

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология исправления литейных дефектов титановых отливок
из сплава ТЛЗ методом заварки

Обучающийся

А.М. Турилина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе представлена технология исправления литейных дефектов титановых отливок из сплава ТЛЗ методом заварки.

Указана базовая технология исправления литейных дефектов в титановых отливках. Посредством чего была выявлена основная причина возникновения дефектов в процессе заварки.

Произведен сравнительный анализ рекомендуемых технологической документацией способов заварки дефектов в титановых отливках.

Представлен анализ известных решений по предотвращению возникновения дефектов при заварке титановых отливок.

По результатам произведенных анализов разработана проектная технология исправления литейных дефектов.

В экономическом разделе сравниваются затраты на устранение дефектов по базовой технологии с затратами на устранение дефектов по проектной технологии.

В разделе безопасность и экологичность перечислены вредные факторы и их характер, способы устранения вредных факторов, либо меры по снижению их влияния, в тех случаях, когда устранить вредные факторы полностью невозможно.

Пояснительная записка содержит 47 страниц, 7 таблиц, 6 рисунков, список используемой литературы из 25 наименований. Графическая часть содержит 7 страниц, выполненных на формате А1.

Содержание

Введение.....	5
1 Особенности заварки литейных дефектов в отливках из титанового сплава.....	7
1.1 Дефекты, основной материал.....	7
1.1.1 Дефекты титановых отливок и дефекты заварки	7
1.1.2 Материал и его свариваемость, особенности заварки	9
1.2 Технологические мероприятия для исправления литейных дефектов	12
1.2.1 Разделка дефектных участков, подготовка их под заварку.....	12
1.2.2 Выбор сварочных и вспомогательных материалов.....	14
1.2.3 Выбор режимов заварки.....	16
1.3 Требования к контролю качества	17
1.3.1 Контроль качества после удаления дефектов	17
1.3.2 Контроль качества заварки дефектов	17
1.4 Анализ источников научно-технической информации, раскрывающих вопрос повышения качества заварки дефектов в отливках из титанового сплава	19
2 Повышение качества заварки литейных дефектов в отливках из титанового сплава марки ТЛЗ.....	22
2.1 Проектная технология заварки дефектов в отливке тройник из титанового сплава марки ТЛЗ.....	22
2.1.1 Обнаружение дефектов	22
2.1.2 Процесс выборки дефектов.....	22
2.1.3 Подготовка к заварке дефектов	24
2.1.4 Процесс заварки дефектов	25
2.2 Способ обеспечения качественного процесса заварки дефектов в отливке из титанового сплава	27
2.2.1 Сварочная камера.....	27

2.2.2 Сварочный поворотный позиционер	29
3 Оценка экономической эффективности.....	31
3.1 Затраты на сварочные материалы	31
3.2 Затраты на защитный газ.....	32
3.3 Затраты на заработную плату	34
3.4 Затраты на электроэнергию	36
3.5 Расчет расходов на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования	36
3.6 Расчет себестоимости заварки дефектов	37
4 Безопасность и экологичность технического объекта	39
4.1 Объекты, задействованные в процессе устранения дефектных участков.....	39
4.1.1 Безопасность и экологичность обрубного участка	39
4.1.2 Безопасность и экологичность сварочного участка	41
Заключение	44
Список используемой литературы и используемых источников.....	45

Введение

В современном производстве титан и его сплавы занимают важное место благодаря своим уникальным характеристикам. Эти материалы отличаются высокой прочностью, малым весом и высокой стойкостью к коррозии, что делает их незаменимыми в таких отраслях, как авиационная, космическая промышленность, судостроение, автомобилестроение, медицина, химическая и энергетическая сферы, а также нефтедобыча [2], [3], [6], [25].

В судостроении для выполнения государственных оборонных заказов и межзаводских поставок изготавливают полуфабрикаты из титановых сплавов методом фасонного литья [4].

Согласно нормативно-технологической документации, отливки из титановых сплавов должны эксплуатироваться при температуре до 350 °С, сохранять свои свойства при контакте с морской водой и выдерживать давление до 20 МПа. В связи с этим недопустимо наличие дефектов в отливках [22]. В случаях возникновения дефектов, которые невозможно устранить на этапе литья, прибегают к механической выборке дефектных участков с последующей их заваркой.

При заварке дефектов наплавленные валики должны иметь блестящую серебристую поверхность [20]. Не допускается наличие острых западений между валиками, наплывов, подрезов, незаплавленных кратеров [23].

Для заварки дефектов на производстве используют ручную аргонодуговую сварку неплавящимся электродом с защитой инертным газом методом поддува. В качестве оборудования применяются сварочные посты типа КСС-500, а также кислородные редукторы РК-53 или РКД-8-61, редукторы для аргона моделей ДКП-1-65, ДКС или АР-40. Электроснабжение осуществляется от многопостового источника постоянного тока ВДМ-1202У3.

В ходе проведенных работ была выявлена проблема: при заварке дефектов в титановых отливках ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с защитой методом поддува возникают трещины и пористость.

Понять как обеспечить качественную заварку дефектов в отливках из титановых сплавов помогут работы следующих авторов: Леонов В.П., Михайлов В.И., Гуревич С.М., Куликов Ф.Р., Капустян А.Е., Вакуленко И.А., Овчинников А.В., Барменков В.В. Их исследования раскрывают вопросы защиты сварных соединений от окисления во время сварки, описывают методы обработки присадочных металлов и варианты защиты металла газами, применяя флюсы или газовые струи [10], [13]. «Качество соединений определяется в основном надежностью защиты и чистотой инертного газа» [10, с. 27]. Также приводятся способы защиты газами: использование горелок с соплом и удлинительными насадками для струйной защиты, а при необходимости применяются подкладки на обратной стороне шва, а также используются камеры с контролируемой атмосферой.

На сегодняшний день применяемые методы заварки либо не всегда обеспечивают заварку без образования сварных дефектов, либо являются затратными при мелкосерийном производстве.

Цель данной выпускной квалификационной работы – повысить качество заварки дефектов в титановых отливках из сплава ТЛЗ путём разработки технологии исправления литейных дефектов в условиях мелкосерийного производства.

1 Особенности заварки литейных дефектов в отливках из титанового сплава

1.1 Дефекты, основной материал

1.1.1 Дефекты титановых отливок и дефекты заварки

Достижение поставленной цели будем выполнять на примере заварки дефектов в отливке тройник приварной (рисунок 1)

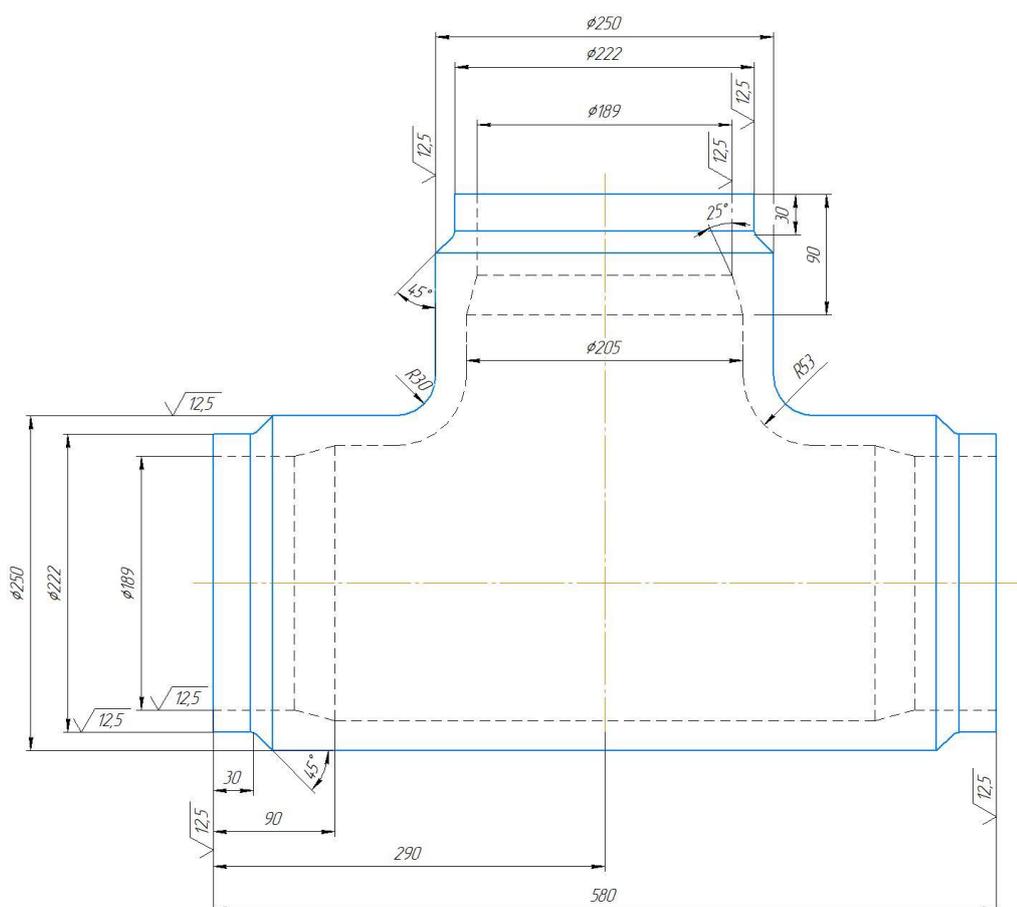


Рисунок 1 – Эскиз отливки тройник приварной

В судостроительной отрасли такие тройники используются для разделения трубопроводных систем [4], [21]. Согласно нормативу, ОСТ 5Р.9071-88, эти тройники классифицируются как изделия III группы и должны выдерживать рабочее давление свыше 10 МПа при температуре до 350 °С.

В связи с этим, отливки проходят ряд обязательных контрольных процедур: визуально-измерительный контроль, радиографический и капиллярный контроль, ультразвуковую дефектоскопию. В ходе этих проверок выявляются возможные дефекты, после чего оценивается их допустимость [7], [22].

Требования к поверхностным и внутренним дефектам, ОСТ 5Р.9071-88:

«– не допускаются без исправления трещины, обнаруженные на отливках любым способом контроля, указанным в разделе 3;

– на обрабатываемых поверхностях не допускаются без исправления дефекты, выходящие на глубине за пределы $2/3$ припуска на механическую обработку;

– на необработанных поверхностях не допускаются без исправления обнаруженные в объеме группы испытаний дефекты, размеры которых в наибольшем измерении превышают 15 % номинальной толщины стенки в данном сечении, но в любом случае более 5 мм для стенок толщиной до 100 мм и более 8 мм для стенок толщиной свыше 100 мм и в количестве более 15 дефектов на каждые 100 см² площади отливки. Скопление пор размером менее 1 мм не учитываются.

– суммарное уменьшение толщины стенки в случае совпадения поверхностных дефектов не должно превышать 20 % номинальной толщины стенки в данном сечении» [22, с. 10].

Толщина стенки тройника составляет 22,5 мм, в зоне обработки она уменьшается до 16,5 мм. Для изделий III группы недопустимы дефекты или их скопления с размерами более 40 % от номинальной толщины стенки или превышающие установленные предельные размеры (10 мм).

Заварка применяется для устранения следующих видов дефектов согласно РД 5Р.9818-80:

«– газовые раковины;

– усадочные раковины и рыхлоты;

– засоры от форм;

- недоливы тела отливки;
- местные утонения тела отливки;
- трещины» [20, с. 18].

После проведения заварочных работ осуществляется контроль качества согласно разделу 1.3.2 данного документа и требованиям РД 5Р.9818-80.

Также по этим нормативам допускается повторное исправление при обнаружении:

- недопустимых цветов побежалости;
- швов или отдельных валиков со сморщенной поверхностью или порошкообразным налетом любого цвета;
- трещин в шве или прилегающей поверхности;
- кратеров;
- подрезов;
- наплывов;
- непроваров.

Исправленные заваркой тройники проходят испытания на прочность и герметичность рабочим давлением 20 МПа, согласно ГОСТ 356-80.

1.1.2 Материал и его свариваемость, особенности заварки

Тройник изготавливается из титанового сплава марки ТЛЗ методом фасонного литья – специально разработанного для нужд советского морского флота. Этот сплав содержит преимущественно α -фазу и практически не содержит β -фазу, единственным легирующим элементом является алюминий [12], [25]. Химический состав сплава ТЛЗ представлен в таблице 1. При отсутствии оксидирования допускается содержание ванадия по массе до 1,5 %.

Таблица 1 – Химический состав сплава ТЛЗ по ОСТ 5Р.9071-88

	Fe	Si	B	Ti	V	Al	C	O	N	H
ТЛЗ	<0.25	<0.12	0.001-0.005	Осн.	<0,4	3-4,5	<0,15	<0,15	<0,04	<0,008

В таблице 2 представлены физические свойства сплава ТЛЗ.

Таблица 2 – Физические свойства сплава ТЛЗ по ОСТ 5Р.9071-88

	Значение	Единицы измерения
Тепловое расширение	10,1-17,1	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Теплопроводность	55,4-75,5	Вт/м $^{\circ}\text{C}$
Удельная теплоемкость	456	Дж/кг $^{\circ}\text{C}$
Температура плавления	1370-1400	$^{\circ}\text{C}$
Рабочая температура	0-500	$^{\circ}\text{C}$
Плотность	8000-8000	кг/м 3

Сплав широко представлен в виде прутков, проволоки, листов, поковок, труб и других изделий по заказу клиента в соответствии с техническими требованиями.

Механические свойства сплава ТЛЗ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Механические свойства сплава ТЛЗ по ОСТ 5Р.9071-88

Марка сплава	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, КДж/м 2	
				КС U	КС V
ТЛЗ	440	490	10	588	392

Сплав обладает отличными литейными свойствами и хорошей свариваемостью, для качественного сварного соединения важно строго контролировать содержание примесей.

При заварке дефектов в отливке из титанового сплава, необходимо учитывать такую его особенность, как химическая активность при нагревании свыше 400 $^{\circ}\text{C}$ [2], [13], [19].

Наиболее распространённый дефект – пористость, которая возникает из-за выделения водорода в сварочную ванну. Взаимодействие с водородом вызывает гидридообразование – водородное охрупчивание: при охлаждении внутри металла формируются гидриды титана, что значительно увеличивает хрупкость и способствует образованию трещин [1], [2].

Помимо водорода на качество сварного шва оказывают влияние и другие газы атмосферы.

При нагреве кислород взаимодействует с металлом, образуя окисленные слои (альфированный слой), что может привести к появлению трещин на поверхности детали [5], [6], [13].

Образование нитридов титана происходит при реакции с азотом – это повышает твердость и прочность материала за счёт увеличения твердого раствора, однако снижает его пластичность. Это может привести к появлению холодных трещин [2], [12].

Также при взаимодействии с атмосферными газами при температуре выше 400 °С может произойти самовозгорание титана.

Базовая технология заварки дефектов в отливках из титанового сплава типа ТЛЗ осуществляется ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом по ОСТ 5.9917-83, аргон подается методом поддува [24].

Согласно РД 5Р.9818-80 допускается использование механизированных способов сварки, таких как:

- ручная сварка с механизированной подачей присадочного материала;
- полуавтоматическая сварка с механизированной подачей присадочного материала;
- электронно-лучевая сварка.

Ручная сварка с механизированной подачей присадочного материала позволяет регулировать характер растекания тока, контролировать расход присадочного материала [10]. Это позволяет сформировать качественный шов, повысить прочность соединения. Однако данный метод имеет ряд недостатков, такие как высокие требования к квалификации сварщика, чувствительность к внешним условиям, из-за чего может нарушиться газовая защита, низкая производительность, сложно контролировать нагрев металла.

Полуавтоматическая сварка с механизированной подачей присадочного материала позволяет обеспечить точный контроль параметров сварки, выполнять сварку больших толщин, повышает производительность [10].

Основным недостатком является сложность защиты сварочной зоны. Температура плавления титана составляет 1668 °С, а при температуре свыше 400 °С титан вступает в химическую реакцию с кислородом, азотом и водородом. Следовательно, защиту требуется обеспечить не только сварочной ванны, но и телу самой отливки рядом с зоной заварки.

Электронно-лучевая сварка также имеет свои преимущества и недостатки. К преимуществам относятся высокая производительность, малое количество вводимой теплоты, возможность локальной термической обработки. Однако требуется длительное время на создание вакуума, возможно появление специфических дефектов (протяженные полости в объеме шва, корневые дефекты, срединные трещины), дефектов формирования шва (подрезы, непровары, провисание шва, повышенное разбрызгивание металла). А также один из главных недостатков – это высокая стоимость оборудования [10].

Ручная аргонодуговая сварка является одним из наиболее эффективных и проверенных временем способов соединения титановых сплавов, она позволяет получить прочные и долговечные швы. Универсальный способ сварки плавлением в среде аргона неплавящимся электродом обеспечивающий локальный нагрев участка, возможность заварки тонкостенных отливок, позволяет контролировать процесс заварки. К недостаткам данного метода относится низкая производительность, высокие требования к квалификации сварщика, чувствительность к внешним условиям при обеспечении газовой защиты.

1.2 Технологические мероприятия для исправления литейных дефектов

1.2.1 Разделка дефектных участков, подготовка их под заварку

Дефекты, выявленные в соответствии с требованиями ОСТ 5Р.9071-88, подлежащие устранению методом заварки, требуют проведения либо

вырубки, либо механической обработки. Для этого используют инструменты такие как зубило, корундовый круг, борфреза, а также высверливание, строгание или фрезерование.

Разделка выполняется по всей длине и на всю глубину залегания дефекта. Кромки выполняются пологими. Угол разделки кромок 60-70°.

Согласно РД 5Р.9818-80 поверхностный слой отливки, прилегающий к обработанному участку, снимается на глубину «h», рисунок 2. Эта операция выполняется также в случаях утонения стенок для последующей наплавки, при отсутствии некоторых частей для наварки или при необходимости установки заглушек сваркой.

Если размер «a» (рисунок 2) менее 10 мм, зачистка выполняется еще и с тыльной стороны.

Глубина снимаемого слоя зависит от толщины стенки отливки в соответствии с ОСТ 5Р.9071-88. Значение «b» должно быть не менее 20 мм.

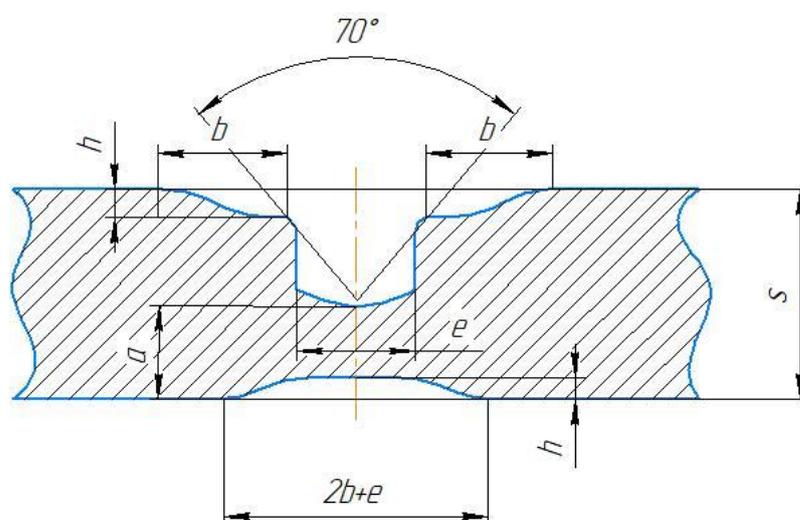


Рисунок 2 – Эскиз несквозной разделки литейного дефекта под заварку

Если производится сквозная разделка дефекта, с обратной стороны также необходимо производить зачистку литой поверхности (рисунок 3).

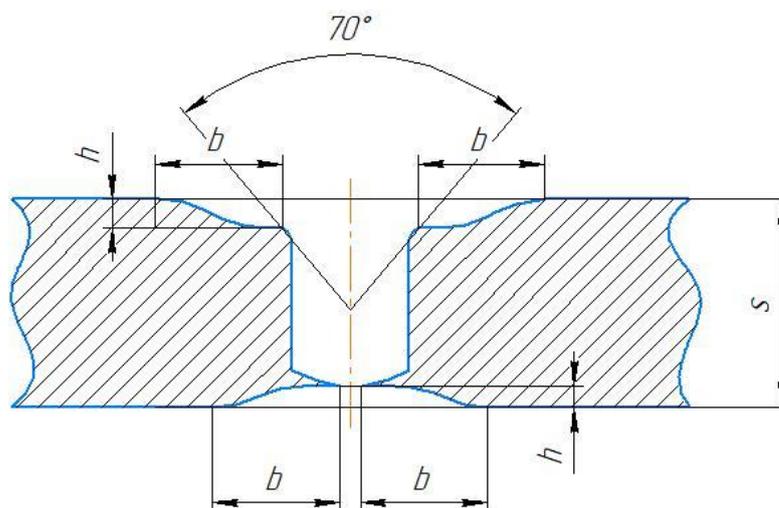


Рисунок 3 – Эскиз сквозной разделки дефекта под заварку

Согласно требованиям РД 5Р.9818-80 переход участка удаленного дефекта к поверхности отливки должен быть плавным и постепенным – с помощью наждачного камня обеспечивается постепенное уменьшение толщины обработанной зоны. Это важно для обеспечения свободного доступа к подготовленному участку и высокого качества заварочных работ.

Если между двумя дефектами перемычка толщиной до 15 мм, разделку можно выполнить как одного дефекта.

Контроль полноты удаления дефектов производится согласно технологическим картам и ОСТ 5Р.9071-88.

Перед выполнением заварочных работ поверхность должна быть полностью очищена и обезжирена как требует РД 5Р.9818-80.

1.2.2 Выбор сварочных и вспомогательных материалов

Сварочные и вспомогательные материалы, применяемые при заварке дефектов, должны соответствовать ОСТ 5Р.95055-2011. Они должны иметь сертификаты и удовлетворять требованиям стандартов или технических условий на их поставку [23].

В соответствии с ГОСТ 24297-2013 производится входной контроль, его организация, порядок проведения и оформление [15].

По ГОСТ 10157-2016 в качестве защитного газа используется аргон газообразный для защиты лицевой и обратной стороны шва.

При заварке дефектов в качестве неплавящихся электродов необходимо применять прутки из иттрированного или лантанированного вольфрама по ТУ 48-19-221-83 и ТУ 48-19-27-88, ГОСТ 23949-80 так как они обладают высокой стойкостью при сварке.

В качестве присадочного материала требуется применять сварочную проволоку, поставляемую по ГОСТ 27265-87 в соответствии с ОСТ 5Р.95055-2011 и таблицей 4 [23].

Таблица 4 – Присадочный материал для заварки дефектов отливок

Особенности работы литой детали и характер исправляемого дефекта	Марка сплава	
	Отливка	Присадка
Подлежащие оксидированию	ТЛЗ, ТЛ5	ПТ-7М
	5ВЛ	ВТ6св
Работающие при температуре выше 100 °С. Имеющие дефектные участки глубиной более 0,3 толщины стенки, поверхность которой после заварки подвергается механической обработке.	ТЛЗ, ТЛ	ПТ-7М, 2В
	5ВЛ	ВТ6св
В остальных случаях	ТЛЗ, ТЛ5	ВТ1-00св. С
	5ВЛ	2В

Хранение и выдачу сварочных материалов следует выполнять в соответствии раздела 8 в ОСТ 5Р.95055-2011.

Вспомогательными материалами являются средства для очистки и обезжиривания поверхности, подготовленной под заварку:

- ацетоном марки А или Б по ГОСТ 2768-84;
- ректифицированным этиловым спиртом по ГОСТ 5962-2013;
- техническим ректифицированным этиловым спиртом по ГОСТ Р 55878-2013;
- высшим сортом этилового спирта по ГОСТ 17299-78 марки А;
- чистым ацетоном по ГОСТ 2603-79;
- водными смывками.

А также ткань типа «Бязь» для протирки обработанных поверхностей.

1.2.3 Выбор режимов заварки

Ручную аргодуговую сварку неплавящимся электродом выполняют на постоянном токе прямой полярности. Обратная полярность может привести к напряжению электродуги, снижая стойкость ее горения и увеличивая расход электрода.

Режимы сварки (таблица 5) выбираются согласно РД 5Р.9818-80 в зависимости от толщины свариваемых деталей.

Таблица 5 – Режимы сварки согласно РД 5Р.9818-80

Толщина стенки, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сила тока, А	
		Нижнее и потолочное положение шва	Вертикально и горизонтальное положение шва
Сквозной дефект	1,2-3,0 3,0	60-120	45-100
До 3 вкл.	2,0	100-130	90-120
Св. 3 до 5 вкл.	2,0	120-150	100-130
	3,0	150-180	140-160
Св. 6 до 10 вкл.	2,0	160-200	100-130
	3,0	200-230	150-200
	4,0	240-270	240-250
Св. 10 до 17 вкл.	3,0	200-250	180-230
	4,0	250-300	240-280
	5,0	280-310	270-290
Св. 17 до 25 вкл.	3,0	220-250	180-230
	4,0	260-340	240-310
	5,0	290-400	270-300
Св. 25	3,0	220-280	180-230
	4,0	270-350	160-330
	5,0	300-420	280-360

Примечание:
 1 Скорость сварки от 15 до 25 см/мин.
 2 Диаметр вольфрамового электрода при силе тока:
 До 200 А – 3мм
 Св. 200 до 300 А – 4 мм
 Св. 300 до 350 А – 5 мм
 Св. 350 до 420 А – 6 мм

1.3 Требования к контролю качества

Требования к контролю качества после удаления дефектов и заварки, должны соответствовать требованиям РД 5Р.9818-80. Ниже приведено описание процедур и критериев контроля.

1.3.1 Контроль качества после удаления дефектов

В первую очередь производится визуально-измерительный контроль. На выбранной поверхности не должно быть грубых рис и заусенцев. Форма выборки должна соответствовать требованиям РД 5Р.9818-80 (п.1.2.1 данной работы).

Площадь выбранных дефектов не должна превышать 5% от общей площади поверхности отливки. В случае превышения допустимого значения необходимо согласовать решение о заварке с главным сварщиком и главным металлургом.

Полнота удаления дефектов определяется рентгенографическим контролем. Далее в соответствии ОСТ 5.9537-80 проводится капиллярная дефектоскопия. Если по результатам данных методов контроля не обнаружено трещин, выборка считается законченной. Если трещины обнаружены, производится повторная выборка, зачистка и проверка.

1.3.2 Контроль качества заварки дефектов

Производственный мастер и мастер БУКП осуществляют контроль за соблюдением правильного применения присадочных материалов, за качеством газовой защиты, за соблюдением режимов сварки.

Заваренная поверхность проходит визуально-измерительный контроль.

«При исправлении дефектных участков отливок, высота выпуклости наплавки (шва) должна находиться в следующих пределах:

- от 0 до h в отливках, подлежащих оксидированию, работающих при температуре выше 100 °С или имеющих глубину дефектов более толщины стенки отливки;

– от h до 0,2 максимальной ширины разделки дефектного участка в остальных случаях.

При выполнении усиления необходимо обеспечить плавное сопряжение крайних валиков с поверхностью отливки, причем усиление не должно перекрывать на 2-3 мм, оплавленную «холостым проходом» поверхность отливки» [20, с. 21].

В соответствии с ОСТ В5Р.95118-2001 при обнаружении цветов побежалости более тёмных оттенков (темнее бледно-жёлтого) работы приостанавливают для выявления причин окисления и их устранения.

По требованиям РД 5Р.9818-80 допустимо, если цвет побежалости бледно-желтый, коричневый или фиолетовый, очищать швы или отдельные валики металлической щёткой при температуре не выше 100 °С. Для удаления синего или зелёного оттенка используют наждачный камень или борфрезу до полного удаления металла, имеющего недопустимые цвета побежалости, согласно ОСТ 5Р.9454-2008.

После проводится капиллярная дефектоскопия по третьему классу чувствительности по РД 5Р.9537-80 наплавленного металла, не позднее, чем через пять дней после заварки повторно после термообработки, перед окончательной пескоструйной обработкой и сдачей;

Завершают контроль рентгенографированием или гаммаграфированием.

Методом рентгенографирования и гаммаграфирования контролируются все исправленные участки отливок согласно ОСТ 5Р.9071-88. Также по ОСТ 5Р.9071-88 производится оценка результатов рентгенографирования и гаммаграфирования исправленных участков и швов сварных отливок с проставышами [7].

В том случае, когда после исправления отливки, при контроле качества обнаруживаются не допустимые дефекты, производится повторное исправление дефектных участков. Если после повторного исправления будут обнаружены трещины, согласно требованиям РД 5Р.9818-80 вопрос решается о дальнейшем исправлении главным сварщиком.

1.4 Анализ источников научно-технической информации, раскрывающих вопрос повышения качества заварки дефектов в отливках из титанового сплава

При выполнении заварки дефектов, обнаруженных внутри титановых отливок, сталкиваются с аналогичными сложностями, что и при сварке титановых конструкций. Из-за химической реакции титана с водородом, кислородом и азотом могут образоваться такие дефекты, как трещины и поры. В связи с этим для изучения современных методов предотвращения появления дефектов при ремонте отливок заваркой целесообразно также рассмотреть подходы, применяемые в технологии сварки титана. Для этого произведем поиск и анализ источников научно-технической информации в сети интернет, а также в архивах журналов «Вестник магистратуры», «Технология легких сплавов», «Вопросы материаловедения», ознакомимся с ГОСТами, ОСТАми, руководящими документами, научными статьями, патентами, учебными пособиями. Государственные стандарты, отраслевые стандарты и руководящие документы для изучения были предоставлены на производстве.

В первой работе [6] рассказывается о причинах возникновения дефектов при сварке титановых сплавов, а также предложен способ защиты от насыщения металла газами благодаря применению флюсов, металлических и флюсовых подкладок, специальных защитных газовых подушек. Этот способ уменьшает возможность реакции расплавленного металла, а также участков твердого металла с температурой 400 °С и выше с азотом, водородом и кислородом. Однако флюсы не всегда обеспечивают равномерный нагрев, также они могут содержать примеси, которые не полностью удаляются в процессе заварки. Снижается эффективность и ухудшается качество заварки. Следовательно, необходимо подобрать более надежный способ защиты зоны заварки.

Во второй работе [24] приводится технология исправления дефектов методом заварки, описываются такие процессы как: разделка дефектных

участков и подготовка их под заварку, подбор сварочных материалов, методов и режимов сварки. Рассматривается способ ручной аргонодуговой заварки неплавящимся электродом, аргон подается методом поддува через сопло горелки и специальные накладки. Данный способ обеспечивает снижение процента брака производства отливок из титанового сплава. Однако данный процесс устранения дефектов в титановых отливках не гарантирует отсутствие брака при заварке мелкогабаритных деталей и деталей сложной конфигурации, так как атмосферные газы все равно могут попасть в зону заварки. Следовательно, данную работу можно использовать при разработке проектной технологии исправления литейных дефектов в отливках из титанового сплава, доработав или заменив способ подачи аргона.

В изобретении [17] применяется плоско заточенный электрод с двумя последовательно расположенными вершинами. Указывается несколько способов, направленных на уменьшение пористости. Таких как удаление абсорбированный слой с кромок, либо создание гидродинамическая обстановка в сварочной ванне. Также применение, перед вводом в сварочную ванну, очистку присадочной проволоки. Для этого ее подогревают до 1350-1400 °С в среде инертного газа. Недостаток данного способа – его узкая направленность, при этом не учитывается влияние состояния кромок на парообразование. Еще один способ, когда на поверхность кромок наносился слой из нитридов титана. Недостатком этого способа являются дополнительные затраты из-за выполнения обязательных дополнительных (плазменных) операций. На поверхность кромок и на присадочную проволоку наносился бескислородный флюс на основе галогенидов металлов. Процесс нанесения считается дополнительной технологической операцией, благодаря чему увеличивается трудоёмкость, так же требуется учитывать возможность загрязнения сварочного шва продуктами разложения флюса, это является недостатками данного метода. Есть способ, основанный на подборе режимов сварки чтоб создать благоприятные условия для всплытия газовых пузырьков из сварочной ванны. Недостаток данного способа заключается в том, что

невозможно гарантировать достаточно длительное время существования сварочной ванны. Применение патентного изобретения позволяет устранить водородную пористость исключением трудоемких операций по подготовке поверхности стыка к сварке, при этом повысив качество сварных швов. В патенте указывается что сварка проводится в среде аргона, однако каким способом подается аргон не известно. Следовательно данная работа может быть использована для обоснования актуальности выпускной квалификационной работы.

В работе [10] представлены три способа подачи инертного газа при сварке титановых сплавов. Сварка со струйной защитой, местная защита в камере с инертным газом, и применение обитаемых камер с инертной атмосферой. Благодаря описанным способам достигается надежная защита и более стабильное качество сварных соединений. Однако при мелкосерийном производстве выбор в качестве защиты инертным газом применение камеры становится экономически не целесообразным. Следовательно, необходимо адаптировать предложенные способы подачи инертного газа в условиях мелкосерийного производства, для предотвращения появления дефектов заварки при этом снизить расход инертного газа.

По результатам анализа источников научно-технической информации по вопросу повышения качества заварки и сварки титановых сплавов можно сформулировать следующие задачи:

- разработка технологии заварки дефектных участков в отливках из титанового сплава;
- подбор подходящего для заварки оборудования;
- обеспечение качества заварки дефектных участков, путем применения контролируемой атмосферы.

2 Повышение качества заварки литейных дефектов в отливках из титанового сплава марки ТЛЗ

2.1 Проектная технология заварки дефектов в отливке тройник из титанового сплава марки ТЛЗ

2.1.1 Обнаружение дефектов

Технологию заварки дефектов рассмотрим на примере отливки тройник приварной из титанового сплава марки ТЛЗ.

Отливка третьей группы по ОСТ 5Р.9071-88.

Производство – мелкосерийное, объем производства 150 шт. в год.

Для полноты объема выявления дефектов, отливка проходит предварительную механическую обработку на торцах изделия в зоне под сварку.

После предварительной механической обработки, отливка направляется на контроль методом рентгенографирования, где проходит разметку с указанием мест расположения дефектов.

Так как тройник, по условиям эксплуатации является тройником третьей группы, проводится 100 % радиографический контроль [22].

В процессе контроля выявлены три дефекта (рисунок 4):

- газовая раковина;
- трещина;
- местное утонение тела отливки.

2.1.2 Процесс выборки дефектов

Выборку, обнаруженных рентгенографическим контролем, внутренних дефектов производим методом высверливания на глубину залегания дефекта 5 и 8 мм. Место утонения тела отливки зачищаем борфрезой, выбранной по ГОСТ 34202-2017, типа D [16].

После выборки отливка направляется на повторный рентгенографический контроль, который показывает полноту выбранного дефекта.

Рентгенографический контроль показал, что дефекты выбраны полностью.

По итогам контроля составляем карту технологического процесса на исправление литейных дефектов. Благодаря которой определяется размер общей площади дефектов по отношению к общей площади поверхности отливки в процентах:

$$S = \frac{100 \cdot (S_{d1} + S_{d2})}{S_0}, \quad (1)$$

где S_{d1} – площадь дефектов, выявленных методом радиографического контроля;

S_{d2} – площадь дефектов, выявленных визуальным осмотром;

S_0 – общая площадь поверхности отливки.

$$S = \frac{100(7847,96 + 9093,44)}{1006840} = 1,68 \%$$

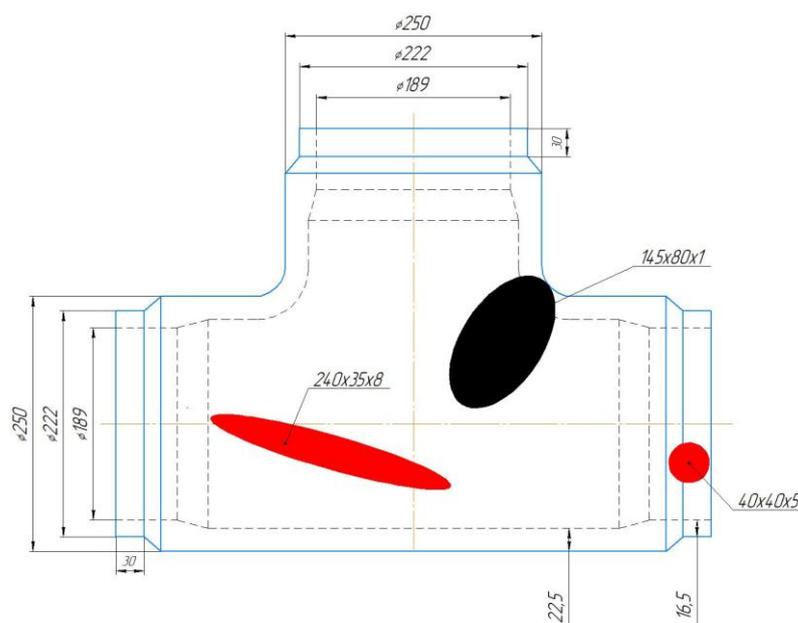


Рисунок 4 – Эскиз отливки тройник из карты технологического процесса

Так как расчетная величина не превышает 5 %, дефекты допускаются к исправлению методом заварки [22].

Зачищаем от альфированного слоя поверхности, прилегающие к выборкам с наружной стороны на ширину 20 мм от кромки, и на глубину 2 мм.

Так как оставшаяся толщина стенки после выборки дефектов больше 10 мм, снятие альфированного слоя с внутренней стороны не выполняем.

Корундовым кругом кромку делаем полой. Поверхности после выборки дефектов также зачищаем корундовым кругом.

Промываем поверхности выборки водной смывкой и обезжириваем ацетоном.

Проводим визуальный осмотр, с целью контроля полного удаления забоин, рисок и заусенцев.

В процессе визуального контроля, дефектов выборки не обнаружено.

Оплавливаем кромки, прилегающие к выборкам, «холостым» проходом на токе 80 – 100 А.

Проводим контроль люминесцентной дефектоскопией с наружной стороны, включая зону не зачищенного металла шириной 10 мм.

Трещины в ходе контроля не обнаружены, считаем выборку законченной.

Тщательно зачищаем места, подлежащие заварке, стальной щеткой.

Промываем поверхности водной смывкой и обезжириваем ацетоном, просушиваем.

Контроль на чистоту поверхности осуществляем белой салфеткой.

2.1.3 Подготовка к заварке дефектов

С помощью консольной поворотной кран-балки грузоподъемностью до 1т. перемещаем тройник в заварочную камеру на сварочный позиционер. Закрепляем тройник к сварочному поворотному столу с помощью струбцин.

В качестве неплавящегося электрода берем иттрированный вольфрамовый пруток диаметром 4 мм [14], [20]. Его устанавливаем в горелку марки ГДС 160 с величиной вылета 15 мм.

В качестве присадочного материала берем прутки марки ПТ-7М диаметром 3 мм (для заварки наружного дефекта) и 4 мм (для внутренних дефектов) [8], [20].

Перед началом заварки чистоту аргона и работу горелки проверяем на технологической планке пробой «на пятно».

Герметично закрытую камеру, заполняем чистым газообразным аргоном.

2.1.4 Процесс заварки дефектов

Заварку дефектов осуществляем ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом.

Исходя из того, что толщина стенки тройника составляет 22,5 мм, при нижнем положении шва, заварку выполняем на следующих режимах сварки:

- для присадочной проволоки диаметром 3 мм, сила тока 220 А;
- для присадочной проволоки диаметром 4 мм, сила тока 270 А.

Скорость сварки 20 см/мин. Заварку выполняем на постоянном токе при прямой полярности.

Сварочный инвертор Кедр АДС 500.11 AC/DC подключается к электросети.

К отливке подключается «масса».

Благодаря высокочастотному импульсу производят розжиг электрической дуги, которая замыкает цепь между отливкой и электродом.

Теплотой дуги расплавляются кромки выбранного дефекта, формируя из расплавленного металла сварочную ванну.

Нужно плавно вести дугу, исключая резкие движения горелки.

Навстречу движущейся горелке подается присадочная проволока. Проволока подается вручную медленно, дабы исключить разбрызгивание расплавленного металла, и избежать неровности шва.

После формирования валика, присадочная проволока убирается. Во избежание резкого охлаждения постепенно уменьшают ток, после валик оставляют остыть.

Пока валик остывает, делаем первый проход на следующем дефекте. Такая поочередная заварка возможна за счет проведения работ в заварочной камере.

После полной заварки и остывания, тройник извлекается из заварочной камеры.

Затем производится визуально-измерительный контроль. При необходимости тройник зачищаем.

Далее тройник направляется на пересвет для проведения рентгенографического контроля, и на цветную (люминесцентную) дефектоскопию с целью выявления сварочных дефектов.

При отсутствии сварочных дефектов проводим термообработку тройника для снятия сварных напряжений. Изделие загружается в печь при температуре не выше 350 °С, затем производится нагрев до 675 ± 25 °С и выдержка при данной температуре в течение не менее 2 часов. В закрытой печи охлаждается до 500 ± 25 °С. С приоткрытой дверцей охлаждается до 350 ± 25 °С. После охлаждения на воздухе до температуры цеха [11].

После термообработки вновь проводим люминесцентную дефектоскопию.

При положительных результатах контроля тройник предъявляем на окончательную сдачу.

В данном разделе выпускной квалификационной работы показан способ заварки дефектов, который обеспечивает качественную защиту инертным газом, при этом увеличивается производительность. При заварке дефектов с подачей аргона методом поддува, требуется ждать остывания валика после каждого прохода, прежде чем приступить к следующему, чтобы обеспечить качественную защиту при остывании сварного шва. При заварке в камере, заполненной аргоном, можно во время остывания валика, приступить к заварке следующего дефекта, что позволяет сократить время на устранение дефектов.

2.2 Способ обеспечения качественного процесса заварки дефектов в отливке из титанового сплава

2.2.1 Сварочная камера

В судостроительном производстве применяются установки (обитаемые камеры) для сварки титана больших объемов, в которых варят трубопроводы в среде аргона высокой чистоты.

Использовать такие мощности для заварки мелкосерийных партий отливок не целесообразно.

Использовать сварочные камеры объемом на одну отливку, приводит к большому потреблению аргона.

Для достижения требуемого качества заварки, при котором затраты будут оптимальными, требуется внедрение сварочной камеры с размерами позволяющими вмещать то количество отливок, которое сварщик заваривает в течение рабочей смены.

На рисунке 5 представлена сварочная камера с регулируемой атмосферой, со сварочным позиционером на шесть мест для закрепления отливок.

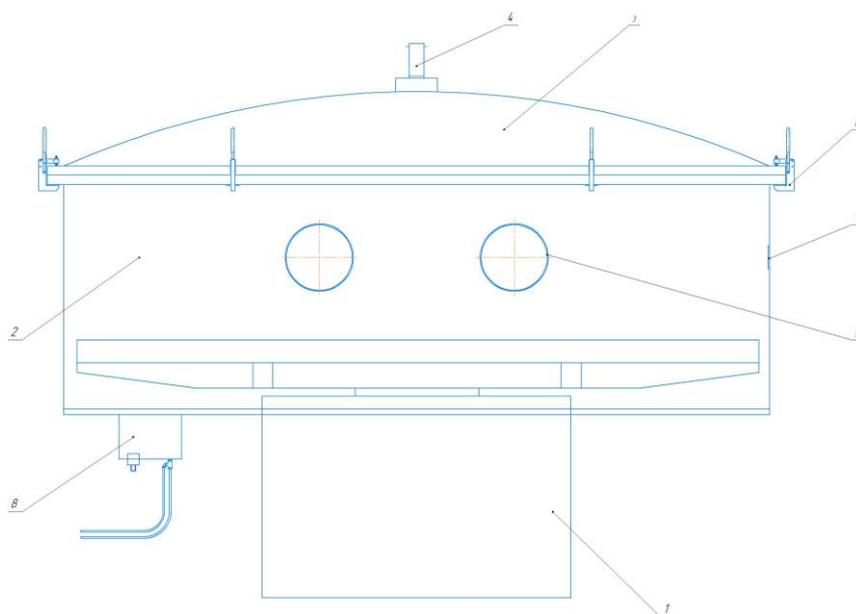


Рисунок 5 – Сварочная камера, закрепленная на сварочном позиционере

Принцип работы сварочной камеры заключается в обеспечении специальной среды, защищенной от влаги и атмосферного воздуха. Это осуществляется благодаря заполнению рабочего пространства инертным газом, в нашем случае это аргон.

Контролируемая атмосфера создается благодаря нагнетанию инертного газа. Через специальный патрубок газ подается под избыточным давлением в камеру. Из рабочего пространства воздух вытесняется и отводится через обратный клапан 3. Расходомер 7 контролирует объем подаваемого газа. Для удаления посторонних примесей после подачи инертный газ требуется отфильтровать.

Если перед нагнетанием инертного газа из рабочего пространства полностью откачать воздух, образовав тем самым внутри вакуум, инертный газ в дополнительной очистке не нуждается.

Загрузка отливок производится через съемную крышку 2, где они закрепляются на позиционере 8.

Камера оснащена перчатками, выдерживающими высокие температуры, стойкие к ультрафиолетовому излучению и механическим повреждениям, крепятся они в перчаточные порты 4.

Корпус 1 и крышка 2 камеры изготовлены из прозрачного полимера, который характеризуется низкой газопроницаемостью, высокой химической стойкостью, прочностью и огнестойкостью. Применение данного материала дает отличный обзор на область сварки.

Сварщик в процессе работы находится вне камеры, доступ к отливке для проведения заварки осуществляется через перчаточные порты.

При сравнении данной камеры с камерой на одну отливку, большим преимуществом будет разный расход аргона. Так как сварщику, чтоб приступить к заварке следующей отливки, не надо спускать газ для ее загрузки.

2.2.2 Сварочный поворотный позиционер

Так как в данной выпускной квалификационной работе рассматривается технология заварки дефектов с применением камеры с регулируемой атмосферой, в которой должно размещаться несколько отливок одновременно, требуется разместить внутри камеры сварочный стол, размеры которого позволят закрепить на нем несколько отливок. К тому же он должен обеспечивать доступ к каждой отливке.

Сварочный одностоечный позиционер (рисунок 6) отвечает данным требованиям.

Позиционер представляет собой основание с планшайбой. На планшайбе 1 расположены шесть поворотных столов 15 для закрепления на них отливок.

Основание содержит корпус 2, внутри которого размещен привод с подшипником 9 под ступицу 10 планшайбы 1, выполненной из чугуна.

В корпусе привода располагается фланцевый кожух 7, в котором находится редуктор 8, зафиксированный фланцевым прижимом 11. На прижиме 11 размещена считывающая головка датчика 14 контроля планшайбы 1.

Редуктор 8 обладает выходным фланцем со съемным опорным кольцом 12 под планшайбу 1. Компенсатор 13 располагается между опорным кольцом 12 и планшайбой 1.

На фланцевом кожухе 7 посредством проставки 4 закрепляется электродвигатель 3, который имеет выходной вал, соединенный конической муфтой 5 с валом 6 во входном отверстии редуктора 8.

Выходной вал электродвигателя вращает редуктор и планшайбу, на которой размещены отливки.

Отливки закрепляются на отдельных вращающихся столах планшайбы посредством сборочных приспособлений.

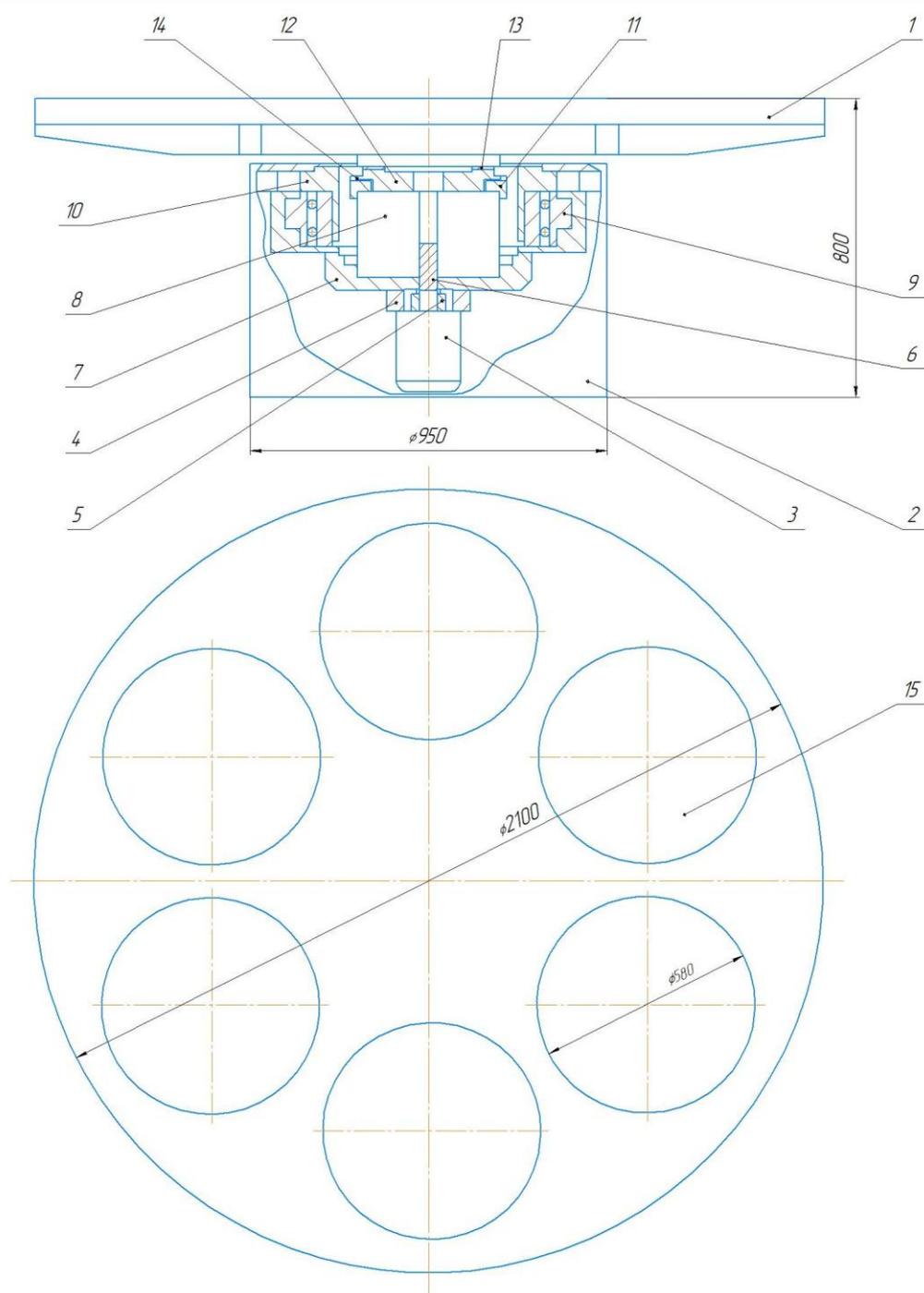


Рисунок 6 – Сварочный поворотный позиционер

После того, как была произведена заварка дефектов с одной стороны отливки, сварщик имеет возможность развернуть отливку другой стороной, для выполнения последующей заварки других дефектов на данной отливке, либо благодаря развороту планшайбы, расположить перед собой следующую отливку, для выполнения заварочных работ.

3 Оценка экономической эффективности

Для определения экономической эффективности выбранного способа заварки дефектов в отливках по сравнению с применяющимися на производстве способами, произведем сравнение текущих затрат. Особое внимание следует обращать на затраты, которые будут различаться в сравниваемых вариантах.

Текущие затраты на заварочные работы представляют следующие пункты [9]:

- сварочные материалы;
- основная зарплата;
- отчисления в социальные фонды;
- электроэнергия;
- ремонт оборудования.

3.1 Затраты на сварочные материалы

Вычисление затрат на сварочные материалы будем осуществлять по формуле:

$$C_{\text{см}} = g_{\text{нм}} \cdot k_n \cdot C_{\text{см}}, \quad (2)$$

где $g_{\text{нм}}$ – масса наплавленного металла, кг/изд.;

k_n – коэффициент, учитывающий отношение веса электрода к весу наплавленного металла, равный для АДС 1,6;

$C_{\text{см}}$ – цена электрода, равная для электрода диаметром 3 мм 409 руб., для электрода диаметром 4 мм 640 руб.

Для нахождения массы наплавленного металла, рассчитаем массу наплавленного металла для каждого дефекта отдельно по формуле 3, а затем сложим найденные значения.

$$g_{HM} = V_H \cdot Y, \quad (3)$$

где V_H – объем наплавленного металла, мм³;

Y – плотность металла, г/мм³.

Для первого дефекта (трещина) масса наплавленного металла составит:

$$g_{HM1} = 67200 \cdot 0,008 = 537,6 \text{ г.}$$

Для второго дефекта (пора) масса металла будет равна:

$$g_{HM2} = 2094,4 \cdot 0,008 = 16,8 \text{ г.}$$

Для дефекта в виде утонения стенки отливки масса металла составит:

$$g_{HM3} = 11600 \cdot 0,008 = 92,8 \text{ г.}$$

Масса наплавленного металла составит:

$$g_{HM} = 647,2 \text{ г} \approx 0,65 \text{ кг.}$$

Тогда затраты на сварочные материалы будут составлять:

$$C_{CM} = 0,65 \cdot 1,6 \cdot (409 + 640) = 1090,96 \text{ руб.}$$

3.2 Затраты на защитный газ

Расчет затрат на защитный газ произведем по формуле:

$$C_{газ} = g_{газ} \cdot t_0 \cdot l \cdot Ц_{газ}, \quad (4)$$

где $g_{газ}$ – норма расхода газа, л/мин;

t_0 – основное время на сварку, мин;

l – длина сварного шва, м/издел;

$Ц_{газ}$ – цена за единицу газа, руб/л.

Основное время на сварку рассчитаем по следующей формуле:

$$t_0 = \frac{F_H \cdot \gamma \cdot 60}{I_{св} \cdot \alpha_H}, \quad (5)$$

где F_H – площадь наплавленного металла, мм²;

γ – плотность наплавленного металла, г/см³;

$I_{св}$ – сварочный ток, А;

α_H – коэффициент наплавки, г/А·ч.

Основное время составит:

$$t_0 = \frac{8 \cdot 60}{4,2} \cdot 0,87 = 99,4 \text{ мин.}$$

Здесь следует обратить внимание, что расчет производился для ручной аргонодуговой сварки с защитой газом, осуществляющейся методом поддува через горелку. При заварке в камере с регулируемой атмосферой не затрачивается время на ожидание остывания валика, а соответственно и время на сварку сократится: 15 сек перед началом и по 15 сек на каждый валик.

Для заварки в камере основное время будет составлять 55 минут.

В таком случае расход аргона для ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с поддувом через горелку составит:

$$C_{\text{газ}} = 35 \cdot 99,4 \cdot 0,85 \cdot 47,5 = 140465 \text{ руб.}$$

При заварке в камере расход газа будет составлять объем данной камеры:

$$V_k = 2794 \text{ л.}$$

Тогда стоимость затраченного газа будет составлять:

$$C_{\text{газ}} = 2794 \cdot 47,5 = 132715 \text{ руб.}$$

При этом помним, что в камере находится несколько отливок, которые сварщик заварит за смену, а стоимость газа поддувом рассчитывался на одну отливку.

Если за смену сварщик без камеры успевает заварить три тройника, стоимость соответственно увеличивается в три раза. В то время как в камере расход газа остается тем же и экономия составит 68,5 %.

3.3 Затраты на заработную плату

Основную заработную плату в месяц основных производственных рабочих рассчитываем по формуле:

$$O_{зп} = Z_{пт} + Д + П, \quad (6)$$

где $Z_{пт}$ – заработная плата по тарифу, сдельная заработная плата, руб.;

Д – доплаты, руб.;

П – премии, руб.

Расчет заработной платы по тарифу осуществим по формуле:

$$Z_{пт} = T \cdot C_{нч}, \quad (7)$$

где T – трудоемкость в месяц, 160 час;

$C_{нч}$ – стоимость 1 нормо-часа, 324,84 руб.

$$Z_{пт} = 160 \cdot 388,77 = 62203 \text{ руб.}$$

Расчет доплат:

$$Д = \%_д \cdot Z_{пт}, \quad (8)$$

где $\%_д$ – % доплат, 14,5%.

$$Д = 14,5\% \cdot 62203 = 9019,44 \text{ руб.}$$

Расчет премии:

$$П = \%_{П} \cdot З_{ПТ}, \quad (9)$$

где $\%_{П}$ – % премии, 13,5%.

$$П = 13,5\% \cdot 62203 = 8397,4 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата основных производственных рабочих будет равна:

$$O_{зп} = 62203 + 9019,44 + 8397,4 = 79619,84 \text{ руб.}$$

Для учета северных надбавок учитывается северный коэффициент и льготы Крайнего Севера ($K_{СЕВ} = 2,2$), тогда основная заработная плата основных производственных рабочих рассчитывается по формуле:

$$OЗП = O_{зп} \cdot K_{СЕВ} \quad (10)$$

$$OЗП = 79619,84 \cdot 2,2 = 175163,65 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата считается как определенный процент ($\%_{ДЗП}$) от основной заработной платы основных производственных рабочих. Данные берутся на производстве.

$$ДЗП = OЗП \cdot \%_{ДЗП}, \quad (11)$$

где $\%_{ДЗП}$ – % дополнительной заработной платы, 7,5%.

$$ДЗП = 175163,65 \cdot 0,075 = 13137,27 \text{ руб.}$$

Отчисления в социальные фонды в настоящее время составляют 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы (с учетом северных надбавок) основных производственных рабочих.

Из них 22% - в пенсионный фонд России (ПФР), 2,9% - в фонд социального страхования (ФСС), 5,1% - в федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС) [9].

Помимо этого, учитываются отчисления в федеральное социальное страхование от несчастных случаев (ФСС НС) (от 0,2 до 2,8% в зависимости от степени производственного риска) – 2%.

$$\text{ОСН} = 0,3 \cdot (\text{ОЗП} + \text{Д}_{\text{ЗП}}), \quad (12)$$

$$\text{ФСС НС} = 0,02 \cdot (\text{ОЗП} + \text{Д}_{\text{ЗП}}), \quad (13)$$

$$\text{ОСН} = 0,3 \cdot (175163,65 + 13137,27) = 56490,28 \text{ руб.}$$

$$\text{ФСС НС} = 0,02 \cdot (175163,65 + 13137,27) = 3766,02 \text{ руб.}$$

3.4 Затраты на электроэнергию

Стоимость электроэнергии находим по формуле:

$$C_{\text{э}} = M_{\text{п}} \cdot K_{\text{м}} \cdot T \cdot Ц, \quad (14)$$

где $M_{\text{п}}$ – мощность установленного электрооборудования, 17,6 кВт;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент использования мощности электрооборудования, 0,93;

T – время работы, 8 час;

$Ц$ – цена 1 кВт/час электроэнергии, 2,75 руб.

$$C_{\text{э}} = 17,6 \cdot 0,93 \cdot 8 \cdot 2,75 = 360,1 \text{ руб.}$$

3.5 Расчет расходов на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования

Расчет расходов на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования считается умножением процента РСЭО на сумму основной заработной платы основных производственных рабочих:

$$C_{PCЭO} = \%_{PCЭO} \cdot C_{OЗП}, \quad (15)$$

где $\%_{PCЭO}$ – % расходов на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования, 53%.

$$C_{PCЭO} = 53\% \cdot 175163,65 = 92836,73 \text{ руб.}$$

3.6 Расчет себестоимости заварки дефектов

Основные данные по текущим затратам рассмотрим в таблице 6. В ней отображены затраты на текущие расходы при заварке дефектов одной отливки.

Таблица 6 – Результаты расчетов себестоимости заварки дефектов для одной отливки

Наименование	Заварка с поддувом	Заварка в камера
Сварочные материалы	1090,96	1090,96
Защитный газ	140465,00	132715,00
Основная заработная плата	1861,11	1007,19
Отчисления	600,27	324,85
Электроэнергия	74,57	41,26
Ремонт	986,39	533,81
Итого:	145078,3	135713,07

Затраты на сварочные материалы, для обоих способов защиты сварного шва, будут одинаковыми. Их расход не измениться.

При заварке дефектов в камере, стоимость затрат аргона на одну отливку на 5,5 % меньше стоимости при заварке поддувом через горелку. В нашем случае толщины стенок после выборки дефектов позволили заварку без поддува с обратной стороны. В случае, когда требуется защищать сварной шов и с обратной стороны, расход газа вырастает вдвое.

Экономия затрат на заработную плату и отчисления обусловлена сокращением времени на выполнение заварки дефектов в случае применения сварочной камеры.

Разница в затратах на электроэнергию и ремонт оборудования также связана с сокращением времени на заварку дефектов одной отливки.

По результатам расчетов разница в текущих затратах на заварку дефектных участков одной отливки из сплава титанового методом ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом составляет 9365,23 рублей, а это в процентной соотношении дает снижение затрат на 6,5 %.

Так как в данной выпускной квалификационной работе представлена технология исправления литейных дефектов в условиях мелкосерийного производства, рассмотрим затраты годового производства.

Существенное отличие наблюдается в расходе аргона. При заварке дефектов с использованием камеры с регулируемой атмосферой, объем камеры – это расход газа за смену. В смену с применением камеры заваривается 6 отливок. Годовая производительность тройников 150 шт. Следовательно объем расходуемого газа равен 25 объемам камеры.

Остальные позиции текущих затрат умножаются на 150 шт.

Затраты на ремонт 150 тройников отобразим в таблице 7:

Таблица 7 – Результаты расчетов себестоимости заварки дефектов для 150 отливок

Наименование	Заварка с поддувом	Заварка в камера
Сварочные материалы	163644,00	163644,00
Защитный газ	21069750,00	3317875,00
Основная заработная плата	279166,5	151078,5
Отчисления	90040,5	48727,5
Электроэнергия	11185,5	6189,00
Ремонт	147958,5	80071,5
Итого:	21761745,00	3767585,5

Экономия при заварке дефектов с применением камеры с контролируемой атмосферой составляет 17993886,5 руб. в год.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Объекты, задействованные в процессе устранения дефектных участков

В технологическом процессе заварки дефектов в отливках из титанового сплава задействованы два объекта:

- обрубной участок;
- сварочный участок.

4.1.1 Безопасность и экологичность обрубного участка

На обрубном участке размещаются рабочий стол, ручной механизированный пневматический инструмент, сверлильный станок, точильно-шлифовальный и обдирочно-шлифовальный станки, а также тиски.

На участке проводится выборка дефектов, а также зачистка выбранных поверхностей. Работы, которые проводятся на обрубном участке, взаимосвязаны с опасными и вредными производственными факторами:

- наблюдается повышение уровня шума;
- воздействие вибраций на рабочем месте;
- охлаждение пневмоинструмента от выхлопа отработанного воздуха;
- повышенная загазованность воздуха и запыленность;
- движущиеся, а также вращающиеся рабочий инструмент;
- опасность разрыва абразивного круга;
- отлетающие осколки обрабатываемого материала, а также стружки;
- острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности изделия, режущего инструмента и рабочих поверхностей, отходов;
- плохое освещение рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- использование воздуха низкого давления;
- высокое напряжение электрического тока.

Для того чтобы предотвратить воздействие перечисленных факторов, в первую очередь рабочим выдаются средствами индивидуальной защиты:

- костюм, предназначенный для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий по ГОСТ 12.4.280-2014;
- ботинки либо сапоги кожаные с защитным подноском или сапоги резиновые с защитным подноском по ГОСТ 12.4.137-2001;
- рукавицы антивибрационные или перчатки с полимерным покрытием ГОСТ 12.4.252-2013;
- защитная каска ГОСТ EN397-2012;
- под каску подшлемник;
- защитные закрытые очки ГОСТ 12.4.253-2013;
- наушники, защищающие от излишнего шума или вкладыши по ГОСТ 12.4.275-2014;
- противоаэрозольные средства индивидуальной защиты органов дыхания ГОСТ 12.4.294-2015.

Инструмент и оборудование регулярно проверяется на исправность, наличие защитных кожухов, глушители шума выхлопа сжатого воздуха, их заточка должна соответствовать требованиям. Проходить своевременную поверку. Непосредственно перед началом работ, обрубщик должен убедиться в исправности инструмента и оборудования. К том уже не допускается собственноручное устранение каких-либо неисправностей. Неисправный инструмент сдается в кладовую или в мастерскую, ремонтом и наладкой оборудования занимается отдел механика.

При работе пневматическим инструментом следить за направлением выхлопов отработанного сжатого воздуха, чтобы направленная струя не обдувала руки, а также не загрязняла зону дыхания. Изделия во время работы должны быть надежно закреплены на поверхности рабочего стола.

Обрубной участок должен быть оборудован местной, приточной и вытяжной вентиляцией, оснащен достаточным освещением и имел в наличии первичные средствами пожаротушения, защитное ограждение.

В случае аварий:

– при пожаре информация сразу сообщается в пожарную охрану. Затем предупреждаются об опасности все работники. Производится доклад администрации цеха о ситуации. Отключается электроэнергия, останавливается работа станков, электрооборудования, систем вентиляции. Для тушения используются первичные средства пожаротушения.

– при внезапном отключении электроэнергии прекращается работа, электрооборудование отключается, о ситуации докладывается своему руководителю.

4.1.2 Безопасность и экологичность сварочного участка

Сварочный участок оборудован сварочным позиционером, сварочной камерой, постом сварочным, сварочным аппаратом, еще горелкой, инструментами и приспособлениями, средствами индивидуальной защиты, вытяжкой.

На участке производится заварка выбранных дефектов. Работы, которые проводятся на данном участке, сопряжены с опасными и вредными производственными факторами:

- повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны;
- интенсивное ультрафиолетовое и инфракрасное излучение сварочной дуги;
- повышенное напряжение в электрической цепи;
- наличие искр и брызг расплавленного металла;
- воздействие статических нагрузок на руки при ручных, а также полуавтоматических методах сварки;
- повышенная температура поверхности изделий, которые подвергаются заварке;
- повышенный уровень шума.

Сварщик оснащается средствами индивидуальной защиты:

- защитный костюм от искр и брызг расплавленного металла по ГОСТ 12.4.250-2019;
- ботинки либо сапоги кожаные оборудованные защитным подноском для защиты от повышенных температур по ГОСТ 12.4.137-2001;
- перчатки с полимерным покрытием или перчатки с точечным покрытием ГОСТ 12.4.252-2013;
- перчатки для защиты от высоких температур, искр и брызг расплавленного металла ГОСТ EN407-2012;
- боты либо галоши диэлектрические ГОСТ 13385-88;
- перчатки диэлектрические ГОСТ 12.4.307-2016;
- щиток термостойкий защитный со светофильтром ГОСТ 12.4.254-2013 либо защитные очки термостойкие со светофильтром ГОСТ 12.4.253-2013;
- средство индивидуальной защиты органов дыхания, фильтрующие ГОСТ 12.4.294-2015 или изолирующие ГОСТ 12.4.244-2015;
- каска защитная ГОСТ EN 397-2020.

Рабочее место должно иметь хорошее освещение. При необходимости допускается дополнительно освещение (переносные светильники) с запиткой от сети с напряжением 36 В, в замкнутых пространствах – 12 В.

Электросварочное оборудование должно быть заземлено. Рукоятки горелок должны быть изолированными. Не допускается самостоятельное подключение электросварочного оборудования к электрической сети.

Места (отверстия, щели) в районе разбрызгивания искр закрываются материалом, защищающим от возгорания.

Участок должен быть оборудован местной, приточной и вытяжной вентиляцией, иметь защитное ограждение, и оснащаться первичными средствами пожаротушения. Баллоны с газом требуется надежно зафиксировать хомутами или цепочками к стойкам. Баллоны устанавливаются не ближе 5 метров от нагревательных приборов, а также электрооборудования и мест, где проводятся сварочные работы.

Непосредственно перед началом работ, сварщик должен убедиться в том, что инструмент и оборудование исправны. Нельзя самому исправлять сломанный инструмент или оборудование.

В аварийных ситуациях:

- при обнаружении пожара или признаков горения сообщить руководителю работ, сообщить в пожарную охрану. Предпринять меры по оповещению людей, а затем по тушению пожара. Покинуть помещение по эвакуационным путям и выходам в безопасное место.
- при появлении сигнала газоанализатора необходимо немедленно прекратить все работы и вывести работников всех специальностей в данном районе в являющееся в таких случаях безопасное место.
- при несчастном случае предупредить рабочих об опасности, поставить в известность руководителя. Оказать пострадавшему первую помощь, в соответствии с требованиями инструкции по оказанию первой помощи пострадавшим, при необходимости вызвать скорую помощь.

На основе вышеуказанных данных можно сделать ряд выводов по экологическому разделу.

Все работы должны выполняться в соответствии с требованиями охраны труда. К работам могут допускаться дипломированные специалисты не моложе 18 лет, которые обязаны проходить своевременные инструктажи, переаттестации, а также медицинские осмотры [18].

Работников требуется обязательно обеспечивать средствами СИЗ.

Помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, достаточным освещением и иметь средства пожаротушения.

Современные требования СЭС №12100005-88 к выбросам в атмосферу загрязняющих веществ и к воздуху производственных помещений предлагают устанавливать хорошие системы очистки воздуха от загрязнителей, образующихся в процессе производства продукции.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы мной была изучена базовая технология исправления литейных дефектов, проведён анализ литературы, посвящённой сварке титановых сплавов и выявленным дефектам заварки.

Был выбран обоснованный способ заварки, подобраны оптимальные режимы, материалы и сварочное оборудование.

Также были выявлены основные причины возникновения дефектов при заварке и изучены возможные меры их устранения.

При исследовании ручной аргодуговой сварки неплавящимся электродом было установлено, что данный метод обладает рядом преимуществ и является актуальным. Однако, несмотря на достоинства, у него есть и недостатки. Ключевым из них признана недостаточная стабильность защиты сварочной ванны во время заварки дефектов. В связи с этим в работе была поставлена задача устранить этот недостаток. Для этого были рассмотрены существующие методы защиты инертным газом, применяемые в производстве, и сделан вывод о их нецелесообразности при мелкосерийном производстве. Это побудило к поиску вариантов адаптации изученных методов с учетом условий мелкосерийного производства.

В результате был предложен вариант внедрения подходящей по габаритам сварочной камеры, которая обеспечивает качественную защиту зоны заварки инертным газом. Также проведено сравнение затрат на ранее используемый способ заварки и предложенный в рамках работы.

На основе проделанной работы можно сделать вывод, что использование указанной сварочной камеры обеспечивает более качественную заварку дефектов и является экономически оправданным решением именно для условий мелкосерийного производства.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Beachem C. A new model for hydrogen-assisted cracking (hydrogen “embrittlement”) // Metallurgical and Materials Transactions. Springer Boston, 1972. Vol. 3, № 2. pp. 437–451.
2. Leyens C., Peters M. (Eds.) Titanium and Titanium Alloys. Fundamentals and Applications, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2003.
3. Lutjering G., Williams J.C. Titanium, Springer Verlag, Berlin/ Heidelberg, 2007.
4. Александров В.К., Бочвар Г.А. Полуфабрикаты из титановых сплавов. М.: Metallurgy, 1979. С. 512.
5. Бай А.С., Лайнер Д.Н., Сисарева Е.Н., Цыпин М.И. Окисление титана и его сплавов. М.: Metallurgy, 1970. С. 320.
6. Барменков В.В. Особенности сварки титана. // Вестник магистратуры. 2019. № 1-2. С. 88.
7. Вассерман А.М., Данилкин В.А., Коробов О.С. Методы контроля и исследования легких сплавов. Справочник. М.: Metallurgy, 1985. С. 510.
8. Государственный стандарт. ГОСТ 27265-87. Проволока сварочная из титана и титановых сплавов. Технические условия: утв. постановлением № 1114 от 31.03.1987. М: 1987. С. 10.
9. Грибов В.Д., Грузинов В.П., Кузьменко В.А. Экономика организации (предприятия). Учебник. М.: КНОРУС, 2016. С. 416.
10. Гуревич С.М. Сварка химически активных и тугоплавких металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1982. С. 95.
11. И54.21-32-99. Инструкция. Термическая обработка отливок из сплавов марок ТЛ. Утверждена и введена впервые, 1999 г.
12. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Сплав. М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. С. 520.

13. Леонов В.П., Михайлов В.И. Особенности защиты сварных соединений от окисления при сварке титановых сплавов. // Вопросы материаловедения. 2019. С. 132-139.

14. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 23949-80. Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия: утв. приказом № 217 от 18.01.1980. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. С. 7.

15. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 24297-2013. Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля: утв. приказом № 544-ст от 26.08.2013. М: Стандартиформ, 2019. С. 11.

16. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 34202-2017. Борфрезы твердосплавные. Технические условия. Утвержден Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации, протокол от 14 июля 2017г. № 101-П. Введен в действие с 1 января 2019г.// Москва Стандартиформ, 2017 г.

17. Меркулов В.И., Муравьев В.И., Долотов Б.И., Марьин Б.Н., Иванов Ю.Л. Патент RU2133178C1. Способ аргодуговой сварки титановых сплавов. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2133178C1_19990720/ (дата обращения: 15.05.2025)

18. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика: Справочник для профессионального обучения рабочих на производстве. М.: Машиностроение, 1988. С. 272.

19. Моисеев В.Н., Куликов В.Ф., Кириллов Ю.Г., Шолохова Л.В., Васькин Ю.В. Сварные соединения титановых сплавов. М.: Металлургия, 1978г. С. 248.

20. Руководящий документ отрасли. РД 5Р.9818-80. Отливки из сплавов типа ТЛ. Исправление дефектов и сварка отливок. Типовой технологический процесс: введен 01.01.1982. С. 43.

21. Стандарт отрасли. ОСТ 5.5536-83. Детали, изделия, соединительные и фасонные части трубопроводов судовых систем. Общие технические

условия. Утвержден и введен в действие Распоряжением Министерства от 23.05.1983 № 32/7-5536-304.

22. Стандарт отрасли. ОСТ 5Р.9071-88. Отливки из сплавов марок ТЛ. Общие технические условия. Утвержден и введен в действие Распоряжением Министерства от 30.11.1988 г. № 14/8-9071-785// переиздание ЦНИИ «Лот», 1995 г.

23. Стандарт судостроения. ОСТ 5Р.95055-2011. Сварка сплавов типа ПТ-3В и 5В. Типовой технологический процесс: утв. распоряжением № ТК-95055-10 от 30.12.2011.: НИИ «Лот» ФГУП «Крыловский государственный научный центр». 2012. С. 125.

24. Стандарт ЦКБА. СТ ЦКБА 089-2010. Арматура трубопроводная. Заварка дефектов отливок. Технологические требования: утв. приказом № 41 от 20.07.2010. Санкт-Петербург, 2010. С. 85.

25. Хорев А.И. Теоретические и практические основы повышения конструкционной прочности современных титановых сплавов. Технология легких сплавов. 2007. № 2 С. 144 – 153.