

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт машиностроения, материалов и транспорта  
Высшая школа физики и технологий материалов

Работа допущена к защите

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_ И.А. Матвеев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ НА СВОЙСТВА  
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРКТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия

профиль 22.04.02\_03 Теоретические основы процессов сварки

Выполнил  
студент гр. 3342202/90301

А.А. Васильев

Руководитель  
доцент ВШ ФитМ,  
к.т.н.

И.В. Иванова

Консультант  
по нормоконтролю

С.А. Ермаков

Санкт-Петербург – 2021

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

**Институт машиностроения, материалов и транспорта  
Высшая школа физики и технологий материалов**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_ И.А. Матвеев

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

студенту Васильеву Александру Александровичу, группа 3342202/90301

**1. Тема работы**

«Моделирование влияния газовой защиты на свойства сварных соединений арктических конструкций»

**2. Срок сдачи студентом законченной работы**

09 июня 2021 г.

**3. Исходные данные по работе**

Чертеж горелки для сварки в защитных газах, документация по проекту ENI CBC «Энергоэффективные системы на основе возобновляемых источников энергии для арктических условий» (EFREA), финансируемого из средств Европейского Союза, Российской Федерацией и Финляндской Республики.

**4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов)**

Введение. Раскрывается актуальность работы, ставится цель, формулируются задачи работы. Анализируются условия эксплуатации сварных конструкций в Арктике. Проводится оценка состояния вопроса по сварке на открытых площадках в нашей стране и странах, участвующих в проекте, а также во всем мире (возможность применения новых технологических процессов).

Глава 1. Выявляются особенности дуговой сварки в среде защитных газов на открытых монтажных площадках. Определяется свариваемость высокопрочных сталей.

Глава 2. Выполняется математическое моделирование истечения защитного газа под воздействием различных возмущающих факторов.

Глава 3. Разрабатывается план эксперимента. Выполняется сравнение математических моделей с экспериментальными и расчетными данными.

Глава 4. Приводятся результаты исследования сварных соединений, выполненных при проведении эксперимента. Делаются общие выводы по работе.

Заключение. Обозначаются перспективы развития данной темы.

Список использованной литературы.

### **5. Перечень графического материала (с указанием обязательных чертежей)**

Чертеж сопла. Математические модели истечения защитного газа под воздействием различных возмущающих факторов.

### **6. Консультанты**

Нет.

### **7. Дата выдачи задания**

16.04.2021 г.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_  
(подпись)

И.В. Иванова

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_  
(дата)

Студент \_\_\_\_\_  
(подпись)

А.А. Васильев

Примечание: 1. Данное задание прилагается к ВКР и вместе с ней представляется в ГЭК.

2. Кроме задания, студент должен получить от руководителя ВКР календарный график работы над ВКР на весь период проектирования (с указанием сроков исполнения и трудоемкости отдельных этапов)

## РЕФЕРАТ

На 100 с., 64 рисунков, 10 таблиц, 1 приложение

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДУГОВАЯ СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ, ГАЗОВАЯ ЗАЩИТА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТАЛИ, ВОЗМУЩАЮЩИЕ ФАКТОРЫ, ВЕТЕР, ЗАЩИТНАЯ СТРУЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ, АРКТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ СВАРОЧНАЯ ГОРЕЛКА, КОНФУЗОРНОЕ СОПЛО, СКРУГЛЕННЫЙ МУНДШТУК, ЭКСПЕРИМЕНТ

В работе проведены исследования по повышению качества сварных соединений арктических конструкций и эффективности газовой защиты, при дуговой сварке на ветру в условиях Крайнего Севера.

Выполнен литературный обзор по сварке в защитных газах на ветру, и анализ статей исследования сварочной дуги в защитных газах в условиях воздействия воздушных потоков. Выполнен эксперимент, установлено влияние возмущающих факторов на газовую защиту при сварке. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния ветра при сварке в среде защитных газов, с применением конфузорного сопла и скругленного наконечника сварочной горелки. Представлены методические и технические разработки, которые могут быть полезны при разработке комплекта специализированного оборудования с адаптивной системой управления, позволяющего производить сварку на открытых площадках в условиях ветра.

Исследовательская работа выполнена в рамках российско-финского проекта KS1054 «Энергоэффективные системы на основе возобновляемых источников энергии для арктических условий» (EFREA), реализуемого СПбПУ, совместно с Лаппеенрантским технологическим университетом LUT (Финляндия) и ЦНИИМ КМ «Прометей» под эгидой Программы приграничного сотрудничества Россия – Юго-Восточная Финляндия.

## **ABSTRACT**

102 pages, 64 figures, 10 tables, 1 appendices

**KEY WORDS: GAS METAL ARC WELDING, GAS PROTECTION, EFFICIENT, HIGH-STRENGTH STEEL, DISTURBING FACTOR, THE WIND, A PROTECTIVE JET STUDY DESIGN ARCTIC, TECHNOLOGICAL FACTORS, SPECIALIZED WELDING TORCH CONFUSER NOZZLE ROUNDED MOUTHPIECE EXPERIMENT**

In this work, the research was undertaken on improving the quality of welded joints of Arctic structures and the effectiveness of gas shielding, during arc welding in the wind in the conditions of the far north. The literature survey in the area of welding in shielding gases in the wind have been implemented. We carried out an analysis of studies on the welding arc in shielding gases under conditions of air currents. The experiment of the wind on the gas shielding during welding was completed. Results of experimental research of the influence of perturbation factors when welding in shielding gas, using a confuser nozzle and a rounded welding torch tip are given. Also we present methodological and technical developments that may be useful in the development of a set of specialized equipment with an adaptive control system that allows welding at open sites in windy conditions.

The research work was carried out in the framework of the Russian-Finnish project KS1054 "Energy-efficient systems based on renewable energy sources for the Arctic conditions" (EFREA), implemented by SPbPU, together with the Lappeenranta University of Technology LUT (Finland) and TsNIIM KM "Prometheus" under the auspices of the Cross-Border Cooperation Program Russia - South-East Finland.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	6
<b>1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....</b>	<b>7</b>
1.1. Условия эксплуатации в Арктике.....	7
1.2 Научная новизна работы .....	16
1.3 Практическая ценность результатов .....	17
<b>2. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ .....</b>	<b>18</b>
2.1. Свариваемость высокопрочных сталей.....	18
2.2. Технология сварки высокопрочных сталей .....	20
2.2.1. Подготовка металла к сварке .....	20
2.2.2. Техника сварки высокопрочных сталей.....	21
2.3. Модернизация универсального стенда для моделирования сварки в условиях ветра.....	21
2.4. Цифровое моделирование параметров струи защитного газа при сварке в условиях ветра .....	28
2.5. Исследование влияния формы электрода (мундштука) на качество осуществляемой газовой защиты .....	48
<b>3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....</b>	<b>58</b>
3.1 Цель и задачи эксперимента .....	58
3.2 Планирование эксперимента .....	58
3.3 Основной металл и сварочные материалы.....	59
3.4 Оборудование .....	62
3.5 Сварка образцов .....	64
3.6 Выводы раздела .....	75
<b>4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЁННОГО ЭКСПЕРЕМЕНТА.....</b>	<b>76</b>
4.1 Рентгенографическое исследование.....	76

4.2 Результаты рентгенографического исследования .....	79
4.3 Результаты измерения на твёрдость .....	79
4.4 Результаты химического анализа .....	83
5. ВЫВОДЫ.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	91
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	93

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным освоением Арктики и районов Крайнего Севера, возникает необходимость изготовления большого количества конструкций, что требует использования новых хладостойких материалов и новых технологических процессов получения неразъемных соединений.

Важнейшей проблемой свариваемости сталей с прочностью более 600 МПа, которые широко применяются при изготовлении ответственных крупногабаритных конструкций, работающих в условиях Арктики и районов Крайнего Севера, является обеспечение необходимого уровня ударной вязкости при низких температурах, предупреждение хрупкого разрушения сварных соединений, связанного со структурными превращениями, а также с охрупчивающим действием растворенного в металле водорода [1, 2].

Одним из главных способов сварки высокопрочных сталей является дуговая сварка в среде защитных газов, которая обеспечивает низкий уровень диффузионного водорода [6, 9]. Однако на открытых монтажных площадках ветер деформирует сварочную дугу и слой защитного газа, поэтому азот и кислород воздуха активно насыщают сварочную ванну, снижает пластичность шва и способствует появлению холодных трещин [5, 17].

Улучшение конфигурации деталей, расхода защитного газа и параметров режима сварки могут уменьшить деформацию и турбулентность защитной газовой струи [8].

С другой стороны, важную роль для разработки технологии сварки имеет цифровое моделирование газодинамических характеристик истечения защитного газа на границе сварочной дуги и аэродинамических параметров рабочей поверхности сопла сварочной горелки [16].

В связи с этим, цифровое моделирование и разработка технологии сварки конструкций, работающих в условиях Арктики и Крайнего Севера, является весьма актуальной проблемой.



# 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1. Условия эксплуатации в Арктике и условиях Крайнего Севера

### *Экстремально низкие температуры*

Расчетная температура эксплуатации – одна из качественных характеристик любого материала. Материалы (особенно стали) подвержены хрупкому разрушению при низких температурах. Стали имеют температуру перехода, при которой их свойства пластичности изменяются на хрупкость. Следовательно, их расчетная температура обычно ниже на 20 °С минимально ожидаемой рабочей температуры или температуры окружающей среды. В арктическом регионе минимальная температура окружающей среды опускается значительно ниже – 40 °С, поэтому необходимо учитывать минимальную расчетную температуру до – 60 °С. В результате возникает потребность в металлах особого качества или стали более высокого качества и других материалов, которые могут выдерживать эту чрезвычайно низкую температуру, не выходя из строя в условиях эксплуатации.

### *Ледяная строжка и проблема снежного обледенения*

«Ледовые» условия в арктическом регионе значительно различаются между территориальными районами, внутри регионов и в зависимости от расстояния до воды. Лед также меняется в течение сезонов, замерзания осенью, становясь толще зимой, тая весной и создавая открытую воду летом. В течении месяца, когда лед растает, потоки ветра и воды заставляют его двигаться и образовать ледяные гряды, которые могут быть во много раз толще, чем лед, удерживаемый на суши.

Ледовые проблемы в значительной степени определяют критерии проектирования и эксплуатации Арктики. Морской лед представляет собой основные проблемы, являясь единственным наиболее важным фактором окружающей среды, влияющим на деятельность в Арктике. Кроме того, дополнительные проблемы создают другие льды (такими как ледяные

острова и структурные обледенения) для платформ, кораблей и вертолетов. Характеристики морского льда, хребтов под давлением и движение льда являются главной проблемой при проектировании арктических сооружений.

#### *Нарушение потоков ветра*

Арктика наделена очень сильным ветром, что связано с большим градиентом давления воздуха. Хотя этот ветровой ресурс может быть преобразован в источник энергии, он оказывает огромное негативное влияние на объекты по разведке нефти и газа.

Сварка должна производиться в условиях низких температур, высокой влажности воздуха, и самое главное, в условиях воздействия ветра с сильными порывами. Экстремальные климатические условия осложняют свариваемость, в результате чего снижается ударная вязкость, увеличивается чувствительность сталей к холодным трещинам.

Средние скорости ветра по месяцам в Арктической зоне Российской Федерации представлены на рисунке 1.1.

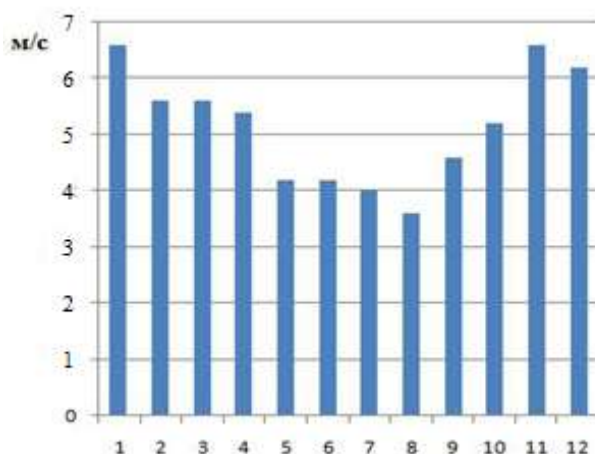


Рисунок 1.1. Средние скорости ветра по месяцам в Арктической зоне РФ

#### *Удаленность и низкая плотность населения*

Арктический регион является малонаселенным регионом, поэтому будет очень сложно обслуживать ветряные турбины. Вот почему правильные

технологии сварки должны быть выбраны для борьбы с этими суровыми условиями.

### *Свойства материала для арктического применения*

Арктика является агрессивной средой эксплуатации с температурой ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Как правило, металлы, преимущественно сталь, используется для строительства морских платформ и большинства сооружений, используемых в Арктике. Однако, металлы подвержены хрупкому разрушению при очень низких температурах, как в этом случае в арктических условиях. Следовательно, существуют определенные свойства, которыми должны обладать материалы, используемые в этой среде. Одним из основных свойств является высокая ударная вязкость при очень низкой температуре, другие включают температуру перехода, механические свойства, такие как ударная вязкость, предел прочности и т.д.

Исходя из вышеупомянутой необходимости заданных свойств материала в арктических условиях, типичными для использования материалами являются сталь и титан. Примерами используемых марок стали являются высокопрочные конструкционные стали: F500W, F650W и т.д. Хотя все еще продолжаются исследования, чтобы получить более надежные материалы, которые могут обеспечить лучшие свойства прочности.

### *Сварка в Арктике*

Сварка в Арктике стала неотъемлемой частью проекта развития, направленного на изучение и освоение богатых энергетических ресурсов Арктики. Из-за проблем, связанных со сваркой, необходимо применять передовые технологии, чтобы обеспечить хорошую сварку, которая может удовлетворить и выдержать условия эксплуатации. Передовые технологии, включают сварку следующих типов: лазерная, гибридная лазерно-дуговая, сварка тандемным инертным или активным газом из металла (MIG, MAG) и многопроволочная дуговая сварка под флюсом (SAW).

### *Сталь, используемая в арктических условиях*

Основным требованием к стали, рассчитанной на работу при низких температурах, является гарантированная пластичность вязкость разрушения при рабочих температурах. Материал при низких температурах не должен иметь склонности к хрупкому разрушению, то есть диапазон рабочих температур должен быть выше порогового значения хрупкого разрушения стали. Как правило, чем больше разницы между рабочей температурой и порогом холодного разрыва, тем выше запас вязкости материала.

В большинстве случаев в качестве криогенных материалов используется аустенитные стали Cr-Ni, Cr-Mn, Cr-Ni-Mn, а также ферритные стали, легированные никелем. Аустенитные хромоникелевые стали довольно дороги из-за высоко содержания дефицитного никеля (8 - 20%)

Хром-никель-марганцевые стали, содержащие азот, также можно рассматривать как высокопрочные стали, поскольку они имеют значительно более высокие значения предела текучести, чем аустенитные никель-хромовые стали.

Основным способом сварки конструкций в подобных условиях является сварка покрытым электродом. Но качество получаемых сварных конструкций при воздействии ветра в процессе сварки покрытым электродом оставляет желать лучшего.

Ранними исследованиями было выявлено, что для устранения насыщения сварного шва газами азота, кислорода, водорода атмосферного воздуха, следует применить дуговую сварку в среде защитных газов. Сейчас дуговая сварка в среде защитных газов в мировом объеме сварочного производства составляет более 48 %. В результате применения защитных газов и локальной защиты места соединения достигается высокое качество сварных соединений при дуговой сварке. Однако, для сварки в условиях ветра, оборудование для дуговой сварки в защитных газах требует серьезной доработки.

Существенным недостатком дуговой сварки в среде защитных газов является нарушение газовой защиты сварочной ванны при наличии воздушных

потоков. Для обеспечения высокого качества сварных соединений, необходима защита расплавленного металла от контакта с атмосферными газами. Поскольку защита осуществляется потоком защитного газа, то ее надежность определяется характеристиками истекающего из сопла газового потока и устойчивостью потока к действию возмущающих факторов, к которым относятся: ветер с порывами, тепломассоперенос в сварочной дуге, влияние конструкции и геометрии электродов и другие факторы [13].

Влияние различных условий на технологию дуговой сварки в среде защитных газов изложено в трудах Н.М. Новожилова, А.Г. Потапьевского, Г.А. Федоренко, И.В. Ивановой [3, 14]. В работах установлено, что одним из основных условий получения бездефектного шва высокого качества является надежная защита зоны сварки.

Анализ состояния вопроса показал, что ранее на кафедре был исследован и разработан способ сварки с газовой защитой сварочной ванны, осуществляемой специализированной сварочной горелкой с конфузормым соплом и пакетом сеток, устанавливаемом во входном сечении сопла для выравнивания поля скоростей. Такая конструкция сопла имеет улучшенные аэродинамические характеристики, что способствует наиболее эффективному использованию защитного газа и снижению его расхода.

Разработанное ранее оборудование и технология сварки на ветру открывает большие возможности для исследования особенностей газовой защиты при различных технологических условиях при проведении сварки [8]. Это может быть большое количество факторов, влияющих на процесс сварки – сварка модулированным током, сварка с увеличенным вылетом электрода, влияние магнитного поля на сварочную дугу, сварка в различных пространственных положениях, различных типов сварных соединений, применение различных типов разделки кромок, в том числе, сварка в узкощелевую разделку.

Изучены зарубежные публикации [16] по данному вопросу, из которых установлено, что зарубежные исследователи склонялись к улучшению

аэродинамических параметров горелки, также моделировали влияние кислорода на сварочную ванну.

В работе [Numerical simulation of the shielding gas flow with GMA welding and options of validation by diagnostics M. Dreher, U. Füssel, M. Schnick, M. Hertel Technical University of Dresden, Faculty of Mechanical Engineering, Dresden, Germany May 2009] представлено численное моделирование потока защитного газа при сварке GMA и варианты подтверждения моделирования с помощью экспериментов. Истечение защитного газа из горелки с соплом с цилиндрическими отверстиями представлено на Рисунке 1.2.

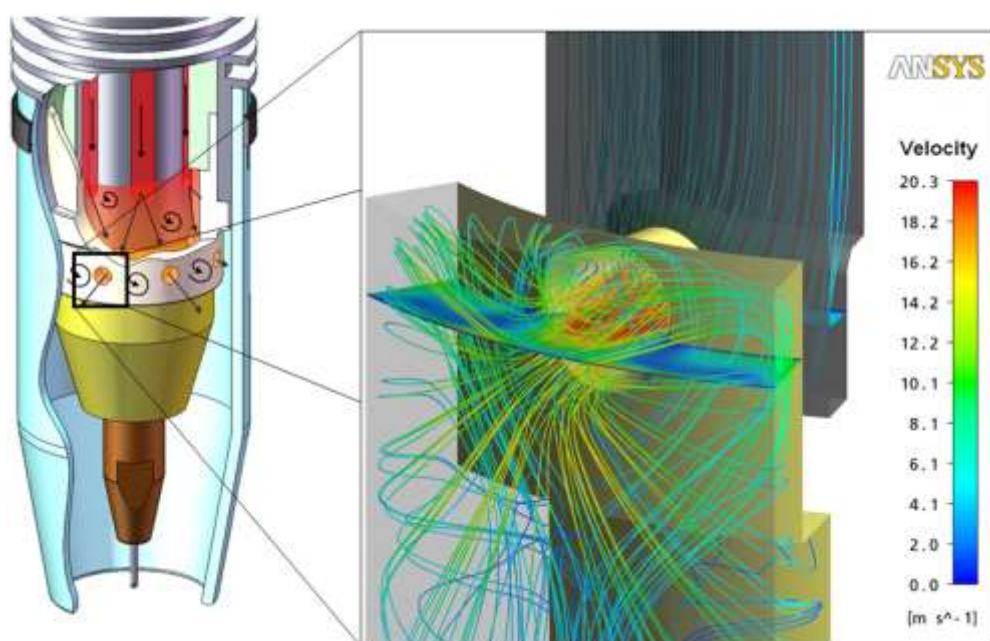


Рисунок 1.2. Распределение газа в верхней части сварочной горелки (аргон 10 л/мин)

Известно, что кислород, попадая в сварочную ванну из воздуха при нарушении защиты, снижает пластичность шва и способствует появлению холодных трещин. В связи с этим, одной из важных задач является определение доли кислорода в защитной струе, которая и выполнялась исследователями и результаты которой представлены на Рисунке 1.3, 1.4 [10].

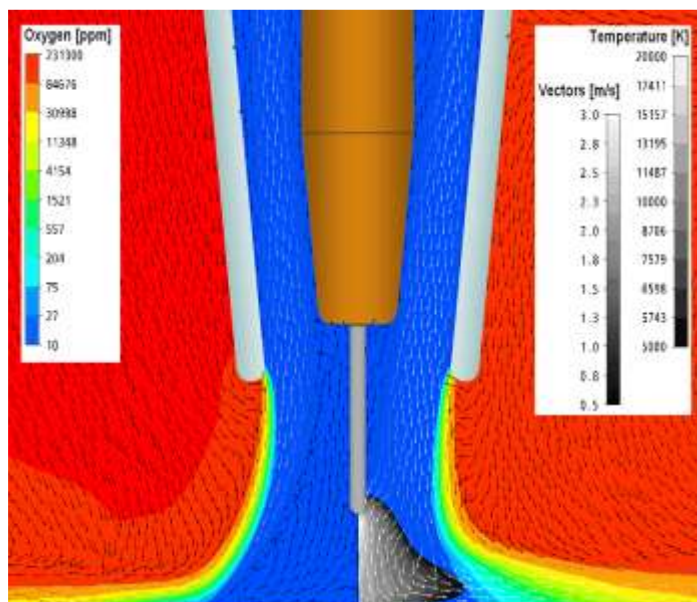


Рисунок 1.3. Доля кислорода в газовом потоке, расход аргона 10 л/мин

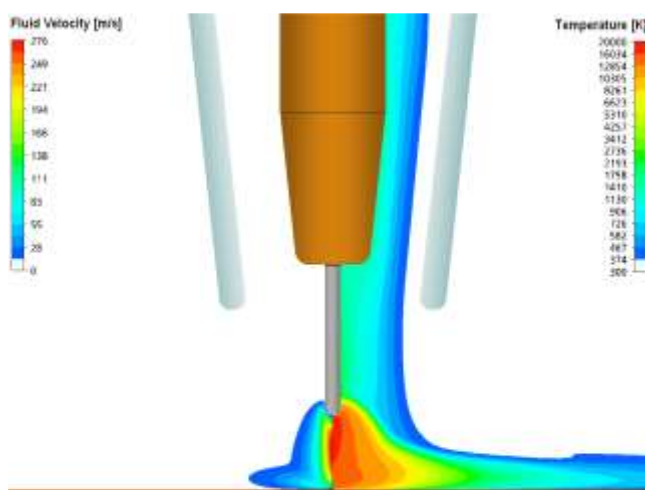


Рисунок 1.4. Скорость (слева) и температура (справа) в жидкости с моделью дуги, массовый расход аргона 10 л/мин

В работе [Arc Welding: From Process Simulation to Structural Mechanics Part I: Process Simulation with ANSYS CFX Andreas Spille-Kohoff, Dr. CFX Berlin Software GmbH, Germany Дуговая сварка: От моделирования процессов к механике конструкций Часть I. Моделирование процессов с помощью ANSYS CFX Андреас Спилле-Кохофф, доктор CFX Berlin Software GmbH, Германия] объектом исследования является сварочное сопло и изменение его геометрии с целью повышения эффективности газовой защиты (Рисунок 1.5).

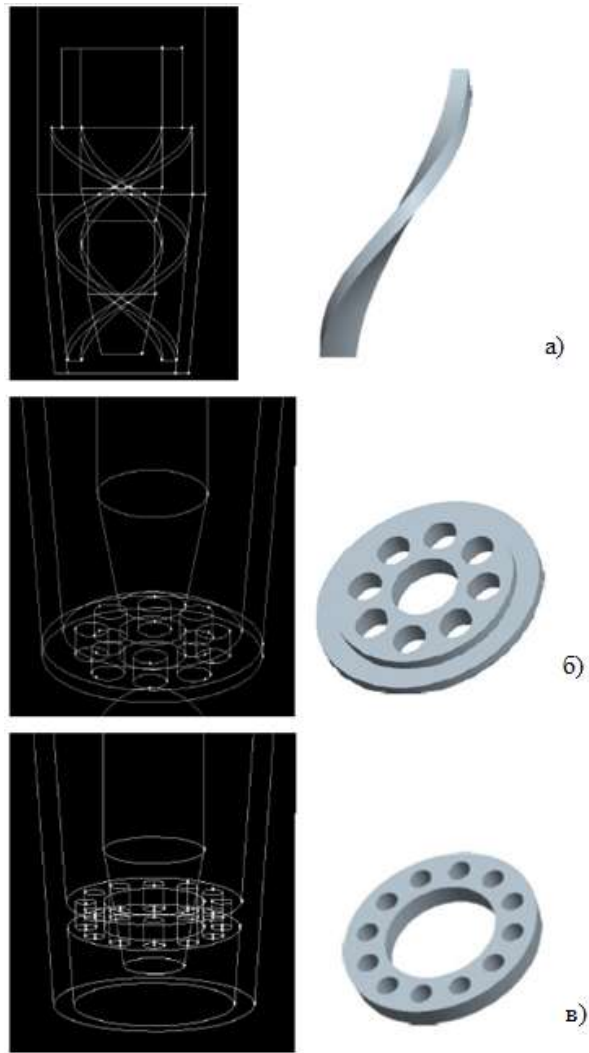


Рисунок 1.5. Обычное сварочное сопло, показывающее (а) двойную спиральную вставку, (б) торцевую пластину и (в) внутреннюю пластину для изменения геометрии сопла



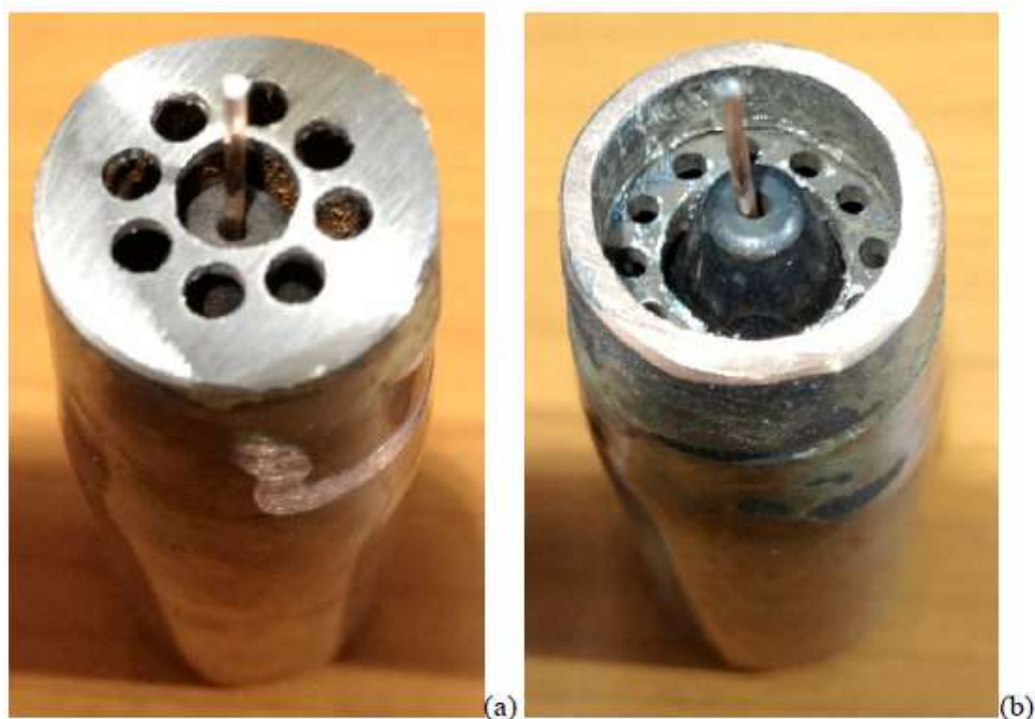


Рисунок 1.6. Усовершенствованные сопла

Таким образом, создание оборудования и принципиальной технологии должно явиться началом создания большого количества технологических процессов сварки на ветру конкретных свариваемых материалов.

Потребность в создании технологий сварки на ветру на открытых площадках, выполненных из хладостойких сталей повышенной прочности, существенно увеличилась.

Вышеизложенное позволило сформулировать цель настоящей работы: повышение качества сварных соединений и эффективности газовой защиты при дуговой сварке конструкций, работающих в условиях низких температур, путем применения цифрового моделирования истечения струи защитного газа из сопла сварочной горелки в программной среде ANSYS Fluent с использованием метода конечных элементов.

*Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:*

1. Определить проблемы и способы управления свойствами сварных соединений при дуговой сварке плавлением в защитных газах низколегированных конструкционных сталей с прочностью более 600 МПа.
2. Установить металлургические и технологические факторы, которые при определяют выполнение сварки конструкций в условиях Арктики и Крайнего Севера.
3. Построить математическую модель газодинамических характеристик истечения защитного газа на границе сварочной дуги и аэродинамических параметров рабочей поверхности сопла сварочной горелки.

В работе применялись экспериментальное и физическое моделирование и теоретические методы исследования: создание и исследование математической модели сварочного процесса в условиях воздействия сносящих воздушных потоков, исследование влияния геометрии на эффективность газовой защиты не только поверхности сопла, но и поверхности мундштука, исследование концентрации и скорости истечения защитного газа под воздействием ветра и других различных возмущающих факторов.

## 1.2. Научная новизна работы

1. Выполненное математическое моделирование в среде ANSYS Fluent подтвердило возможность динамического управления эффективностью газовой защиты в условиях ветра и возмущений за счет исключения циркуляционной зоны в пределах ядра струи путем улучшения обтекаемости мундштука, при этом, на характеристики истечения будут оказывать влияние не только внутренняя поверхность сопла и поверхность наконечника, но и их относительное расположение.

2. Проведенное математическое моделирование в среде ANSYS Fluent показало возможность управления эффективностью газовой защиты в условиях ветра за счет изменения технологических факторов, в частности угла наклона сварочной горелки.

### 1.3. Практическая ценность результатов

1. Модернизирован универсальный сварочный стенд, с многорежимной аэродинамической трубой и компьютерным управлением для моделирования процесса сварки при различных возмущающих факторах.
2. Разработана методика цифрового моделирования газодинамических характеристик защитной газовой струи, приводящих к повышению эффективности газовой защиты с применением ANSYS.
3. Установлена связь газовой защиты при сварке с постоянно изменяющимися возмущающими факторами, такими как ветровая нагрузка, положение горелки, геометрия поверхности сопла и наконечника горелки.

## 2. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ

### 2.1. Свариваемость высокопрочных сталей

В связи с интенсивным развитием Арктики и широким развитием ветроэнергетики возникает необходимость использования высокопрочных сталей при изготовлении арктических конструкций. Так же возникает необходимость поиска новых решений при получении неразъемных соединений из таких сталей, новых технологических процессов.

Конструкционные среднелегированные стали обладают высокими эксплуатационными свойствами, и применяются для производства ответственных конструкций, в том числе, работающих в арктических условиях [2, 3]. Стали эти обеспечивают достаточно высокую прочность конструкции, при этом одновременно снижается ее металлоемкость. Изучая воздействие термического цикла сварки в зоне термического влияния (ЗТВ) сварных соединений, полученных на данных сталях, можно сказать, что формируются закалочные структуры, определяющиеся высокими значениями твердости, при этом снижаются значения ударной вязкости. Поэтому зона термического влияния является опасной для возникновения холодных трещин, индуцируемых водородом [4].

Существует группа сталей с пределом прочности выше 1390 МПа, которые называются высокопрочными. Такой предел прочности можно достигнуть специальным химическим составом, и оптимальной термобработкой стали. Легирование таких сталей: вольфрамом, молибденом, ванадием снижает порог хладноломкости, и увеличивает сопротивление хрупкому разрушению, что особенно важно при использовании хладостойких сталей. Из литературных источников известно, что сварка высокопрочных сталей отличается применением многих дополнительных технологических приемов, усложняющих технологию (сварка горкой, секциями, каскадом, предварительный подогрев, применение мягкой прослойки и других).

Термообработка в виде закалки придает им немного меньшую прочность, но при этом большую пластичность и вязкость, поэтому они более выносливы в эксплуатации, чем закалённые и низкоотпущенные. Закалённые и низкоотпущенные среднеуглеродистые стали с высоким уровнем прочности, легче переносят концентраторы напряжения, поэтому обладают меньшей склонностью к образованию холодных трещин, а также хрупкому разрушению. Поэтому такие стали можно рекомендовать использовать для работы, связанной с нерезким нагружением, а также для изготовления арктических конструкций, работающих в экстремальных условиях.

К сталям повышенной прочности можно отнести и так называемые пружинные стали. Они содержат 0,55...0,8 % С и дополнительно легируются другими элементами. Термообработка легированных пружинных сталей (закалка 840...870 °С, отпуск 370...560 °С) обеспечивает получение высокой прочности и высокий предел текучести. Сварка пружинной стали, как и многих других высокопрочных сталей, выполняется с обязательным предварительным подогревом, в процессе сварочных работ и последующей термической обработкой. Многие исследователи рекомендуют уменьшать температуру предварительного подогрева и убирать из технологии послесварочную обработку.

Мартенситно-стареющие стали также можно отнести к высокопрочным сталям; они превосходят среднеуглеродистые легированные стали по конструкционной прочности и технологичности. Для мартенситно-стареющих сталей характерны высокое сопротивление хрупкому разрушению, низкий порог хладноломкости, малая чувствительность к концентраторам напряжений при прочности около 2000 МПа. Такие стали являются без углеродистыми сплавами железа с никелем и дополнительно легированы молибденом, хромом, алюминием, титаном и другими элементами. Они имеют высокую конструкционную прочность в диапазоне температур от очень низких до 570 °С, их можно применять в изготовлении арктических конструкций. Прежде

всего, высокопрочные стали применяют в изделиях, для которых важно уменьшение массы, при сохранении высокой прочности.

Высокопрочные стали используют в космической, ракетной, авиационной технике, также в ряде отраслей приборостроения, и теперь при изготовлении арктических конструкций.

Недостатки использования данных сталей:

- Основные трудности, которые возникают при сварке сталей - это высокая вероятность образования холодных трещин как в металле сварного шва, и в зоне термического влияния.
- Высокий риск образования закалочных структур, которые снижают стойкость конструкций к хрупкому разрушению, качество сварки и требуемые рабочие параметры должны быть обеспечены сразу же после сварки, без выполнения последующей термической обработки.
- Для того чтобы снизить риск возникновения холодных трещин при сварке высокопрочных сталей, например, лучшим вариантом будет использование электродов, с минимальным содержанием водорода. Необходимо соблюдать определённые рекомендации при подготовке металла к сварке и технику выполнения сварки швов.

## 2.2. Технология сварки высокопрочных сталей

### 2.2.1. Подготовка металла к сварке

Перед началом сварки, подготовленные кромки и близлежащие к ним участки на расстоянии 20 мм в каждую сторону от стыка зачищают до металлического блеска, на свариваемых поверхностях не должно быть загрязнений, воды, масла, ржавчины.

Для жесткой фиксации свариваемых деталей в нужном положении, выполняют технологические прихватки, длина прихваток составляет 40-90 мм, и выполняются они электродами типа Э45. Рекомендуется расстояние между

прихватками оставлять 440-540 мм, стараться не выполнять прихваток в тех местах, где сварные швы пересекаются друг с другом. Перед сваркой необходимо зачистить прихватки до металлического блеска, при обнаружении дефекта на прихватке, её необходимо удалить.

### *2.2.2. Техника сварки высокопрочных сталей*

Сварку сталей высокой прочности следует вести в определенном направлении, необходимо начинать и заканчивать сварку на технологических планках, которые приваривают к изделию, также нельзя создавать резкие переходы от сварных швов к основному металлу [7].

При двусторонней сварке стыковых швов, первый валик необходимо наплавлять с противоположной стороны от прихваток, а каждый последующий слой, наплавленного металла и околошовную зону тщательно зачищают. Если сварочная дуга оборвалась, то образовавшийся кратер зачищают, и только после этого зажигают дугу заново и продолжают сварку.

В процессе сварки попадание избегать в зону сварки воды, и не допускать быстрого охлаждения сварного шва по окончании сварки, сварочные работы необходимо планировать так, чтобы сварка выбранного участка была произведена в течение одной рабочей смены.

## 2.3. Модернизация универсального стенда для моделирования сварки в условиях ветра

Для того, чтобы исследовать ветер, порывы, или другие возмущающие факторы в лабораторных условиях, нужно установить какая газовая защита при сварке с возмущающими факторами будет лучше. Для этого нужно создать ветровые условия с произвольными порывами ветра по случайному закону. Лабораторный стенд выполнили из стола и трубы, которая обеспечивает как постоянную скорость ветра, так и случайные порывы.

В работе проанализировали существующие трубы и стенды; анализ показал, что они работают в режиме постоянной скорости ветра, то есть не

учитываются случайные усиления. Нужно было обеспечить второй режим, при котором могли изменять порывы. Нужно было, чтобы это происходило по определенной программе. Также необходимо было, чтобы сопло трубы обладало аэродинамическими характеристиками и выдувало поток, направленный и ламинарный. Раньше на кафедре такой стенд был создан, его нужно было модернизировать, добавив в него датчики для моделирования процесса сварки. Стенд включает в себя как автоматическую систему управления самой трубой, так и автоматические направляющие для передвижения сварочной горелки, чтобы исключить влияние сварщика на процесс. На сварочную горелку необходимо установить датчик положения горелки относительно оси, фотоэлектрический датчик для определения расстояния от поверхности сопла до стола. На саму трубу предложили заслонки изадвижки, чтобы они могли открываться произвольно и создавать резкие порывы.

Сначала решили, какой диапазон скоростей ветра нужно учитывать и какие элементы включить в конструкцию (Рисунок 2.1). Выяснили из литературы, что у струй защитного газа, помещенных в сносящий поток, происходит деформация струи, которая при скорости ветра более 19 м/с не дает защищать сварочную ванну. Поэтому скорость потока на сопле аэродинамической трубы установили в пределах 22-23 м/с.

Аэродинамическая труба
Ветрогенераторы
Воздуховоды
Конфузор аэродинамической трубы
Управление потоком воздуха

Рисунок 2.1. Основные части аэродинамической трубы



Для изготовления сопла аэродинамической трубы выбрали алюминиевый сплав, диаметром 246 мм. Для создания скорости потока 22–24 м/с вентилятор обеспечивал производительность от 1,75 до 4,65 м<sup>3</sup>/ч, а диаметр входного отверстия сопла определили по максимально возможному диаметру заготовки с величиной  $D = 242$  мм.

Учитывали коэффициент поджатия потоков в конфузоре:

$$n = F_{\text{вх}}/F_{\text{вых}} = (\pi D_{\text{вх}}^2/4)/(\pi D_{\text{вых}}^2/4) = D_{\text{вх}}^2/D_{\text{вых}}^2$$

он составил 3,6, данный коэффициент подходит к теории аэродинамики труб, хорошо выравнивает поток.

Также, в конфузор, установили металлическую сетку, которая выравнивает скорость ветра и уменьшает турбулентность. Проанализировали, что турбулентный поток сносящего потока состоит из мелких частиц, между которыми хаотически перемещаются отдельные вихри вещества, которые имеют разную скорость и различные размеры. Более крупные комки, проходя через сетку, делятся на более мелкие, т. к. через каждую ячейку могут пройти комки, размеры которых не превышают двух с половиной - трех размеров ячеек сетки. Маленькие комки за сеткой быстро вырождаются. Таким образом, с уменьшением размеров ячеек сетки уменьшается степень турбулентности за сеткой, а оставшаяся неравномерность потока сглаживается за счет сопла-конфузора. К форме, а также поверхности сопла-конфузора предъявляются высокие требования по шероховатости и чистоте обработки поверхности, так как внутренние стенки конфузора создают ламинарный поток, и если стенки будут шероховаты, то поток на выходе будет турбулентным [12].

Линия поверхности конфузора строится по плавной параболической кривой с условием, чтобы начало и конец этой кривой стремились к прямой линии, параллельной оси сопла (асимптоты). Поток ветра движется по плавному каналу, который сужается, при этом снижается неоднородность и турбулентность в потоке.

Для изменения и регулирования скорости потока ветра, устанавливали дроссельную заслонку, для ограничения площади поперечного сечения канала,

и поступления воздуха в аэродинамическую трубу; для нарушения герметичности поверхности трубы устанавливали шиберную задвижку на боковой поверхности трубы, которая способствовала выходу воздуха в окружающую среду - эти элементы регулировались магнитными заслонками, через программное управление. Регулирование данными величинами создало необходимый для экспериментов режим скорости потока воздуха – это решило проблему имитации реальной ветровой нагрузки.

Таким образом, модернизирована существующая на кафедре лабораторная установка и аэродинамическая труба, которая состоит из вентилятора, трубопровода и конфузорного сопла, а также элементов регулирования, для создания режима работы трубы с учетом порывов ветра, на установку добавлены различные датчики, описанные выше (Рисунок 2.2).

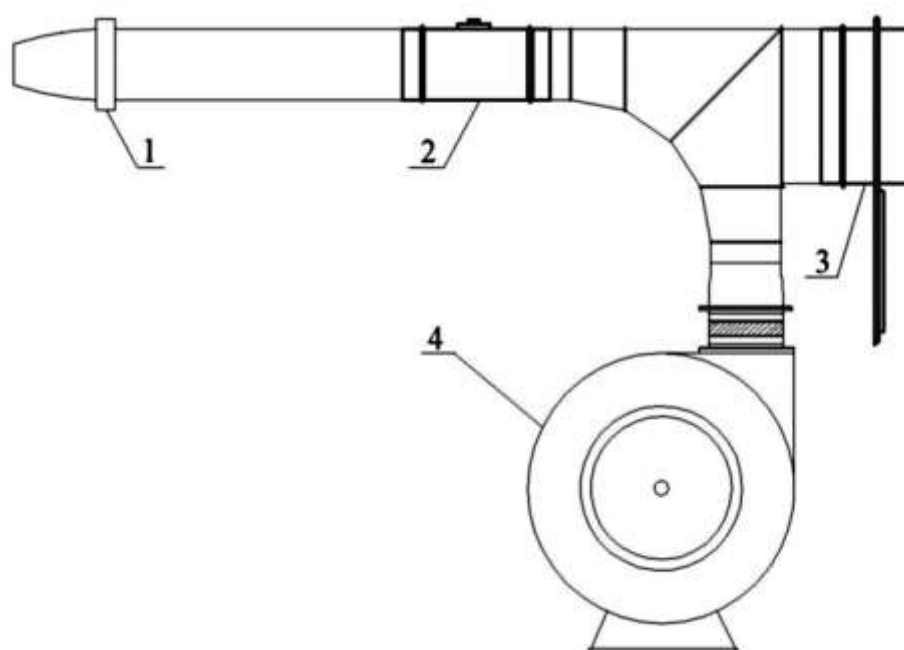


Рисунок 2.2. Труба лабораторного стенда: 1 – сопло-конфузор, 2 – дроссельная задвижка, 3 – шиберная заслонка, 4 – вентилятор;

Разработка системы управления позволила регулировать скорость воздушных потоков, длительность и усиления порывов, как в ручном, так в и

автоматическом режиме, а также создать лабораторный стенд для имитации сварочных процессов, в режиме постоянной и с порывами скорости ветра (Рисунок 2.3).

К сожалению, на момент проведения экспериментов, стенд не успели собрать, и приходилось имитировать порывы ветра с помощью обычного вентилятора с соплом, выравнивающим поток. Скорость ветра была ограничена 14 м/с. По плану эксперимента горелка должна закрепляться неподвижно, или автоматически двигаться с заданной скоростью, но в нашем эксперименте, сварщик сам выполнял сварку.

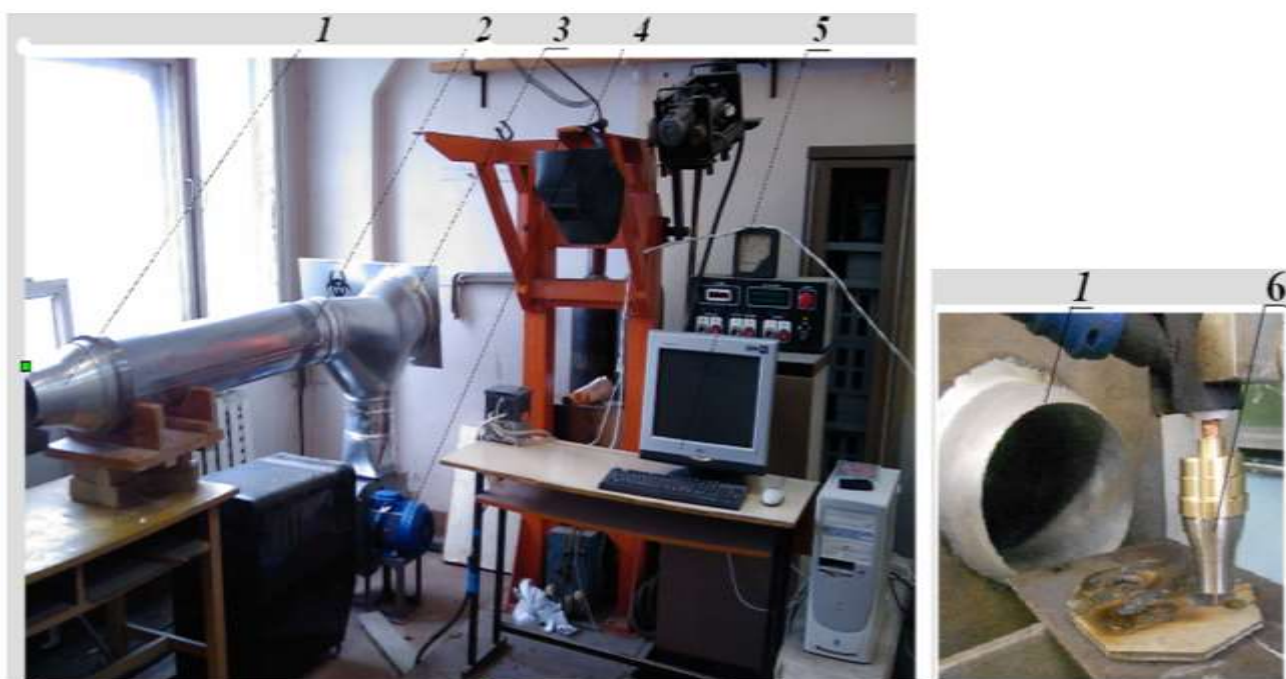


Рисунок 2.3. Общий вид универсального стенда: 1 – конфузорное сопло;  
2 – дроссельная задвижка; 3 – шиберная заслонка; 4 – вентилятор;  
5 – компьютер; 6 – сопло горелки

Для проведения сварки при различных углах наклона горелки, использовали устройства, приподнимающие рабочий стол с образцом на заданный угол, затем плоскость стола фиксировалась. (Рисунок 2.4).



Рисунок 2.4. Выполнение наплавки при различных углах наклона горелки

При проведении лабораторных исследований были использованы горелки с конфузторными соплами с установленным перед входным отверстием пакетом сеток различных диаметров (Рисунок 2.5).



Рисунок 2.5. Использование специального сопла при проведении исследований

Скорость ветра при проведении исследований измеряли с помощью термоанемометра Venetech GM816 в самой зоне, в которой выполняли сварку, делали несколько замеров и определяли, как среднеарифметическое число. Термоанемометр позволял измерять скорости потока в пределах 0–40 м/с с

точностью до 1/10 м/с, т.е. при невысоких скоростях струи и газа величина погрешности достигала менее одного процента от величины измеряемого результата. Термоанемометр фиксирует только величину скорости без направления, поэтому по результатам замеров возможно построение не линий тока, а изотархов (линий, соединяющих точки с одинаковым значением скорости движения потоков воздуха) (Рисунок 2.6).



Рисунок 2.6. Измерение скорости ветра термоанемометром

Измерение температуры газовой струи измеряли с помощью пирометра «Флюке» (Рисунок 2.7).



Рисунок 2.7. Измерение тепловых полей пирометром «Флюке»

В результате модернизации для экспериментов создали универсальный стенд, и разработали методику, обеспечивающую необходимую точность

экспериментов при изучении жесткости и ветроустойчивости газовой защиты, с целью разработки специального оборудования и технологии сварки на открытых площадках, в частности для арктических конструкций.

Анализ источников показал, что авторами [1-3] разработан способ сварки с газовой защитой сварочной ванны, осуществляемой специализированной сварочной горелкой со специальным соплом с высокими аэродинамическими свойствами и пакетом сеток.

Используемая конструкция сопла имеет улучшенные аэродинамические характеристики, что способствует оптимальному использованию защитного газа и снижению его расхода, что экономически немаловажно [4, 5].

#### 2.4. Математическое моделирование параметров струи защитного газа при сварке в условиях ветра

В настоящее время одним из условий совершенствования сварки и сварочного процесса являются не только основы теоретических принципов сварки с использованием современных инновационных достижений в различных областях науки, но и создание цифровых методов и вариантов моделирования сварочной ванны, защитного газа и процессов сварки [15, 18].

Такое новое направление, как математическое моделирование процессов сварки позволяет имитировать сложные процессы, происходящие в сварочной ванне. Мы знаем, что процессы, которые происходят в сварочной ванне, протекают очень быстро, в небольшом объеме, поэтому трудно получить зависимости между закономерностями, а также можно и найти способы эффективно управлять этими процессами. Математическое моделирование может помочь оптимизировать и усовершенствовать любые условия протекания процесса образования неразъемного сварного соединения, это поможет избежать дефектов [20].

Проведя исследования по данной теме, выявили, что при сварке в условиях ветра, газовая защита сварочной ванны обеспечивается струей, в

которой сохраняется ядро, и оно содержит максимальную концентрацию защитного газа, это ядро деформируется и уменьшается, в условиях воздействия ветра, помочь борьбе с этой проблемой может конструкция сварочной горелки, которая должна обеспечивать жесткость и устойчивость газовой защитной струи при оптимальном расходе защитного газа.

Одним из направлений возможности управления динамикой защитного газа в условиях воздействия ветра является метод интегрального проектирования конструкций сварочной горелки путем совершенствования внутренней поверхности сопла и мундштука или наконечника горелки [11].

Ранее были проведены эксперименты, их анализ показал, что сохранение ядра струи может обеспечиваться только сварочными горелками с так называемой конфузурной проточной частью КПЧ, который обладает высокими свойствами аэродинамики (Рисунок 2.8, б), при этом сварочные горелки с так называемой цилиндрической проточной частью ЦПЧ, не могут обеспечить необходимую жесткость струи газа, при высоких скоростях истечения, т.к. теряется ядро (Рисунок 2.8, а).

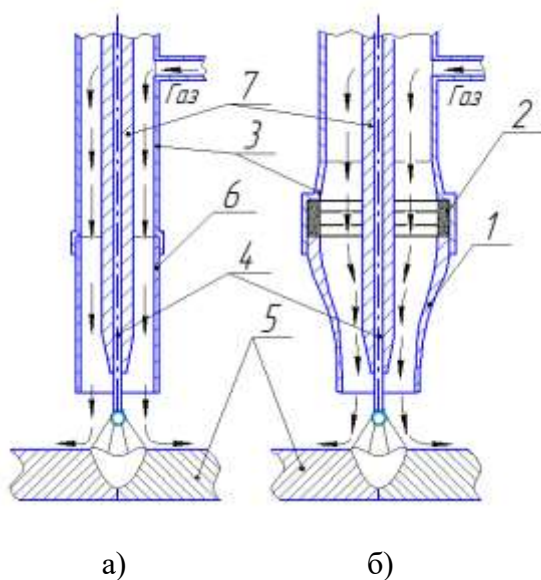


Рисунок 2.8. Схема различных сварочных сопел:  
а – цилиндрическое сопло; б – конфузурное сопло;  
1 – конфузурное сопло; 2 – пакет сеток; 3 – корпус; 4 – электродная проволока; 5 – изделие; 6 – цилиндрическое сопло; 7 – мундштук



Результаты расчетов показали, что при использовании специального конфузорного сопла, по сравнению с обычным цилиндрическим соплом, скорость истечения газа из сопла при одинаковом его расходе возрастает примерно в 2,75 раза [3].

Валидацию математических результатов осуществляли с помощью экспериментов на модернизированной установке, состоящим из сварочной горелки, оснащенной датчиками. двухрежимной аэродинамической трубы с автоматической системой управления, которая может создавать разные скорости ветра с усилениями [10].

Как говорилось ранее, сложность сварочного процесса, быстрота его протекания и небольшие размеры сварочной ванны затрудняют выполнение экспериментов. Для удобства широко используется математическое моделирование сварочных процессов. Обычно компьютерные модели строятся на известных математических формулах, зависимостях и уравнениях, они позволяют наглядно смоделировать протекающие в сварочной ванне процессы и полученные при этом результаты, они сокращают трудоемкость и упрощают выбор решения, а вместе с тем, увеличивают точность полученных результатов по сравнению с результатами, рассчитанными вручную.

На основе расчетных методов построена большая математическая часть современных аналитических систем, представленных в большом количестве и повсеместно используемых для решения задач теплообмена и гидродинамики, таких как ANSYS CFX и Fluent, SolidWorks FlowSimulation, Flow Vision, FLOW-3D. Однако, программы имеют практическую значимость только в том случае, если используют модели и зависимости, только правильно описывающие процесс, обеспечивающие хорошую сходимость результатов.

С помощью программы ANSYS Fluent, которая предназначена для расчета задач газодинамики и гидродинамики, воссоздали модель процесса истечения защитного газа из сопла сварочной горелки, и выполнили оценку смоделированной картины формирования и поведения защитной струи газа по мере удаления от среза сопла при сварке в защитном газе [3].



С начала исследования была поставлена задача, имеющая стационарное решение двумерной осесимметричной модели без учета бокового ветра. Газ считали несжимаемым, это позволяли делать рассматриваемые скорости истечения. Движение и теплообмен в жидкости и газе в программе ANSYS Fluent моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса – системы дифференциальных уравнений, которые описывают движение вязкой жидкости. Так как в математической модели системы дифференциальных уравнений не имеют аналитического решения, они приводятся к дискретному виду, и решаются на созданной расчетной сетке, методом конечных объемов. При достаточно больших числах Рейнольдса (при высоких истечениях газа) в случае малой вязкости (вода, воздух, газы) влияние вязкости сказывается только в пограничном слое. Это позволяет упростить уравнения Навье-Стокса.

За расчетную область принимали сопло сварочной горелки после пакета сеток, указывали его размеры, а также рассматривали область, прилежащую к срезу сопла, длиной 1 мм от выходного сечения сопла. При выборе модели размеры области учитывались таким образом, чтобы могли поместиться основные возмущения потока.

На Рисунке 2.9 представлена модель расчетной области и сетка из 55500 ячеек для ЦПС и КПС (учитывали отражение по оси симметрии).

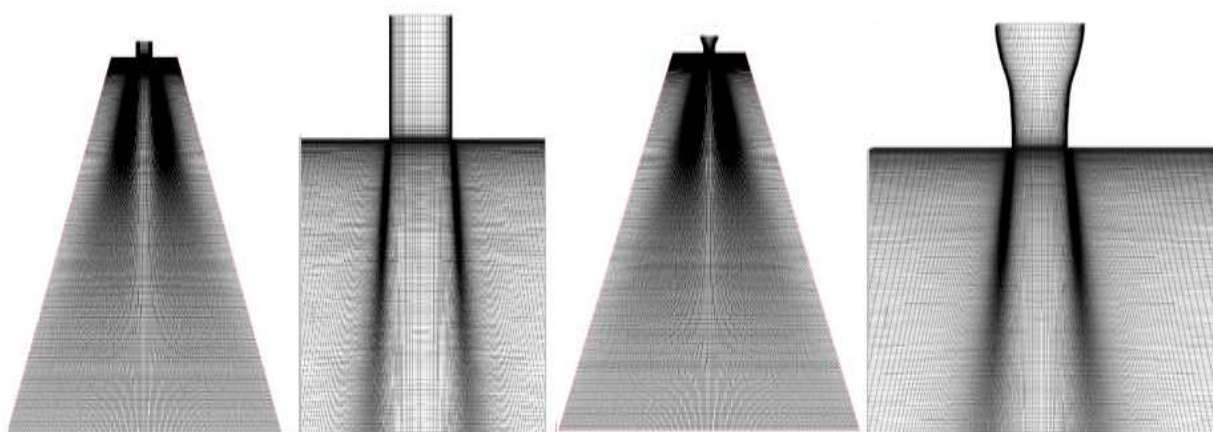


Рисунок 2.9. Вид расчетных сеток и расчетной области для цилиндрического (слева) и конфузорного (справа) сопла

Устанавливая граничные условия, задавали на входе в сопло, равномерный профиль постоянной скорости истечения газа, на стенках сопла

скорость газа принимали нулевой, на границах внешней области сопла задавали условия свободного протекания газа, давление на внешних границах расчетной области принимали равным атмосферному.

Также, предположили, что расчетная область заполнена защитным газом аргоном. Для обоих сопел рассмотрели несколько одинаковых величин скорости газа на входе: 0,5; 1,0; 2,5 и 5,0 м/с, что в перерасчете на расход газа, соответствует расходам защитного газа в объеме 6,0; 12,0; 30,0 и 60,0 л/мин.

С помощью компьютера, в расчетной области математически решили систему уравнений Навье-Стокса (уравнения движения вязкой жидкости), осредненных по Рейнольдсу (Reynolds Averaged Navier - Stokes – RANS), состоящую из уравнения неразрывности, которое показывает закон сохранения массы. И уравнения переноса, описывающее перенос сохраняющейся скалярной величины в пространстве; уравнение специально используется для описания турбулентных течений. Метод осреднения по Рейнольдсу заключается в замене случайно изменяющихся характеристик потока (скорость, давление, плотность). Систему уравнений оказывалась незамкнутой, ее принимали замкнутой с помощью модели турбулентности k- $\omega$  SST [19]. Это модель переноса сдвиговых напряжений дает хорошие результаты при отрыве потока, при больших градиентах давления при вдувании потока в пограничный слой.

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (- \rho \bar{u}'_i \bar{u}'_j) ,$$

где  $u$  – поле скоростей ( $u^-$  – скорость, осредненная по времени, м/с,

$u'$  – пульсационная составляющая, м/с);

$p$  – давление, Па;

$\mu$  – молекулярная вязкость, Па\*с.

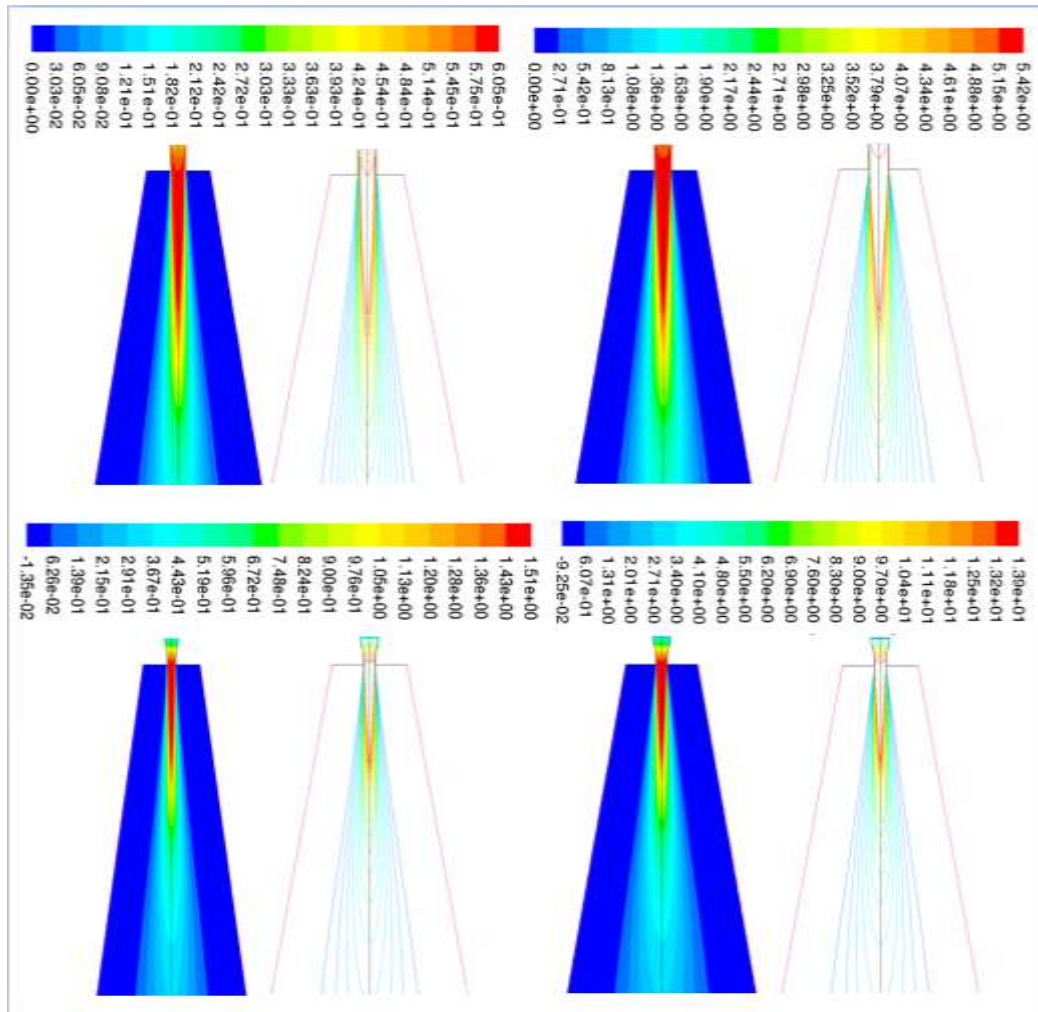


Рисунок 2.10. Продольное осесимметричное поле скоростей истечения струи на выходе из цилиндрического (вверху) и конфузорного сопла (внизу); скорость потока на входе 0,5 м/с (слева), 5 м/с (справа)

Математическое моделирование подтвердило возрастание скорости истечения струи газа из конфузорного сопла, ее динамического напора, что подтверждает способность конфузорного сопла обеспечить ветроустойчивость струи (Рисунок 2.10).

Для оценки точности расчетных данных, полученных в программе ANSYS, провели эксперименты по расчету скорости струи газа на срезе сопла и динамического напора струи при различных расходах с помощью цифрового термоанемометра Venetech GM816.

Первый этап моделирования выполняли для неограниченной твердой поверхности свободных струй, развитие которых ничем не ограничено. Так же

необходимо помнить, что для реальной защитной струи газа, необходимо изучение поведения зоны газовой защиты, при взаимодействии струи со сносимым потоком в процессе удара о поверхность. Эти вопросы связаны с распределением поля скоростей, и поля концентраций защитного газа, которые очень сложно оценить на практике [10].

В программе ANSYS Fluent смоделировали процесс дуговой сварки в среде защитного газа  $\text{CO}_2$ . В модели учитывали параметры влияния ветра, электрода, мундштука, а также плоскости, имитирующей свариваемую поверхность. Расчетную область указали в виде круга, в центральной части которого располагалась модель конфузорного сопла, в зону сварки подавалась электродная проволока, и указали поверхность в качестве свариваемого изделия.

Далее решали трехмерную задачу, при этом предполагали, что расчетная область заполнена углекислым газом  $\text{CO}_2$ , в качестве окружающей атмосферы принимался воздух. Для конфузорного сопла с выходным диаметром сопла 20 мм и диаметром электрода 1,2 мм рассмотрели разные величины расхода газа: 10,0; 20,0; 40,0 и 60,0 л/мин. Скорость ветра изменяли от 1 до 8 м/с. Расстояние от среза сопла до свариваемой поверхности принимали 0,4–3,2 диаметров сопла; эффективность газовой защиты оценивали по распределению концентрации газа над защищаемой поверхностью, представляющее собой пятно круглой формы. В областях с высоким градиентом физических параметров дополнительно уплотнили начальную сетку. Сетка уплотнялась внутри сопла и на выходе из сопла на свариваемой поверхности (Рисунок 2.11).

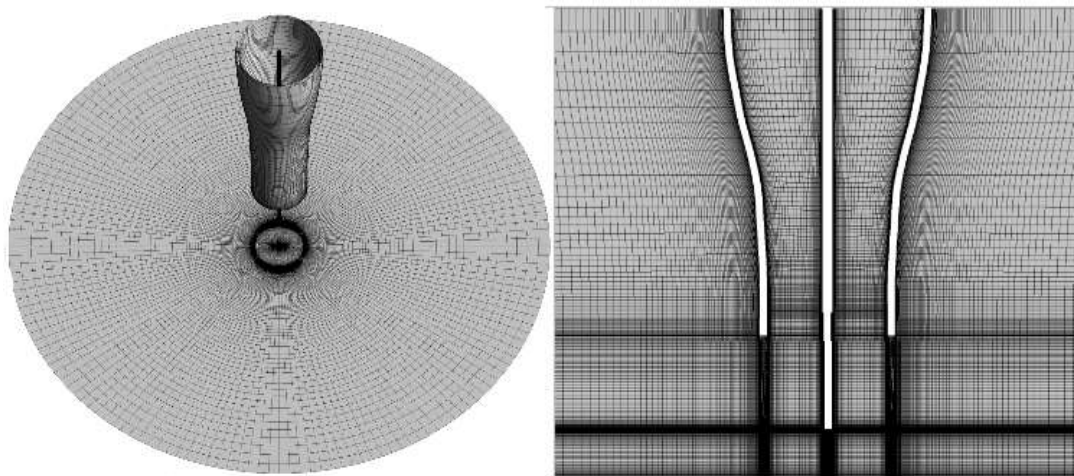


Рисунок 2.11. Вид расчетной области конфузрного сопла

Установили первую серию виртуальных моделей, при этом поддерживали постоянное соотношение расстояния от среза сопла до свариваемой поверхности, и выходного диаметра сопла  $H/D_0$ , скорость сносящего воздушного потока  $V_{\text{в}}$ , при этом постепенно снижали расход защитного газа  $Q_{\text{г}}$ . Затем изменяли один параметр, и строили другие серии виртуальных моделей, так же визуально наблюдали за изменениями конфигурации зоны газовой защиты на поверхности по мере снижения расхода защитного газа.

По результатам получили картину распределения скоростей потока и установили границы ядра струи, а также области распределения концентрации защитного газа при различных скоростях ветра.

Поле скоростей сносящего потока и защитной струи газа, характеризуют картину деформации струи при ударе о свариваемую поверхность (Рисунок 2.12).

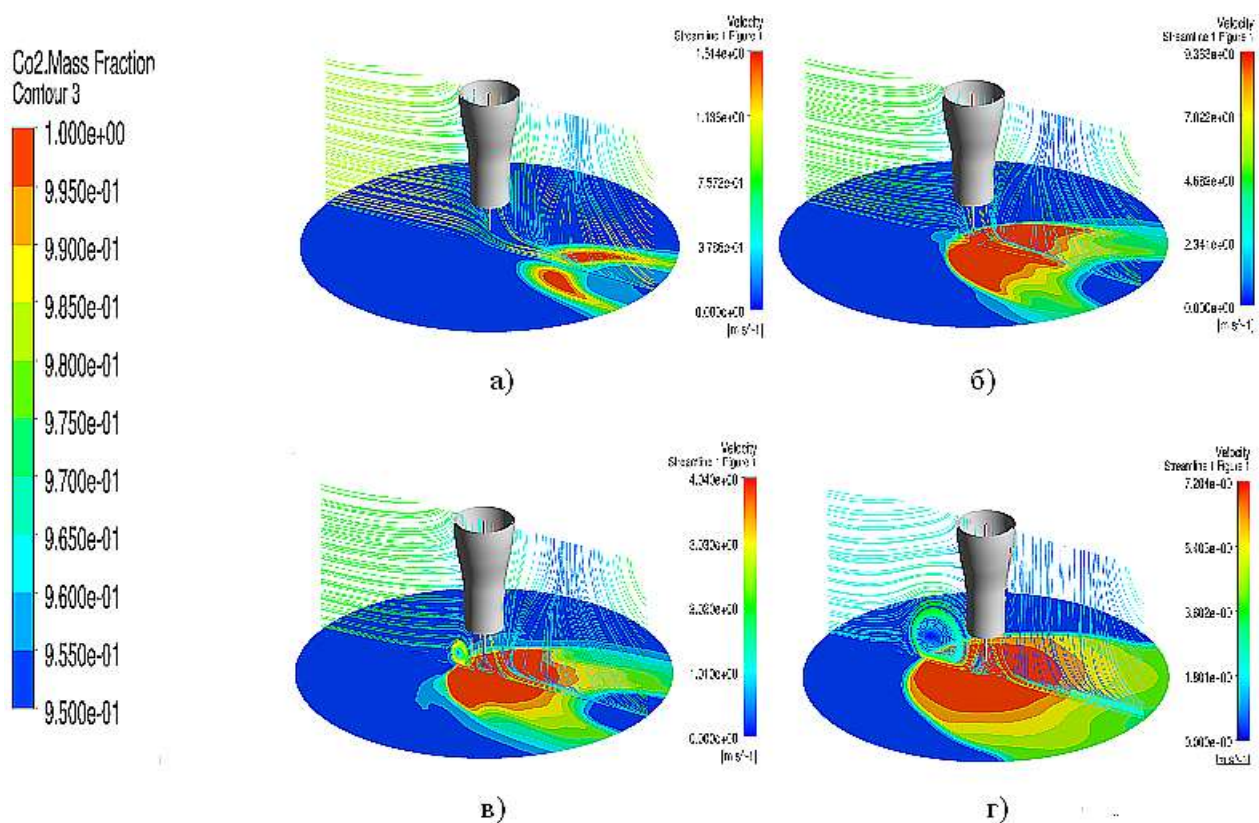


Рисунок 2.12. Трехмерная компьютерная модель деформации газовых потоков при сварке в условиях ветра

Эффективность газовой защиты определяет качество, следовательно и механические характеристики сварных соединений, которые определяют склонность к хрупкому разрушению, и других видов дефектов, поэтому оптимальный расход и скорость истечения струи защитного газа имеет важное значение.

С увеличением безразмерной величины  $H/D_0$  и увеличением скорости ветра газовая защита сильно ухудшается, очевидно, что требуется увеличение расхода защитного газа. При определенных рассчитанных соотношениях скорости струи и ветра  $V_s/V_v$ , эффективная защита практически полностью пропадает (Рисунок 12, а). При увеличении  $V_s/V_v$  на пятне газовой защиты проявляется выступ, который, вероятно, обусловлен возникновением на боковой поверхности струи появившихся вихрей.

Это обусловлено тем, что сносящий поток, двигаясь навстречу защитной струе, ударяется о нее, затормаживается и, отрываясь от поверхности, образует



вихрь перед струей (Рисунок 2.12. б, в), с ростом  $V_{\text{ж}}/V_{\text{в}}$  увеличивается и удаляется от оси струи. При этом линии поля скоростей распределяются более равномерно, затем постепенно смещаются вверх по потоку, уменьшая первоначальную деформацию струи (Рисунок 2.12, г).

Результаты моделирования также показывают, что при воздействии ветра, происходит деформация защитной струи, со смещением области максимальной концентрации защитного газа по направлению движения ветра (Рисунок 2.13).

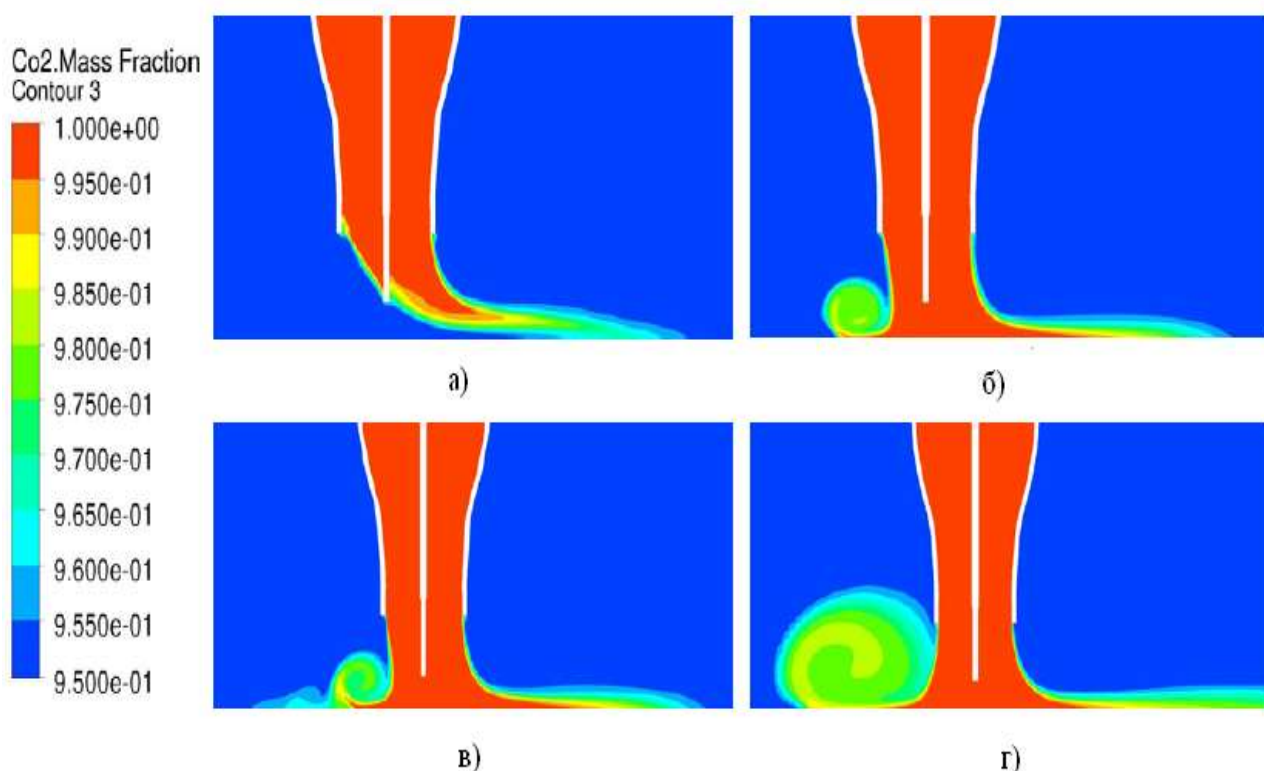


Рисунок 2.13. Деформация защитной струи при ударе о твердую поверхность при скорости ветра 5 м/с: а –  $V_{\text{ж}}/V_{\text{в}} = 1,0$ ; б –  $V_{\text{ж}}/V_{\text{в}} = 1,5$ ; в –  $V_{\text{ж}}/V_{\text{в}} = 2,0$ ; г –  $V_{\text{ж}}/V_{\text{в}} = 2,5$ ;  $H/D_0 = 1$

Мы видим, что по мере увеличения соотношения, и приближения к значению  $V_{\text{ж}}/V_{\text{в}} = 3$  ядро струи постепенно приобретает симметричную форму, увеличивается разность поля концентрации со стороны ветра, и снижается с подветренной стороны, поэтому строение струи похоже по форме на струю, вытекающую в неподвижную среду. Пятно газовой защиты практически не изменяется, что позволяет при сварке обеспечивать симметричную защиту, и

при этом, однородность структуры и свойств металла шва и околошовной зоны, что важно при сварке хладостойких сталей, которые применяются при сварке арктических конструкций.

На основании вышесказанного, можно отметить, что при разработке технологии сварки в защитных газах на ветру, не следует применять большие расстояния от среза сопла до свариваемой поверхности, в то же время, при  $H/D_0 \leq 1$ , можно успешно решать вопросы эффективности газовой защиты при  $V_s/V_B \leq 2$ .

Результаты моделирования показали, что при  $H/D_0 \geq 2$  для обеспечения эффективной газовой защиты скорость истечения струи должна превышать скорость ветра более чем в 3 раза, что ограничивает технические и экономические показатели процесса. Поэтому расстояние для сварки от среза сопла до свариваемой поверхности, должны быть в диапазоне изменения  $0,6 < H/D_0 \leq 1,2$ .

Также анализ векторных полей внешнего и внутреннего потока позволяет увидеть что при обтекании конструктивных элементов, расположенных в сопле горелки, например мундштука, отсутствие (Рисунок 2.14, а) или наличие циркуляционных зон (тороидальных вихрей) (Рисунок 2.14, б, в, г).

Тороидальный вихрь возникает в центре удара струи, из-за наличия в центре электродной проволоки, наконечника или мундштука. Вихрь при ударе соприкасается с защищаемой поверхностью, мундштуком и ядром струи. На размеры вихря оказывает большое влияние скорость истечения газовой струи. При увеличении скорости струи уменьшается высота вихря. Очевидно, что формирование циркуляционной зоны обратных токов в ядре струи газа может быть причиной нарушения газовой защиты, может происходить подсос воздуха, поэтому при проектировании сварочных горелок необходимо это учитывать, и поверхности наконечника следует придать форму, которая улучшает ее обтекаемость, например, форму полутела, которую придают носику трубки Пито-Прандтля, применяемую для измерения скоростей [12].



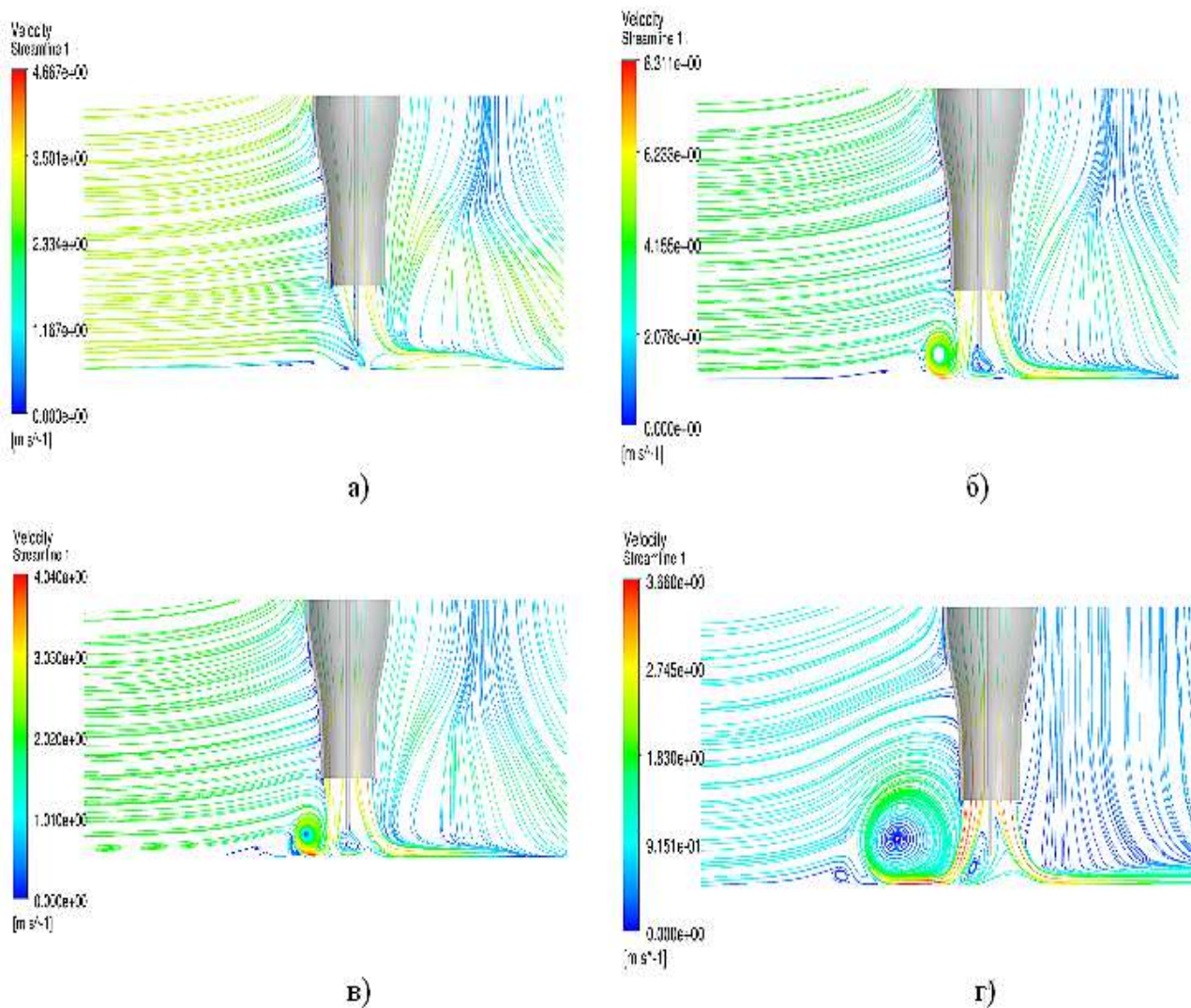


Рисунок 2.14. Распределение поля скоростей и поля концентраций при ударе струи о защищаемую поверхность при скорости ветра 5 м/с: а  $-V_c/V_B = 1,0$ ; б  $-V_c/V_B = 1,5$ ; в  $-V_c/V_B = 2,0$ ; г  $-V_c/V_B = 2,5$ ;  $H/D_0 = 1$

Смоделированная визуальная картина, практически полностью совпадает с экспериментальными данными исследований, что может свидетельствовать о достоверности полученных результатов.

Проведенные ранее эксперименты указывают на то, что на формирование зоны газовой защиты влияет в первую очередь, режим сварочного процесса. Невозможность применения высоких сварочных режимов связана с нарушением зоны газовой защиты. Возможно, причина этого нарушения связана с функционированием тороидального вихря.

С увеличением сварочного тока, увеличиваются размеры сварочной ванны, от этого вихрь начинает интенсивно увеличиваться в объеме, активно

воздействуя на ядро газовой струи, что приводит к потере её жесткости, и как следствие, подосу воздуха в зону сварки.

Ядро защитной струи в процесс удара распределяется по защищаемой поверхности в виде пятна, которое имеет круглую форму. Результаты моделирования показали, что при постоянной скорости ветра с уменьшением скорости истечения защитной струи с наветренной стороны максимальная защита перемещается постепенно по поверхности, удаляясь от оси струи. Пятно меняет свою форму, что свидетельствует о проникновении воздуха в защищаемую зону. Участок, на котором происходит врыв на защищаемую поверхность, уменьшается с увеличением скорости истечения струи.

Наряду с качественной оценкой газовой защиты определили количественный показатель эффективности, газовой защиты в зависимости от отношения  $V_c/V_B$  (Рисунок 2.15).

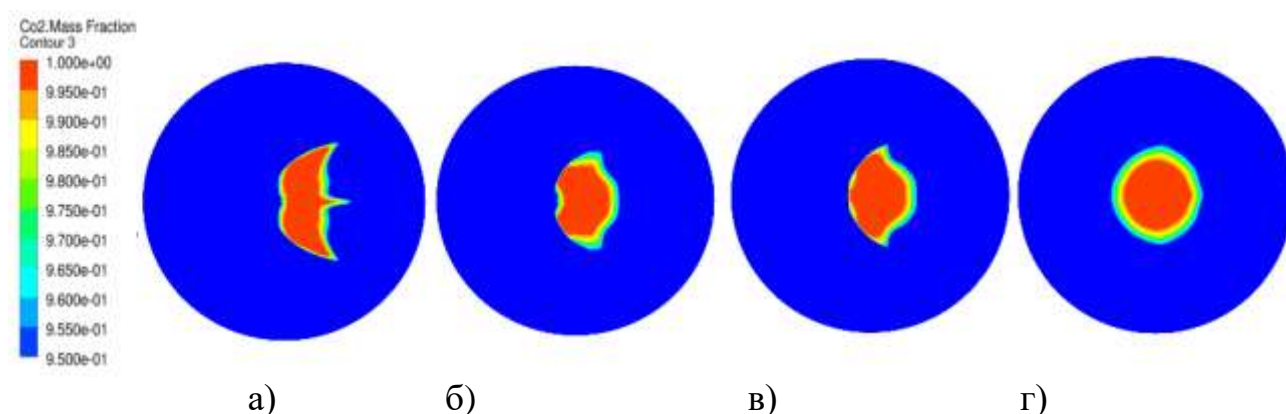


Рисунок 2.15. Поле распределения концентрации защитного газа:  $V_c/V_B = 1,0$  (а);  $V_c/V_B = 1,5$  (б);  $V_c/V_B = 2,0$  (в);  $V_c/V_B = 2,5$  (г);  $H/D_0 = 1$

В качестве критерия эффективности газовой защиты предложили формулу, характеризующую отношение площади с максимальной концентрацией защитного газа  $S_{max}$ , к общей площади зоны газовой защиты  $S$ , выраженный в %:

$$\mathcal{E}_{гз} = (S_{max}/S) 100 \% .$$

На основе математического моделирования в программе ANSYS с высоким уровнем достоверности, создали модель истечения струи газа, также установили картину изменения эффективной газовой защиты при использовании конфузторного сопла, в зависимости от расхода защитного газа, скорости воздушного потока, начальной скорости газовой струи на входе в сопло, диаметра сопла, а также расстояния до свариваемой поверхности.

На Рисунке 2.16 представлены результаты, полученные при  $H/D_0 = 1$ .

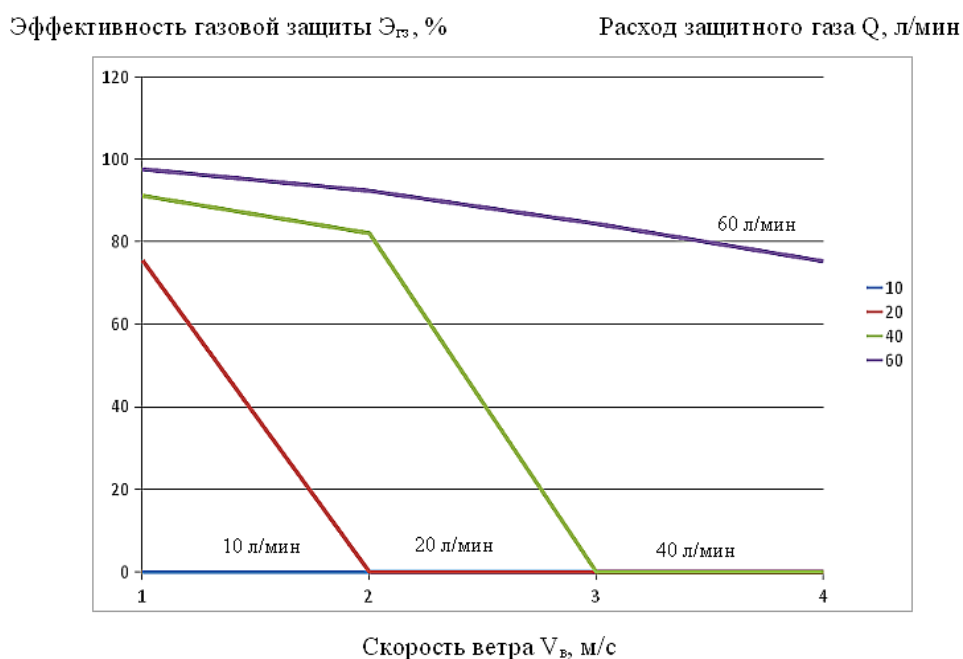


Рисунок 2.16. Зависимость эффективности газовой защиты скорости ветра, с учетом расхода газа и расстояния от среза сопла до свариваемой поверхности

На основании моделирования установили, что качество газовой защиты и распределение концентрации защитного газа в зоне сварки в большей мере зависят от расстояния от среза сопла до свариваемой поверхности и от соотношения скорости струи, определяемой расходом защитного газа, к скорости ветра (Рисунок 2.17).

Из Рисунка 2.17 видно, что с возрастанием скорости ветра газовая защита заметно ухудшается, и требуется увеличение расхода защитного газа.

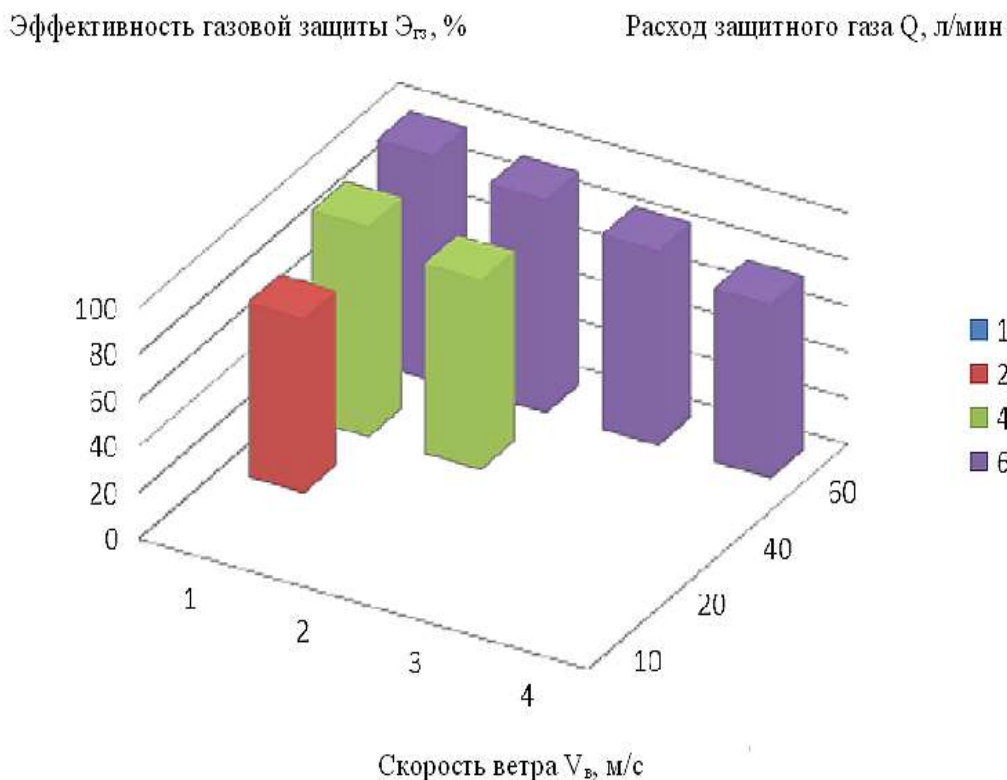


Рисунок 2.17. Влияние основных параметров на эффективность газовой защиты в условиях ветра

С помощью моделирования установили характер снижения эффективности газовой защиты при изменении угла наклона сварочной горелки (Рисунок 2.18). При решении расчетной задачи рассматривали несколько углов наклона горелки: от 10 до 80 °. Угол наклона горелки измерялся между осью симметрии головки и нормалью к свариваемой поверхности. Визуально наблюдали за смещением области максимальной концентрации защитного газа; математические данные подтвердили результаты о том, что деформация зоны газовой защиты начинается примерно с угла 15°. Затем очертания зоны газовой защиты начинают превращаться из круглых в эллипсообразные, и при углах наклона равным или более 70° газовая защита нарушается практически полностью.

Моделирование продольного и поперечного поля скоростей воздушного потока при наклоне сопла под углом от 15 до 60° сопла показало, что при начальной скорости истечения газа 6 м/с деформация симметрии защитного



газового пятна происходит при наклонах более  $45^{\circ}$ . При скорости истечения газа 18 м/с происходит деформация симметрии защитного пятна аргона на поверхности. При угле наклона  $45^{\circ}$  обеспечивается наиболее равномерное течение защитного газа, что снижает вероятность попадания воздуха в зону локальной защиты, а, значит, вероятность образования дефектов (Рисунок 2.18, 2.19).

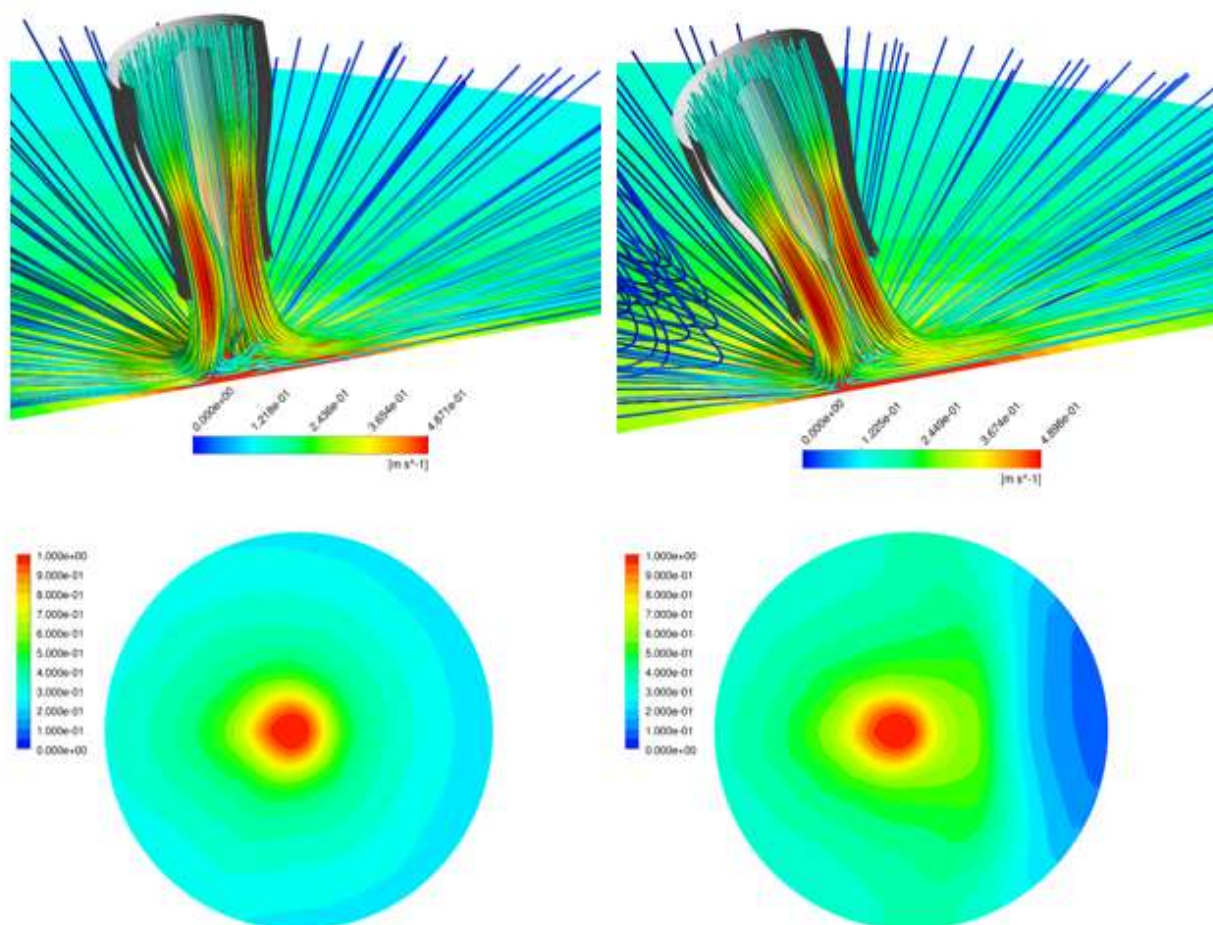


Рисунок 2.18. Продольное поле скоростей истечения газа и распределение концентрации защитного газа при углах наклона  $15^{\circ}$  (а);  $30^{\circ}$  (б):  $V_c = 6$  м/с

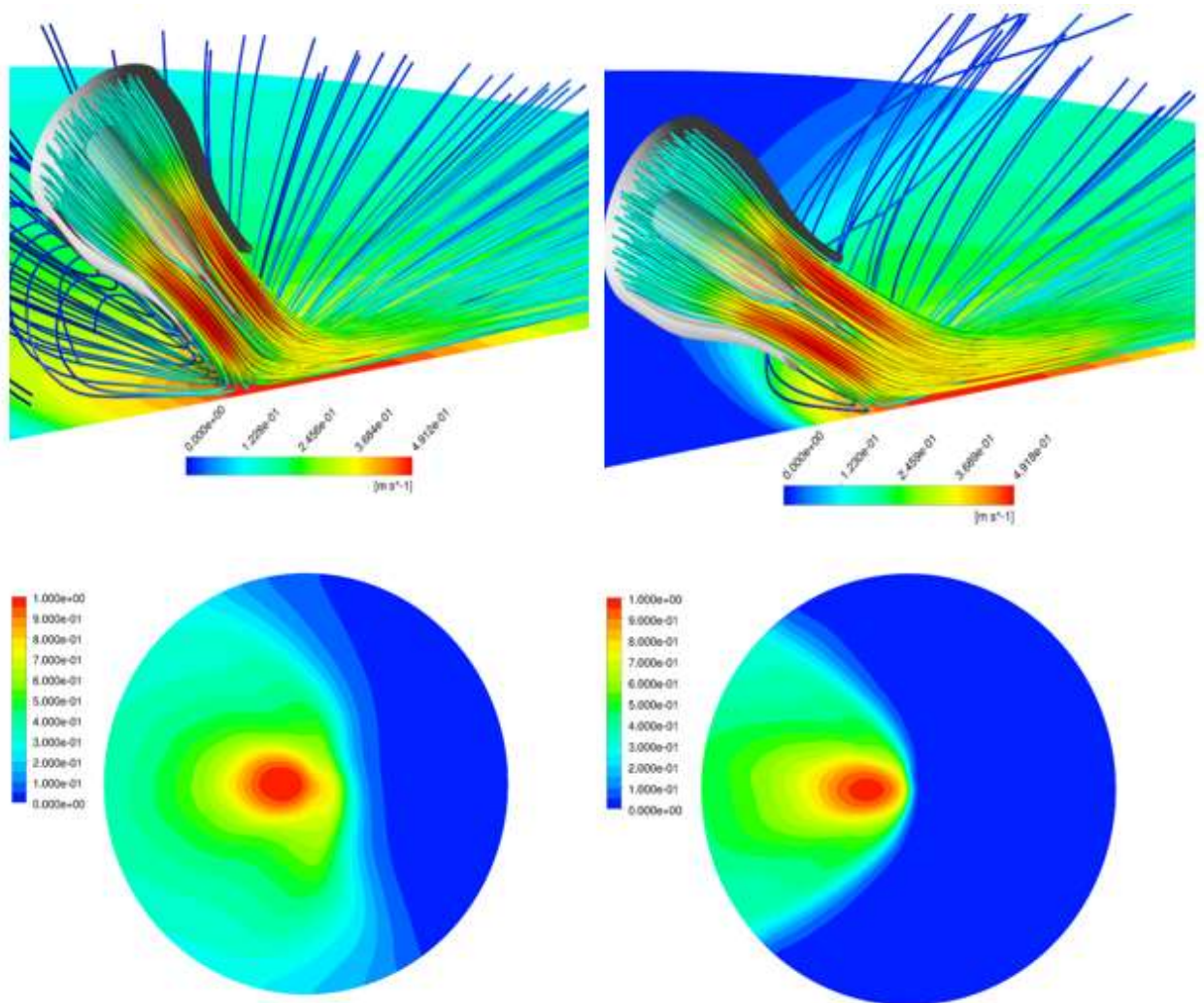
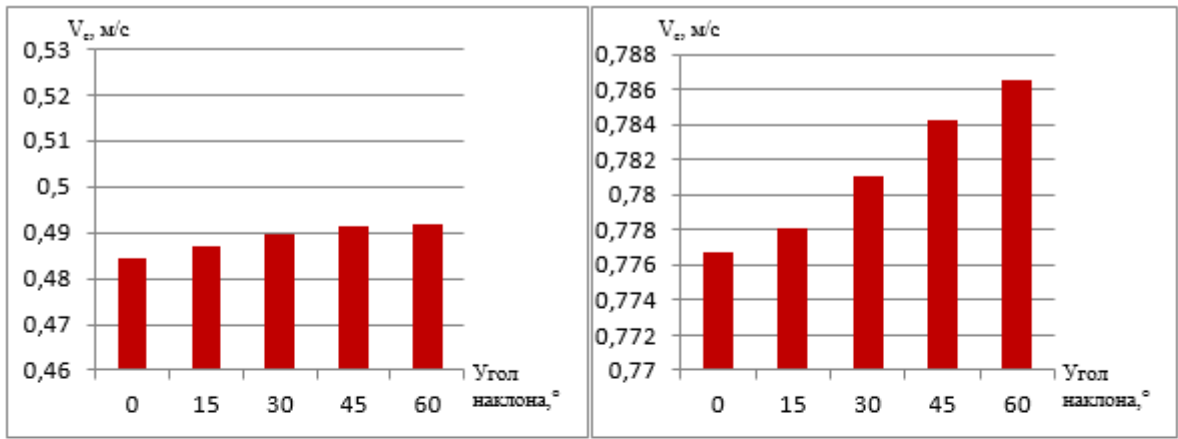


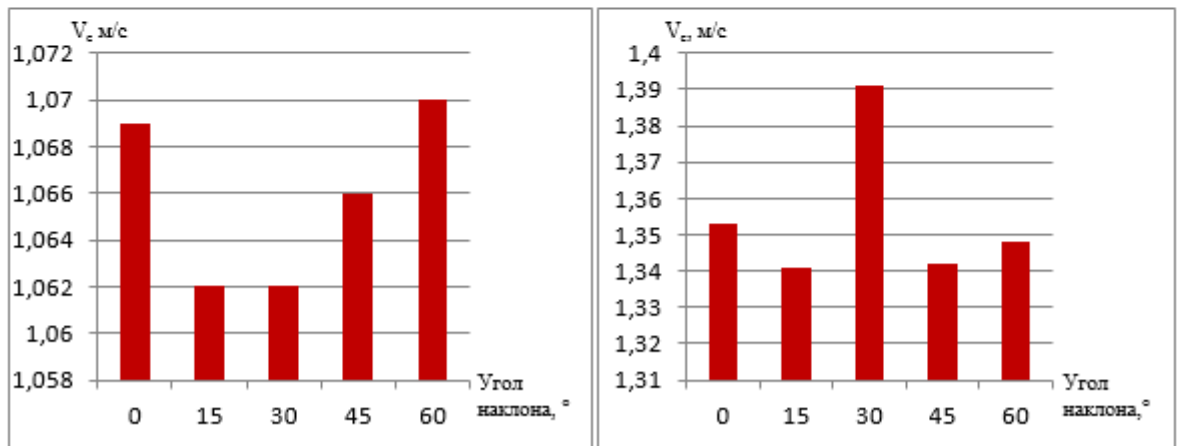
Рисунок 2.19. Продольное поле скоростей истечения газа и поперечное распределение концентрации защитного газа при углах наклона  $45^{\circ}$  (а);  $60^{\circ}$  (б):  $V_c = 6$  м/с

Максимальная концентрация защитного газа, скорость истечения защитного газа, а значит, и жесткость, и ветроустойчивость струи, обеспечивается при данной конструкции конфузорного сопла и расходах газа более 12 л/мин при углах наклона  $30-60^{\circ}$  (Рисунок 2.20, 2.21).



а)

б)



в)

г)

Рисунок 2.20. Диаграммы скоростей истечения защитного газа при различных углах наклона ( $0^{\circ}$ ;  $15^{\circ}$ ;  $30^{\circ}$ ;  $45^{\circ}$  и  $60^{\circ}$ ), при расходе защитного газа: 6 л/мин (а); 12 л/мин (б); 20 л/мин (в); 30 л/мин (г)

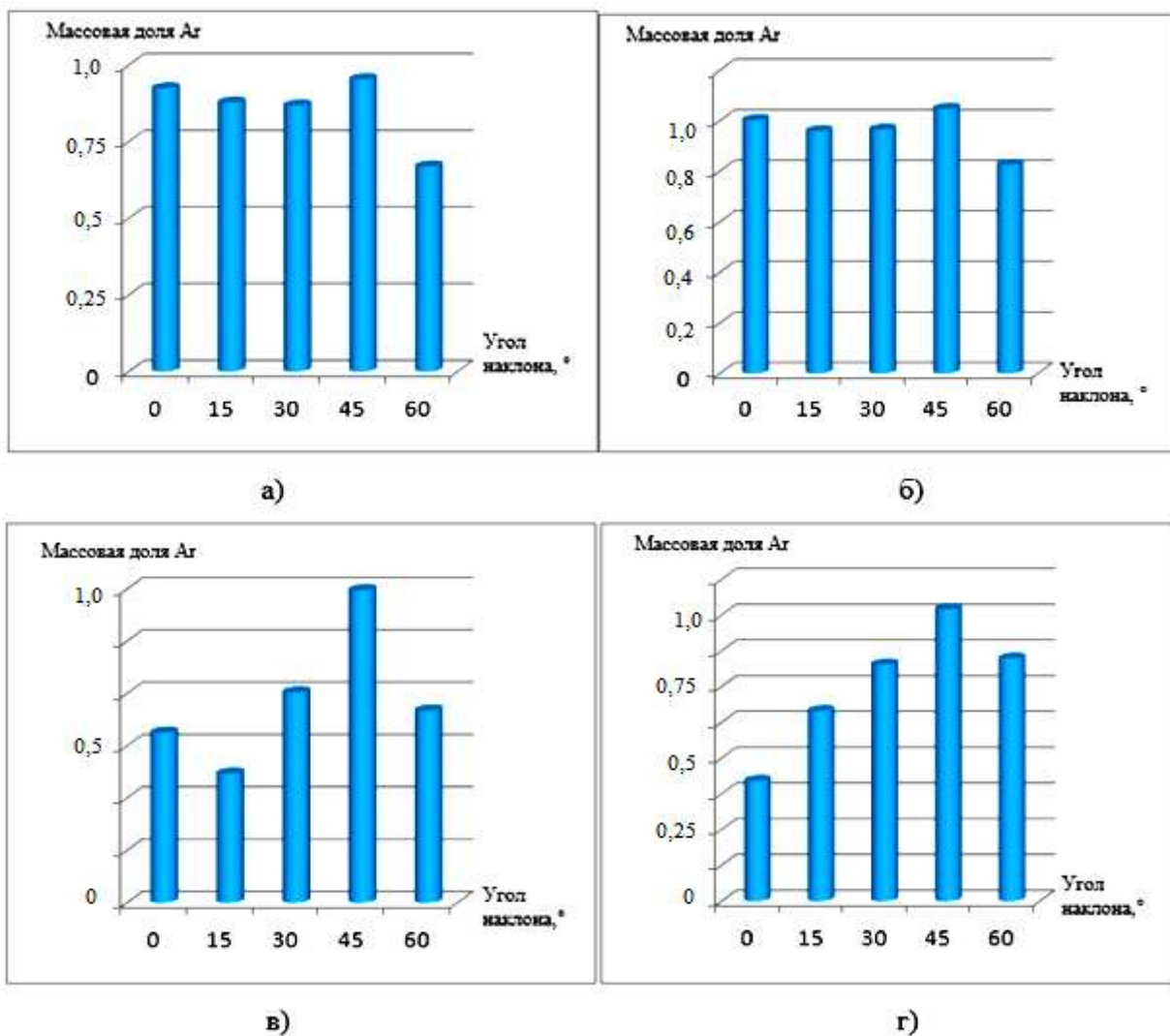


Рисунок 2.21. Диаграммы изменения концентрации защитного газа при различных углах наклона ( $0^{\circ}$ ;  $15^{\circ}$ ;  $30^{\circ}$ ;  $45^{\circ}$  и  $60^{\circ}$ ), при расходе защитного газа: 6 л/мин (а); 12 л/мин (б); 20 л/мин (в); 30 л/мин (г)

Влияние угла наклона на эффективность газовой защиты изучали по специальной методике «пробы на пятно», которая определяет эффективность защиты по наличию цветов побежалости на отпечатке оплавленного пятна, которое образуется на поверхности нержавеющей стали, например, 08X18H9T (Рисунок 2.22).



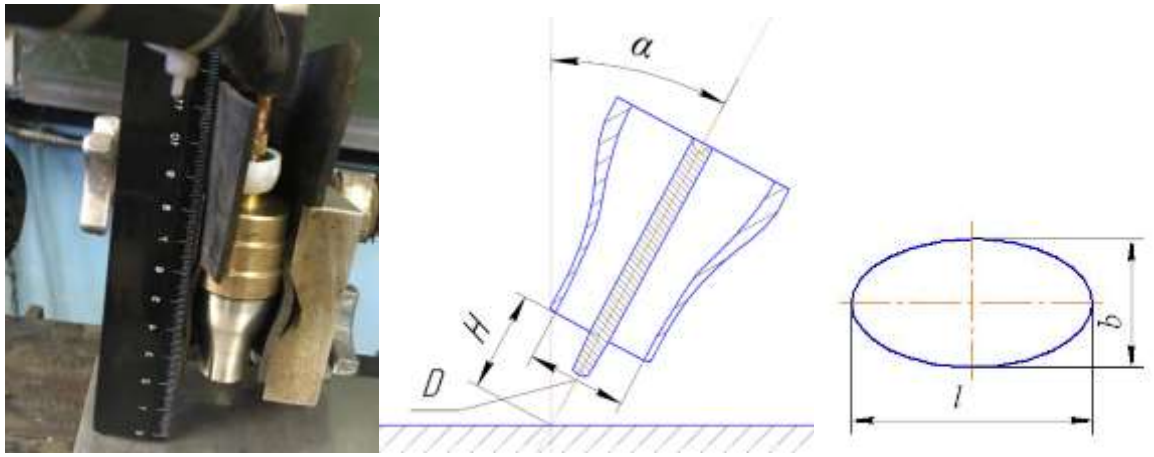


Рисунок 2.22. Расположение конфузорного сопла под наклоном:  $H$  – расстояние между срезом отверстия сопла и поверхностью,  $D$  – внутренний диаметр сопла;  $\alpha$  – угол наклона горелки (а); схема пятна газовой защиты при изменении угла наклона горелки:  $l$  – длина зоны газовой защиты;  $b$  – ширина зоны газовой защиты (б)

При проведении экспериментов рассматривали несколько углов наклона горелки: от  $0^\circ$  до  $70^\circ$  (рисунок 2.23), а конфузорные сопла выбирали диаметром 16,0; 18,0; 20,0 и 22,0 мм, расходы газа назначали от 6 до 60 л/мин.

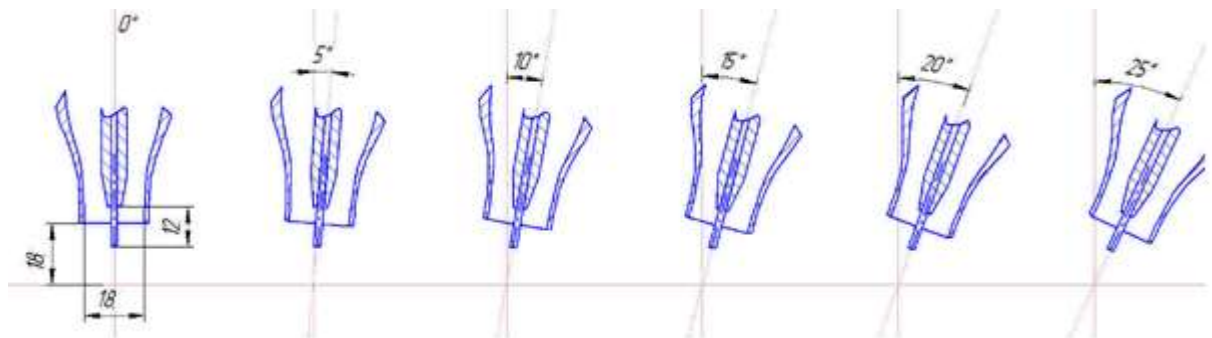


Рисунок 2.23. Схема изменения угла наклона горелки

При угле наклона более  $20^\circ$  начинается деформация зоны газовой защиты. Со стороны тупого угла - очертания зоны газовой защиты начинают превращаться из круглых в эллипсообразные, а со стороны острого угла наклона - очертания становятся треугольными. Особенно четко это проявляется при углах наклона  $50^\circ$  и  $60^\circ$ . При углах  $65^\circ$  и более, эффективность газовой защиты нарушается. Деформация зоны газовой защиты происходит таким образом, что ширина зоны не изменяется, остается постоянной, а длина увеличивается в размерах (Рисунок 2.24).



Рисунок 2.24. Определение зоны газовой защиты в зависимости от угла наклона горелки методикой «проба на пятно»

Результаты исследования подтвердили, что оптимальным углом, при котором сохраняется газовая защита, является угол  $43-45^{\circ}$ . При увеличении угла наклона горелки более  $45$  градусов, т.е. углом назад, и повышенных скоростях истечения защитного газа, происходит подсос воздуха в зону сварки, и как следствие, нарушение защиты.

## 2.5. Исследование влияния формы электрода (мундштука) на качество осуществляемой газовой защиты

Картина движения защитной струи при ударе об экран отличается от аналогичной картины удара начального участка затопленной струи тем, что по оси первой располагается металлический цилиндр (неплавящийся электрод или мундштук для плавящегося электрода), который усложняет картину развивающихся процессов. Роль электрода (мундштука) многогранна. Во-первых, как твердое тело, находящееся в центре струи, электрод стабилизирует все движение струи, делая его более устойчивым. Во-вторых, электрод влияет на размеры защитной струи. И в – третьих, с наличием электрода связано развитие процессов, с одной стороны способствующих увеличению эффективности газовой защиты, а с другой – ее уменьшению. Находясь в центре защитной струи, электрод располагается над критической точкой. На

его поверхности образуется ламинарный пограничный слой, движущийся к критической точке струи. Это вызывает возникновение тороидального вихря над сварочной ванной, который способствует улучшению или ухудшению эффективности газовой защиты.

Следующим этапом совершенствования сварочной горелки стал вопрос формы мундштука [4]. Так как он находится непосредственно в зоне протекания струи защитного газа, он напрямую влияет на турбулентность потока, и, как следствие, на однородность профиля скоростей в потоке струи на выходе из сопла. Этот вывод следует из того, что характер течения защитного газа определяется формой проточной части горелки, то есть геометрией поверхности сопла и поверхности наконечника мундштука. Следовательно, от формы наконечника мундштука зависит и качество осуществляемой газовой защиты.

А, как нам известно, конструкция сварочной горелки должна обеспечивать по возможности однородный профиль скоростей, на выходе из сопла и максимально снизить степень турбулентности потока газа. Во избежание нарушения защиты при сварке, поверхности наконечника следует придать форму, улучшающую её обтекаемость, что позволит исключить образование циркуляционной зоны в пределах ядра струи

Поэтому, для сравнения, было взято два мундштука различной формы: мундштук с коническим наконечником и мундштук со скругленным наконечником.

Для получения данных для анализа использовалась ранее созданная математическая модель конфузорного сопла, созданная в программном комплексе ANSYS Fluent.

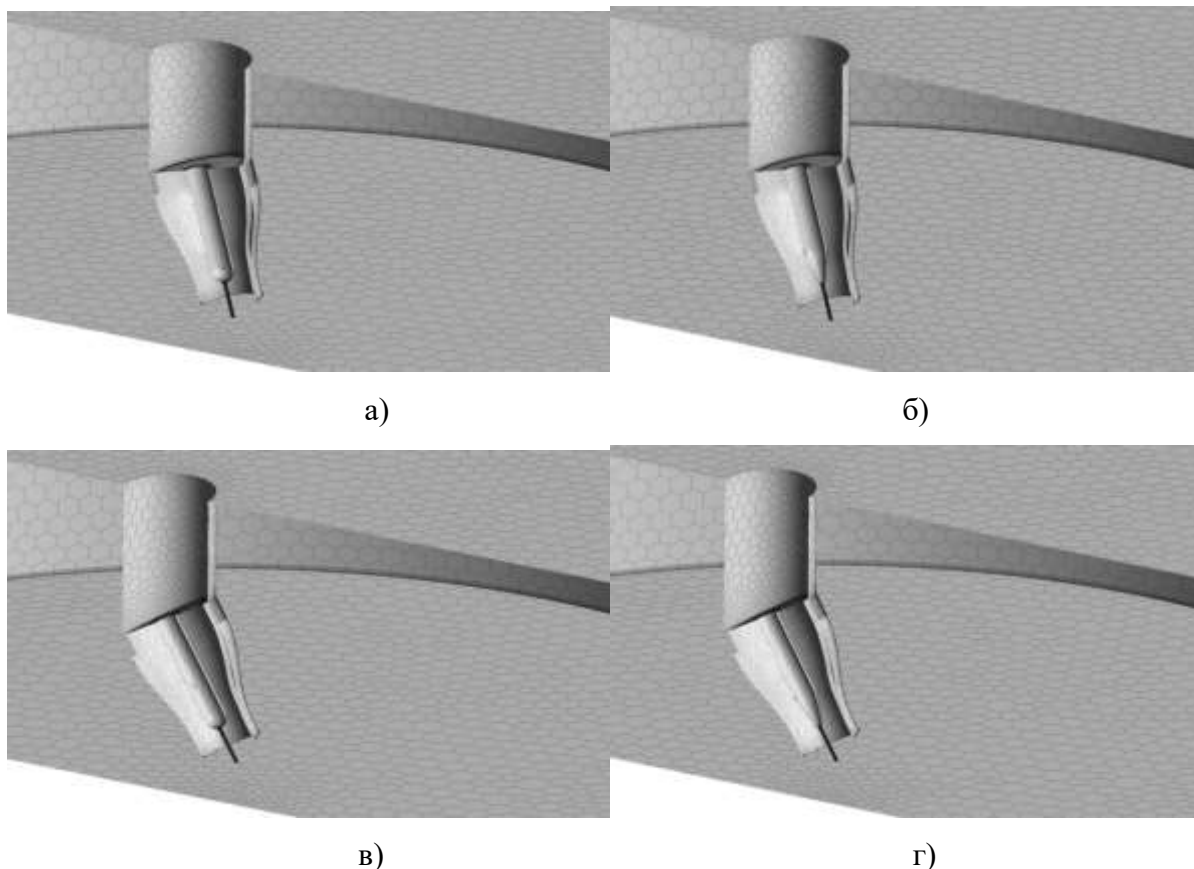
Теплообмен и движение в жидкости и газе в программе ANSYS Fluent моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих законы сохранения массы, импульса и энергии этих сред. Поскольку используемые в математической модели системы дифференциальных уравнений не имеют

аналитического решения, они приводятся к дискретному виду и решаются на некоторой расчетной сетке методом конечных объемов.

В качестве расчетной области рассматривается сопло сварочной горелки после пакета сеток и прилежащая область у выходного сечения сопла. На рисунке 2.25 приведен вид расчетных сеток для конического и круглого наконечника. Все сетки полиэдральные. Размер сетки, в среднем, для обоих случаев составляет 360000 ячеек. Размеры области: высота 0,1 м; радиус 0,2 м.

На входе в область задается равномерный профиль постоянной скорости течения газа, на стенках сопла задается условие прилипания, на границах внешней области задается условие свободного протекания газа и нулевое противодавление.

Предполагается, что расчетная область заполнена защитным газом, в данном случае аргоном. Для обоих случаев рассматриваются несколько величин расхода защитного газа 6, 12, 20 и 30 л/мин. Также рассматривали разные углы наклона сопла:  $0^\circ$ ;  $15^\circ$ ;  $30^\circ$ ;  $45^\circ$  и  $60^\circ$  (Рисунок 2.25).



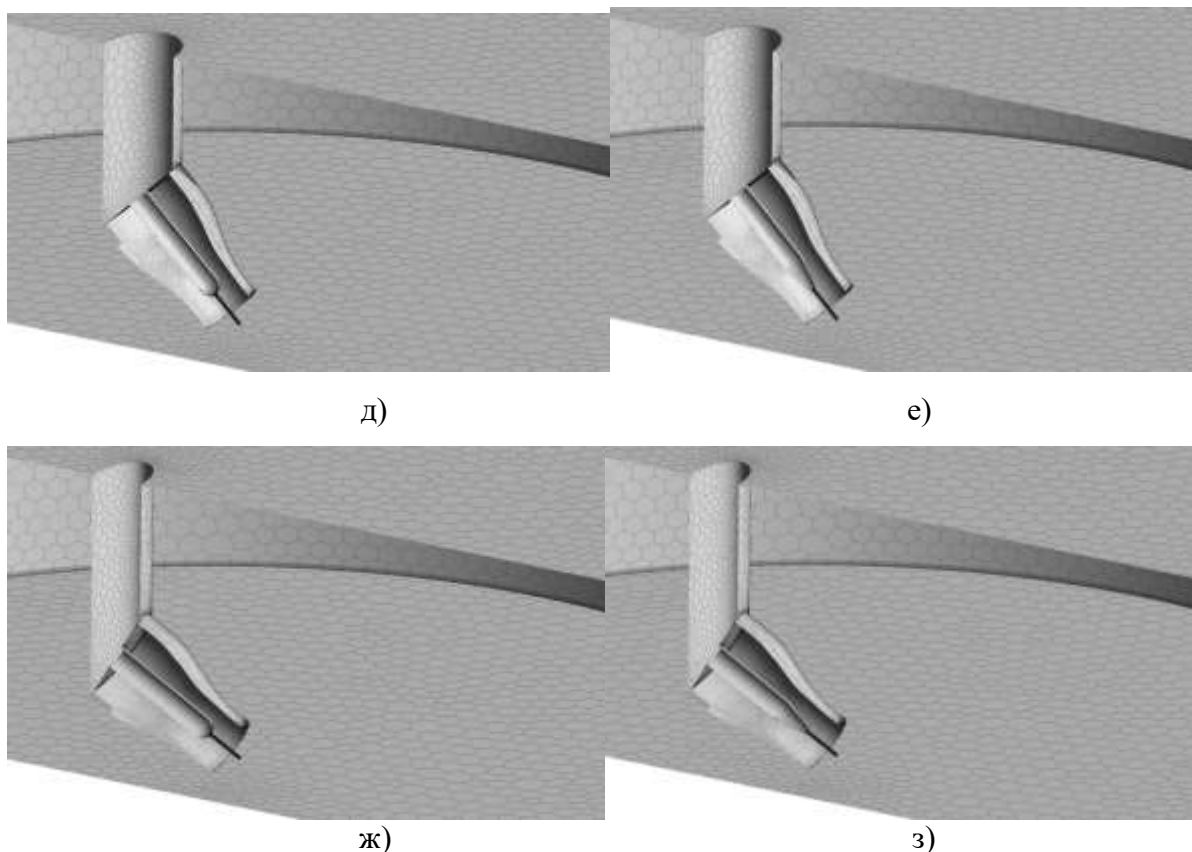


Рисунок 2.25. Вид расчетных сеток для конфузорного сопла с круглым наконечником мундштука (а, в, д, ж) и с коническим наконечником мундштука (б, г, е, з), при наклоне  $15^\circ$  (а, б);  $30^\circ$  (в, г);  $45^\circ$  (д, е) и  $60^\circ$  (ж, з)

При выполнении конечно-элементного анализа приняты следующие допущения: рабочая жидкость является ньютоновской, то есть чистой, не содержащей посторонних примесей и включений; рабочая жидкость не испытывает фазовых переходов, то есть находится в одном агрегатном состоянии; краевая задача постоянна.

Для адаптации математической модели к конкретной физической задаче в области пространства задали условия задачи. Первое граничное условие – это условие непроницаемости. Поток защитного газа принимали как турбулентный, адиабатный, несжимаемый.

Граничные условия: температура окружающей среды  $20^\circ\text{C}$ .

Давление на внешних границах расчетной области принималось равным атмосферному. В качестве текучей среды назначили аргон, в качестве окружающей атмосферы – воздух. На входе в сопло задавался равномерный

профиль скорости, соответствующий рабочему расходу, на стенках сопла задавалось условие прилипания.

Как видно из Рисунков 2.25 и 2.26 сами пятна концентрации на первый взгляд почти не отличаются, также, как и зоны покрытия защитным газом поверхности самой зоны сварки, а также вокруг неё. Красная зона – зона максимальной концентрации газа. Но если взглянуть на конкретные численные значения концентрации аргона в зоне сварки, при наклоне горелки под разными углами, с использованием наконечников различной формы, то станет очевидно существенное влияние формы наконечника на концентрацию защитного газа в зоне сварки (Рисунок 2.26).

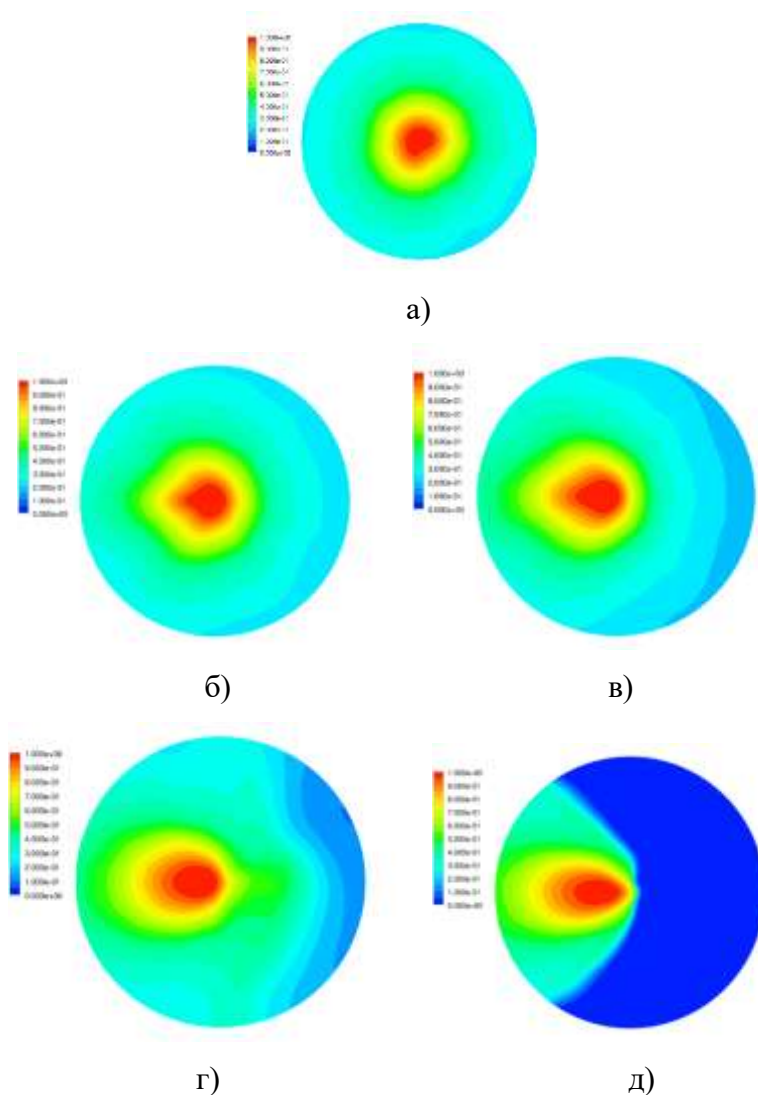


Рисунок 2.26. Концентрация защитного газа в зоне сварки с использованием конического наконечника, при расходе газа 30 л/мин и угле наклона горелки: 0° (а); 15° (б); 30° (в); 45° (г); 60° (д)

Диаграммы наглядно показывают, как влияет форма наконечника на концентрацию защитного газа в зоне сварки. И если при невысоких расходах защитного газа (до 12 л/мин) форма наконечника не сильно меняет показатели концентрации, то при высоких расходах (более 12 л/мин) форма наконечника оказывает значительное влияние на конечную концентрацию защитного газа в зоне сварки. И из этого всего можно сделать вывод, что форма наконечника действительно оказывает значительное влияние на концентрацию защитного газа в зоне сварки и, как следствие, на качество получаемых сварных соединений.

При сварке с использованием конфузорного сопла со скругленным наконечником мундштука, концентрация защитного газа значительно выше, нежели с использованием конфузорного сопла с коническим наконечником мундштука.

В таком случае, дальнейший вывод напрашивается сам собой: Использование конфузорного сопла со скругленным наконечником мундштука позволяет повысить концентрацию защитного газа в зоне сварки, а значит повысить эффективность газовой защиты и, как следствие, повысить качество получаемых сварных соединений. Оптимальным углом для сварки, обеспечивающим наивысшую концентрацию защитного газа в зоне сварки, является  $45^\circ$ .

Также о качестве осуществляемой газовой защиты в зоне сварки, в зависимости от использования конфузорного сопла с мундштуком с коническим или скругленным наконечником, можно судить по максимальной скорости истечения защитного газа на выходе из сопла.

Как известно, скорость истечения защитного газа напрямую влияет на жесткость и устойчивость струи при воздействии сносящих воздушных потоков, а значит по этим показателям мы также можем оценивать более высокую или низкую эффективность использования мундштука с коническим или со скругленным наконечником в конструкции горелки.



Для моделирования использовалась всё та же математическая модель конфузорного сопла, что и ранее. Эксперименты проводились под теми же углами наклона и с теми же расходами защитного газа, что и в предыдущем эксперименте (Рисунок 2.27).

По конкретным значениям, видимым на шкале скорости видно, что с использованием скругленного наконечника скорость истечения защитного газа на выходе из сопла выше, чем при использовании конического наконечника (Рисунок 2.28).

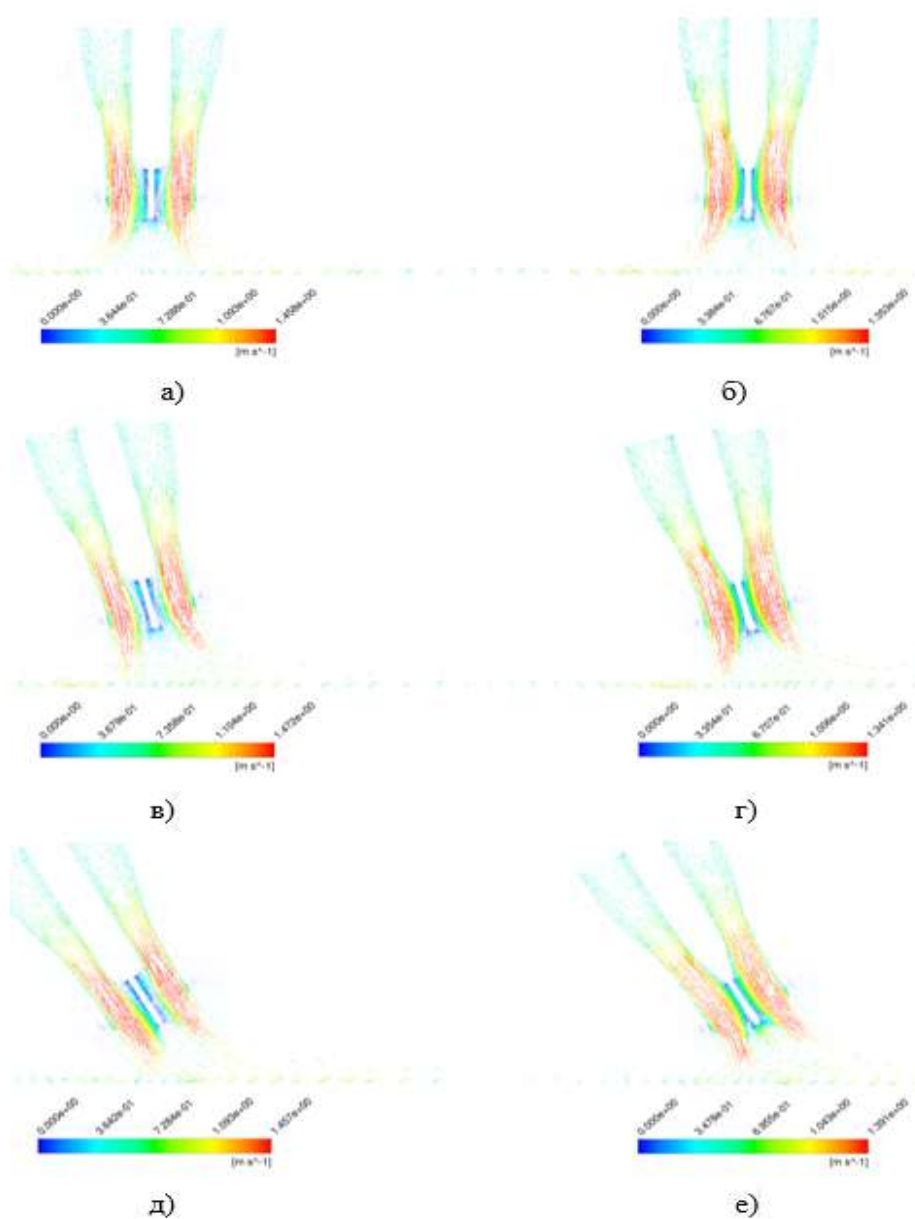


Рисунок 2.27. Векторная диаграмма поля скоростей в продольном сечении сопла с расходом газа 30 л/мин: под углом наклона 0° (а, б); 15° (в, г) и 30° (д, е) с использованием скругленного наконечника (а, в, д) и конического наконечника (б, г, е)



Как следствие, можем говорить о более уместном использовании скругленного наконечника для повышения жесткости струи, и её сопротивляемости воздействию сносящих воздушных потоков. Также можно сделать вывод о том, что конкретное влияние на повышение жесткости струи оказывает не только внутренняя геометрия поверхности сопла, но и геометрия формы наконечника мундштука.

Оптимальным углом наклона, для получения наивысшей скорости истечения защитного газа, можно было бы назвать наклон в  $0^\circ$ , но под таким углом сварка не ведется, да и на практике сварщику было бы весьма сложно удерживать горелку в идеально ровном положении длительное время, да ещё и не в ущерб качеству накладываемого шва. Поэтому оптимальным углом наклона можно считать наклон в  $15^\circ$ , т.к. именно при нём наблюдается наивысшая (после наклона в  $0^\circ$ ) скорость истечения защитного газа, а значит имеется наивысшая жесткость струи. Наименьшая же скорость истечения газа всегда наблюдается при наклоне горелки более  $45^\circ$ , в данном случае на графиках это можно видеть при наклоне в  $60^\circ$ .

Результаты моделирования позволяют с разных сторон подойти к исследованию влияния тех или иных возмущающих факторов на качество осуществляемой газовой защиты. Так, например, по линиям тока в зоне протекания защитного газа, можно судить о скорости истечения защитного газа, а также о завихрениях, возникающих при использовании мундштука с коническим или скругленным наконечником.

Из Рисунка 2.28 четко видно, что при одинаковом расходе защитного газа, а также при одинаковом угле наклона, в столбе потока на выходе из конфузорного сопла со скругленным наконечником, скорость истечения газа выше, а завихрения практически отсутствуют. В то же время, при рассмотрении конфузорного сопла с коническим наконечником видно, что скорость истечения снизилась, по сравнению с первым случаем, а в столбе потока истекающего газа присутствуют завихрения, снижающие ламинарность

потока и жесткость струи, и, как следствие, её устойчивость против сносящих воздушных потоков и эффективность газовой защиты сварочной ванны.

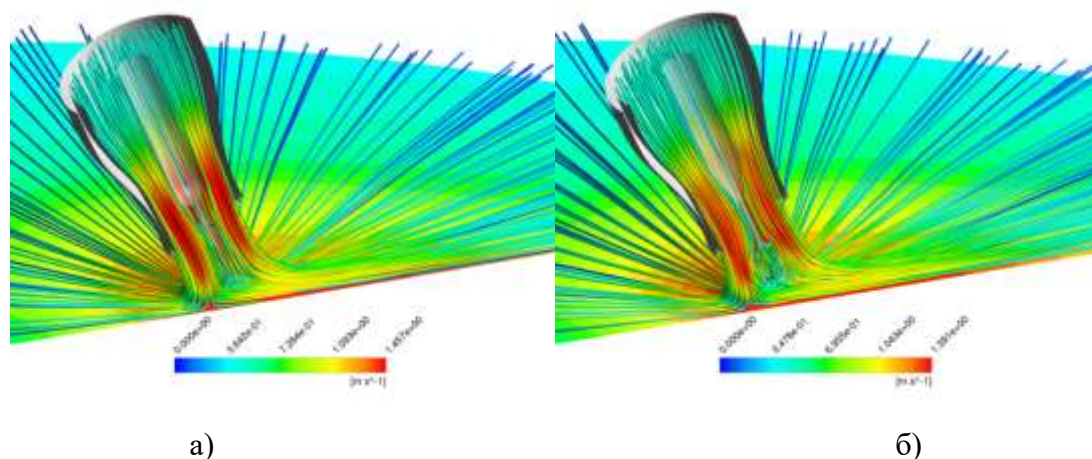


Рисунок 2.28. Расчетная область с линиями тока конфузорного сопла с круглым наконечником (слева) и с коническим наконечником (справа), при наклоне  $30^\circ$  и расходе 30 л/мин

При использовании круглого мундштука, вместо конического мы можем повысить качество получаемых сварных соединений в условиях воздействия сносящих воздушных потоков. Такой результат достигается за счет практически полного отсутствия завихрений в столбе потока защитного газа на выходе из сопла.

Таким образом, проанализировав результаты моделирования, можно сделать вывод о том, что приемлемым наклоном горелки, для получения значений концентрации защитного газа, а также скорости его истечения на выходе из сопла для создания наиболее эффективной защиты аргоном зоны сварки, для получения качественных сварных соединений, является промежуток наклона от  $15^\circ$  до  $45^\circ$ . Именно он позволяет получать максимально эффективные, для защиты сварочной ванны, численные значения важнейших показателей работы защитного газа в процессе сварки.

Также, использование мундштука со скругленным наконечником позволяет существенно сократить завихрения, образующиеся в зоне сварки.

Данные результаты экспериментов позволяют четко увидеть и проследить влияние формы наконечника, а также угла наклона горелки и расхода

защитного газа на эффективность защиты сварочной ванны от атмосферного влияния.

Идеальным вариантом будет при разработке проточной части сварочной горелки, помимо использования конфузорного сопла, выполненного по рассчитанной параболической кривой, рассчитать образующую, по которой необходимо выполнить наконечник мундштука. Необходимо также обращать внимание на зазор между наконечником и сварочной проволокой.

Выводы по обеспечению газодинамической устойчивости струи защитного газа.

- Выполнять технологические требования – соблюдение параметров режима сварки.

- Обеспечить газодинамическую устойчивость струи:

- увеличение скорости истечения газа,
- улучшение структуры струи защитного газа: совершенствование проточной части горелки, применение сеток во входном отверстии сопла, обеспечение определенного поджатия потока, обеспечение чистоты поверхности сопла.
- поддержание постоянного расстояния от торца сопла до поверхности.
- поддержание определенного угла наклона от нормали к поверхности.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1. Цель и задачи эксперимента

Необходимо подобрать определённый угол наклона горелки для более лучшего распределения газовой защиты при ветре и без ветра, так же сравнить сварочные проволоки и защитные газы, для определения более эффективного подбора сварочных материалов при сварке на ветру, а также при которых механические характеристики металла шва будут удовлетворять заданные требования. Исходя из условия, требуется выполнение следующих задач:

- Подобрать разные углы наклона горелки;
- Произвести сварку пластин, применяя разные типы проволок и газов;
- Произвести визуально-измерительный контроль дефектов;
- Произвести рентгенографическое исследование образцов;
- Провести испытания на твёрдость;
- Произвести химический анализ металла шва и околошовной зоны.

#### 3.2. Планирование эксперимента

В целях определения влияния возмущающих факторов, на газовую защиту при сварке в среде защитных газов проведена сварка образцов из конструкционной углеродистой стали ст3. Восемь образцов размерами  $10 \times 150 \times 75$  с односторонними скосами кромок по типу С8 ГОСТ 14771-76 (Рисунок 3.1).

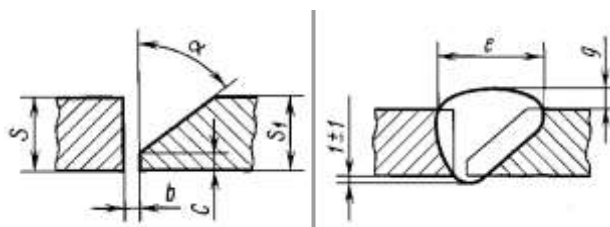


Рисунок 3.1. Сварное соединение С8 по ГОСТ 14771-76

Эксперимент заключается в сварке образцов пластин, под разными углами наклона сварочной горелки, с возмущающим фактором ветром, который был направлен вдоль направления сварки, и без ветра.

Экспериментируемыми углами были взяты  $30^\circ$  и  $60^\circ$ , сварка производилась углом назад по направлению ветра.

Расстояние между свариваемой пластиной и конца сопла ветрогенератора было задано 200 мм, что позволило произвести сварку со скоростью ветра от 2,6 до 3,2 м/с (Рисунок 3.2).

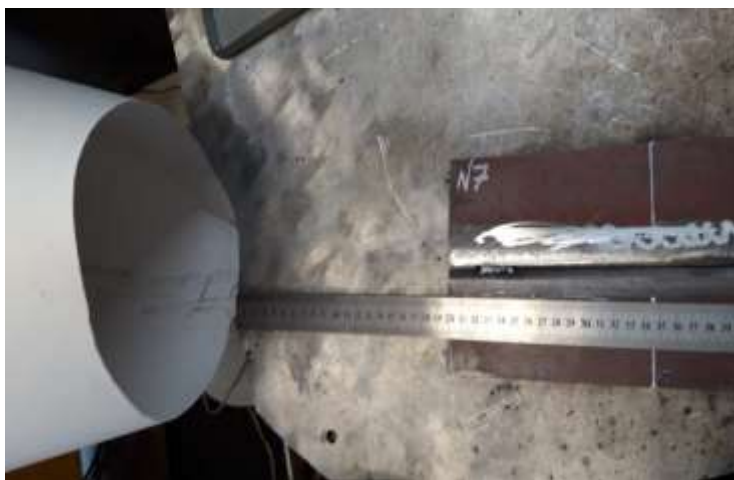


Рисунок 3.2. Расстояние между соплом и пластинами

Так же при сварке использовались разные сварочные материалы, такие как низкоуглеродистая проволока сплошного сечения, в сочетании с газовой смесью Ar 80 % и CO<sub>2</sub> 20 %, и рутиловая порошковая проволока в защитном газе CO<sub>2</sub>. Расчёты режимов сварки представлены в приложении 1.

### 3.3. Основной металл и сварочные материалы

Для проведения эксперимента, было принято произвести сварку на стальных пластинах марки Ст3 - углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества, применяют при изготовления несущих и ненесущих элементов и конструкций, а также деталей, работающих при положительных температурах. Восемь образцов размерами 10×150×75 с односторонними скосами кромок по типу С8 ГОСТ 14771-76.

Таблица 1 - Химический состав стали Ст3 [16]

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>N</b>	<b>Fe</b>	<b>S</b>	<b>P</b>
0,14 - 0,22	0,15 - 0,3	0,4 - 0,65	до 0,3	до 0,3	до 0,008	~97	до 0,05	до 0,04

Таблица 2 - Механические свойства стали Ст3 [16]

Предел текучести, $\sigma_{0,2}$ , МПа	Временное сопротивление разрыву, $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, $\delta_5$ , %
205 - 255	370 - 490	23 - 26

Сварка производилась двумя видами проволок и газа:

1 – Св-08Г2С 1,2мм ГОСТ 2246-70 проволока с низким содержанием углерода, для сварки углеродистых, низколегированных сталей, относящихся к группе 1 с классом прочности до К54. Временное сопротивление разрыву,  $\sigma_b$ , МПа 890 – 1340.

Таблица 3 - Химический состав проволоки Св-08Г2С [17]

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>V</b>	<b>Ti</b>	<b>Al</b>	<b>Cu</b>	<b>N</b>
0,05 - 0,11	0,7 - 0,95	1,8 - 2,1	< 0,03	< 0,025	< 0,2	< 0,15	< 0,25	< 0,05	< 0,04	< 0,05	< 0,25	< 0,01

Таблица 4 - Механические свойства проволоки Св-08Г2С [17]

Предел текучести, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Относительное удлинение, %	Температура, С°	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>
440	564	30	-20	69
			-40	56

2 – ESAB FILARC PZ6113S 1,2мм ENISO 17632-A: Универсальная газозащитная всепозиционная рутиловая порошковая проволока, предназначена для сварки во всех пространственных положениях, кроме сверху вниз, в чистом CO<sub>2</sub>. Сочетает более высокие прочностные свойства наплавленного металла, характерные для сварки в смеси аргона, и низкое содержание диффузионного водорода, характерное для сварки в чистой углекислоте, сварка производится на постоянном токе обратной полярности, конструкций из углеродистых и низколегированных конструкционных и судовых сталей.

Таблица 5 - Химический состав порошковой проволоки FILARCPZ6113S [15]

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Cu
0,07	0,45	1,3	0,5	0,2	0,2	0,8	0,5	0,3

Таблица 6 - Механические свойства порошковой проволоки FILARCPZ6113S [15]

Предел текучести, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Относительное удлинение, %	Температура, С°	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>
460	550-650	22	- 20	65
			- 30	54

3 – Углекислый газ CO<sub>2</sub> ГОСТ 8050-85- это бесцветный, не имеющий запаха или слегка кислый, негорючий и слабокислотный сжиженный газ, применяемый в сварке для защиты зоны сварки от атмосферного воздуха.

4 – Смесь газов 80 % Ar + 20 % CO<sub>2</sub> ГОСТ Р ИСО 14175-2010- используется для дуговой механизированной сварки как углеродистой и низкоуглеродистой стали, так и высоколегированных сплавов (нержавеющая и жаропрочная сталь).

### 3.4. Оборудование

Для сварки образцов был выбран сварочный аппарат для электродуговой полуавтоматической сварки EVOMIG Basic/ProFe/ProAL (Рисунок 3.3). Разработанный российскими инженерами сварочный полуавтомат, с уникальной конструкцией, модульной архитектурой силовой части, цифровой системой управления, собственным программным обеспечением ПО и библиотекой сварочных программ.. Аппараты собираются в Санкт-Петербурге, а печатные платы производятся в России.

Таблица 7 – Характеристики сварочного полуавтомата EvoMigBasic 350 [18]

Напряжение сети, В380
Мах сварочный ток, А350
Частота, Гц 50/60
Диаметр сварочной проволоки, мм 0.8 - 2.0
Напряжение холостого хода, В67
Класс защиты IP 34
Класс изоляции H
КПД, % 96
Скорость подачи проволоки, м/мин 1.0 - 25



Рисунок 3.3. Сварочного полуавтомата EvoMigBasic 350



В комплектацию сварочного аппарата входит стандартная сварочная горелка MB EVO PRO 24 3-метровая. Оснастка сварочной горелки, а именно сопло было подобрано по таблице, в зависимости от подачи газа (от 10 до 30 л/мин) и силы сварочного тока в диапазоне 140÷160 А.

С целью лучшего истечения газа, был модернизирован сварочный наконечник (мундштук), на токарном станке обработан до цилиндрической формы с закруглённым концом.

Скорость потоков при проведении исследований измеряли с помощью Анемометра Venetech GM816– маленький портативный прибор для измерения скорости и температуры ветра. (Рисунок 3.4).



Рисунок 3.4. Анемометр Venetech GM816

Таблица 8 - Характеристики Анемометра Venetech GM816

Диапазон измерения скорости воздуха	0 ~ 30 м/с, 0 ~ 90 км/ч, 0 ~ 55 узлов,
Погрешность измерения скорости воздуха	± 5%
Диапазон измерения температуры воздуха	От-10 до+45С (14-113F)
Погрешность измерения температуры воздуха	± 2С (3.6F)
Точность измерений	0.1 м/с, 0.2С
Электропитание	1*CR2032
Рабочая температура и влажность	От-10-45С (14-113F) и менее чем 90%

Для создания и фокусирования ветра, было применено фокусирующее сопло, установленное на обычный бытовой вентилятор. Характеристики сопла: начальный диаметр 450 мм, конечный диаметр 200 мм. (Рисунок 3.5).



Рисунок 3.5. Установка для подачи ветра

### 3.5. Сварка образцов

Сварку образцов была разделена на 8 отдельных итераций, они включали в себя: сварку в одинаковых режимах, изменение угла наклона горелки, применение разной газовой защиты и разных сварочных проволок.

Меняя углы наклона горелки, стояла задача определить более эффективный угол для лучшего распределения газовой защиты. На образцах 1,3,5,7 была произведена сварка под  $60^\circ$  углом наклона горелки, а на образцах 2,4,6,8 угол наклона горелки составил  $30^\circ$ .

## Образец №1.

Сварка первого образца производилась без ветра под углом наклона горелки  $60^\circ$ , сплошной проволокой в газовой смеси  $Ar+CO_2$  12 л/мин в 3 прохода (корневой, заполняющий, облицовочный).

Корневой шов показал малое разбрызгивание металла и практическое отсутствие видимых дефектов на поверхности шва, то же самое можно отнести и к заполняющему проходу (Рисунок 3.6).



Рисунок 3.6. Корневой проход образца №1

При облицовочном шве наблюдалась чуть большее разбрызгивание металла, и более уширенный сварной шов, отсутствие видимых дефектов (Рисунок 3.7).



Рисунок 3.7. Облицовочный проход образца №1

#### Образец №2.

Сварка второго образца производилась без ветра, под углом наклона горелки  $30^\circ$ , сплошной проволокой, в газовой смеси  $Ar+CO_2$  12 л/мин в 3 прохода (корневой, заполняющий, облицовочный).

Корневой шов под данным углом получился более равномерным, малое разбрызгивание металла, видимых дефектов не наблюдалось, то же самое можно отнести и к заполняющему проходу (Рисунок 3.8).



Рисунок 3.8. Корневой проход образца №2

Облицовочный шов, при данном наклоне угла горелки показал более ровный и узкий сварной шов, малое разбрызгивание металла, отсутствие видимых дефектов. (Рисунок 3.9).



Рисунок 3.9. Облицовочный проход образца №2

#### Образец №3.

Сварка третьего образца производилась с ветром от 2,6 до 3,2 м/с., под углом наклона горелки  $60^\circ$ , сплошной проволокой, в газовой смеси  $Ar+CO_2$  30 л/мин в 3 прохода (корневой, заполняющий, облицовочный).

В корневом проходе металла шва наблюдались многочисленные поры вдоль всего металла шва, неравномерный сварочный шов с множественными наплывами, так как сварка проходила на ветру брызг металла на пластинах не наблюдалось (Рисунок 3.10).



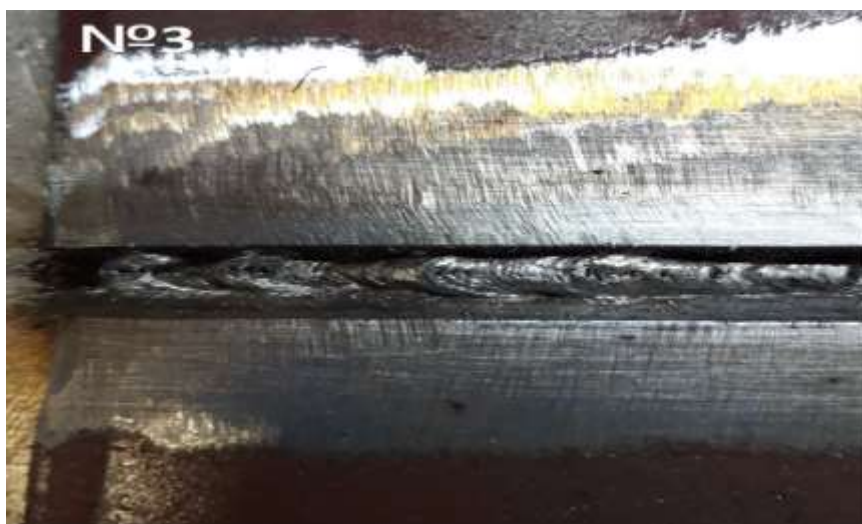


Рисунок 3.10. Корневой проход образца №3

В облицовочном шве так же наблюдались многочисленные поры и неравномерность геометрии шва, так же при сварке на ветру присутствует дискомфорт из-за брызг расплавленного металла на руки и тело сварщика, что сопровождало постоянному вздрагиванию руки из-за ожогов (Рисунок 3.11).



Рисунок 3.11. Облицовочный проход образца №3

#### Образец №4.

Сварка четвёртого образца производилась с ветром от 2,6 до 3,2 м/с, под углом наклона горелки 30°, сплошной проволокой, в газовой смеси  $Ar+CO_2$  30 л/мин в 3 прохода (корневой, заполняющий, облицовочный).

В этом случае корневой проход получился более успешным, так как несмотря на ветер, на большей части сварного шва не наблюдалось видимых дефектов и пор, шов получился равномерным и более сглаженным, но на конце сварного соединения все же наблюдаются дефекты в виде многочисленных пор, можно сказать на данное явление большим образом повлиял угол наклона горелки и разделка кромок пластин. (Рисунок 3.12).



Рисунок 3.12. Корневой проход образца №4

На облицовке шва сильно выражена нарушение геометрии и форма шва. Визуальным контролем больших по размерам пор выявлено не было, но наблюдалось скопление мелких пор и кратеров по все поверхности сварного шва (Рисунок 3.13).



Рисунок 3.13. Облицовочный проход образца №4

#### Образец №5.

Сварка пятого образца производилась без ветра, под углом наклона горелки  $60^\circ$ , порошковой проволокой, в газовой защите  $\text{CO}_2$  12 л/мин, в 3 прохода (корневой, заполняющий, облицовочный).

Корневой проход под данным углом показал, равномерный сварочный шов без видимых дефектов и разбрызгивания металла. Единственным минусом порошковой проволоки при корневом проходе, это проблематичное удаление шлака по краям сварного шва (Рисунок 3.14).





Рисунок 3.14. Корневой проход образца №5

Облицовочный проход без видимых дефектов, имеет небольшое разбрызгивание металла (Рисунок 3.15).



Рисунок 3.15. Облицовочный проход образца №5

#### Образец №6.

Сварка шестого образца производилась без ветра, под углом наклона горелки  $30^\circ$ , порошковой проволокой, в газовой защите  $\text{CO}_2$  12 л/мин, в 3 прохода (корневой, заполняющий, облицовочный).

Корневой проход под данным углом получился без видимых дефектов, с небольшим нарушением геометрии шва (наплывами), что можно отнести к человеческому фактору (Рисунок 3.16).



Рисунок 3.16. Корневой проход образца №6

Облицовочный шов без видимых дефектов, с небольшим разбрызгиванием металла (Рисунок 3.17).



Рисунок 3.17. Облицовочный проход образца №6

## Образец №7.

Сварка седьмого образца производилась с ветром от 2,6 до 3,2 м/с, под углом наклона горелки  $30^\circ$ , порошковой проволокой, в газовой защите  $\text{CO}_2$  30 л/мин, в 3 прохода (корневой, заполняющий, облицовочный).

Корневой шов, несмотря на двойную защиту газа и порошковой проволоки, получился с дефектным в виде множественных пор разных размеров, на протяжении всего сварного шва, и отсутствием какой-либо формы сварного шва (Рисунок 3.18).



Рисунок 3.18. Корневой проход образца №7

Облицовочный шов под данным углом оказался без видимых дефектов, и нормальной формой шва, с небольшим разбрызгиванием металла (Рисунок 3.19).

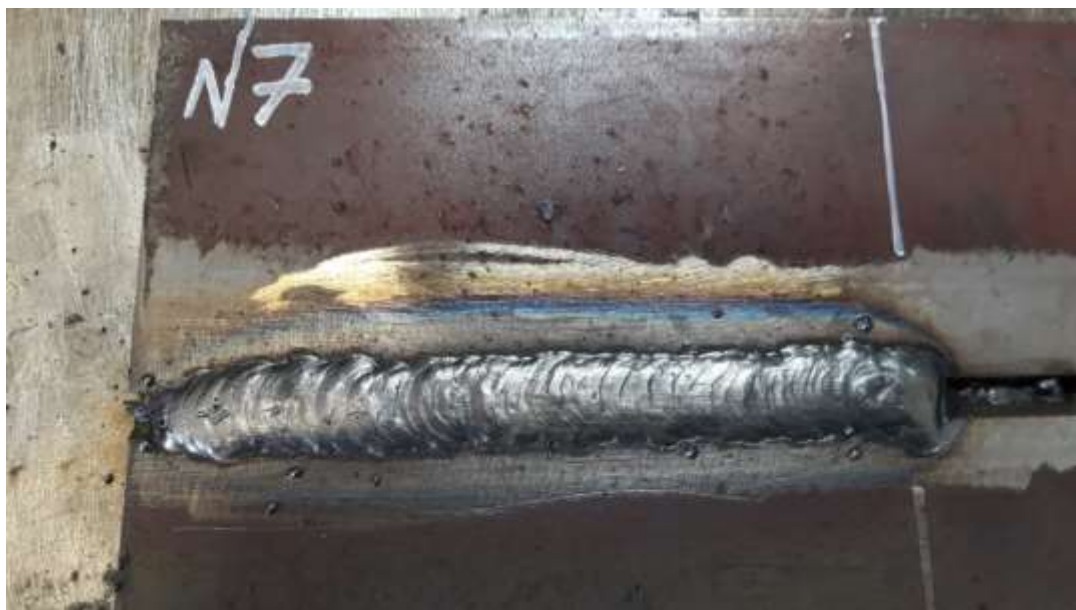


Рисунок 3.19. Облицовочный проход образца №7

#### Образец №8.

Сварка восьмого образца производилась с ветром от 2,6 до 3,2 м/с, под углом наклона горелки  $60^\circ$ , порошковой проволокой, в газовой защите  $\text{CO}_2$  30 л/мин, в 3 прохода (корневой, заполняющий, облицовочный).

В корневом проходе шва под данным углом наблюдались дефекты, в виде пор сосредоточенных посередине, вдоль металла шва (Рисунок 3.20).



Рисунок 3.20. Корневой проход образца №8



В облицовочном шве под данным углом, выявлены дефекты в виде скопления пор, сосредоточенных в середине сварного шва, так же нарушение геометрии шва в виде сильной выпуклости (Рисунок 3.21).



Рисунок 3.21. Облицовочный проход образца №8

### 3.6 Выводы раздела

Эксперимент показал, что на эффективность газовой защиты влияют все перечисленные выше параметры.

При сварке без ветра, все образцы имели только различие в форме шва, и различном разбрызгивании металла.

Однако, при сварке на ветру корневого прохода, более результативным показал себя образец № 4 (при 30° наклоном горелки, сплошной проволокой в газовой смеси CO<sub>2</sub> с расходом 30 л/мин) с наименьшим количеством пор и других видимых дефектов, но на том же образце остальные проходы показали не лучший результат, заполняющий и облицовочный проходы имели ярко выраженную пористость по всему периметру металла шва.

Лучшие результаты при сварке с ветром, заполняющем и облицовочном проходе показал образец № 7 (при 60° наклоне горелки, порошковой проволокой в газовой защите 100 % CO<sub>2</sub> с расходом газа 30 л/мин).

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЁННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

После выполнения эксперимента сварочные образцы были направлены в РСЗ МАЦ НАКС для более глубокого исследования дефектов.

Для более точного анализа дефектов было проведено рентгенографическое исследование пластин, измерение твёрдости и химический анализ металла шва и околошовной зоны образцов.

### 4.1. Рентгенографическое исследование

Для анализа внутренних дефектов сварного соединения был произведён неразрушающий контроль, а именно рентгенографический метод контроля. Исследование показало наличие множественных дефектов, а именно скопление пор, присутствующих как на поверхности, так и внутри сварных швов образцов, которые в процессе сварки были подвержены ветру.

Образцы сварных соединений, которые не подвергались ветру при сварке, в основном оказались без видимых дефектов на рентгеновских снимках, кроме непровара нижних кромок, и отсутствие обратного валика (Рисунок 4.1, 4.3).

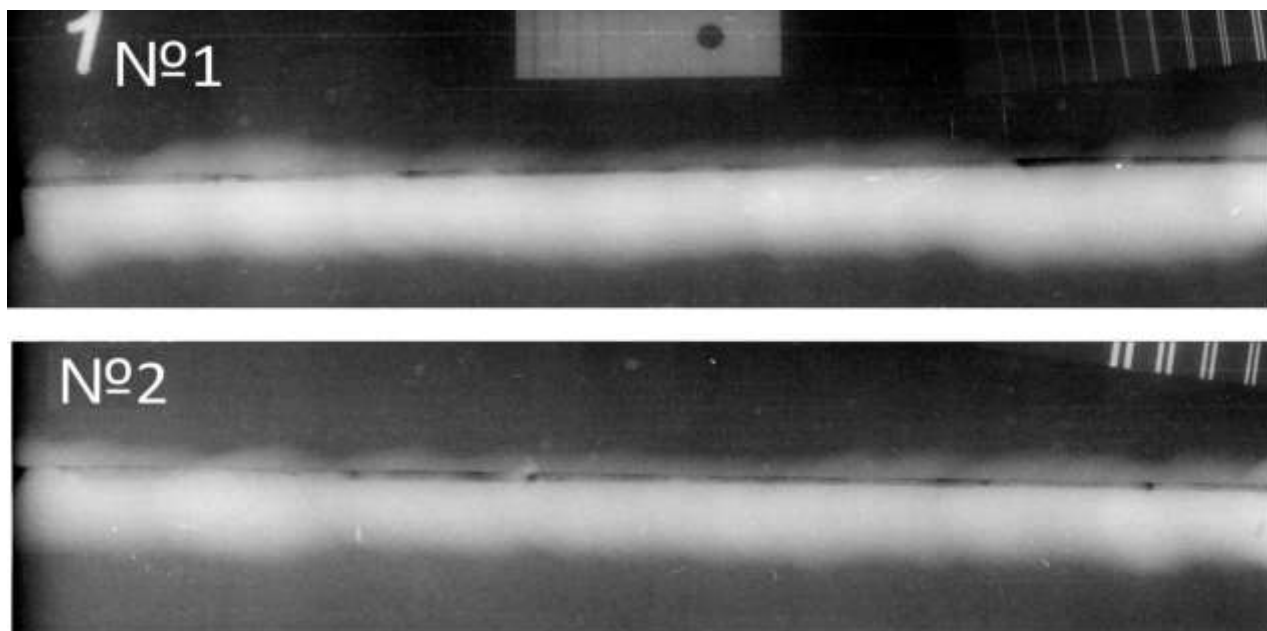


Рисунок 4.1. Образцы № 1 - 2. Сварка первого и второго образца производилась без ветра под углом наклона горелки: 1)60° 2)30°, сплошной проволокой 1,2 мм в газовой смеси с расходом 12 л/мин 80 % Ar + 20 % CO<sub>2</sub>

На снимках образцов под номерами 3 – 4 (Рисунок 4.2), которые подвергались ветру при сварке отчётливо видно множественное скопление пор по всей длине сварного соединения, как на поверхности, так и внутри сварного соединения. Более ярко выраженные поры на снимках отображают их присутствие на поверхности сварного шва, более тусклые (менее заметные) показывают наличие пор внутри сварного соединения.

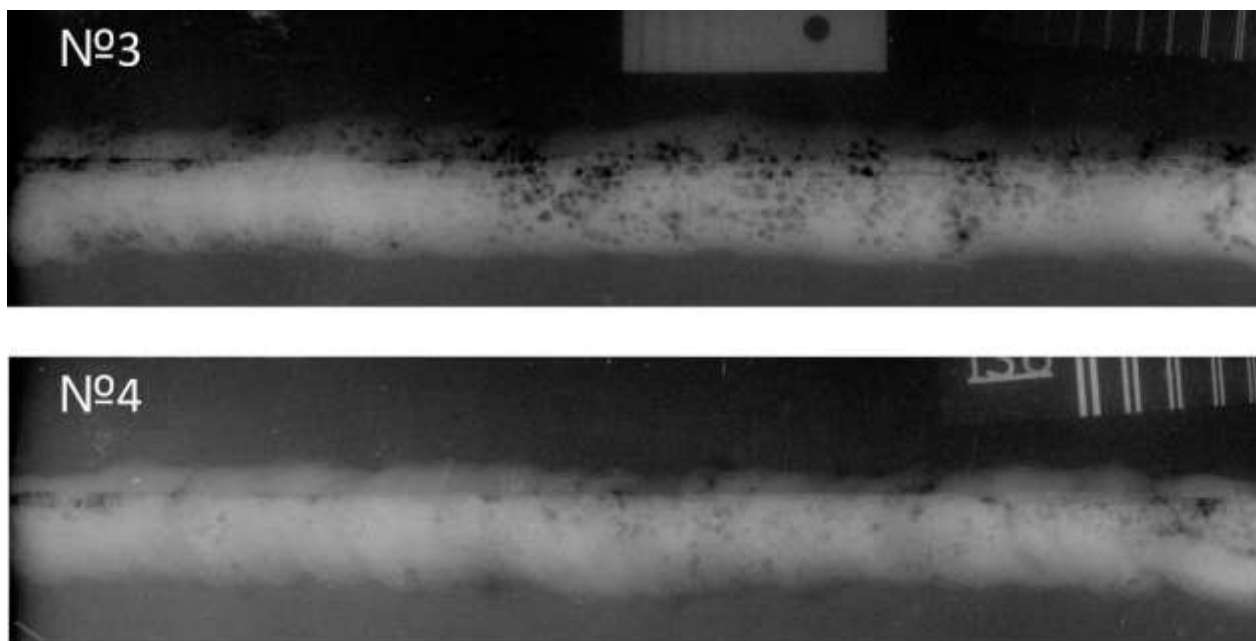


Рисунок 4.2. Образцы № 3 - 4. Сварка третьего и четвёртого образца производилась с ветром от 2,6 до 3,2 м/с под углом наклона горелки: 3)60° 4)30°, сплошной проволокой 1,2 мм в газовой смеси с расходом 30 л/мин 80 % Ar + 20 % CO<sub>2</sub>

Образцы 5 – 6, сварка пластин производилась порошковой проволокой в газовой защите CO<sub>2</sub> (Рисунок 4.3), так же не подвергались ветру, как образцы 1 – 2. На снимках не выявлено значимых дефектов, кроме непровара нижних кромок, и отсутствие обратного валика, по всей длине сварного соединения.

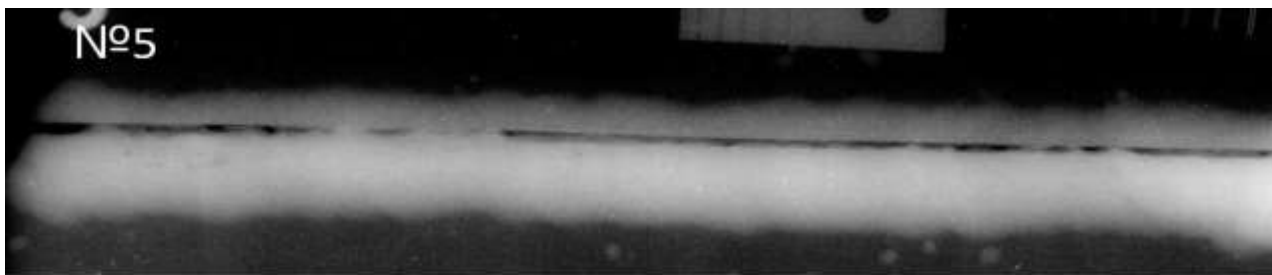


Рисунок 4.3. Образцы № 5 - 6. Сварка пятого и шестого образца производилась без ветра, под углом наклона горелки: 5)60° 6)30°, порошковой проволокой 1,2 мм в газовой защите CO<sub>2</sub> с расходом 12 л/мин.

На снимках образцов 5 – 8 сварка которых производилась порошковой проволокой в среде CO<sub>2</sub> (Рисунок 4.4), были обнаружены как внешние так и внутренние дефекты в виде пор и непровара нижних кромок по всей длине сварного соединения. Но результат образца № 7 показал лучший результат, имея только внутренние дефекты в виде пор и отсутствие пор на облицовочном проходе

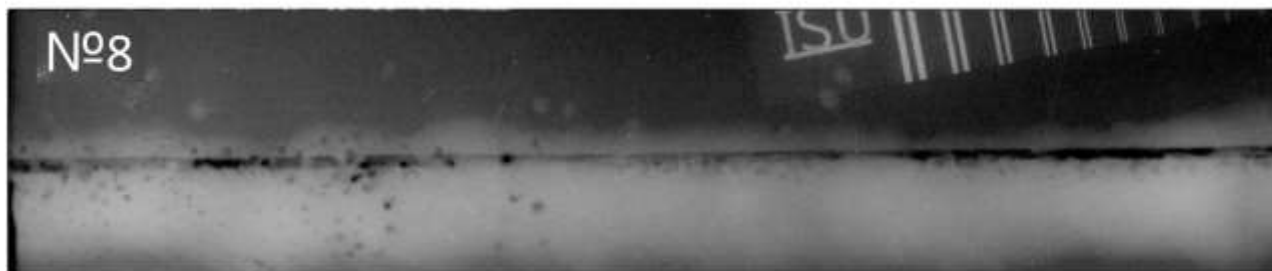
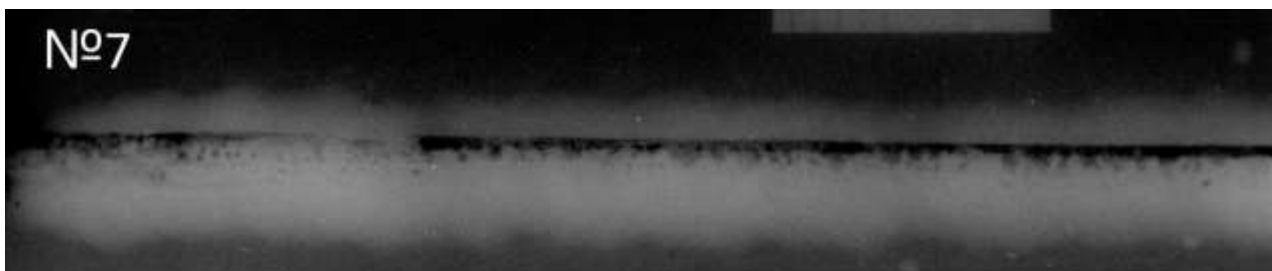


Рисунок 4.4. Образцы № 7 - 8. Сварка седьмого и восьмого образца производилась с ветром от 2,6 до 3,2 м/с под углом наклона горелки: 7)60° 8)30°, порошковой проволокой 1,2мм в газовой защите CO<sub>2</sub> с расходом 30 л/мин



## 4.2. Результаты рентгенографического исследования

Проведённое радиографическое исследование показало, большое количество дефектов на образцах, которые подвергались ветру при сварке. Внутри сварных соединений так же, как и на поверхности, по всей длине сварного шва, отчётливо видно высокое скопление пор, что является результатом нарушения газовой защиты.

Однако некоторые образцы показали меньшее количество дефектов, что показывает нам зависимость угла наклона сварочной горелки, и расхода защитного газа, так образец №4 сваренный под углом  $30^\circ$ , сплошной проволокой 1,2 мм в газовой смеси с расходом 30 л/мин 80 % Ar + 20 % CO<sub>2</sub> показывает наиболее меньшее количество дефектов на корневом и заполняющем проходе, облицовочный проход не показал хороших результатов, так как поры присутствовали по всей длине сварного шва. При заполняющем и облицовочном проходе хорошие результаты дал образец №: 7 сварка производилась под углом горелки  $60^\circ$ , порошковой проволокой 1,2мм в газовой защите CO<sub>2</sub> с расходом 30 л/мин, на данном образце корневой шов показал наличие множества дефектов, а заполняющий и облицовочный проход оказался с меньшим количеством или полным отсутствием дефектов.

## 4.3. Результаты измерения твердости

Измерение твердости металла шва, околошовной зоны и основного металла осуществляли с шагом 5 мм на поперечных макрошлифах по шкале Виккерса твердомером с алмазной пирамидой по ГОСТ 2999-75 на стационарном твердомере DuraScan-20, заводской номер 568, поверка до 07.02.2022 г., Рисунок 4.5. [26]. При изготовлении макрошлифов производили шлифование поверхности до шероховатости не менее Ra = 1,25 мкм. Результаты измерения твердости представлены в табл. 8.

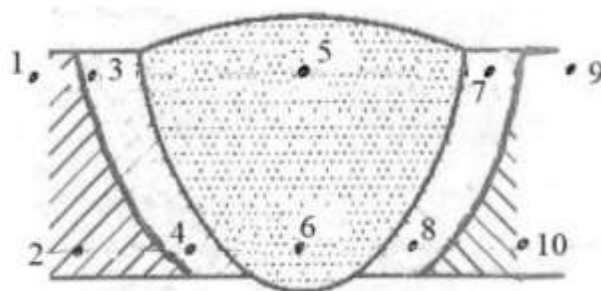


Рисунок 4.5. Схема измерения твердости по Виккерсу по двум линиям

Таблица 9 – Измерения на твёрдость образцов по Виккерсу по двум линиям

№ образца*	Тип сварного соединения	Основной металл				ЗТВ				Шов	
		№ точки	HV <sub>10</sub>	№ точки	HV <sub>10</sub>	№ точки	HV <sub>10</sub>	№ точки	HV <sub>10</sub>	№ точки	HV <sub>10</sub>
1	С	1	143	9	145	3	166	7	167	5	182
		2	144	10	146	4	172	8	166	6	173
2	С	1	147	9	145	3	170	7	167	5	183
		2	148	10	147	4	188	8	185	6	176
3	С	1	151	9	146	3	192	7	174	5	164
		2	153	10	147	4	225	8	195	6	204
4	С	1	147	9	145	3	228	7	212	5	198
		2	149	10	147	4	180	8	177	6	176
5	С	1	148	9	143	3	205	7	175	5	210
		2	149	10	145	4	238	8	206	6	214
6	С	1	147	9	145	3	169	7	182	5	221
		2	145	10	144	4	171	8	187	6	192
7	С	1	145	9	146	3	202	7	204	5	211
		2	144	10	145	4	174	8	189	6	205
8	С	1	143	9	148	3	180	7	187	5	197
		2	144	10	146	4	182	8	171	6	219

\* Примечание: Измерение твёрдости проводилось на стационарном твердомере DuraScan-20, зав. номер 568, поверка до 07.02.2022 по Виккерсу (ГОСТ 2999-75)

Поскольку прямых измерений механических характеристик провести не было возможности, оценить механические свойства сварных соединений, полученных на образцах, можно косвенным образом по переводным таблицам. Зная твердость сварного соединения, измеренную по Виккерсу, можно примерно узнать предел прочности при растяжении, Рисунок 4.6.

## Проверочная таблица твердости

Предел прочности при растяжении, твердость по Бринелю, Виккерсу и Роквеллу (выдержка из DIN 50150)

Предел прочности при растяжении R <sub>m</sub> Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Виккерсу HV	Твердость по Бринелю HB	Твердость по Роквеллу HRC
255	80	76,0	
270	85	80,7	
285	90	85,5	
305	95	90,2	
320	100	95,0	
335	105	99,8	
350	110	105	
370	115	109	
385	120	114	
400	125	119	
415	130	124	
430	135	128	
450	140	133	
465	145	138	
480	150	143	
495	155	147	
510	160	152	
530	165	156	
545	170	162	
560	175	166	
575	180	171	
595	185	176	
610	190	181	
625	195	185	
640	200	190	
660	205	195	
675	210	199	
690	215	204	
705	220	209	
720	225	214	
740	230	219	
755	235	223	
770	240	228	20,3
785	245	233	21,3
800	250	238	22,2
820	255	242	23,1
835	260	247	24,0
850	265	252	24,8
865	270	257	25,6
880	275	261	26,4
900	280	266	27,1
915	285	271	27,8
930	290	276	28,5
950	295	280	29,2
965	300	285	29,8
995	310	295	31,0
1030	320	304	32,2
1060	330	314	33,3
1095	340	323	34,4
1125	350	333	35,5
1155	360	342	36,6
1190	370	352	37,7
1220	380	361	38,8
1255	390	371	39,8
1290	400	380	40,8
1320	410	390	41,8
1350	420	399	42,7
1385	430	409	43,6

Предел прочности при растяжении R <sub>m</sub> Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Виккерсу HV	Твердость по Бринелю HB	Твердость по Роквеллу HRC
1420	440	418	44,5
1455	450	428	45,3
1485	460	437	46,1
1520	470	447	46,9
1555	480	(456)	47,7
1595	490	(466)	48,4
1630	500	(475)	49,1
1665	510	(485)	49,8
1700	520	(494)	50,5
1740	530	(504)	51,1
1775	540	(513)	51,7
1810	550	(523)	52,3
1845	560	(532)	53,0
1880	570	(542)	53,6
1920	580	(551)	54,1
1955	590	(561)	54,7
1995	600	(570)	55,2
2030	610	(580)	55,7
2070	620	(589)	56,3
2105	630	(599)	56,8
2145	640	(608)	57,3
2180	650	(618)	57,8
	660		58,3
	670		58,8
	680		59,2
	690		59,7
	700		60,1
	720		61,0
	740		61,8
	760		62,5
	780		63,3
	800		64,0
	820		64,7
	840		65,3
	860		65,9
	880		66,4
	900		67,0
	920		67,5
	940		68,0

Пересчет твердости согласно данной таблице дает приблизительную точность. См. DIN 50150.

Предел прочности при растяжении	Н/мм <sup>2</sup>	R <sub>m</sub>
Твердость по Виккерсу	Алмазная пирамида 136° Контрольная сила F ≥ 98 Н	HV
Твердость по Бринелю	$0,102 \times F/D^2 = 30 \text{ Н/мм}^2$ F = Контрольная сила в Н D = Диаметр шара в мм	HB
Твердость по Роквеллу С	Алмазный конус 120° Общая контрольная сила 1471 ± 9 Н	HRC

Рисунок 4.6. Проверочная таблица твердости

Результаты измерения твердости сварных соединений показали изменения физическо-химических показателей в металле шва, и в зоне термического влияния. На основном металле, измерения не показали значимых отклонений от исходных характеристик сталей. Однако на металле шва, и в зоне термического влияния показатели твёрдости возросли.

Под воздействием термического цикла сварки в зоне термического влияния (ЗТВ) сварных соединений, формируются закалочные структуры, характеризующиеся большими значениями твердости при низких значениях вязкости. Поэтому на ЗТВ приходится наибольшая доля образующихся в процессе сварки холодных трещин.

Увеличение твёрдости металла шва и (ЗТВ) показали образцы, сваренные как с возмущающими факторами, так и без них, что не позволяет наблюдать полной зависимости газовой защиты на изменение структуры и физических свойств стали, Рисунок 4.7.

Самые значимые изменения приходятся на зону термического влияния, всех образцов, где показатели твёрдости в среднем достигли от 166 до 238 HV, что в переводе на предел прочности равен от 530 до 770 МПа, что показывает изменение структуры (ЗТВ), и присутствие закалочных структур.

При измерениях на твёрдость металла шва, присутствует разница показателей, что можно отнести к используемым сварочным материалам и разной газовой защите. Так при сварке проволокой 08Г2С в среде смеси 80% Ar + 20% CO<sub>2</sub>, показали меньшие показатели твёрдости, чем сварка порошковой проволокой в газовой защите 100% CO<sub>2</sub>, с разницей в 10%. Полученные данные показали, что при сварке в газовой смеси ArCO<sub>2</sub> образование закалочных структур меньше чем при сварке в CO<sub>2</sub>.

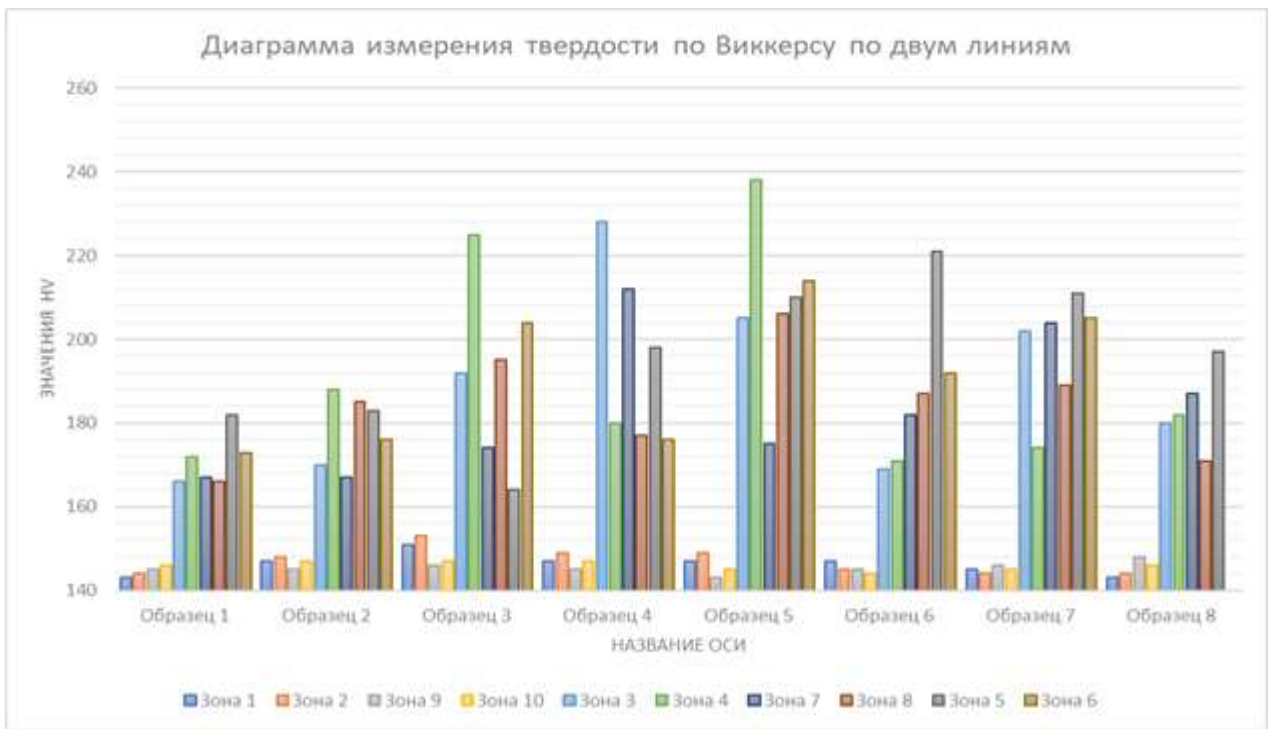


Рисунок 4.7. Изменение средней величины твердости HV по двум линиям шва

#### 4.4. Результаты химического анализа

При выполнении эксперимента, на защитную струю газа оказывали воздействие ветра, что приводит к нарушению защиты зоны сварки, и интенсивному взаимодействию его с атмосферным воздухом.

В результате снижается качество сварного соединения, так как из-за сдувания защитной струи при сварке на ветру увеличивается выгорание кремния, марганца и других легирующих элементов, повышается пористость металла сварного шва, и увеличивается содержание азота, что приводит к появлению дефектов. Кроме того, одновременное присутствие в зоне сварки кислорода, азота и водорода, как правило, усиливает их отрицательное влияние на качество и свойства сварного шва. Это объясняется появлением пористости в металле шва, и окисных включений по границам зерен.

Азот образует в стали нитриды железа и других элементов. Нитриды и карбонитриды повышают прочность и твердость, вместе с тем резко снижают ударную вязкость, а также температуру перехода металла швов в хрупкое

состояние при низких температурах. Азот практически полностью остается в металле, и его конечное содержание в металле шва принято считать показателем эффективности газовой защиты.

Кислород в металле шва образует окислы железа, которые при охлаждении образуют шлаковые прослойки между зернами металла, неметаллические включения, что приводит к резкому снижению прочности, пластичности и особенно значительно снижается ударная вязкость при низких температурах.

При повышении концентрации водорода значительно увеличивается чувствительность высокопрочных сталей к холодным трещинам. Образование холодных трещин обусловлено критическим сочетанием структурного и водородного факторов при определенных значениях сварочных напряжений.

Химический анализ образцов проводился по поверхности сварного соединения по ГОСТ 18895 рентгенофлуоресцентным анализатором «S1 TurboSD LE», заводской номер LE 1964, поверка до 18.08.2021 г. (Табл. 9).

Таблица 10 - Химический анализ поверхности сварного соединения

№№*	Химические элементы, %						
	Mn	Si	V	Cu	Ti	Mo	Fe
1	0,97	0,38	0,15	0,06	0,09	-	98,35
2	1,15	0,39	0,12	0,05	0,08	-	98,21
3	1,20	0,42	0,14	-	0,09	-	98,15
4	1,28	0,39	0,11	0,06	0,09	-	98,07
5	1,13	0,25	0,15	-	0,09	0,07	98,31
6	0,93	0,21	0,11	-	0,12	-	98,63
7	1,22	0,23	0,12	-	0,08	0,08	98,27
8	1,10	0,16	0,13	-	0,08	0,06	98,47

\* Примечание: Химический анализ проводился по поверхности сварного соединения рентгенофлуоресцентным анализатором «S1 TurboSD LE», заводской номер LE 1964, поверка до 18.08.2021

В условиях ветра по сравнению со швом, выполненным без ветра, средние значения кремния, марганца, ванадия, титана в сварном соединении увеличились, соответственно на 3,4 %; 3,5 %; 2,2 %, 2,9 % что свидетельствует об улучшении газовой защиты и уменьшении выгорания легирующих элементов с повышенным средством к кислороду (Рисунок 4.8).

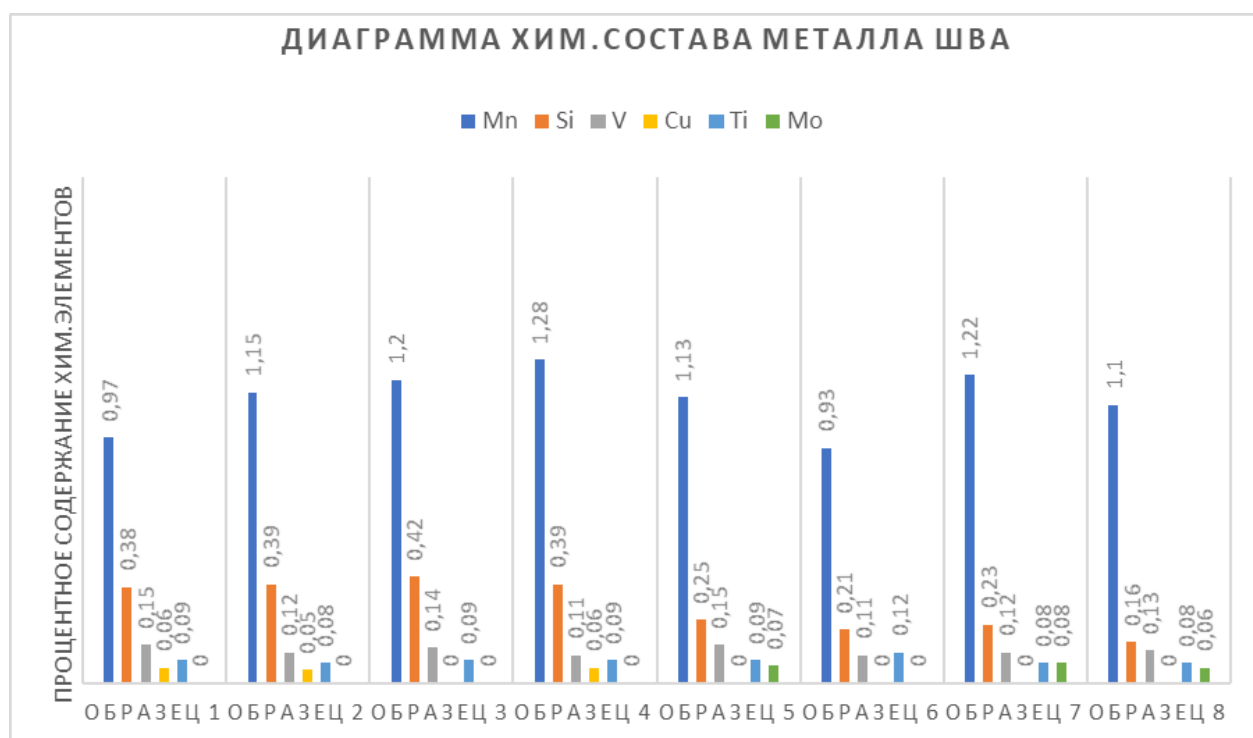


Рисунок 4.8. Химический состав металла шва образцов

Из анализа полученных данных следует, что при сварке как сплошной, так и порошковой проволокой сформировались сварные соединения с различными значениями твердости по сечению сварного шва. Твердость максимальна в зоне термического влияния, и минимальна в зоне металла шва. Однако, сварное соединение по всему сечению отвечает требованиям нормативной документации.

При сварке прикорневой части шва происходит интенсивное перемешивание наплавленного и основного металла, в результате чего снижается общий уровень микролегирования металла шва в прикорневой зоне. Со снижением микролегирования металла шва, в результате перемешивания металла шва с основным металлом, могут снижаться значения ударной вязкости и механических свойств металла шва.

Для эффективного действия микролегирования и достижения высоких вязко-пластических свойств сварного соединения при отрицательных температурах, крайне важно придерживаться технологии сварки, обеспечивающий минимальный градиент температуры по сечению сварочной

ванны при ее кристаллизации. Это достигается минимизацией размеров сварочной ванны за счет контроля угла наклона и поперечных колебаний сварочной горелки, снижения напряжения на дуге.

При увеличении напряжения на дуге происходит выгорание микролегирующих добавок. Использование порошковой проволоки обеспечивает оптимальный химический состав наплавленного металла и металла шва. Наличие титана может способствовать образованию игольчатого феррита внутри зерен, при этом содержание титана в металле шва должно быть в пределах 0,036 – 0,056 %. Превышение титана выше данных значений может привести к охрупчиванию металла шва.

Газовая смесь оказывает положительное влияние практически на все параметры режима сварки. Результаты исследований показывают, что газовая смесь 80 % Ar + 20 % CO<sub>2</sub> по сравнению с чистым CO<sub>2</sub>, способствует повышению предела прочности примерно на 6 %, ударной вязкости при температуре +20 °C на 41 %, а при температуре -40 °C на 49 %.

Если сравнивать два способа защиты сварочной ванны – чистый углекислый газ или аргоносодержащие многокомпонентные газовые смеси, то можно сделать вывод в пользу применения газовых смесей. Использование газовой смеси имеет следующие преимущества:

- Перенос становится мелкокапельным, что приводит к снижению разбрызгивания электродного металла, а набрызгивание электродного металла на сварной шов и околошовную зону снижается в 8-10 раз.
- Особенно важен тот факт, что механические свойства сварного соединения, в частности предел прочности, увеличиваются примерно на 6 %, относительное удлинение увеличивается на 10 %, а ударная вязкость увеличивается существенно от 1,5 до 2 раз, что имеет огромное значение для металлоконструкций, работающих на открытых площадках в условиях отрицательных температур.



- Линия перехода от наплавленного металла к основному металлу становится более плавной, что уменьшает вероятность образования очагов трещинообразования в зоне сплавления;
- Стабилизируется процесс сварки и улучшается качество металла шва (снижение пористости и неметаллических включений);
- Снижается расход газовой смеси за счет большей эффективности газовой защиты, что особенно важно при работе на открытых площадках в связи с повышенным расходом газа.

При сварке порошковой проволокой рутилового типа, при больших токах сварочная ванна интенсивно поглощает газы, что приводит к пористости. В связи с этим сила тока ограничена, что снижает производительность сварки. Проволоки обеспечивают высокую ударную вязкость и могут рекомендоваться для сварки конструкций, работающих в сложных климатических условиях.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что динамическое воздействие защитной среды на сварочную ванну позволяет стабилизировать процесс перемешивания металла шва с основным металлом и гарантировать равные условия кристаллизации сварочной ванны при технологических изменениях процесса сварки.

## 5. ВЫВОДЫ

1. На основании моделирования в программе ANSYS установили распределение концентрации защитного газа в зависимости от скорости и направления ветра, расстояния от сопла до свариваемой поверхности, расхода газа. Установили, что эффективность газовой защиты зависит от множества параметров: скорости ветра, режимов сварки, конструкции горелки и формы сопла, техники сварки.

2. На основе анализа технических решений и расчетно-экспериментальных данных, модернизировали универсальный стенд с многорежимной аэродинамической трубой, и автоматической системой управления стендом, который позволяет моделировать процесс сварки как без ветра, так и в условиях ветра, при различных скоростях истечения газа из сопла горелки, и скоростях ветра с резкими усилениями.

3. На основе расчетно-экспериментального метода установили, что в условиях влияния ветра на газовую защиту, протяженность ядра газовой струи и эффективность газовой защиты можно определить скоростью и режимом истечения струи (турбулентным или ламинарным), геометрическими размерами сопла и мундштука сварочной горелки. Подтверждено, что эффективность газовой защиты и стабильность сварочной дуги повышается при увеличении скорости истечения защитной струи из конфузторного сопла сварочной горелки, с установленным перед входным отверстием пакетом сеток, а также при использовании мундштука обтекаемой формы.

4. На основе расчетно-экспериментальных данных определены оптимальные параметры режима сварки в условиях ветра в зависимости от соотношения скоростей газовой струи и ветра, а также от расстояния между соплом и свариваемой поверхностью, при которых сохраняется эффективная газовая защита, а также установлена между ними аппроксимационная связь.

5. На основе моделирования истечения защитной газовой струи в программе ANSYS и экспериментального моделирования на универсальном стенде, с высокой степенью достоверности создана модель истечения газовой струи, установлено распределение продольного и поперечного поля скоростей истечения струи в зависимости от формы сопла, расхода защитного газа, начальной скорости газовой струи на входе в сопло и расстояния до свариваемой поверхности.

6. На основе цифрового моделирования в среде ANSYS обнаружена и экспериментально подтверждена возможность управления эффективностью газовой защиты в условиях ветра за счет стабилизации и увеличения размеров ядра защитной газовой струи при высоких скоростях истечения из конфузорного сопла сварочной горелки.

7. На основе моделирования в среде ANSYS и проведенных экспериментов установлено, что при истечении защитного газа из конфузорного сопла с использованием мундштуков с наконечниками различной формы, наилучшие результаты эффективности газовой защиты были достигнуты с применением скругленного наконечника.

8. На основе моделирования и экспериментов установлено, что оптимальным углом наклона горелки от вертикальной оси, при котором обеспечивается эффективная защита и высокие механические свойства, определен угол от  $30^\circ$  до  $45^\circ$ .

9. Проведенные экспериментальные исследования путем механизированной сварки образцов сплошной и порошковой проволокой при различных углах наклона горелки и различных формах мундштука доказали, необходимость применения на открытых площадках при сварке арктических конструкций, помимо специализированной сварочной горелки, порошковой проволоки и смеси защитных газов.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Математическое моделирование газодинамики защитной струи открывает большие возможности для исследования особенностей газовой защиты при различных технологических условиях сварки, их влияния на свойства сварных соединений и создания технологии дуговой сварки конструкций, работающих в условия Арктики и Крайнего Севера.

В дальнейшем требуется разработка стандартов, применимых к хладостойким материалам, используемым при строительстве арктических конструкций, так как на данный момент не существует стандартов, регулирующих нормы нагрузок, требования к материалам, требования к технологиям, к контролю и качеству сварных швов.

Разработки, выполненные в рамках данного направления, могут стать универсальным ключом к эффективному решению фундаментальной задачи повышения эксплуатационных показателей конструкций из высокопрочных сталей, в условиях низких климатических температур и экстремальных условиях, которое может определить процесс развития энергетики в регионах Арктики и Крайнего Севера.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ


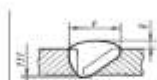

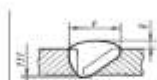

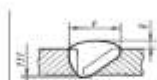
1. Горынин И.В., Хлусова Е.И. Наноструктурированные стали для освоения месторождений шельфа Северного Ледовитого океана // Вестник РАН, 2010, № 12. С. 1069-1075.
2. Горынин И.В., Малышевский В.А., Рыбин В.В., Хлусова Е.И. Хладостойкие стали для технических средств освоения арктического шельфа // Вопросы материаловедения, 2009, № 3. С. 108-125.
3. Иванова И.В. Сварка в защитных газах на ветру – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 201 с.
4. Лебедев В.А., Орыщенко А.С., Шарапов М.Г. Полуавтоматы для дуговой сварки и смежных технологий. 2013 г. – 587 с.
5. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
6. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение. 1981. 247 с.
7. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов. – Москва: Изд-во МГТУ, 2014. – 488 с.
8. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. М.: Машиностроение, 1979. 231 с.
9. Орыщенко А.С., Хлусова Е.И., Шарапов М.Г. Принципы легирования, структура, свойства и свариваемость конструкционных низколегированных сталей для судостроения и морской техники. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2016. 116 с.
10. Паршин С.Г., Иванова И.В. Исследование сварочной дуги в защитных газах в условиях воздействия воздушных потоков // Сварка и диагностика, 2016, № 2. С. 46-48.
11. Паршин С.Г., Иванова И.В., Петухов Е.П. Компьютерная трехмерная модель истечения защитного газа из сварочной горелки с конфузормым соплом

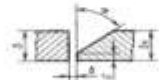
- // Сварка и диагностика. 2017. № 1. С. 27–30.
12. Патент РФ № 2633197. Горелка для дуговой сварки в среде защитных газов / И.В. Иванова, С.Г. Паршин. Заяв. 22.04.16 г. // Б.И. 2017. № 29.
13. Потапьевский А.Г., Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
14. Федоренко Г.А. Теория газовой защиты при дуговой сварке в защитных газах. М.: Интермет Инжиниринг, 2012. 223 с.
15. ISO 17632:2008; EN ISO 17632. Проволоки порошковые газозащитные и самозащитные для дуговой сварки плавящимся электродом углеродистых и низколегированных сталей, 2008. 61с.
16. Сталь углеродистая обыкновенного качества ГОСТ 380 – 2005, 2008. 60 с.
17. Проволока стальная сварочная ГОСТ 2246-70, 1973. 60 с.
18. Инструкция и руководство по эксплуатации EVOMIG Basic 350, 2018. 62 с.
19. Dreher M., Füssel U., Schnick M., Hertel M. Numerical simulation of the shielding gas flow with GMA welding and options of validation by diagnostics. TU Dresden, 2009, pp. 1-8.
20. Campbell S.W., Galloway A.M., Ramsey G.M. McPherson, N.A. A computational fluid dynamic analysis of the effect of weld nozzle geometry changes on shielding gas coverage during gas metal arc welding. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2013, 135 (5), pp. 1-32.
21. Lippold J. Welding metallurgy and weldability. Wiley, 2014. 424 p.
22. Siewert E., Wilgelm G., Hässler M. et al. Visualization of gas flows in welding arcs by the schlieren measuring technique. Welding Journal, 2014, 93 (1), pp. 1s-5s.
23. Wilcox D.C. Turbulence modeling for CFD. 3rd edition, DCW Industries, Inc., La Canada CA, 2006. 522 p.
24. Wei G.D., Qi X. and Yang L. Modeling of an argon cascaded arc plasma by ANSYS FLUENT. Physics of plasmas, 2014, 21, 033507, pp. 1-7;

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## Технологическая документация

прилагаются технологические карты WPS с пооперационными режимами сварки экспериментальных образцов.

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ (Welding Procedure Specification (WPS))</td> <td style="text-align: right;">Лист 2 из 3 Л. № 3</td> </tr> <tr> <td>WPS № 1</td> <td style="text-align: right;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Предприятие-изготовитель</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Вид(ы) сварки -</td> <td>- Сварка дуговая сплюснкой проволокой в активном газе MAG</td> </tr> <tr> <td>Способ(ы) -</td> <td>- ручной</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>СОЕДИНЕНИЕ</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Тип соединения - сплюснкой</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Позиция (из, над)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Материал(ы) изделия (из)</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Металл    <input type="checkbox"/> Неметаллический металл</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Неметаллический    <input type="checkbox"/> Прочие</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;">Рисунок 1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;">Рисунок 2</td> </tr> <tr> <td>Размеры, мм a = 10мм ; b = 10мм ; c = 2мм ; d = 16мм e = 2мм ; f =</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Основной металл</b></td> </tr> <tr> <td>Группа, подгруппа - МП1    Группа - погруппа</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Марка и спецификация    Сварка марки ст1    толщина 16 мм</td> <td>Металлические слои</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Химический состав, % (мас.):</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C    Si    Mn    Ni    P    S</td> <td style="text-align: center;">предел текучести    временное сопротивление    относительное удлинение</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,14 - 0,21 - 0,3</td> <td style="text-align: center;">0,4 - 0,65</td> <td style="text-align: center;">0,3 - 0,03 - 0,04</td> <td style="text-align: center;">205-255 МПа 370-490 МПа 22-26%</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Сварочные материалы</b></td> </tr> <tr> <td>Спецификация</td> <td>Электрод</td> </tr> <tr> <td>Тип (марка)</td> <td>Сварочная проволока СВ08Г2С</td> </tr> <tr> <td>Диаметр, мм</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Прикладной материал тип</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Марка</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Диаметр, мм</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Толщина наплавленного металла</td> <td></td> </tr> </table>	УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ (Welding Procedure Specification (WPS))	Лист 2 из 3 Л. № 3	WPS № 1	Дата	Предприятие-изготовитель		Вид(ы) сварки -	- Сварка дуговая сплюснкой проволокой в активном газе MAG	Способ(ы) -	- ручной	<b>СОЕДИНЕНИЕ</b>		Тип соединения - сплюснкой		Позиция (из, над)		Материал(ы) изделия (из)		<input type="checkbox"/> Металл <input type="checkbox"/> Неметаллический металл		<input type="checkbox"/> Неметаллический <input type="checkbox"/> Прочие			Рисунок 1		Рисунок 2	Размеры, мм a = 10мм ; b = 10мм ; c = 2мм ; d = 16мм e = 2мм ; f =		<b>Основной металл</b>		Группа, подгруппа - МП1    Группа - погруппа		Марка и спецификация    Сварка марки ст1    толщина 16 мм	Металлические слои	Химический состав, % (мас.):		C    Si    Mn    Ni    P    S	предел текучести    временное сопротивление    относительное удлинение	0,14 - 0,21 - 0,3	0,4 - 0,65	0,3 - 0,03 - 0,04	205-255 МПа 370-490 МПа 22-26%	<b>Сварочные материалы</b>		Спецификация	Электрод	Тип (марка)	Сварочная проволока СВ08Г2С	Диаметр, мм	1,2	Прикладной материал тип		Марка		Диаметр, мм		Толщина наплавленного металла		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Показание</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Послесварочная термическая обработка</td> </tr> <tr> <td>Положение(а) детали    IG PA</td> <td colspan="3">Диапазон температур</td> </tr> <tr> <td>Направление сварки    слева направо</td> <td colspan="3">Выдержка</td> </tr> <tr> <td>Напряжение, Ч, (°F)</td> <td colspan="3">Газ - 80%Ar, 20%CO<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td>Температура предварительного подогрева</td> <td>Защита, слева</td> <td>Газ</td> <td>Смесь</td> </tr> <tr> <td>Температура между проходами</td> <td>Защита обратной стороны шва, справа</td> <td>Ar+CO<sub>2</sub></td> <td>Щелоч.</td> </tr> <tr> <td>Сопутствующий подогрев</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ (Welding Procedure Specification (WPS))</td> <td style="text-align: right;">Лист 2 из 3</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Электрические характеристики</b></td> </tr> <tr> <td>Процесс</td> <td>135 ГОСТ Р ИСО 4063-131-2</td> </tr> <tr> <td>Ток (переменный, постоянный)</td> <td>Постоянный</td> </tr> <tr> <td>Пolarity (прямая, обратная)</td> <td>Прямая polarity</td> </tr> <tr> <td>Тип вольфрамового электрода и диаметр</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Способ защиты обратной стороны шва</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Расстояние сопла горелки от изделия</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Параметры сварки</b></td> </tr> <tr> <td>Процесс</td> <td>Прикладной материал</td> <td>Диаметр электрода, А</td> <td>Диаметр шва, А</td> <td>Диаметр впадины, А</td> <td>Диаметр кромок шва, мм</td> <td>Скорость сварки, мм/мин</td> <td>Угол наклона горелки</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>МР</td> <td>0,8</td> <td>1,40</td> <td>20</td> <td>0,2</td> <td>3,2</td> <td>60°</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>МР</td> <td>0,8</td> <td>1,40</td> <td>20,1</td> <td>0,18</td> <td>3,2</td> <td>60°</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>МР</td> <td>0,8</td> <td>1,45</td> <td>20,2</td> <td>0,11</td> <td>3,3</td> <td>60°</td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: center;"><b>Последовательность операций сборки и сварки</b></td> </tr> <tr> <td>Операция</td> <td colspan="5">Содержание операции</td> <td colspan="2">Оборудование и инструмент</td> </tr> <tr> <td>1 Очистка деталей</td> <td colspan="5">Поверхности деталей очистить от любых загрязнений.</td> <td colspan="2">Щетка по металлу, УШМ</td> </tr> <tr> <td>2 Подготовка кромок</td> <td colspan="5">Кромки деталей и прилегающие к ним участки очистить от окислов, загрязнений и других посторонних включений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальными до чистого металла.</td> <td colspan="2">Шаблон сварщика, линейка, штангенциркуль, шлифовальная шкурка, напильник.</td> </tr> <tr> <td>3 Сборка шва</td> <td colspan="5">Устанавливать пластины на сварочном столе с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбцинами.</td> <td colspan="2">Струбцина, шпатель сварщика, линейка</td> </tr> </table>	Показание	Послесварочная термическая обработка			Положение(а) детали    IG PA	Диапазон температур			Направление сварки    слева направо	Выдержка			Напряжение, Ч, (°F)	Газ - 80%Ar, 20%CO <sub>2</sub>			Температура предварительного подогрева	Защита, слева	Газ	Смесь	Температура между проходами	Защита обратной стороны шва, справа	Ar+CO <sub>2</sub>	Щелоч.	Сопутствующий подогрев				УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ (Welding Procedure Specification (WPS))	Лист 2 из 3	<b>Электрические характеристики</b>		Процесс	135 ГОСТ Р ИСО 4063-131-2	Ток (переменный, постоянный)	Постоянный	Пolarity (прямая, обратная)	Прямая polarity	Тип вольфрамового электрода и диаметр		Способ защиты обратной стороны шва		Расстояние сопла горелки от изделия		<b>Параметры сварки</b>		Процесс	Прикладной материал	Диаметр электрода, А	Диаметр шва, А	Диаметр впадины, А	Диаметр кромок шва, мм	Скорость сварки, мм/мин	Угол наклона горелки	1	МР	0,8	1,40	20	0,2	3,2	60°	2	МР	0,8	1,40	20,1	0,18	3,2	60°	3	МР	0,8	1,45	20,2	0,11	3,3	60°	<b>Последовательность операций сборки и сварки</b>								Операция	Содержание операции					Оборудование и инструмент		1 Очистка деталей	Поверхности деталей очистить от любых загрязнений.					Щетка по металлу, УШМ		2 Подготовка кромок	Кромки деталей и прилегающие к ним участки очистить от окислов, загрязнений и других посторонних включений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальными до чистого металла.					Шаблон сварщика, линейка, штангенциркуль, шлифовальная шкурка, напильник.		3 Сборка шва	Устанавливать пластины на сварочном столе с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбцинами.					Струбцина, шпатель сварщика, линейка		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">4 Подогрев шва</td> <td style="width: 70%;">Подогрев шва не требуется. При выполнении слоев шва на кромках, в таких температура окружающего воздуха ниже или выше 5 °С, следует провести просушку торцов деталей дугой нагрева до температуры плюс 20-50 °С.</td> <td style="width: 20%;">Газовая горелка, асбестовый термометр.</td> </tr> <tr> <td>5 Сварка шва</td> <td> <p>5.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик от начала и до окончания шва.</p> <p>5.2 Прокатки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 3-х шт. выполняются полуавтоматической сваркой, равномерно распределены по длине деталей. Режимы сварки - как для сварочного шва. Прокатки должны быть проплавлены.</p> <p>5.3 Произвести очистку прокаток от шлама и обработать абразивным кругом начальной и конечной участки каждой из них.</p> <p>5.4 Дефектные прокатки должны быть удалены механической обработкой (шлифовальным или т.п.).</p> <p>5.4 Сборочно-сварочное приспособление удалить после выполнения прокаток.</p> <p>5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки 60°.</p> <p>Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком.</p> <p>5.6 Температура шва должна соответствовать рисунку 2; выпуклость шва - 0,3 ± 1,4, ширина не более 16 мм.</p> <p>5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должны быть очищены от шлама и брызг металла на ширину, необходимую для визуального контроля.</p> <p>5.8 Сварочное соединение предъявлять специалисту сварочного производства для последующего контроля.</p> </td> <td>Сварочный источник, шлифовальная шкурка, шаблон сварщика, напильник.</td> </tr> </table> <p style="font-size: small;">Карту разработал: Васильев А.А.</p>	4 Подогрев шва	Подогрев шва не требуется. При выполнении слоев шва на кромках, в таких температура окружающего воздуха ниже или выше 5 °С, следует провести просушку торцов деталей дугой нагрева до температуры плюс 20-50 °С.	Газовая горелка, асбестовый термометр.	5 Сварка шва	<p>5.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик от начала и до окончания шва.</p> <p>5.2 Прокатки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 3-х шт. выполняются полуавтоматической сваркой, равномерно распределены по длине деталей. Режимы сварки - как для сварочного шва. Прокатки должны быть проплавлены.</p> <p>5.3 Произвести очистку прокаток от шлама и обработать абразивным кругом начальной и конечной участки каждой из них.</p> <p>5.4 Дефектные прокатки должны быть удалены механической обработкой (шлифовальным или т.п.).</p> <p>5.4 Сборочно-сварочное приспособление удалить после выполнения прокаток.</p> <p>5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки 60°.</p> <p>Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком.</p> <p>5.6 Температура шва должна соответствовать рисунку 2; выпуклость шва - 0,3 ± 1,4, ширина не более 16 мм.</p> <p>5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должны быть очищены от шлама и брызг металла на ширину, необходимую для визуального контроля.</p> <p>5.8 Сварочное соединение предъявлять специалисту сварочного производства для последующего контроля.</p>	Сварочный источник, шлифовальная шкурка, шаблон сварщика, напильник.
УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ (Welding Procedure Specification (WPS))	Лист 2 из 3 Л. № 3																																																																																																																																																																																							
WPS № 1	Дата																																																																																																																																																																																							
Предприятие-изготовитель																																																																																																																																																																																								
Вид(ы) сварки -	- Сварка дуговая сплюснкой проволокой в активном газе MAG																																																																																																																																																																																							
Способ(ы) -	- ручной																																																																																																																																																																																							
<b>СОЕДИНЕНИЕ</b>																																																																																																																																																																																								
Тип соединения - сплюснкой																																																																																																																																																																																								
Позиция (из, над)																																																																																																																																																																																								
Материал(ы) изделия (из)																																																																																																																																																																																								
<input type="checkbox"/> Металл <input type="checkbox"/> Неметаллический металл																																																																																																																																																																																								
<input type="checkbox"/> Неметаллический <input type="checkbox"/> Прочие																																																																																																																																																																																								
	Рисунок 1																																																																																																																																																																																							
	Рисунок 2																																																																																																																																																																																							
Размеры, мм a = 10мм ; b = 10мм ; c = 2мм ; d = 16мм e = 2мм ; f =																																																																																																																																																																																								
<b>Основной металл</b>																																																																																																																																																																																								
Группа, подгруппа - МП1    Группа - погруппа																																																																																																																																																																																								
Марка и спецификация    Сварка марки ст1    толщина 16 мм	Металлические слои																																																																																																																																																																																							
Химический состав, % (мас.):																																																																																																																																																																																								
C    Si    Mn    Ni    P    S	предел текучести    временное сопротивление    относительное удлинение																																																																																																																																																																																							
0,14 - 0,21 - 0,3	0,4 - 0,65	0,3 - 0,03 - 0,04	205-255 МПа 370-490 МПа 22-26%																																																																																																																																																																																					
<b>Сварочные материалы</b>																																																																																																																																																																																								
Спецификация	Электрод																																																																																																																																																																																							
Тип (марка)	Сварочная проволока СВ08Г2С																																																																																																																																																																																							
Диаметр, мм	1,2																																																																																																																																																																																							
Прикладной материал тип																																																																																																																																																																																								
Марка																																																																																																																																																																																								
Диаметр, мм																																																																																																																																																																																								
Толщина наплавленного металла																																																																																																																																																																																								
Показание	Послесварочная термическая обработка																																																																																																																																																																																							
Положение(а) детали    IG PA	Диапазон температур																																																																																																																																																																																							
Направление сварки    слева направо	Выдержка																																																																																																																																																																																							
Напряжение, Ч, (°F)	Газ - 80%Ar, 20%CO <sub>2</sub>																																																																																																																																																																																							
Температура предварительного подогрева	Защита, слева	Газ	Смесь																																																																																																																																																																																					
Температура между проходами	Защита обратной стороны шва, справа	Ar+CO <sub>2</sub>	Щелоч.																																																																																																																																																																																					
Сопутствующий подогрев																																																																																																																																																																																								
УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ (Welding Procedure Specification (WPS))	Лист 2 из 3																																																																																																																																																																																							
<b>Электрические характеристики</b>																																																																																																																																																																																								
Процесс	135 ГОСТ Р ИСО 4063-131-2																																																																																																																																																																																							
Ток (переменный, постоянный)	Постоянный																																																																																																																																																																																							
Пolarity (прямая, обратная)	Прямая polarity																																																																																																																																																																																							
Тип вольфрамового электрода и диаметр																																																																																																																																																																																								
Способ защиты обратной стороны шва																																																																																																																																																																																								
Расстояние сопла горелки от изделия																																																																																																																																																																																								
<b>Параметры сварки</b>																																																																																																																																																																																								
Процесс	Прикладной материал	Диаметр электрода, А	Диаметр шва, А	Диаметр впадины, А	Диаметр кромок шва, мм	Скорость сварки, мм/мин	Угол наклона горелки																																																																																																																																																																																	
1	МР	0,8	1,40	20	0,2	3,2	60°																																																																																																																																																																																	
2	МР	0,8	1,40	20,1	0,18	3,2	60°																																																																																																																																																																																	
3	МР	0,8	1,45	20,2	0,11	3,3	60°																																																																																																																																																																																	
<b>Последовательность операций сборки и сварки</b>																																																																																																																																																																																								
Операция	Содержание операции					Оборудование и инструмент																																																																																																																																																																																		
1 Очистка деталей	Поверхности деталей очистить от любых загрязнений.					Щетка по металлу, УШМ																																																																																																																																																																																		
2 Подготовка кромок	Кромки деталей и прилегающие к ним участки очистить от окислов, загрязнений и других посторонних включений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальными до чистого металла.					Шаблон сварщика, линейка, штангенциркуль, шлифовальная шкурка, напильник.																																																																																																																																																																																		
3 Сборка шва	Устанавливать пластины на сварочном столе с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбцинами.					Струбцина, шпатель сварщика, линейка																																																																																																																																																																																		
4 Подогрев шва	Подогрев шва не требуется. При выполнении слоев шва на кромках, в таких температура окружающего воздуха ниже или выше 5 °С, следует провести просушку торцов деталей дугой нагрева до температуры плюс 20-50 °С.	Газовая горелка, асбестовый термометр.																																																																																																																																																																																						
5 Сварка шва	<p>5.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик от начала и до окончания шва.</p> <p>5.2 Прокатки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 3-х шт. выполняются полуавтоматической сваркой, равномерно распределены по длине деталей. Режимы сварки - как для сварочного шва. Прокатки должны быть проплавлены.</p> <p>5.3 Произвести очистку прокаток от шлама и обработать абразивным кругом начальной и конечной участки каждой из них.</p> <p>5.4 Дефектные прокатки должны быть удалены механической обработкой (шлифовальным или т.п.).</p> <p>5.4 Сборочно-сварочное приспособление удалить после выполнения прокаток.</p> <p>5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки 60°.</p> <p>Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком.</p> <p>5.6 Температура шва должна соответствовать рисунку 2; выпуклость шва - 0,3 ± 1,4, ширина не более 16 мм.</p> <p>5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должны быть очищены от шлама и брызг металла на ширину, необходимую для визуального контроля.</p> <p>5.8 Сварочное соединение предъявлять специалисту сварочного производства для последующего контроля.</p>	Сварочный источник, шлифовальная шкурка, шаблон сварщика, напильник.																																																																																																																																																																																						

УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 1 из 3																		
WPS № 2	Дата																			
Предприятие-готовитель																				
Вид(ы) сварки -	- Сварка дуговой сплюснкой проволокой в активном газе MAG.																			
Способ(ы) -	- ручная																			
<b>СОЕДИНЕНИЕ</b>																				
Тип соединения - <u>                    </u>																				
Позиция (из, над)																				
Материал подкладок (если)																				
<input type="checkbox"/> Металл <input type="checkbox"/> Неплавящийся металл																				
<input type="checkbox"/> <b>Никельистый</b> <input type="checkbox"/> Прочие																				
 <p>Рисунок 1</p>																				
 <p>Рисунок 2</p>																				
Размеры, мм a = 10мм ; b = 10мм ; c = 2мм ; d = 15 мм e = 2мм ; g =																				
<b>Основной металл</b>																				
Группа подгруппа - М01    Группа <u>                    </u> подгруппа																				
Марка и спецификация    Сталь марганцевая    толщина 10 мм																				
Химический состав, % (масс.)	Механические свойства																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>P</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,34-0,22%</td> <td>0,15-0,3</td> <td>0,4-0,65</td> <td>0,1</td> <td>0,02</td> <td>0,04</td> </tr> </tbody> </table>	C	Si	Mn	Ni	P	S	0,34-0,22%	0,15-0,3	0,4-0,65	0,1	0,02	0,04	<table border="1"> <thead> <tr> <th>предел текучести</th> <th>временное сопротивление</th> <th>относительное удлинение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>295-355 МПа</td> <td>370-480 МПа</td> <td>22-26%</td> </tr> </tbody> </table>	предел текучести	временное сопротивление	относительное удлинение	295-355 МПа	370-480 МПа	22-26%	
C	Si	Mn	Ni	P	S															
0,34-0,22%	0,15-0,3	0,4-0,65	0,1	0,02	0,04															
предел текучести	временное сопротивление	относительное удлинение																		
295-355 МПа	370-480 МПа	22-26%																		
<b>Сварочные материалы</b>																				
Спецификация	Электрод																			
Тип (марка)	Сварочная проволока СВМГТС																			
Диаметр, мм	1,2																			
Прикладочный материал тип																				
Марка																				
Диаметр, мм																				
Толщина наплавленного металла																				

Положение	Предварительная термическая обработка						
Положение(ы) разреза: Ю/РА. Напряжение сварки: сгиб нагрето	Диапазон температур Высвирка						
Положение, °C (°F) Температура предварительного подогрева Температура между проходами Сопутствующий подогрев	Газ - 80%Ar20%CO <sub>2</sub>						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Газ</th> <th>Смесь</th> <th>Расход</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Защита, а/или Защита обратной стороны шва, а/или</td> <td>Ar-CO<sub>2</sub></td> <td>12л/мин</td> </tr> </tbody> </table>	Газ	Смесь	Расход	Защита, а/или Защита обратной стороны шва, а/или	Ar-CO <sub>2</sub>	12л/мин
Газ	Смесь	Расход					
Защита, а/или Защита обратной стороны шва, а/или	Ar-CO <sub>2</sub>	12л/мин					

УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 2 из 3
<b>Электрические характеристики</b>		
Принес	135 ГОСТ Р ИСО 4063-131-2.	
Ток (переменный, постоянный)	Постоянный	
Пolarity (прямая, обратная)	Прямая полярность	
Тип вольфрамового электрода и диаметр		
Способ защиты обратной стороны шва		
Расстояние сопла горелки от изделия		

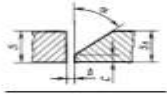
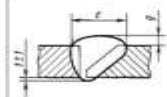
Проход	Провод	Прикладочный металл	Диаметр сопла, А	Диаметр надрезания, В	Диаметр скорости вращения, мм/мин	Скорость подачи проволоки, мм/мин	Угол наклона горелки
1	МВГ	08Г2С	1,2	140	20	0,22	3,2
2	МВГ	08Г2С	1,2	140	20,3	0,2	3,2
3	МВГ	08Г2С	1,2	143	20,2	0,12	3,3

Последовательность операций сборки и сварки		
Операция	Содержание операции	Оборудование и инструмент
1 Очистка деталей	Поверхности деталей очистить от любых загрязнений	Щетка по металлу, УШМ
2 Подготовка кромок	Кромки деталей и прилегающие к ним участки зачистить от окислов, ржавчины и других поверхностных загрязнений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальным до чистого металла	Шаблон сварщика, линейка, шлифовальный диск, <b>аппаратная</b> , <b>капельница</b>
3 Сборка стыка	Установить пластины на сварочном столе с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбциной. Выполнить 2 прихватки в начале и в конце сварного стыка, не более 20 мм одна прихватка, по 20 мм от края стыка. Прихватки выполнять тем же режимом что и корневой проход сварного соединения.	Струбцины, шаблон сварщика, линейка

4 Подогрев стыка	Подогрев стыка не требуется. При наличии следов влаги на прокатах, а также температуре окружающего воздуха ниже плюс 5 °C, следует произвести просушку торцевых деталей путем нагрева до температуры плюс 25-50 °C.	Газовая горелка, контактный термометр.
5 Сварка стыка	<p>5.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик от начала и по окончании сварки.</p> <p>5.2 Прихватки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 2-х шт. выполнять полуавтоматической сваркой, равномерно распределить по длине деталей. Режимы сварки - как для корневой шва. Прихватки должны быть проплавлены.</p> <p>5.3 Произвести зачистку прихваток от шлака и обработать абразивной кругом начальной и конечной участки каждой из них.</p> <p>Дефектные прихватки должны быть удалены механической обработкой (шлифовальным или т.п.).</p> <p>5.4 Сборочно-сварочное приспособление удалить после выполнения прихваток.</p> <p>5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки <b>30°</b>.</p> <p>Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком.</p> <p>5.6 Геометрия шва должна соответствовать рисунку 2, выпуклость шва - 0,5 и 1,5 <b>мм</b> не более 16 мм.</p> <p>5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должны быть зачищены от шлака и брызг металла на ширине, необходимую для визуального контроля.</p> <p>5.8 Сварные соединения подлежат специалисту сварочного производства для последующего контроля.</p>	Сварочный источник, <b>аппаратная</b> , металлическая щетка, шаблон сварщика, <b>капельница</b>

Карту разработал Васильев А.А.



УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 1 из 3						
WPS № 3		Дата						
Предприятие-изготовитель								
Вид(ы) сварки -	- Сварка дуговая сплошной проволокой в активном газе MAG							
Способ(ы) -	- ручная							
<b>СОЕДИНЕНИЕ</b>								
Тип соединения - <u>стыковое</u> Подкладка (да, нет) Материал подкладки (вид) <input type="checkbox"/> Металл <input type="checkbox"/> Неплавищийся металл <input checked="" type="checkbox"/> Неметаллический <input type="checkbox"/> Прочие								
 <p>Рисунок 1</p>  <p>Рисунок 2</p>								
Размеры, мм a = 10мм; b = 10мм ; b = 2мм ; c = 2мм; e = 15 мм d = 2мм ; f =								
<b>Основной металл</b>								
Группа, подгруппа - 3801 Группа - подгруппа Марка и спецификация Сталь марки Ст3 толщиной 10 мм Химический состав, % (масс.) Механические свойства								
C	Si	Mn	Ni	P	S	предел прочности	временное сопротивление разрыву	относительное удлинение
0,14-0,22%	0,15-0,3	0,4-0,65	0,3	0,05	0,04	265-255 МПа	370-490 МПа	22-26%
<b>Сварочные материалы</b>								
<b>Спецификация</b>		<b>Электрод</b>						
Тип (марка)		Сварочная проволока СВ08Г2С						
Диаметр, мм		1,2						
Присадочный материал, тип								
Марка								
Диаметр, мм								
Толщина выплавленного металла								

Положение	Послесварочная термическая обработка								
Положение(ия) резки: IGPA Направление сварки: слева направо	Диапазон температур: Выдержки								
Подогрев, °C (°F) Температура предварительного подогрева Температура между проходами Сопутствующий подогрев	Газ - 80%Ar20%CO <sub>2</sub>								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Защита, мм/мм</th> <th>Газ</th> <th>Смесь Ar-CO<sub>2</sub></th> <th>Распла</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Защита обратной стороны шва, мм/мм</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Защита, мм/мм	Газ	Смесь Ar-CO <sub>2</sub>	Распла	Защита обратной стороны шва, мм/мм			
Защита, мм/мм	Газ	Смесь Ar-CO <sub>2</sub>	Распла						
Защита обратной стороны шва, мм/мм									

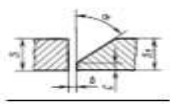
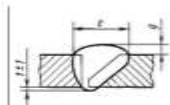
УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 2 из 3
<b>Электрические характеристики</b>		
Процесс	135 ГОСТ Р ИСО 4063-151-2	
Ток (переменный, постоянный)	Постоянный	
Полярность (прямая, обратная)	Прямая полярность	
Тип вольфрамового электрода и диаметр		
Способ защиты обратной стороны шва		
Расстояние сопла горелки от изделия		
<b>Возмущающие факторы при сварке</b>		
Ветер	От 2,6 до 3,2 м/с	

Про-цесс(ы)	Провест	Присадочный металл		Диапазон тока, А	Диапазон напряжения, В	Диапазон скорости перемещения, мм/мин	Скорость подачи проволоки, мм/мин	Угол наклона горелки
		Тип (марка)	Диаметр, мм					
1	MIG	80Г2С	1,2	140	20	0,19	3,2	60°
2	MIG	80Г2С	1,2	140	20,1	0,18	3,2	60°
3	MIG	80Г2С	1,2	145	20,2	0,10	3,3	60°

<b>Последовательность операций сборки и сварки</b>		
Операции	Содержание операции	Оборудование и инструмент
1 Очистка деталей	Поверхности деталей очистить от любых загрязнений	Щетка по металлу, УШМ
2 Подготовка кромок	Кромки деталей и прилегающие к ним участки зачистить от окислов, ржавчины и других поверхностных загрязнений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальным до чистого металла	Шаблон сварщика, линейка, штангенциркуль, шлифовальная машина, зажимник
3 Сборка стыка	Установить пластины на сварочном столе с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбцинами. Выполнить 2 прихватки в начале и в конце сварочного стыка, не более 20 мм одна прихватка, по 20 мм	Струбцина, шаблон сварщика, линейка

	от края стыка. Прихватки выполнять тем же режимом что и корневой проход сварного соединения.	
4 Подогрев стыка	Подогрев стыка не требуется. При наличии следов влаги на кромках, а также температуре окружающего воздуха ниже плюс 5 °С следует произвести просушку торцов деталей путем нагрева до температуры плюс 20-50 °С.	Газовая горелка, контактный термометр.
5 Сварка стыка	<p>5.1.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик от начала и по окончании сварки.</p> <p>5.2 Прихватки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 2-х шт. выполнять полуавтоматической сваркой, равномерно распределенной по длине деталей. Режим сварки - как для корневого шва. Прихватки должны быть проплавлены.</p> <p>5.3 Провести зачистку прихваток от шлака и обработать абразивным кругом начальный и конечный участки каждой из них.</p> <p>5.4 Сборочно-сварочное приспособление удалять после выполнения прихваток.</p> <p>5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки 60°.</p> <p>Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком.</p> <p>5.6 Геометрия шва должна соответствовать рисунку 2: выпуклость шва - 0,5 ± 1,5 мм, ширина не более 16 мм.</p> <p>5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должна быть очищена от шлака и брызг металла на ширину, необходимую для визуального контроля.</p> <p>5.8 Сварное соединение предъявлять специалисту сварочного производства для последующего контроля.</p>	Сварочный источник, шлифовальная машина, металлическая щетка, шаблон сварщика, зажимник

Карту разработал: Васильев А.А.

УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 1 из 3																		
WPS № 4		Дата																		
Предприятие-изготовитель																				
Вид(ы) сварки -	- Сварка дуговая сплошной проволокой в активном газе MAG																			
Способ(ы) -	- ручная																			
<b>СОЕДИНЕНИЕ</b>																				
Тип соединения - стыковое Подкладка (да, нет) Материал подкладки (вид) <input type="checkbox"/> Металл <input type="checkbox"/> Неплавящийся металл <input type="checkbox"/> Неметаллический <input type="checkbox"/> Прочие																				
 <p>Рисунок 1</p>  <p>Рисунок 2</p>																				
Размеры, мм $a = 10\text{мм}$ ; $b = 10\text{мм}$ ; $c = 2\text{мм}$ ; $d = 2\text{мм}$ ; $e = 15\text{мм}$																				
<b>Основной металл</b>																				
Группа, подгруппа - М01    Группа - подгруппа Марка и спецификация    Сталь марки СтЗ    толщина 10 мм Химический состав, % (масс.)    Механические свойства																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>P</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,14-0,22%</td> <td>0,15-0,3</td> <td>0,4-0,65</td> <td>0,5</td> <td>0,05</td> <td>0,04</td> </tr> </tbody> </table>		C	Si	Mn	Ni	P	S	0,14-0,22%	0,15-0,3	0,4-0,65	0,5	0,05	0,04	<table border="1"> <thead> <tr> <th>предел текучести</th> <th>временное сопротивление разрыву</th> <th>относительное удлинение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>205-255 МПа</td> <td>370-490 МПа</td> <td>22-26%</td> </tr> </tbody> </table>	предел текучести	временное сопротивление разрыву	относительное удлинение	205-255 МПа	370-490 МПа	22-26%
C	Si	Mn	Ni	P	S															
0,14-0,22%	0,15-0,3	0,4-0,65	0,5	0,05	0,04															
предел текучести	временное сопротивление разрыву	относительное удлинение																		
205-255 МПа	370-490 МПа	22-26%																		
<b>Сварочные материалы</b>																				
Спецификация		Электрод																		
Тип (марка)		Сварочная проволока СВ08Г2С																		
Диаметр, мм		1,2																		
Присадочный материал, тип																				
Марка																				
Диаметр, мм																				
Толщина наплавленного металла																				

Положение	Последующая термическая обработка									
Положение(ая) разреза 1G/PA Направление сварки слева направо	Диапазон температур Выжарка									
Пологрев, °C (°F)	Газ - 80%Ar/20%CO <sub>2</sub>									
Температура предварительного подогрева Температура между проходами Сопутствующий подогрев	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Газ</th> <th>Смесь</th> <th>Расход</th> </tr> <tr> <td>Защита, л/мин</td> <td>Ar-CO<sub>2</sub></td> <td>3л/мин.</td> </tr> <tr> <td>Защита обратной стороны шва, л/мин</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </thead> </table>	Газ	Смесь	Расход	Защита, л/мин	Ar-CO <sub>2</sub>	3л/мин.	Защита обратной стороны шва, л/мин	---	---
Газ	Смесь	Расход								
Защита, л/мин	Ar-CO <sub>2</sub>	3л/мин.								
Защита обратной стороны шва, л/мин	---	---								

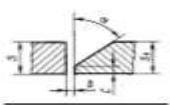
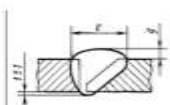
УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 2 из 3
<b>Электрические характеристики</b>		
Процесс	157 ГОСТ Р ИСО 4063-151-2	
Ток (переменный, постоянный)	Постоянный	
Полярность (прямая, обратная)	Прямая полярность	
Тип вольфрамового электрода и диаметр		
Способ защиты обратной стороны шва		
Расстояние сопла горелки от изделия		
<b>Возмущающие факторы при сварке</b>		
Ветер	От 2,6 до 3,2 м/с	

Проход(ы)	Процесс	Присадочный металл		Диапазон тока, А	Диапазон напряжения, В	Диапазон скорости перемещения, м/мин	Скорость плавления проволоки м/мин	Угол наклона горелки
		Тип (марка)	Диаметр, мм					
1	MIG	argos	1,2	140	20	0,25	3,2	30°
2	MIG	argos	1,2	140	20,1	0,2	3,2	30°
3	MIG	argos	1,2	145	20,2	0,11	3,3	30°

<b>Последовательность операций сборки и сварки</b>		
Операции	Содержание операции	Оборудование и инструмент
1 Очистка деталей	Поверхности деталей очистить от любых загрязнений.	Щетка по металлу, УШМ
2 Подготовка кромок	Кромки деталей и прилегающие к ним участки зачистить от окислов, ржавчины и других поверхностных загрязнений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальным до чистого металла	Шаблон сварщика, линейка, штангенциркуль, шлифовальная наждачная бумага
3 Сборка стыка	Установить пластины на сварочном стыке с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбцинами. Выполнить 2 прихватки в начале и в конце сварочного стыка, не более 20 мм одна прихватка, по 20 мм	Струбцина, шаблон сварщика, линейка

	от края стыка. Прихватки выполнять тем же режимом что и корневой проход сварного соединения	
4 Подогрев стыка	Подогрев стыка не требуется. При наличии следов влаги на кромках, в такие температуры окружающего воздуха ниже плюс 5 °C, следует произвести просушку торцов деталей путем нагрева до температуры плюс 20-50 °C.	Газовая горелка, контактный термометр.
5 Сварка стыка	5.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик от начала и по окончании сварки. 5.2 Прихватки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 2-х шт. выполнять полуавтоматической сваркой, равномерно распределить по длине деталей. Режим сварки - как для корневого шва. Прихватки должны быть проплавлены. 5.3 Произвести зачистку прихваток от шлака и обработать абразивным кругом начальную и конечную участки каждой из них. 5.4 Сборочно-сварочное приспособление удалить после выполнения прихваток. 5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки 30°. Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком. 5.6 Геометрия шва должна соответствовать рисунку 2: выпуклость шва - 0,5 ± 1,5 ширина не более 16 мм. 5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должна быть очищена от шлака и брызг металла на ширину, необходимую для визуального контроля. 5.8 Сварное соединение предъявить специалисту сварочного производства для последующего контроля.	Сварочный источник, шлифовальный, металлическая щетка, шаблон сварщика, линейка.

Карту разработал: Васильев А.А.

УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 1 из 3																		
WPS № 5		Дата																		
Предприятие-изготовитель																				
Вид(ы) сварки - Способ(ы) =	- Сварка дуговая порошковой проволокой с флюсом выполняемая в активном газе MAG - ручная																			
<b>СОЕДИНЕНИЕ</b>																				
Тип соединения - <u>стыковое</u> Подкладка (да, нет) Материал подкладки (вид) <input type="checkbox"/> Металл <input type="checkbox"/> Неплавящийся металл <input type="checkbox"/> Неметаллический <input type="checkbox"/> Прочие																				
		Рисунок 1																		
		Рисунок 2																		
Размеры, мм s = 10мм; z <sub>1</sub> = 10мм ; b = 2мм ; c = 2мм; e = 15 мм g = 2мм; f <sub>1</sub> =																				
<b>Основной металл</b>																				
Группа, подгруппа - М01 Группа = подгруппа Марка и спецификация Сталь марки ст3 Химический состав, % (макс.)																				
<b>Механические свойства</b>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>P</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,14-0,22%</td> <td>0,15-0,3</td> <td>0,4-0,65</td> <td>0,3</td> <td>0,05</td> <td>0,04</td> </tr> </tbody> </table>		C	Si	Mn	Ni	P	S	0,14-0,22%	0,15-0,3	0,4-0,65	0,3	0,05	0,04	<table border="1"> <thead> <tr> <th>предел текучести</th> <th>временное сопротивление разрыву</th> <th>относительное удлинение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>205-255 МПа</td> <td>370-490 МПа</td> <td>22-26%</td> </tr> </tbody> </table>	предел текучести	временное сопротивление разрыву	относительное удлинение	205-255 МПа	370-490 МПа	22-26%
C	Si	Mn	Ni	P	S															
0,14-0,22%	0,15-0,3	0,4-0,65	0,3	0,05	0,04															
предел текучести	временное сопротивление разрыву	относительное удлинение																		
205-255 МПа	370-490 МПа	22-26%																		
<b>Сварочные материалы</b>																				
Спецификация		Электрод																		
Тип (марка)		Сварочная порошковая проволока PZ61135																		
Диаметр, мм		1,2																		
Присадочный материал: тип																				
Марка																				
Диаметр, мм																				
Толщина наплавленного металла																				

Положение	Послесварочная термическая обработка									
Положение(ия) детали 1G/PA Направление сварки слева направо	Диапазон температур Выдержки									
Пологрев, °C (°F) Температура предварительного подогрева Температура между проходами Сопутствующий подогрев	Газ - 100%CO <sub>2</sub>									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Газ</th> <th>Смесь</th> <th>Расход</th> </tr> <tr> <th>CO<sub>2</sub></th> <th></th> <th>л/мин.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>-----</td> </tr> </tbody> </table>	Газ	Смесь	Расход	CO <sub>2</sub>		л/мин.			-----
Газ	Смесь	Расход								
CO <sub>2</sub>		л/мин.								
		-----								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Защита, мм/мм</th> <th>Защита обратной стороны шва, мм/мм</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Защита, мм/мм	Защита обратной стороны шва, мм/мм							
Защита, мм/мм	Защита обратной стороны шва, мм/мм									

УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 2 из 3
<b>Электрические характеристики</b>		
Процесс	136 ГОСТ Р ИСО 4063-131-2	
Ток (переменный, постоянный)	Постоянный	
Пolarity (прямая, обратная)	Обратная полярность	
Тип вольфрамового электрода и диаметр		
Способ защиты обратной стороны шва		
Расстояние сопла горелки от изделия		

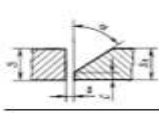
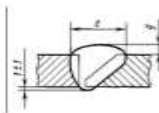
Процесс	Присадочный металл	Диаметр, мм	Давление тока, А	Давление напряжения, В	Давление скорости перемещения, мм/мин	Скорость подачи проволоки, мм/мин	Угол наклона горелки
1	MIG PZ61135	1,2	150	22,9	0,27	4,8	60°
2	MIG PZ61135	1,2	150	22,9	0,2	4,8	60°
3	MIG PZ61135	1,2	160	23,6	0,1	5,2	60°

Последовательность операций сборки и сварки		
Операции	Содержание операции	Оборудование и инструмент
1 Очистка деталей	Поверхности деталей очистить от любых загрязнений.	Щетка по металлу, УШМ
2 Подготовка кромок	Кромки деталей и прилегающие к ним участки очистить от окислов, ржавчины и других поверхностных загрязнений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальным до чистого металла	Шаблон сварщика, линейка, штангенциркуль, шлифовальная напильник.
3 Сборка стыка	Установить пластины на сварочном стыке с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбцинами. Выполнить 2 прихватки в начале и в конце сварочного стыка, не более 20 мм одна прихватка, по 20 мм	Струбцина, шаблон сварщика, линейка

	от края стыка. Прихватки выполнять тем же режимом что и основной проход сварочного соединения.	
4 Подогрев стыка	Подогрев стыка не требуется. При вытеснении следов влаги из кромок, а также температуре окружающего воздуха ниже плюс 5 °C, следует произвести просушку торцов деталей путем нагрева до температуры плюс 20-50 °C.	Газовая горелка, контактный термометр.
5 Сварка стыка	<p>5.1.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик от начала и по окончании сварки.</p> <p>5.2 Прихватки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 2-х шт. выполнять полуавтоматической сваркой, равномерно распределен по длине деталей. Режим сварки - как для корневого шва. Прихватки должны быть проплавлены.</p> <p>5.3 Произвести зажигку прихваток от шлага и обработать образным кругом изначальной и конечной участки каждой из них. Дефектные прихватки должны быть удалены механической обработкой (шлифованьем или т.п.).</p> <p>5.4 Сборочно-сварочное приспособление удалить после выполнения прихваток.</p> <p>5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки 60°.</p> <p>Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком.</p> <p>5.6 Геометрия шва должна соответствовать рисунку 2: выпуклость шва - 0,5 ± 1,5 миллиметра не более 16 мм.</p> <p>5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должна быть зачищена от шлага и брызг металла на ширину, необходимую для визуального контроля.</p> <p>5.8 Сварное соединение предъявить специалисту сварочного производства для последующего контроля.</p>	Сварочный источник, шлифовальная, металлургическая щетка, шаблон сварщика, напильник

Карта разработана Васильев А.А.



УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ (Welding Procedure Specification (WPS))		Лист Листов 1 из 3			
WPS № 6		Дата			
Предприятие-изготовитель					
Вид(ы) сварки	- Сварка дуговая порошковой проволокой с флюсовым наполнителем в активном газе MAG				
Способ(ы)	- ручная				
<b>СОЕДИНЕНИЕ</b>					
Тип соединения - <u>стыковое</u>					
Подкладка (да, нет)					
Материал подкладки (вид)					
<input type="checkbox"/> Металл <input type="checkbox"/> Неплавящийся металл					
<input type="checkbox"/> Неметаллический <input type="checkbox"/> Прочее					
 <p>Рисунок 1</p>  <p>Рисунок 2</p>					
Размеры, мм $s = 10\text{мм}$ ; $s_1 = 10\text{мм}$ ; $b = 2\text{мм}$ ; $c = 2\text{мм}$ ; $e = 15\text{мм}$ $s_2 = 2\text{мм}$					
<b>Основной металл</b>					
Группа, подгруппа - М01	Группа - подгруппа				
Марка в спецификации	Сталь марки ст3	толщиной 10 мм			
<b>Химический состав, % (масс.)</b>					
C	Si	Mn	Ni	P	S
0,34-0,22%	0,15-0,3	0,4-0,65	0,3	0,05	0,04
<b>Механические свойства</b>					
предел текучести	временное сопротивление разрыву	относительное удлинение			
205-255 МПа	370-490 МПа	22-26%			
<b>Сварочные материалы</b>					
<b>Спецификация</b>		<b>Электрод</b>			
Тип (марка)	Сварочная порошковая проволока PZ6113S				
Диаметр, мм	1,2				
Приспосабливаемый материал, тип					
Марка					
Диаметр, мм					
Толщина наплавленного металла					

Положение	Последующая термическая обработка
Положение(ия) разреза 1G-PA. Направление сварки слева направо	Диапазон температур Выдержка
Подогрев, °C (°F) Температура предварительного подогрева Температура между проходами Сопутствующий подогрев	Газ - 100%CO <sub>2</sub> Газ Сварка Смесь CO <sub>2</sub> Иглами Расход Защита, л/мин Защита обратной стороны шва, л/мин

УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ (Welding Procedure Specification (WPS))		Лист Листов 2 из 3
<b>Электрические характеристики</b>		
Процесс	136 ГОСТ Р ИСО 4063-131-2.	
Ток (переменный, постоянный)	Постоянный	
Пolarity (прямая, обратная)	Обратная полярность	
Тип вольфрамового электрода и диаметр		
Способ защиты обратной стороны шва		
Расстояние сопла горелки от изделия		

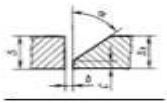
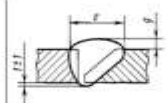
Преход(ы)	Процесс	Приспосабливаемый металл		Давление газа, А	Диапазон напряжений, В	Диапазон скорости перемещения, м/мин	Скорость подачи проволоки м/мин	Угол наклона горелки
		Тип (марка)	Диаметр, мм					
1	MIG	40 PZ6113S	1,2	150	22,9	0,3	4,8	30°
2	MIG	40 PZ6113S	1,2	150	22,9	0,2	4,8	30°
3	MIG	40 PZ6113S	1,2	160	23,6	0,1	5,2	30°

<b>Последовательность операций сборки и сварки</b>		
Операция	Содержание операции	Оборудование и инструмент
1 Очистка деталей	Поверхности деталей очистить от любых загрязнений.	Щетка по металлу, УШМ
2 Подготовка кромок	Кромки деталей и прилегающие к ним участки зачистить от окислов, ржавчины и других поверхностных загрязнений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальным до чистого металла	Шаблон сварщика, линейка, штангенциркуль, дифференциал, напильник.
3 Сборка стыка	Установить пластины на сварочном стыке с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбцинами. Выполнить 2 прихватки в начале и в конце сварного стыка, не более 20 мм одна прихватка, по 20 мм	Струбцины, шаблон сварщика, линейка

	от кроев стыка. Прихватки выполнять тем же режимом что и в основной проход сварного соединения.	
4 Подогрев стыка	Подогрев стыка не требуется. При заливке соплов влаги на кромок, а также температуре окружающего воздуха ниже плюс 5 °C, следует произвести просушку торцов деталей путем нагрева до температуры плюс 20-50 °C.	Газовая горелка, контактный термометр.
5 Сварка стыка	5.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик: от начала и до окончания сварки. 5.2 Прихватки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 2-х шт. выполнить полуавтоматической сваркой, равномерно распределены по длине деталей. Режимы сварки - как для корневого шва. Прихватки должны быть проплавлены. 5.3 Произвести зачистку прихваток от шлама и обработать абразивным кругом начальной и конечной участка каждой из них. Дефектные прихватки должны быть удалены механической обработкой (шлифованием или т.п.). 5.4 Сторонно-сварочное приспособление удалить после выполнения прихваток. 5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки 30°. Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком. 5.6 Геометрия шва должна соответствовать рисунку 2. выпуклость шва - 0,5 = 1,5 ширины не более 16 мм. 5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должна быть зачищена от шлама и брызг металла на глубину, необходимую для визуального контроля. 5.8 Сварное соединение предъявлять специалисту сварочного производства для последующего контроля.	Сварочный источник, шлифовальная, металлическая щетка, шаблон сварщика, напильник

Карта разработана Васильев А.А.



УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 1 из 3						
WPS № 8		Дата						
Предприятие-изготовитель								
Вид(ы) сварки -	- Сварка дуговая порошковой проволокой с флюсом - наполнителем в активном газе MAG							
Способ(ы)	- ручная							
<b>СОЕДИНЕНИЕ</b>								
Тип соединения - <u>стыковое</u>								
Подкладка (да, нет)								
Материал подкладки (вид)								
<input type="checkbox"/> Металл <input type="checkbox"/> Неплавищийся металл								
<input type="checkbox"/> Неметаллический <input type="checkbox"/> Прочее								
	 <p>Рисунок 1</p>  <p>Рисунок 2</p>							
	<p>Размеры, мм  <math>s = 10mm</math>; <math>a_1 = 10mm</math>; <math>b = 2mm</math>; <math>c = 2mm</math>; <math>e = 15mm</math>  <math>z = 2mm</math>;  <math>R_1 =</math></p>							
<b>Основной металл</b>								
Группа, подгруппа - М01	Группа - подгруппа							
Марка и спецификация	Сталь марки Ст3							
Химический состав, % (макс.)	толщиной 10 мм							
	<b>Механические свойства</b>							
C	Si	Mn	Ni	P	S	предел теплоты	временное сопротивле- ние разрыву	относитель- ное удлине- ние
0,14- 0,22%	0,15 -0,3	0,4- 0,65	0,3	0,05	0,04	205-255 МПа	370-490 МПа	22-26%
<b>Сварочные материалы</b>								
<b>Спецификация</b>			<b>Электрод</b>					
Тип (марка)			Сварочная порошковая проволока PZ6113S					
Диаметр, мм			1,2					
Присадочный материал: тип								
Марка								
Диаметр, мм								
Толщина выплавленного металла								

Положение	Последующая термическая обработка									
Положение(ы) разъемки IG PA. Направление сварки слева направо	Диапазон температур Выдержка									
Подогрев, °C (°F) Температура предварительного подгрева Температура между прокладкой Сопутствующий подогрев	Газ - 100%CO <sub>2</sub>									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Газ</th> <th>Смесь</th> <th>Расход</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO<sub>2</sub></td> <td></td> <td>30л/мин.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>-----</td> </tr> </tbody> </table>	Газ	Смесь	Расход	CO <sub>2</sub>		30л/мин.			-----
Газ	Смесь	Расход								
CO <sub>2</sub>		30л/мин.								
		-----								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Защита, л/мин</th> <th>Защита обратной стороны шва, л/мин</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Защита, л/мин	Защита обратной стороны шва, л/мин							
Защита, л/мин	Защита обратной стороны шва, л/мин									

УКАЗАНИЯ ПО СВАРКЕ [Welding Procedure Specification (WPS)]		Лист Листов 2 из 3
<b>Электрические характеристики</b>		
Процесс	136 ГОСТ Р ИСО 4063-131-2.	
Ток (переменный, постоянный)	Постоянный	
Полярность (прямая, обратная)	Обратная полярность	
Тип вольфрамового электрода и диаметр		
Способ защиты обратной стороны шва		
Расстояние сопла горелки от изделия		
<b>Возмущающие факторы при сварке</b>		
Ветер	От 2,6 до 3,2 м/с	

Процесс(ы)	Присадочный материал	Тип (марка)	Диаметр, мм	Диапазон тока, А	Диапазон напряжения, В	Диапазон скорости перемещения, мм/мин	Скорость подачи проволоки, м/мин	Угол наклона горелки
1	MIG	PPZ6113S	1,2	150	22,9	0,28	4,8	30°
2	MIG	PPZ6113S	1,2	150	22,9	0,2	4,8	30°
3	MIG	PPZ6113S	1,2	160	23,6	0,12	5,2	30°

<b>Последовательность операций сборки и сварки</b>		
Операция	Содержание операции	Оборудование и инструмент
1 Очистка деталей	Поверхности деталей очистить от любых загрязнений.	Щетка по металлу, УШМ
2 Подготовка кромок	Кромки деталей и прилегающие к ним участки зачистить от окислов, ржавчины и других поверхностных загрязнений на ширине не менее 20 мм и обработать шлифовальным до чистого металла	Шаблон сварщика, линейка, штангенциркуль, шлифовальная, напильник.

3 Сборка стыка	Установить пластины на сварочном столе с необходимым зазором. Зафиксировать пластины струбцинами. Выполнить 2 прихватки в начале и в конце сварного стыка, не более 20 мм одна прихватка, по 20 мм от края стыка. Прихватки выполнять тем же режимом что и в корневой проход сварного соединения.	Струбцина, шаблон сварщика, линейка
4 Подогрев стыка	Подогрев стыка не требуется. При наличии следов влаги на кромках, а также температуре окружающего воздуха ниже плюс 5 °C, следует произвести просушку торцов деталей путем нагрева до температуры плюс 20-50 °C.	Газовая горелка, контактный термометр.
5 Сварка стыка	<p>5.1 Сварочные работы выполняет 1 сварщик от начала и по окончании сварки.</p> <p>5.2 Прихватки длиной 20 мм, высотой 2 мм в количестве 2-х шт. выполнить полуавтоматической сваркой, равномерно распределены по длине деталей. Режим сварки - как для корневого шва. Прихватки должны быть проплавлены.</p> <p>5.3 Произвести зачистку прихваток от шлака и обработать абразивным кругом начальной и конечной участки каждой из них.</p> <p>Дефектные прихватки должны быть удалены механической обработкой (шлифовальным или т.п.).</p> <p>5.4 Сборочно-сварочное приспособление удалить после выполнения прихваток.</p> <p>5.5 Выполнить сварку в 3 прохода под углом наклона горелки 30°.</p> <p>Начало зажигания дуги и направление сварки - с лева на право в соответствии с рисунком.</p> <p>5.6 Геометрия шва должна соответствовать рисунку 2; выпуклость шва - 0,5 ± 1,5 ширина не более 16 мм.</p> <p>5.7 По окончании сварки поверхность шва и прилегающей к ней зоны основного металла должна быть зачищена от шлака и брызг металла на ширину, необходимую для визуального контроля.</p> <p>5.8 Сварное соединение предъявить специалисту сварочного производства для последующего контроля.</p>	Сварочный источник, шлифовальный, металлическая щетка, шаблон сварщика, напильник