdot L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + 8 \cdot 123,$$

$$6000 = 2 \cdot L_2 + \frac{2}{3} \cdot L_2 + 3 \cdot 26.$$

Получаем:

$$L_1 = \frac{20000 - 8 \cdot 1230}{7 + \frac{2}{3}} = 1325 \text{ мм},$$

$$L_2 = \frac{6000 - 3 \cdot 266}{2 + \frac{2}{3}} = 1950 \text{ мм}.$$

Расстояние от торцов – 1 получим следующим образом:

$$L_1 = \frac{1325}{3} = 442 \Rightarrow 450 \text{ мм},$$

$$L_2 = \frac{1950}{3} = 650 \text{ мм}.$$

Размещаем светильники в три ряда. На рисунке 44 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

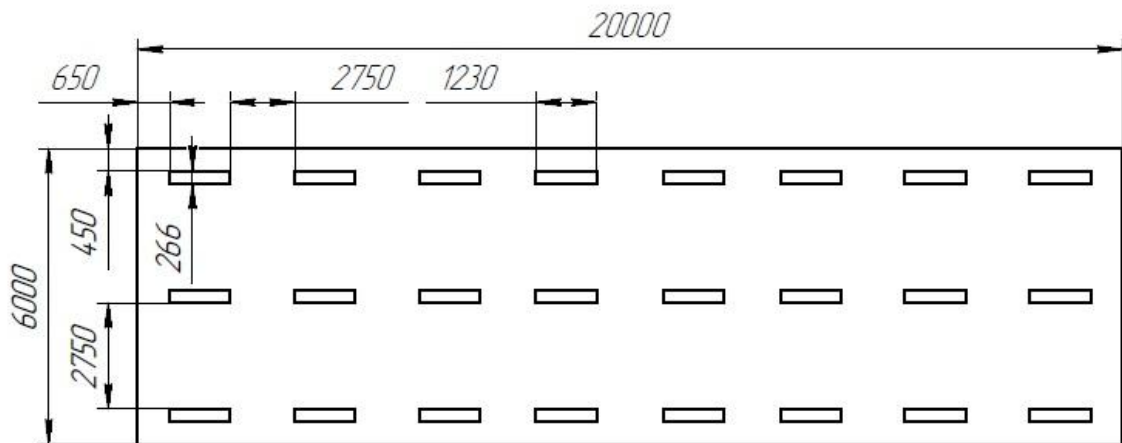


Рисунок 43 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{120}{4,5(20+6)} = 1. \quad (44)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $rП = 70\%$, $rС = 50\%$ и индексе помещения $i = 1$ равен $\eta = 0,43$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot z \cdot S}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 120 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,43} = 3837 \text{ лм}. \quad (45)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% \leq 20\%, \quad (46)$$

$$\frac{4400 - 3837}{4400} \cdot 100\% = 12,8\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 12,8\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Итак, рационально устроенное освещение создает достаточную равномерную освещенность производственного помещения, сохраняет зрение рабочего персонала, уменьшает травматизм, позволяет повышать производительность труда, влияет на уменьшение процента брака и улучшение качества. Освещение рабочей поверхности и помещения в целом достигается равномерным размещением светильников, при котором на рабочей поверхности отсутствуют резкие тени

7.2.5 Повышенный уровень локальной вибрации

Источником вибрации при эксплуатации является электродвигатель, являющийся составной частью каретки для автоматической сварки под флюсом.

В [17] перечислены следующие меры по снижению воздействия вибрации:

- проектирование рабочих мест с учетом максимального снижения вибрации;
- использование материалов и конструкций, препятствующих распространению вибрации и воздействию ее на человека;
- оптимальное размещение виброактивных машин, минимизирующее вибрацию на рабочем месте:
- создание условий труда, при которых вредное воздействие вибрации не усугубляется наличием других неблагоприятных факторов;
- использование в качестве рабочих виброопасных профессий лиц, не имеющих медицинских противопоказаний, и обеспечение прохождения ими регулярных медицинских обследований:

- обучение рабочих виброопасных профессий правильному применению машин, уменьшающему риск получения вибрационной болезни;
- оповещение рабочих виброопасных профессий о мерах, принимаемых работодателем, позволяющих снизить риск ухудшения состояния здоровья рабочего вследствие неблагоприятного воздействия вибрации, и санкциях, которые могут быть наложены на рабочего при несоблюдении указанных мер;
- контроль за правильным использованием средств виброзащиты; - проведение периодического контроля вибрации на рабочих местах и организация на основе полученных результатов режима труда, способствующего снижению вибрационной нагрузки на человека, а также контроль за его соблюдением;
- проведение послеремонтного и, при необходимости, периодического контроля виброактивных машин;
- организацию профилактических мероприятий, ослабляющих неблагоприятное воздействие вибрации.

Полноту мероприятий, направленных на обеспечение вибрационной безопасности и включенных в регламент безопасного ведения работ, а также эффективность их выполнения оценивают соответствующие уполномоченные организации при проведении аттестации рабочих мест и периодическом контроле требований по соблюдению безопасных условий труда [17].

7.2.6 Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания

При выполнении сварочных работ атмосферный воздух загрязняется сварочным аэрозолем, в составе которого в зависимости от вида сварки, марок электродов и флюса находятся вредные для здоровья оксиды металлов, а также газообразные соединения. Стационарные автоматические установки

для сварки под слоем флюса должны быть оборудованы пылегазоотсасывающими и флюсоуборочными устройствами.

Основными вредными веществами в составе сварочного аэрозоля при автоматической сварке являются фтористые соединения и их выделение резко возрастает с увеличением содержания фтористого кальция во флюсе. Фтористые соединения относятся ко 2 классу опасности. Нормы и показатели этих соединений должны соответствовать таблице 24 [18].

Таблица 24 – Нормы и показатели фтористых соединений

Наименование показателя	Нормы для класса опасности
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/ м	0,1-1,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	15-150
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	100-500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м	500-5000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	300-30
Зона острого действия	6,0-18,0
Зона хронического действия	10,0-5,0

7.2.7 Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений [19]

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

7.2.8 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)

Из психофизических факторов, возникающих при автоматической сварке под флюсом, можно отметить умственное перенапряжение, стрессовые эмоциональные перегрузки.

Для профилактики возникновения данных факторов предлагается мероприятия из [20]:

- регламентированные перерывы рекомендуется устанавливать через 2 часа от начала рабочей смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 5 - 7 мин каждый;
- для снижения эмоционального напряжения, обусловленного характером трудовой деятельности работников умственного труда, обосновывается целесообразность включения в распорядок дня индивидуальных сеансов «психологической разгрузки»;

- в понедельник ограничить объем служебных мероприятий (собраний, совещаний);
- предоставлять сотрудникам самим организовывать свою работу.

7.2.9 Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик оборудования для сварки изложены в [21]. Шум на рабочих местах также может проникать извне через каналы вентиляции и проем двери из кабинета в коридор. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах (дБ), в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень звука не должен превышать 50 дБ, [22].

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

- изоляции источников шумов;
- проведение акустической обработки помещения;
- создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок.

7.3 Экологическая безопасность

При выполнении работы образовывались следующие отходы: вредные газы, пыль, шлаковые корки и промышленный мусор. При автоматической сварке под флюсом таких отходов, как смазывающе-охлаждающие жидкости и масла не наблюдалось.

Атмосфера. При сварке выделяются следующие вредные вещества по [23]:

- оксид углерода (класс опасности - 4, ПДК - 20 мг/м³);
- марганец (класс опасности - 2, ПДК – 0,6/0,2 мг/м³);
- диоксид кремния (класс опасности - 3, ПДК для общей массы аэрозоля – 3/1 мг/м³).

Загрязнители атмосферы поступают в воздух через вентиляционные выбросы, их концентрация относительно невелика, однако из-за огромных валовых выбросов через вентиляцию атмосфера получает большое количество загрязнения. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения.

Литосфера. Что касается шлаковых корок: можно механически примешивать к флюсу некоторое количество измельченной шлаковой корки, не ухудшая этим заметно качество металла шва или наплавки.

В помещении необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для стружки, стекла, металлических частей, пластика.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований, и ЧС, которые могут произойти на рабочем месте

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека. Наиболее типичной ЧС является пожар.

Сварочный пост относится к категории Г по пожарной опасности [24].

7.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

С целью предотвращения пожаров согласно [25]:

- уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети;
- курить только в отведенных для курения местах;
- проверять уровень нормы газа аргона в помещении, проветривать помещение;
- в случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу.

Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке [25].

В производственных помещениях проходит большое количество проводов и большое количество электроприборов. Не правильная изоляция данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

В целях безопасности в помещениях имеются рубильники для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение специальных защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели). Осуществляется дистанционный контроль количества кислорода в окружающем воздухе с помощью автоматических или ручных приборов. Согласно нормам, в воздухе должно присутствовать не меньше 19 % кислорода.

Для локализации или ликвидации возгорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды [25]. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений [25].

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Помещение по электробезопасности согласно ПУЭ относится ко II категории.

Персонал должен иметь II группу электробезопасности (правила по охране труда при эксплуатации электроустановок).

Категория тяжести труда относится к IIб (СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания").

Помещение по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 относится к категории Г.

Объект по оказанию негативного воздействия на окружающую среду относится ко II категории (постановление РФ от 31 декабря 2020 года N 2398).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При рассмотрении автоматической сварки под флюсом было выявлено, что данный процесс имеет множество достоинств и пользуется актуальностью. При этом сварка под флюсом имеет и недостатки. К этим недостаткам относится затрудненность сварки тонкостенных изделий и чрезмерная текучесть расплавленного металла. Сварка пульсирующей дугой решает эту проблему, так как она позволяет управлять условиями формирования шва.

Из перечисленных способов управления наиболее перспективным способом сварки, позволяющим уменьшить режим сварки, является способ импульсно-фазового управления встречно – параллельно включенными тиристорами, зашунтированных резистором для непрерывности протекания тока, сварочной цепи.

Разработанные способы сварки под флюсом позволяют за счет амплитудно импульсной модуляции (АИМ) переменного сварочного тока расширить диапазон сварочных режимов в сторону меньших значений и существенно улучшить качество сварных соединений.

Разработанный способ импульсно-фазовой модуляции (ФИМ) переменного тока по сварочной цепи позволяет осуществить сварку корневых слоев и малых толщин от $1,5 \div 2$ мм и выше.

Разработанная функциональная схема обеспечивает импульсно-фазовое управление переменным сварочным током.

Принципиальная электрическая схема соответствует функциональной схеме и обеспечивает:

- амплитудно-импульсное управление переменным током с пульсацией тока по экспоненциальному закону в трех вариантах (для различных толщин свариваемых изделий);

- фазо-импульсное управление током встречно-параллельно включенными тиристорами в сварочной цепи. Такое управление позволяет

обеспечить высокое давление сварочной дуги при небольшом размере сварочной ванны и небольшом значении среднего сварочного тока, что необходимо при сварке корневых слоев и малых толщин (от 2÷3) мм и выше.

Импульсно-регулируемое сопротивление (ИРС) обеспечивает непрерывность протекания переменного сварочного тока. Введение ИРС во вторичную цепь сварочного трансформатора позволяет перевести его в импульсный режим сварки.

Схема ИФУ тиристорами в сварочной цепи переменного тока на базе однопереходного транзистора (ОПТ) отличается простотой, надежностью и обеспечивает возможность импульсного режима сварки.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был рассчитан бюджет проекта, равный 284000 рублей. При импульсно-фазовом управлении автоматической сваркой под флюсом работу выполняет оператор, а не сварщик, что положительно сказывается на бюджетной эффективности.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и вредные факторы, экологическая безопасность и чрезвычайные ситуации. Было выявлено, что рабочее место соответствует нормативно техническим документам. Применение импульсного управления переменным током автоматической сварки под флюсом обеспечивает безопасность рабочего от излучения дуги, повышенной температуры воздуха рабочей зоны, искр и брызг расплавленного металла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматическая электродуговая сварка / Под ред. Е.О. Патона. – К., М.: Машгиз, 1953. – 393 с.
2. А. с. №315531 (СССР). Способ сварки импульсной дугой/Вагнер Ф. А., Казаров В. Л. – Оpubл. в Б. И., 1971, №29
3. Энциклопедия по машиностроению XXL: сайт. – URL <https://mash-xxl.info/info/288966/> (дата обращения: 19.04.2023). – Текст: электронный.
4. Оборудование и способы сварки пульсирующей дугой/Ф. А. Вагнер – «Энергия», 1980
5. Меркулов Б. А. и др. Технологические особенности сварки пульсирующей дугой под флюсом “Сварочное производство”, 1975, №3
6. Строй-сервер: сайт. – URL: <http://stroy-server.ru/notes/svarka-pulsiruyushchei-dugoi> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст: электронный.
7. Википедия: сайт. – URL: ru.wikipedia.org/wiki/Фазовое_регулирование (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.
8. Приказ Минтруда России от 11.12.2020 N 884н «Об утверждении Правил по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ»
9. ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности»
10. СП 1009-73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов»
11. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.»
12. ГОСТ 12.4.250-2019 «Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла»
13. ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»

14. ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
15. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н (ред. от 29.04.2022) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок"
16. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
17. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ «Вибрационная безопасность. Общие требования»
18. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ Вредные вещества. «Классификация и общие требования безопасности»
19. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
20. МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»
21. ГОСТ 12.1.035–81 «Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений»
22. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности»
23. ГН 2.2.5.3532–18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»
24. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
25. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 24.10.2022) «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации»

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Improving the efficiency of automatic submerged arc welding due to AC pulse control

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ11	Карамов Кирилл Вадимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭИ ИШНКБ	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н. доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Щеголихина Юлия Викторовна	к.ф.н., доцент		

FOREWORD

Automated submerged arc welding is one of the most common consumable electrode arc welding methods. For the first time, it was widely used during the Patriotic War at defense plants. At the same time, this welding method is still relevant in our time, as it has a large number of advantages that will be given in the work.

The development of the process can go the following ways:

- further increase in process productivity;
 - improving the quality of seams;
 - an increase in the girth of the thicknesses of the workpieces to be welded,
- etc.

To modernize the process, the paper proposes a method of pulse-phase control (PPI). IFU has an increased ability to regulate due to the high frequency of pulsation, which allows welding thin-walled products, less fluidity of the molten metal and flux and the same structure of electrode metal drops.

The aim of the work is to develop a process and technical means for automatic submerged arc welding of small thicknesses.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks: analysis of the submerged arc welding process, justification and choice of the process control method, development of a functional diagram, development of a complete circuit diagram, description of the process using current and voltage diagrams.

1 LITERATURE REVIEW

1.1 Process essence

Automatic submerged arc welding is based on the principle of using the heat of the arc in the same way as manual welding with a metal electrode. The essential difference is that during automatic submerged arc welding, the arc (between the end of the electrode and the welding site) burns under a layer of loose flux. The flux basically plays the same role as the electrode coating in manual welding.

Submerged arc welding is performed using a welding head, the main purpose of which is to automatically maintain the arc.

In automatic welding, flux equipment is required to supply the flux to the weld zone, to suck out unused flux, and to hold the flux at the weld site. To supply the installation with electricity, a power point with a welding transformer, power contactor and other equipment is required.

For automatic welding, granular flux and electrode wire are used: special or simple low-carbon.

For the production of auto-welding, careful assembly of the product from previously prepared parts, as well as preparation of the edges to be welded, is required. During the welding process, the welding mode and other operations should be controlled according to the technological process developed for this product.

When welding the floor with flux, the melting space is inaccessible to direct visual observation. Therefore, ideas about what happens under a layer of loose flux are the result of studying the structure and properties of welds, examining the welding zone using X-rays, oscillography of current and arc voltage in various welding conditions, studying various process models, etc.

The melting space can be conditionally divided into two zones. In one of them, where the arc burns, the base and filler metals and flux melt. In another zone, remote from the arc, the processes of solidification of the weld pool and slag proceed.

1.2 Current-voltage characteristic of submerged arc welding

As an element of an electrical circuit, the welding arc is a non-linear element. In general, the static current-voltage characteristic of the welding arc has a V-shaped characteristic (Figure 1).

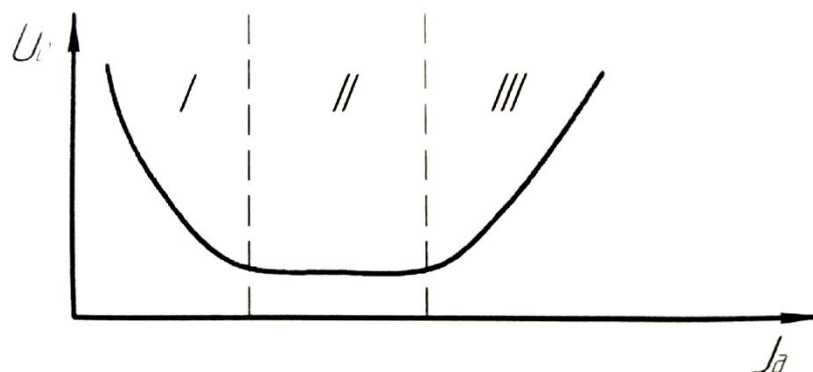


Figure 1 - General view of the current-voltage characteristics of the welding arc

In the figure, area I corresponds to small modes (0.5-10) A, where the shape of the characteristic is falling. Region II corresponds to medium modes with moderate current densities (submerged arc welding, coated electrodes, non-consumable electrode in argon, etc.). Region III corresponds to welding at high current densities.

1.3 Transferring the electrode metal to the weld pool

When welding with open arc electrodes with a chalk coating, at low values, the metal of the electrode is transferred into the weld pool in large drops. The detachment of these drops from the electrode occurs by the main action of electrodynamic forces arising due to the mutual attraction of current lines in a liquid conductor, which is a drop of metal formed at the end of the electrode. The compressive effect of the current contributes to the formation of a neck and separation of drops that flow from the electrode into the bath and briefly close the arc gap. The value of the axial force is proportional to the square of the welding current. When welding in the lower position, gravity acts in conjunction with the electrodynamic force; in overhead welding, it prevents the transfer of electrode drops.

Voltage and current curves during open arc welding with thick-coated electrodes indicate the absence of short circuits in the arc gap by large drops of

electrode metal. The transfer of metal in this case occurs in the form of small droplets. This character of metal transfer is also preserved during welding with low currents, which is explained by the peculiar metallurgical effect of a high-quality electrode coating.

Oscillograms taken during submerged arc welding in commonly used modes indicate the absence of short circuits in the arc gap. This gives reason to believe that during submerged arc welding, the electrode metal is transferred in the form of small drops.

1.4 Forces acting on the weld pool

In submerged arc welding, the volume of the liquid pool is usually many times greater than in manual open arc welding. The bath has a peculiar elongated shape with a recess at the base of the arc column. The end part of the seam gives an idea of the shape of the weld pool (Figure 4) sometimes it is called a crater. In reality, the crater is the depression formed by the arc at the head of the weld pool.

Naturally, the depth of penetration (penetration) of the base metal is the greater, the deeper the arc plunges into the thickness of the base metal, i.e., the deeper the crater.

To control the depth of penetration, you need to know the reasons for the formation of a crater. The presence of a crater results in the liquid metal being at different levels in the front and back of the solidifying pool. A necessary condition for the normal course of the welding process is to maintain a constant difference in the levels of liquid metal. This means that the pressure of liquid metal and flux must be balanced by the forces that form the crater (Figure 2). As soon as this dynamic equilibrium is disturbed, the liquid metal will either fill the crater (in this case, penetration will sharply decrease), or completely leave the arc (in this case, penetration will increase).

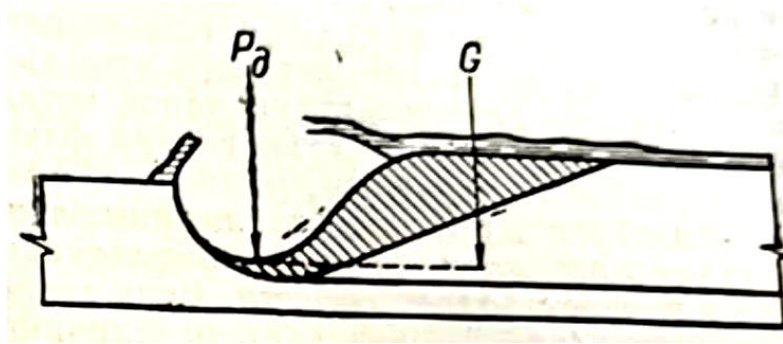


Figure 2 - The balance of forces acting in a liquid bath [1]

1.5 Advantages and disadvantages of automatic submerged arc welding

The use of a granular flux instead of a coating applied to the electrode has led to very valuable and important advantages of this type of welding over other methods of arc welding.

The productivity of submerged arc welding is 5 to 10 times higher than the productivity of manual welding with a metal electrode, and the productivity increases with increasing thickness of the metal being welded.

High productivity is achieved due to the following features of submerged arc welding [1]:

1. The use of high currents when using a relatively thin wire, i.e., an increase in current density, which is possible due to the maximum approximation of the current supply point to the welding arc and the presence of a protective flux layer. In manual open arc welding with 5 mm electrodes, the welding current usually does not exceed 200 A (current density 10 A/mm²) reaches 1200 - 1600 A. In submerged arc welding with a wire with a diameter of 1.6 - 2.0 mm, the current density is usually 70-100 A / mm², and in some cases reaches 150-200 A / mm².

2. Reduction of machine time due to the increase in welding speed, which became possible due to the use of high currents, an increase in the concentration of welding heat, an increase in the utilization of the welding arc and the use of special technological methods. So, for example, if the speed of manual welding of steel with a thickness of 8-10 mm does not exceed 6-8 m / h, then the speed of

submerged arc welding of such metal is 30-40 m / h and can be increased to 120-160 m / h.

3. Reducing the amount of deposited filler metal due to deep penetration of the base metal. This makes it possible to weld butt welds without edge preparation and without a gap at a thickness of up to 20 mm or with a gap at a sheet thickness of more than 20 mm, as well as a decrease in the opening angle of the edges during butt welding with groove.

4. Reduction in the external section of fillet welds compared to hand-welded welds due to deeper penetration of the base metal.

5. Increasing the surfacing coefficient from 7 - 10 g / Ah in manual welding to 14-16 g / Ah in conventional single-arc welding and up to 25 - 30 g / Ah in multi-arc welding, which is especially important for surfacing robot and when welding seams of large section.

Improving the quality of the weld metal and welded joint in submerged arc welding is achieved [1]:

- reliable protection of the melting space from the effects of oxygen and nitrogen in the air;
- obtaining a weld metal more homogeneous in chemical composition due to the stability of the welding mode and, consequently, the constancy of the ratio of the amounts of melted filler and base metals and the flux-slag interacting with them;
- increase in the density of the weld metal and its better formation. than with manual welding;
- minimizing the risk of lack of penetration due to deeper penetration of the base metal.

Saving welding materials and electricity in submerged arc welding is achieved by reducing costs [1]:

- electrode (filler) wire for waste, spattering and cinders, as well as for filling the seam due to an increase in the proportion of the base metal in the weld metal;
- for the application of electrode coatings on the welding wire;

- electricity, due to the better use of the heat of the arc and the absence of heat losses during splashing and waste of metal.

The operational advantages of submerged arc welding, which are very significant compared to manual welding, are that [1]:

- there is no need to protect the eyes and face of the welder, since the arc burning under the flux is invisible;

- arc welding from a handicraft and heavy craft has turned into a modern mechanized technological process, in which the heavy manual labor of a welder is replaced by the work of mechanisms - welding heads, tractors, etc., and the functions of a worker-welder are reduced to managing these mechanisms; thousands of highly skilled welders were released;

- the working conditions in the welding shops have improved dramatically, since the emission of harmful gases during submerged arc welding is extremely small; there was also no need for special ventilation of workplaces;

- easier control of the welding mode, which, to a certain extent, simplified and facilitated the quality control of welded joints.

The disadvantages of submerged arc welding include the difficulty of welding thin-walled products and the strong fluidity of the molten metal and flux.

1.6 Troubleshooting Methods

When welding thin-walled products, when heat removal to the product walls is limited, it is necessary to regulate the penetration ability of the arc and the nature of the formation of the seam in order to exclude the possibility of burns. One of the methods for controlling the technological properties of the arc is a periodic change in the electrical parameters of the mode with a given frequency, amplitude and shape of the pulses. This includes such technological welding schemes as pulsed arc, modulated current and pulsed arc welding. Studies have shown that the main advantage of the first two technological schemes of consumable electrode welding is the ability to control the transfer of electrode metal. Welding with a pulsed arc allows you to control the conditions for the formation of a seam.

CHAPTER CONCLUSIONS

Submerged arc welding is one of the most common methods of consumable electrode arc welding, as it has a large number of advantages. However, submerged arc welding also has disadvantages. One of these disadvantages is the difficulty of welding thin-walled products. Pulsing arc welding solves this problem, as it allows you to control the conditions for the formation of the seam.

2 MEASURES TO IMPROVE THE SUBMERGED ARC WELDING PROCESS

2.1 Pulsing arc welding

F. A. Wagner and V. A. Kazarov invented a method of welding with a pulsed arc, characterized in that in order to improve the quality of the welded joint, a pulse is used, the leading and trailing edges of which change according to an exponential law. Also, this method differs in that, in order to obtain pulses in the case of using a generator with an independent excitation winding as a power source, the latter is periodically broken.

The invention is more preferable than previously existing methods for several reasons [2]:

1. The nature of the input of heat into the product corresponds to the nature of its removal. The product at the initial moment intensively removes heat, and then, as heat saturation increases, more and more slowly. The exponential shape of the pulses takes this into account, and heat is introduced into the product at the initial moment intensively, and then more slowly. Thus, the exponential nature of the heat input into the product corresponds to the conditions for the assimilation of this heat by the product. The degree of this correspondence is determined by the calculated thermal scheme and is regulated by changing the electromagnetic parameters of the system welding generator - welding circuit.

2. The result of the correspondence of the heat input and output to the product achieved in this way is the exclusion of unproductive energy costs for overheating the welded joint, which reduces the quality of the weld metal and the near-weld zone.

3. The exponential nature of the change in the welding current leads to a gradual increase in the arc pressure, however, the intensity of the increase in this pressure, as required, decreases with an increase in the weld pool, when the welding current approaches its maximum value. As a result, good seam formation is ensured.

In the following, the invented method will be referred to as pulsed arc welding, which is also used for submerged arc welding.

Thus, pulsed arc welding consists in the fact that the speed and amount of heat introduced into the product are determined by the arc pulse mode, which is set according to a certain program, depending on the properties of the metal being welded, its thickness, and the spatial position of welding. The rate of rise and fall of the electric power of the arc, the frequency and amplitude of its pulsation can be changed over a fairly wide range. Depending on this, the graph of the change in the electric power of the arc takes on a different shape and may resemble, for example, a rectangle, triangle, trapezoid, or have the form of a smooth curve. In this case, the electric current pulsates in the range from several to hundreds of amperes at a low pulsation frequency, while the cycle duration ranges from a few tenths of a second to 1.5 s or more [3].

The following known methods for achieving a pulsating arc will be considered in the work:

1. With the help of devices proposed by F. A. Wagner (arc pulsation relay, current interrupter and thyristor switch [4]);
2. By changing the welding wire feed speed;
3. By controlling the current in the shunt winding of the transformer;
4. With the help of pulsed phase control (IPC).

2.2 Pulsating arc welding by controlling the current in the shunt winding of the transformer

The circuit that provides current control in the transformer shunt winding is shown in Figure 3.

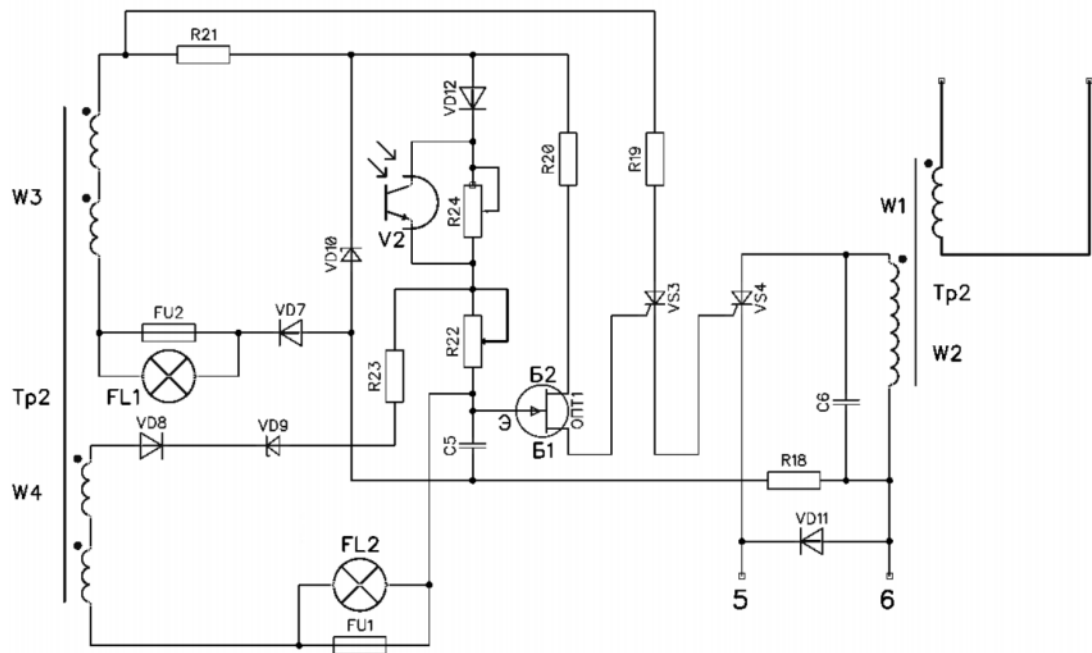


Figure 3 - Scheme of current control in the bias winding of the transformer shunt

The circuit works according to the horizontal principle of regulation and is made on a single-junction transistor OPT1, which is distinguished by a stable voltage and a very low unlocking (switching) current, a wide operating temperature range and a large allowable amplitude value of the emitter current. The circuit for controlling the opening phase of the thyristor supplying the control winding at the OPT is simple, compact and consumes little power.

2.3 Pulse-phase AC control

Pulse-phase control of alternating current is a method of regulating alternating electric current of a sinusoidal shape by changing the opening angle of thyristors, triacs, thyatrons or other key electronic devices on which a rectifier or electric switch is assembled.

Figure 4 shows thyristors connected back-to-back, conducting current in turn and driving alternating current. The regulation of the current value is carried out by changing the opening angle of the thyristors α (Figure 5). With a large angle α , the current has small values, with a decrease in the angle α , the current increases.

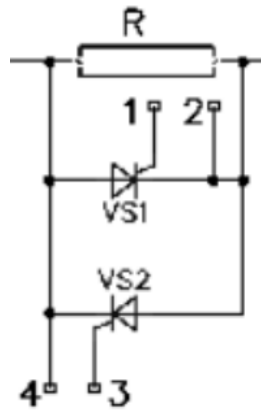


Figure 4 - Back-to-parallel thyristors

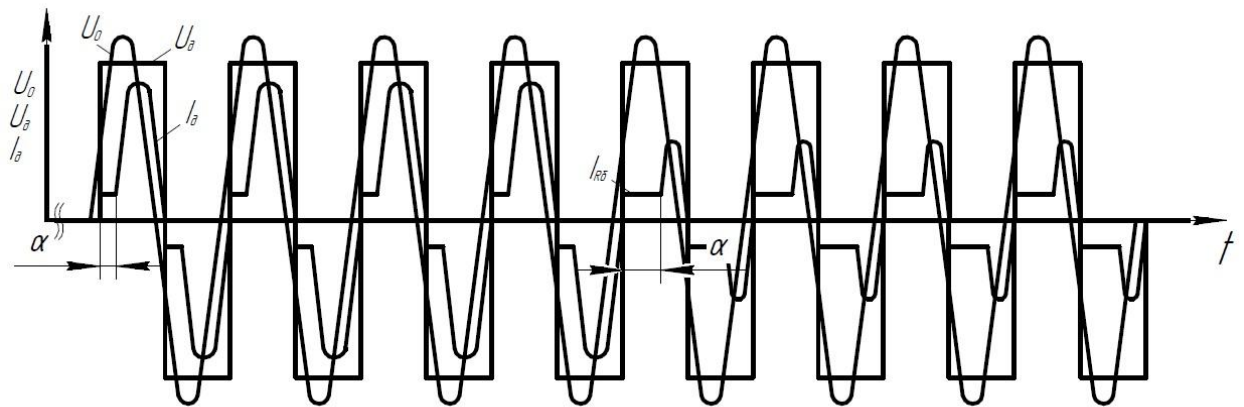


Figure 5 - Plots of current and voltage

In the figure, the symbol U_D indicates the arc voltage, the symbol U_0 is the no-load voltage and the symbol I_D is the arc current.

In the considered process, the modulation frequency - the opening phases of power thyristors occurs in half the period of the supply voltage, which allows you to change the pulse duration within a wide range and independently of each other at a small shift angle (large current value) and at a large shift angle (at a small current value).

CHAPTER CONCLUSIONS

The most promising method of welding, which allows to reduce the welding mode, is the method of pulse-phase control of anti-parallel thyristors, shunted by a resistor for the continuity of the current flow, of the welding circuit.

3 DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL AND CIRCUIT DIAGRAMS

3.1 Functional diagram of the installation for welding with alternating current

To implement the selected control algorithm, a functional installation has been developed, shown in Figure 6.

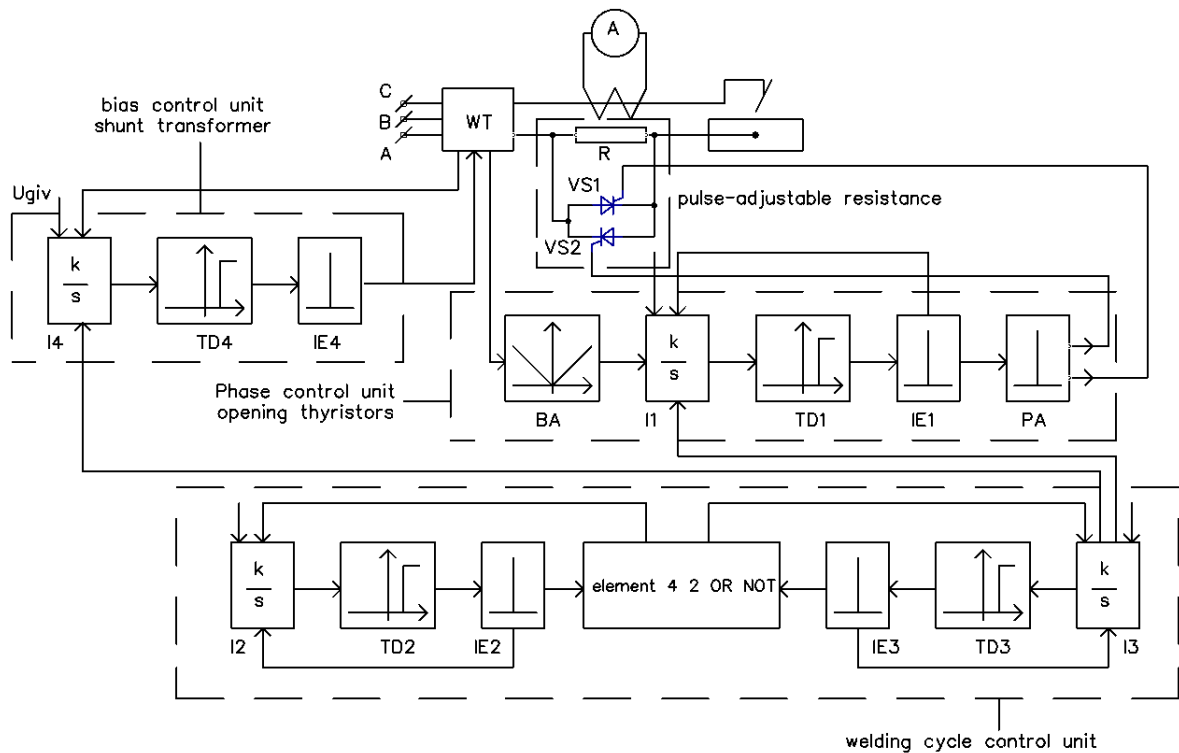


Figure 6 - Functional diagram

The functional diagram was developed on the basis of the modernized control circuit of the welding transformer of the adjustable shunt bias (TRPSh) TDF-1001UZ.

The functional diagram includes:

- ST-welding transformer TDF-1001UZ;

- pulse-controlled resistance (IRS), which consists of parallel-opposite thyristors VS1 and VS2, shunted with resistance R and connected in series to the welding circuit;
- ammeter A with current transformer TT;
- welding cycle control unit (threshold devices TD2 and TD3, integrators I2 and I3, impulse elements IE2 and IE3, element 4 2 OR NOT);
- block for controlling the opening phase of thyristors (threshold device TD1, integrator I1, pulse amplifier PA, impulse elements IE1, BA-block of absolute values of the open-circuit voltage U0 of the welding transformer ST);
- transformer shunt bias control unit (threshold device TD4, integrator I4, impulse element IE4).

3.2 Circuit diagram

The complete electrical circuit diagram developed in accordance with the functional is shown in Figure 7.

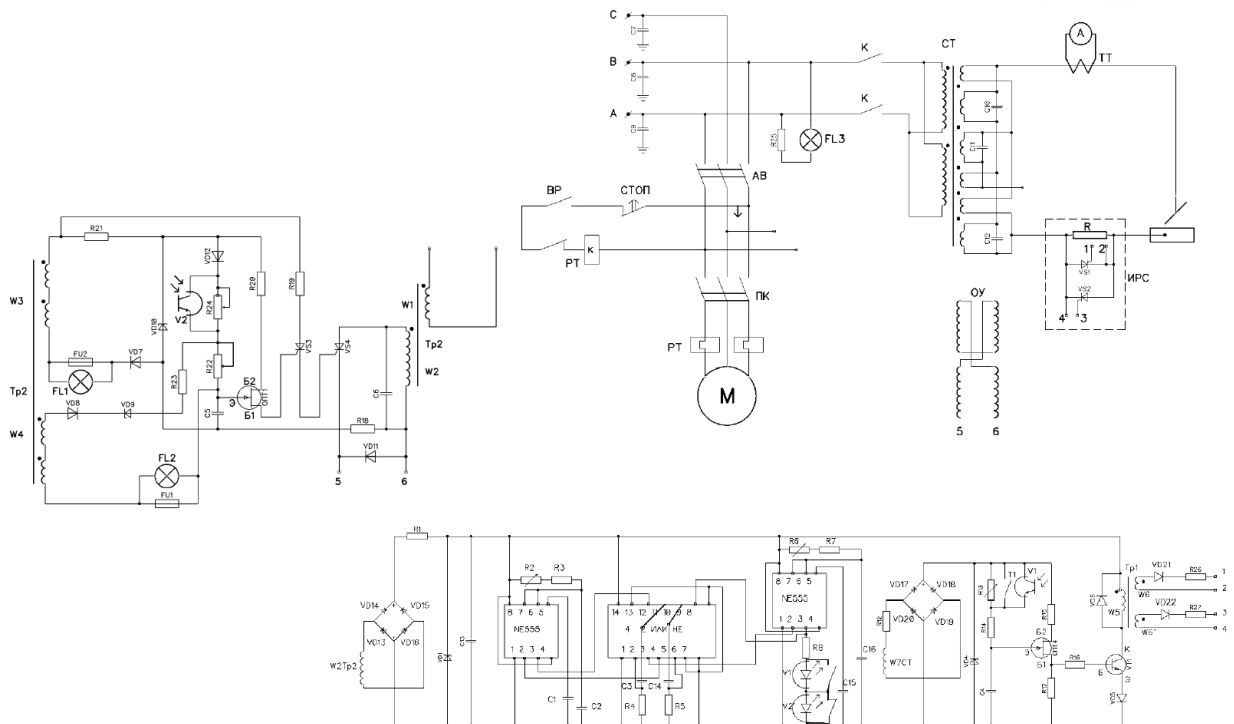


Figure 7 - Complete circuit diagram

The electrical circuit includes:

- welding transformer ST
- transformer control circuit
- current control circuit in the bias winding
- pulse-adjustable resistance IRS
- circuit of pulse-phase control of thyristors in pulse-controlled resistance
- scheme of program control of the thyristor opening phase

3.3 Functional diagram of the welding cycle control unit

The power supply of the program control circuit for the opening phase of thyristors is carried out from the circuit for pulse-phase control of thyristors in a pulse-controlled resistance.

Figure 36 shows a functional diagram of the welding cycle control unit, in accordance with which the schematic diagram in Figure 8 was developed.

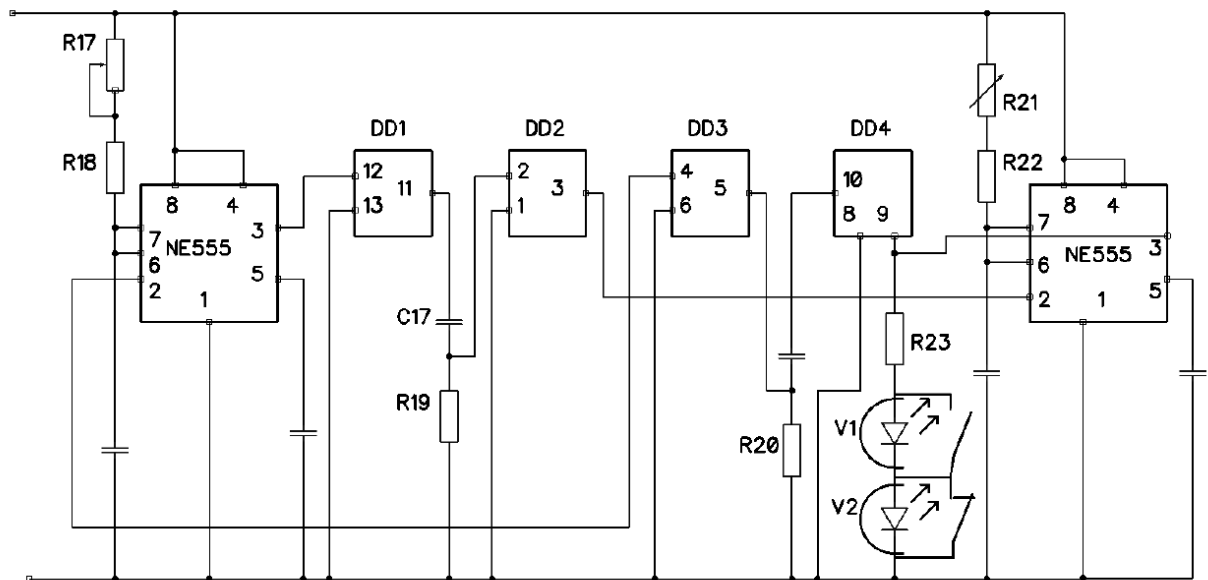


Figure 8 - Functional diagram of the welding cycle control unit

Figure 9 shows voltage diagrams on the circuit elements.

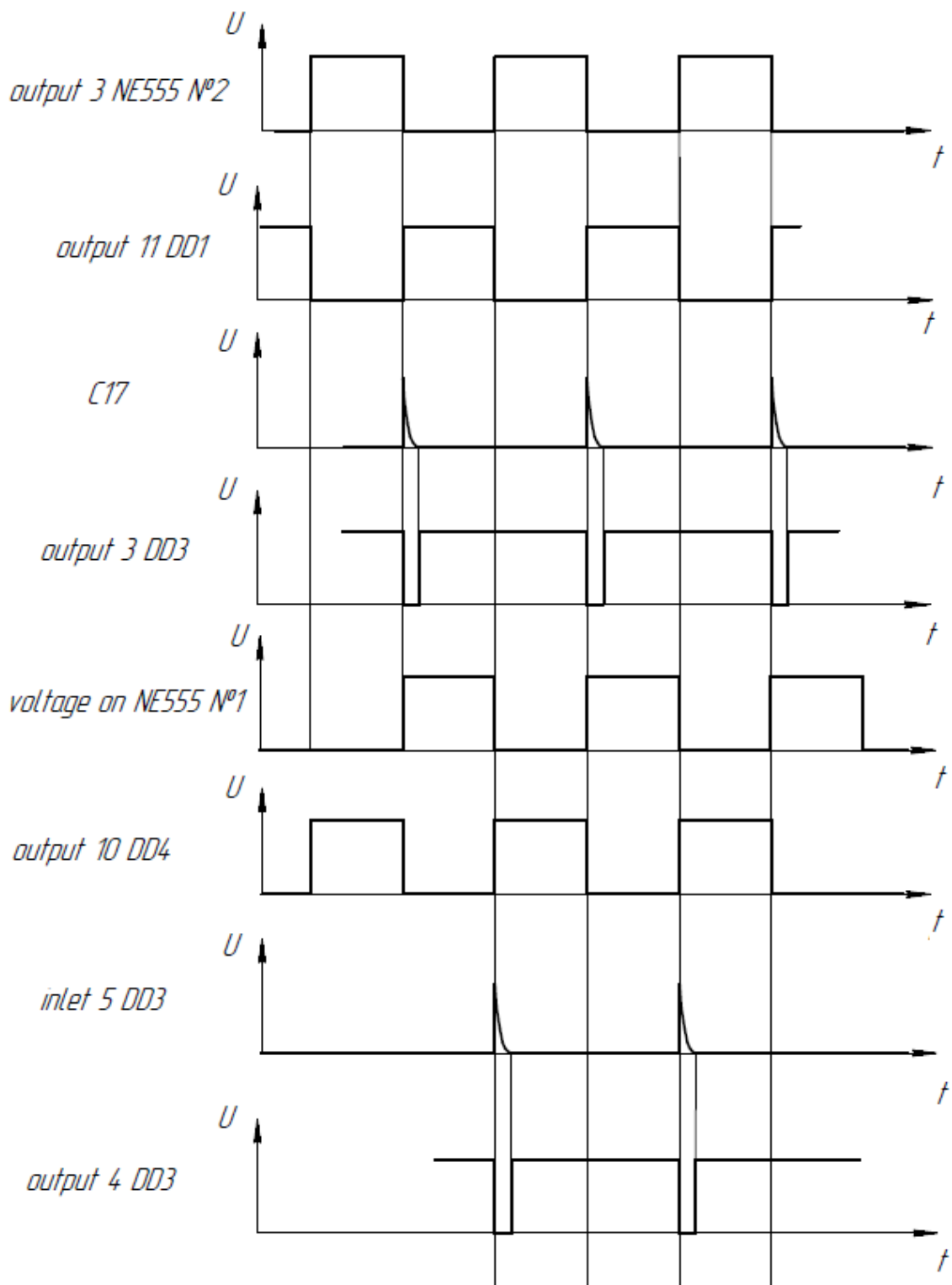


Figure 9 - Plots of stresses on the elements of the block circuit by a welding cycle

When the opto diode V1 illuminates the base of the opto transistor V1, the latter will open and short the resistance R13.

and the charge time of the capacitor C4 to the threshold voltage of the unijunction transistor OPT4. In this case, the angle α will have a minimum value and the welding current will be maximum.

CHAPTER CONCLUSIONS

The developed functional diagram provides pulse-phase control of alternating welding current.

The continuity of the flow of alternating welding current is ensured by the resistance R, which shunts the anti-parallel connected thyristors VS1 and VS2.

The proposed scheme of the IFU with welding alternating current provides high-speed response in a wide range of pulse durations and pauses of the welding current.

The proposed scheme is characterized by simplicity and high reliability. thyristors are turned off due to natural switching.

The introduction of a pulse-controlled resistance in the secondary circuit of the welding transformer allows you to transfer it to the pulsed welding mode.

Pulse-phase control of the current in the bias winding of the magnetic shunt of the welding transformer allows you to create a pulsating current in the welding circuit.

The IFU circuit with thyristors in an AC welding circuit based on a single-junction transistor (OPT) is simple, reliable and provides the possibility of a pulsed welding mode.

CONCLUSION

When considering automatic submerged arc welding, it was revealed that this process has many advantages and is relevant. However, submerged arc welding also has disadvantages. These disadvantages include the difficulty of welding thin-walled products and excessive fluidity of the molten metal. Pulsing arc welding solves this problem, as it allows you to control the conditions for the formation of the seam.

Of the listed control methods, the most promising welding method, which makes it possible to reduce the welding mode, is the method of pulse-phase control of counter-parallel connected thyristors, shunted by a resistor for the continuity of the current flow, of the welding circuit.

The developed functional diagram provides pulse-phase control of alternating welding current, speed in a wide range of pulse durations and welding current pauses. The proposed scheme is characterized by simplicity and high reliability. thyristors are turned off due to natural switching.

Pulse-controlled resistance (IRS) ensures the continuity of the flow of alternating welding current. The introduction of IRS into the secondary circuit of the welding transformer allows you to transfer it to the pulsed welding mode.

Pulse-phase control of the current in the bias winding of the magnetic shunt of the welding transformer allows you to create a pulsating current in the welding circuit.

The IFU circuit with thyristors in an AC welding circuit based on a single-junction transistor (OPT) is simple, reliable and provides the possibility of a pulsed welding mode.

LIST OF SOURCES USED

1. Automatic arc welding / Ed. E.O. Paton. - K., M.: Mashgiz, 1953. - 393 p.
2. A. s. No. 315531 (USSR). The method of welding with a pulsed arc / Wagner F. A., Kazarov V. L. - Publ. in B.I., 1971, No. 29
3. Encyclopedia of mechanical engineering XXL: site. – URL <https://mash-xxl.info/info/288966/> (date of access: 04/19/2023). – Text: electronic.
4. Equipment and methods for welding with a pulsed arc / F. A. Wagner - "Energy", 1980

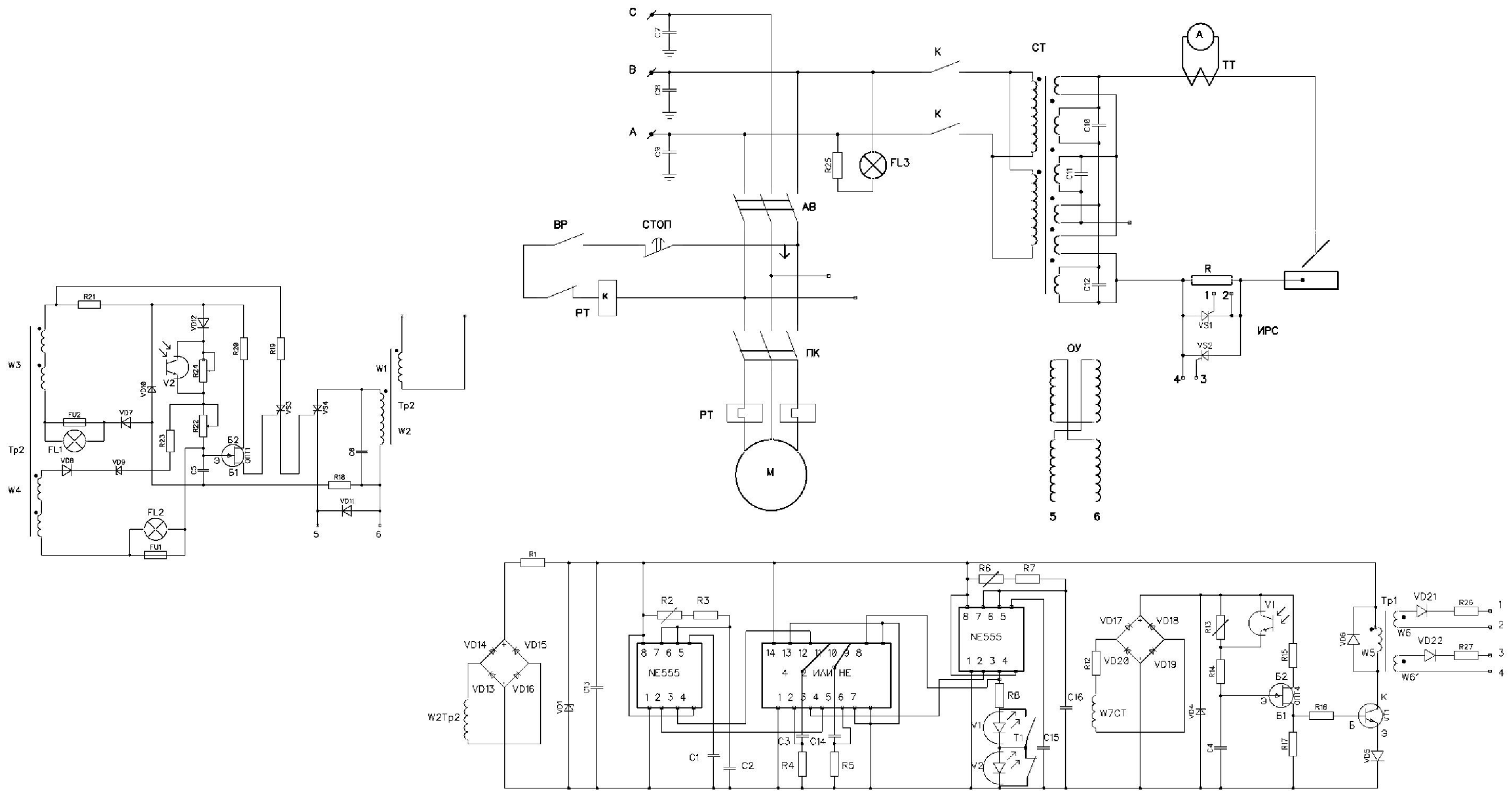
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

**Электрическая принципиальная схема импульсного управления
переменным током**

ФЮРА.044642.001 ЭЗ

Справ. №
 Подп. и дата
 Инв. № подл.
 Подп. и дата
 Инв. № инд.
 Подп. и дата
 Инв. № инд.
 Подп. и дата
 Инв. № инд.
 Подп. и дата



КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.
 Инв. № инд. Подп. и дата

ФЮРА.044642.001 ЭЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Карамов К. В.			
Проб.	Киселев А. С.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Электрическая принципиальная схема
 импульсного управления переменным
 током

Лист	Масса	Масштаб
4		1:1
Лист	Листов	1

ТПУ ИШНКБ
 Группа 1ВМ11

Копировал

Формат А3

Не для коммерческого использования

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Эпюры токов и напряжений

