

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»
(код и наименование направления подготовки)

Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических материалов
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Дефекты сварки эстакады и методы их устранения»

Студент М.В. Слепокуров _____
(И.О. Фамилия (личная подпись))

Научный
Руководитель к. т. н., доцент Г.М.Короткова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	4
1. Анализ результатов контроля качества сварных соединений.....	7
1.1 Описание конструкции эстакады.....	7
1.2 Свойства материала сварной конструкции – эстакада	8
1.3 Анализ дефектов сварных соединений эстакады.....	10
1.4 Базовые методы устранения дефектов.....	20
2. Методы устранения дефектов конструкции в период эксплуатации.....	22
2.1 Особенности устранения повреждений в угловых и тавровых соединениях.....	22
2.2 Выборка дефектов в стыковых угловых и тавровых соединениях.....	23
3. Разработка технологии выборки трещин в стыковых, угловых и тавровых соединениях.....	33
3.1 Выбор оборудования способа плазменной выборки.....	33
3.2 Выбор параметров выборки трещин плазменной дугой в стыковых угловых и тавровых соединениях.....	37
3.3 Технология воздушно - плазменной выборки трещин в стыковом соединении.....	40
4. Технология устранения трещин в стыковых соединениях.....	43
4.1. Технические характеристики оборудования и выбор параметров заварки дефектов.....	43
4.2. Технологический процесс устранения дефектов возникающих в процессе эксплуатации эстакады.....	45
4.3 Расчет параметров режима заварки дефекта.....	50
4.4 Технологический процесс заварки трещин стыкового соединения, возникающих в процессе эксплуатации эстакады.....	54
5. Разработка рекомендаций по устранению дефектов возникающих в процессе эксплуатации эстакады.....	62
Заключение.....	70
Список используемых источников.....	71

Приложение А Заключение по радиографическому контролю эстакады подъемно-транспортного оборудования узел Т25/1.....	76
Приложение Б Заключение по радиографическому контролю эстакады подъемно – транспортного оборудования узел С51/1.....	77
Приложение В Заключение по радиографическому контролю эстакады подъемно-транспортного оборудования Т61/1.....	78

Введение

В условиях промышленного производства возникают проблемы поддержания технологического оборудования в технически исправном состоянии. К техническому оборудованию относят грузоподъемные краны и машины от технического состояния, которых зависит нормальное функционирование технологических процессов, так и безопасность труда работающих, число аварий и травматизма при работе крановых конструкций носит устойчивый характер.

«Весь парк, отработавший свой нормативный срок, регулярно подвергается диагностированию и технической экспертизе. Подавляющее большинство металлических несущих конструкций являются сварными» [20].

«Аварии, происходящие по техническим причинам, в основном, являются следствием разрушения несущих элементов крановых конструкций, с истекшим сроком службы и сложными условиями эксплуатации. Основные причины отказов несущих металлоконструкций: дефекты сварных соединений, коррозия, нарушение при монтажных работах, дефекты материалов, несовершенство конструкторско-технологических решений. Подавляющее большинство металлоконструкций имеют дефекты сварных соединений, следы коррозии, изменения геометрических форм» [21].

«Разработка систем, использующих современные методы контроля (в том числе и неразрушающего) позволит получить достоверные сведения о техническом состоянии объектов исследования и на их основе прогнозировать ресурс и долговечность каждого элемента индивидуально» [22].

Анализ результатов обследований металлических конструкций подтверждают преимущественное зарождение разрушений в основном зоне сварных соединений.

«Требования контроля качества сварных конструкций обуславливает интенсивное развитие методов и средств неразрушающего контроля. Наряду с разработкой отдельных методов дефектоскопии широкое развитие получил комплексный контроль качества, включающий функционирующие по заданной логике различные методы. Это позволяет не только обнаружить дефекты, но и определить их тип, размеры, расположение и ориентацию» [20].

«Актуальность неразрушающего контроля связана с тем, что неразрушающий контроль является альтернативой экономии конструкционных материалов, уменьшению габаритов конструкций. Неразрушающий контроль как средство дефектоскопии позволяет выявлять дефекты и определять их параметры. Проблемы методов неразрушающего контроля затрагивает интересы исследователей, специалистов по обработке информации, специалистов в области прочности и разрушения и многих других. Пока не созданы комплексные системы обследования и диагностическая аппаратура, позволяющая реально оценивать напряженно-деформированное состояние длительное время работающих сварных соединений при различных типах нагружения. Требуются методы оценки остаточного ресурса сварных соединений, которые учитывали бы длительность, условия эксплуатации и типы нагружения» [21].

«Влияние сварки с присущими ей технологическими несовершенствами (остаточные напряжения и деформации, непровары и подрезы швов, повышенная концентрация напряжений и др.) на повышение склонности к хрупкому разрушению металлических конструкций интенсивно изучается в настоящее время. При расчетной оценке прочности и работоспособности металлических конструкций недостаточно учитываются изменяющиеся в широких пределах физико-механические параметры сварных соединений, а также возникающие различные дефекты, что не позволяет достоверно моделировать процессы разрушения» [22].

Устранение дефектов, обнаруженных в процессе планового контроля качества, требует особого подхода при выборе способов вырубки и заварке дефектов.

Цель выпускной квалификационной работы - снизить деформации конструкции.

1 Анализ результатов контроля качества сварных соединений эстакады

1.1 Описание конструкции эстакады

С помощью крановых конструкций можно эффективно механизировать грузоподъемные операции с грузами различных габаритов и массы. Для того, чтобы смонтировать кран вначале требуется обустроить крановые эстакады, которые будут обеспечивать его перемещение над рабочей зоной[42].

«Крановая эстакада представляет собой техническое сооружение, состоящее из опор, на которых располагаются горизонтальные пролетные строения. Они выступают в качестве несущих конструкций для мостовых кранов»[40]. Обычно крановые эстакады не имеют ограждений и являются свободно стоящими сооружениями.

«В зависимости от условий для размещения крана и условия эксплуатации на конкретном объекте при разработке проекта эстакад могут использоваться различные принципиальные конструкторские схемы.

Известны следующие типы крановых эстакад» [20,21,22]:

«1) Свободно стоящие монорельсовые пути представлены балками двутаврового сечения или монорельсами, которые монтируются на свободно стоящем металлическом каркасе. Такой тип эстакад используется в помещениях с малой площадью рабочей зоны крана» [20].

2) «Подвесные монорельсовые пути. Такие эстакады состоят из двутавров, которые подвешиваются либо монтируются иным способом на стропильных фермах» [21]. Устойчивость всей конструкции придают раскосы, передающие нагрузки на перекрытия.

3) Эстакады подвесного типа. Данный тип крановых путей широко распространен в силу простоты монтажа. У подвесных эстакад балки монтируются непосредственно на стропилы.

4) Эстакады встроенного типа. Балки с подкрановыми путями крепятся на колонны. Нижняя часть колонн имеет опирание на опорные фланцы, а верхняя

монтируется к стропильным фермам. Эстакады данного типа применяют при необходимости размещения в одном цехе нескольких мостовых кранов.

5) Эстакады с колоннами, расщепляющимися выше пролетной части крана.

6) Эстакады со свободно стоящими колоннами. В этом случае эстакада устанавливается на колонны, которые размещаются на собственном фундаментном основании».

Результаты контроля качества в выпускной квалификационной работе приводятся для эстакады.

В ходе подготовки выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации) использована нормативная и учебная литература, научно-исследовательские работы, выполненные технические отчеты по данной теме и типовые серии проектов конструктивных элементов эстакады фермы, что не только упрощает процесс монтажа, но и позволяет максимально задействовать полезную площадь помещения.

1.2 Свойства материалов для сварной конструкции - эстакады

Для изготовления сварных конструкций применяют различные виды стального проката. Сталь – сплав железа с углеродом и другими химическими элементами, где углерода содержится не более 2%. Стали поставляются согласно требованиям по химическому составу и механическим свойствам [1].

«Согласно ГОСТ 380-2005[38] стали делятся на три группы:

- группа А – сталь, поставляемая по механическим свойствам;
- группа Б – сталь, поставляемая по химическому составу;
- группа В - сталь, поставляемая по химическому составу и механическим свойствам»[19].

«По химическому составу стали подразделяются на углеродистые и легированные.

Углеродистые стали по содержанию углерода подразделяются на:

- низкоуглеродистые с содержанием углерода до 0,25%;
- среднеуглеродистые с содержанием углерода 0,25-0,6%;
- высокоуглеродистые с содержанием углерода 0,6-2%»[2].

Стали, имеющие в своем составе кроме углерода легирующие элементы, такие как хром, кремний, никель и другие, называют легированными. В зависимости от процентного содержания легирующих элементов стали выпускаются:

- низколегированными, когда суммарное содержание легирующих компонентов менее 2,5%;
- среднелегированные - содержат легирующих компонентов от 2,5-10%;
- высоколегированные стали содержат легирующих компонентов более 10%.

Для сварной конструкции эстакада, которая проходит контроль качества используется марка стали 09Г2С ГОСТ 19282-73[34]. В основном эта марка стали используется для листового и фасонного проката. Сталь хорошо сваривается и применяется для изделий, обладающих высокой износостойкостью: балки, швеллеры, уголки.

Таблица 1 - Химический состав стали 09Г2С (плавочный анализ) в соответствии с ДСТУ 8541, % [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu
≤0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	≤ 0,3	≤0,04	≤0,035	≤ 0,3	≤0,012	≤0,3

Таблица 2 - Механические свойства стали 09Г2С[34] в соответствии с ДСТУ8541 [2]

Класс прочности	Толщина листового проката, мм	Сечение сортового проката, мм	Предел текучести, Н/мм ² , не менее	Временное сопротивление, Н/мм ² , не менее	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее
265	20-160	20-100	265	430	21
295	20-32	20-32	295	430	21
325	10-20	≤20	325	450	21
345	≤10	≤10	345	480	21

1.3 Анализ дефектов сварных соединений эстакады

«Сварной шов является единственным связующим элементом между отдельными частями сварной конструкции»[30].

При определенных условиях в нем возникают дефекты. В свою очередь они подразделяются на следующие группы.

Наружные дефекты (рисунок 1).

Основными показателями являются неправильная форма стыка, трещины, наплывы, кратеры, подрезы шва, прожоги и прочие визуальные признаки, которые можно обнаружить на поверхности. Они видны при тщательном визуальном осмотре[43]. И только некоторые можно заметить с первого взгляда;



Рисунок 1 - Наружные дефекты

Внутренние дефекты

Дефекты представляют собой неполное или неравномерное сплавление металлов, трещины или пористость в структуре, наличие посторонних включений – шлак, оксид, неметаллические примеси; другие, находящиеся внутри шва, изъяны[41].

Сквозные дефекты

Трещины, прожоги и прочие повреждения, которые носят сквозной характер и видны с обеих сторон.

Классификация дефектов сварных соединений изложена в пунктах ГОСТа 30242-97 [35]. Документ содержит информацию обо всех возможных изъянах. Из них можно выделить часть, которые чаще других встречаются при контрольном осмотре соединительных стыков: трещины, поры, подрезы, шлаковые включения, непровар, кратер.

В случае наличия дефектов в сварном соединении прочность ее будет значительно понижена[44].

«Основными ошибками при изготовлении стальных конструкций эстакады, приводящих к образованию в них дефектов, являются:

- замена материалов при изготовлении элементов конструкции (замена марки стали, типа электродов, изменение площади сечения элементов);
- уменьшение длины и катета сварных швов;
- непрямолинейность применяемых элементов (искривление, погнутость);
- неисправность оборудования и неправильно выбранные режимы сварки;
- низкая квалификация специалиста» [1].

Замена марки сварочных материалов приводит к некачественной работе сварного шва. При этом изменяется прочность шва и околошовной зоны. Замена сварочных материалов может привести к образованию пор, шлаковых включений, подрезов, непроваров, кратеров, трещин.

Неполномерные швы с уменьшенной по сравнению с проектом высотой катетов снижают несущую способность узлов.

Все допуски по размерам шва регламентированы требованиями ГОСТа для каждого из видов сварки, применяемых для выполнения соединений элементов эстакады. Любые отклонения показаний от утвержденных нормативов принято считать дефектами [27]. Они могут быть последствием ошибок в процессе как подготовки, так и выполнения сварочных работ.

Большинство дефектов сварочного соединения отрицательно сказываются на его прочностных характеристиках.

Любые дефекты являются основанием для выбраковки работы и должны быть устранены. Это правило особенно актуально для металлоконструкций несущего плана – каркасов, рам, обрешеток и т.п. Они должны быть сварены безупречно, чтобы выдерживать предполагаемые нагрузки. В противном случае конструкции могут служить источником опасности для окружающих, поэтому необходимо строго соблюдать технологические процессы; привлекать к работе специалистов с достаточным уровнем квалификации.

Рассмотрим дефекты, возникающие при сварке плавлением в процессе длительной эксплуатации эстакады (рисунок 2).

Наибольшее негативное влияние на качество сварного шва оказывают трещины. Потенциально они наиболее опасны, поскольку могут стать причиной быстрого разрушения всей конструкции, что в свою очередь может привести к трагедии. Появляются трещины по разным причинам:

- стыки расположены неправильно;
- место сварки было резко охлаждено;
- неправильно подобраны расходные материалы;
- металл кристаллизовался вследствие избыточно высокой температуры

температуры.



Рисунок 2 – Внешний вид продольной трещины

По способу образования трещины могут быть продольными, поперечными или радиальными, а по размеру принято различать макро- и микротрещины.

По своей природе трещины в сварных соединениях разделяются на следующие группы:

а) горячие трещины образуются непосредственно после кристаллизации при $T=1100-1300^{\circ}\text{C}$. Они преимущественно наблюдаются при сварке средне- и высокоуглеродистых, а также легированных сталей аустенитного класса. «Основной причиной образования горячих трещин является наличие полужидких прослоек между кристаллами металла шва в конце затвердевания. Определяющее действие стойкости против горячих трещин оказывает химический состав шва. Повышенное содержание углерода, серы, кремния и водорода способствует образованию горячих трещин, а увеличение марганца и хрома уменьшает возможность трещинообразования;

б) холодные трещины возникают при $T=100-300^{\circ}\text{C}$ или при нормальной температуре непосредственно после остывания зоны шва или спустя длительное время после сварки. Холодные трещины проходят по зернам металла. Они образуются вследствие значительных напряжений, возникающих в зоне шва в процессе распада твердого раствора скопления молекул водорода в пустотах металла. К образованию холодных трещин склонны изделия значительной толщины, изготовленные из закаливающихся легированных и углеродистых сталей;

в) усталостные трещины появляются в зоне сварного шва после длительной эксплуатации в условиях вибрационных нагрузок».

Вне зависимости от вида, причин и способа образования трещина является недопустимым дефектом, подлежащим устранению. При исправлении дефектов эстакады возникают подрезы.

Подрезы визуально представляет собой изъясн - продольное углубление с наружной части шва[45]. Из-за подреза уменьшается сечение шва и образуется внутреннее напряжение соединения, могут стать причиной разрушения швов из-за появления трещин у края подреза»[4]. Прочность такого шва вызывает большие сомнения. Основная причина образования

дефекта – завышенный показатель сварочного тока и неправильный угол наклона электрода. Чаще всего подрезы характерны для горизонтальных швов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Подрезы продольного шва при исправлении дефекта

Избыточный расплав натекает на поверхность заготовки, остывает и образует ложный валик (рисунок 4). Наплыв, не имеет прочного сплавления с рабочей поверхностью. Чаще всего дефект образуется при горизонтальной сварке стыковых или угловых швов. Причиной их образования является недостаточный прогрев основного металла, из-за избытка присадочного материала или окалины на кромках стыкуемых поверхностей[42].



Рисунок 4 – Внешний вид наплыва

« Прожог - это дефект, который представляет собой сквозное отверстие, образующееся из-за вытекания металла из сварочной ванны (рисунок 5)»[13]. Как правило, с обратной стороны образуется наплыв. Провоцирует прожог слишком медленное перемещение электрода по линии стыка, слишком большой ток, недостаточная толщина прокладки или же неплотное ее прилегание, большой зазор между деталями, малая величина притупления.



Рисунок 5 - Прожог, возникающий при исправлении дефектовэстакады

Если между швом и основным металлом есть участки, где видно несплавление между ними, то это непровар (рисунок 6). То есть, основной металл не прогрелся как следует, чтобы образовать с расплавом единое целое. Непровар относится к числу достаточно опасных дефектов для работы сварных швов. Непровар уменьшает сечение металла шва и приводит к концентрации внутренних напряжений в зоне непровара. «Причиной непровара может быть слишком высокая скорость перемещения электрода, плохая предварительная подготовка кромок, присутствие окалины, ржавчины и прочих загрязнений на поверхности соединяемых заготовок, недостаточный прогрев соединяемых деталей, нарушение установленного

режима сварки (сварочный ток и скорость сварки)» [2].

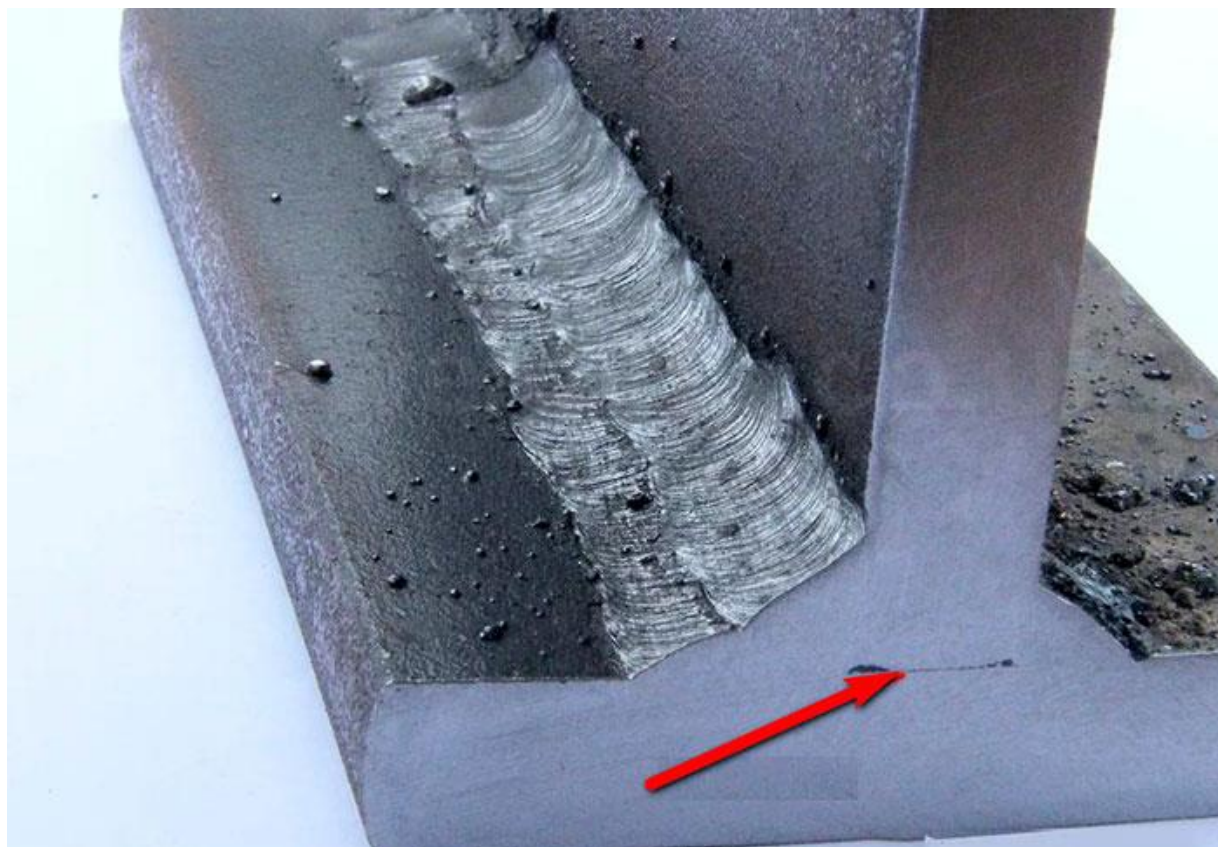


Рисунок 6 – Непровар внутри сварного соединения

«Непровар сварного шва-самый распространенный дефект, который появляется у начинающих сварщиков»[1].

Кратеры – это небольшие углубления в сварном валике образующееся в результате обрыва сварочной дуги (рисунок 7). Изъяны приводят к уменьшению поперечного сечения стыка, что снижает степень его прочности. Вторичная опасность кратера заключается в том, что его дно может иметь дополнительные рыхлые включения, являются концентраторами напряжений, приводящие к появлению трещин.

«Способ устранения дефекта – удаление дефектного участка и заварка»[1].

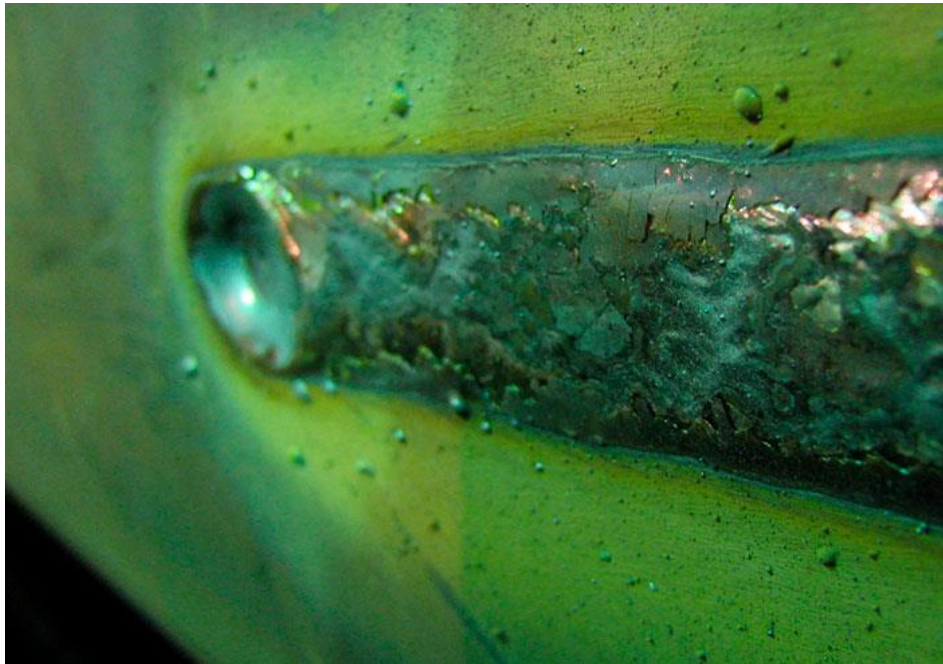


Рисунок 7 – Внешний вид кратера

Свищи - это дефекты, которые представляют собой поверхностные дефекты в виде полостей (рисунок 8). Они снижают прочность стыка и дополнительно опасны тем, что могут провоцировать образование трещин. Свищи характеризуются произвольной формой, могут образовываться как на внешней стороне, так и на внутренней. Свищи - сквозные, выходящие на поверхность дефекты.



Рисунок 8 – Внешний вид свищей

В процессе исправления дефектов в угловом соединении могут образовываться наполненные газами поры (рисунок 9). Причиной их возникновения являются разные загрязнения на поверхности заготовки, высокая скорость перемещения электрода, слишком высокое содержание углерода в присадочном материале, попадание влаги в зону сварки с отсыревшим покрытием электрода, флюса и нарушением защиты расплавленного металла от газов воздуха при сварке в защитных газах.

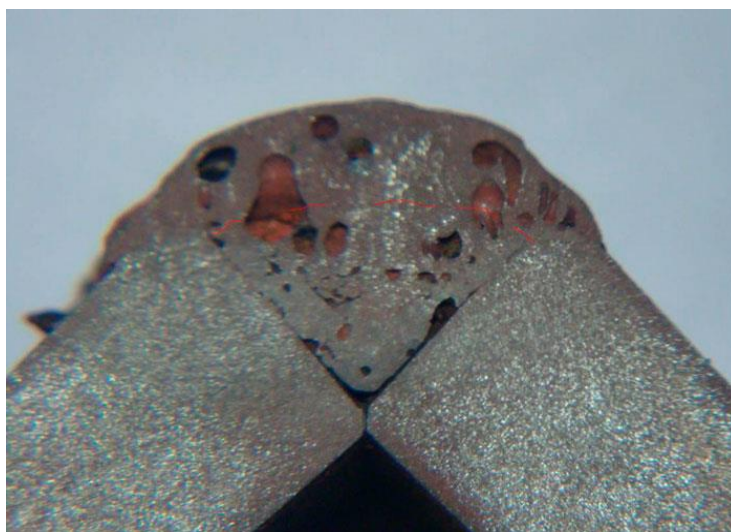


Рисунок 9 – Внешний вид пор

Качество шва значительно снижается из-за посторонних включений – шлаковых, флюсовых, оксидных и прочих (рисунок 10). Причинами появления шлаковых включений являются: наличие на поверхности кромок окалины, ржавчины, грязи, а также плохая зачистка поверхности нижних слоев при многослойной сварке, неправильно выбранный режим сварки.

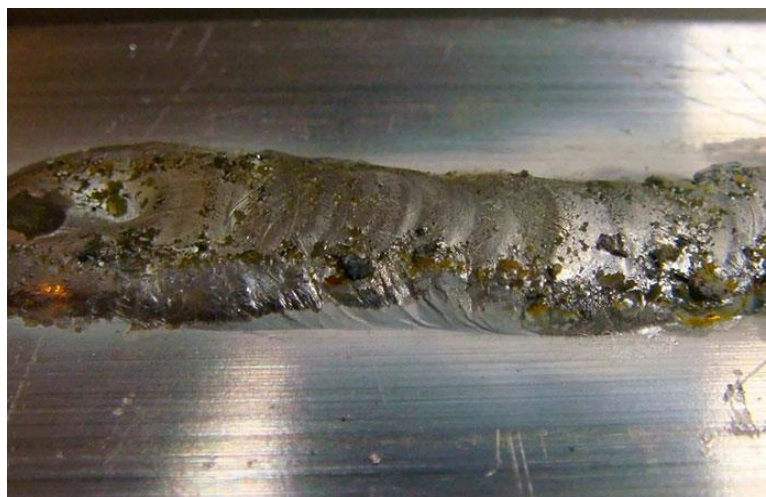


Рисунок 10 – Внешний вид посторонних включений

Любой дефект образуется вследствие определенного фактора. Существуют разные причины образования дефектов сварного шва - это

- применение некачественных расходных материалов;
- не соблюдение технологии выполнения сварочных работ;
- низкого качества металл, использованный для создания сварной конструкции;
- неисправность оборудования или некачественная его работа;
- неправильно выбранный режим сварки;
- технологические ошибки из-за низкой квалификации сварщика.

Анализ дефектов, которые могут быть обнаружены при контроле качества эстакады, показал, что наиболее трудоемкий дефект для исправления - трещины.

1.4 Базовые методы устранения дефектов

Вне зависимости от задействованного оборудования при устранение дефектов – инвертор, классический аппарат, трансформатор и прочее – образование дефектов не исключено. Принято различать так называемые допустимые и недопустимые дефекты сварки. В зависимости от типа и

сложности изъянов определяется пригодность готового изделия к эксплуатации.

Каким способом будет устраняться дефект, зависит от типа изъяна. При обнаружении участка с трещиной он рассверливается, тело шва вырубается, поверхность зачищается и обезжиривается. После этого углубление заваривается, как правило, РДС, с последующей зачисткой, обеспечивающей плавный переход от шва к основному металлу. Допускается применение механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах.

В случае обнаружения деформированных участков, последние выравниваются прогревом или же механическим путем.

Анализ результатов контроля качества показал, что для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выбрать способ выборки обнаруженных трещин, снижающий деформации конструкции;
- 2) определить комплект оборудования для устранения дефекта в условиях производства;
- 3) разработать технологический процесс устранения трещин для различных сварных соединений эстакады;
- 4) подготовить проект рекомендаций по устранению дефектов, возникающих в процессе эксплуатации эстакады .

2 Методы устранения дефектов конструкции в период эксплуатации

2.1 Особенности устранения дефектов в сварных соединениях

Дефектными участками в сварных конструкциях называют такие отклонения качества от норм, предусмотренных стандартами, техническими условиями, чертежами проектов, которые могут снизить их прочность, сплошность, коррозионную стойкость, жаропрочность, герметичность, пластичность, химический состав и структурные составляющие[6]. «Причинами образования дефектных участков в сварных конструкциях могут быть: нарушения технологии и режимов сварки; плохая защита зоны сварки от окружающего воздуха; наличие масла, технологической смазки, окалины, ржавчины и других загрязнений на поверхности сварочной проволоки и свариваемых кромок деталей; низкая квалификация сварщиков; неправильная подготовка кромок под сварку; неправильная сборка под сварку; неисправность сварочного оборудования» [13].

Устранение трещин производят заваркой. Удаление дефектных участков под заварку должно производиться газовой резкой или воздушно-дуговой строжкой с последующей зачисткой до металлического блеска[41].

Если трещина ветвистая или причиной ее возникновения является недоброкачество металла, то производят замену листа или профиля.

Особенностью устранения трещин в стыковых соединениях и тавровых является засверливание +10мм с каждой стороны трещины, это позволяет предотвратить дальнейшее ее распространение. «Засверливание производят сверлом $\text{Ø } 6\div 8\text{мм}$. Диаметр сверла должен быть больше ширины трещины»[18].

Перед засверливанием производят зачистку металла вдоль трещины от масла, окалины, ржавчины на ширину 16-20 мм. Сверловку производят на расстоянии 10 мм от краев трещин, что предотвращает ее дальнейшее

распространение (рисунок 11). Затем производят выборку трещины. Выборка трещины - технологическая операция, от выполнения которой зависит качество заварки дефекта. Заварку и дополнительное сверление $\varnothing 16-25$ мм проводят для снятия недоваренного участка трещины (начала и конца сварного шва) в зависимости от толщины элемента.

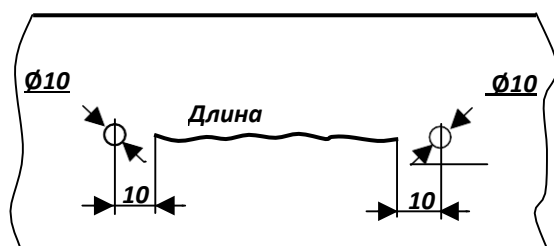


Рисунок 11 –Эскиз сверловки отверстий при подготовке устранения трещины

Выявленные дефекты сварных швов, наличие которых не допускается, подлежат исправлению. Во время эксплуатации эстакады возникают усталостные трещины, разрывы сварных швов и металла.

2.2 Выборка дефектов в стыковых, угловых и тавровых соединениях

Выборку трещины в соответствии с нормативными документами производят механическим способом, плазменной, воздушно-дуговой строжкой, кислородной резкой, дуговой резкой.

«Дуговая резка основана на расплавлении металла в месте реза и удаление его за счет давления дуги и собственного реза. Выборку дефектов выполняют угольным электродом. Качество реза обычно низкое, с неровными кромками покрытыми шлаком и оплавленным металлом, что требует обязательной зачистки»[8]. Качество реза обычно низкое, но не

требует специального оборудования и может осуществляться там, где выполняется дуговая сварка. «Дуговая резка проводится в различных пространственных положениях. При поверхностной резке электрод наклоняют к поверхности под углом $(5-20)^\circ$ и перемещают, частично погружая его конец в образовавшуюся полость. Глубина канавки зависит от скорости перемещения дуги и наклона электрода»[25]. Для резки используются постоянный ток прямой полярности, так как в этом случае выделяется больше теплоты. «Науглероживание кромок после строжки затрудняет их зачистку»[8].

Современные методы резки предлагают различные виды разделки металла с применением плазмы, так как эти способы экономичнее, чем газокислородная, благодаря высокой скорости и качества реза.

Плазменная резка - это обработка металлических изделий, где резцом служит струя плазмы. «Плазма - ионизированный газ, содержащий электрически заряженные частицы с положительным и отрицательным зарядом, и способны проводить ток. Ионизация газа происходит при его нагреве. Степень его ионизации тем выше, чем выше температура газа. Плазменную струю используют для резки и строжки»[14]. Рабочей средой при плазменной резке являются такие технические газы как азот, аргон, водород, сжатый воздух, кислород и др. (таблица 3) [4,31]. Они должны обеспечивать:

- эффективное формирование режущей дуги;
- получение высококачественных кромок реза;
- эффективную передачу разрезаемому металлу тепловой энергии, заимствованной в столбе дуги;
- длительную работу формирующих элементов плазмотрона;
- получение дополнительной энергии для резки за счет экзотермических реакций;
- экономичность и безопасность работы.

«Инертные газы обеспечивают получение наиболее чистых поверхностей реза. Двухатомные газы улучшают передачу энергии дуги разрезаемому металлу за счет механизма диссоциации.

Широко применяют резку на основе плазмы кислородосодержащего сжатого воздуха. Кислородосодержащие среды повышают энергетическую эффективности резки металлов»[14]. Рабочие среды плазмы кислородосодержащего сжатого воздуха приведены в таблице 4 [4,31].

Таблица 3 – Физико- химические свойства плазмообразующих сред [4]

Среда	M	γ , кг/ m^3	c , Дж/кгС	η , мкПа·с	λ , Вт/м·К	σ , См/см	q , кДЖ/г·моль	u , В	
								первый	второй
N_2	28,002	1,2505	1,05	231	1,23	30	714,84	14,51	29,41
Ar	39,94	1,783	0,53	280	0,702	30	–	15,7	27,64
H_2O (вода, пар, при 373 К)	18,016	0,598	2,02	–	–	–	485,52	–	–
H_2	2,016	0,084	14,3	91,4	3,58	65	435,96	13,54	–
Воздух	–	1,293	1,01	260	2,60	30	–	–	–
O_2	32,0	1,43	0,92	266	0,750	25	496,44	13,57	34,75

Примечание: M - атомная или молекулярная масса; γ – удельный вес при 273 К и 101 кПа; c - теплоемкость при 273 К и 101 кПа; η - вязкость при $10 \cdot 10^3$ К и 101 кПа; λ - теплопроводность при $10 \cdot 10^3$ К и 101 кПа; σ - удельная электрическая проводимость 101 кПа и $10 \cdot 10^3$ К; q - энергия диссоциации; u - потенциал ионизации.

Таблица 4 - Рабочие среды плазмы кислородосодержащего сжатого воздуха

Основная рабочая среда	Добавки	Области применения
1	2	3
Сжатый воздух (ГОСТ 17433-72)		Машинная и ручная резка углеродистых, низколегированных, коррозионностойких сталей, черновая резка цветных металлов.
Сжатый воздух (ГОСТ 17433-72)	Кислород (ГОСТ 5583-78)	Высокопроизводительная машинная резка сталей.
Сжатый воздух (ГОСТ 17433-72)	Вода (ГОСТ 2874-82)	Машинная резка сталей с уменьшением степени газонасыщения кромок.
Сжатый воздух (ГОСТ 17433-72)	Пропан-бутан (ГОСТ 20448-80) с водой или без	Высокопроизводительная машинная резка меди и резка сталей с улучшенными свойствами кромок.
Кислород (ГОСТ 5583-78)	–	Высокопроизводительная машинная резка сталей с уменьшением газонасыщения кромок.
Аргон (ГОСТ 10157-79)	Водород (ГОСТ 3022-79)	Чистовая резка цветных металлов

Продолжение таблицы 4

1	2	3
Азот (ГОСТ 9293-74	Без добавок с водой или водородом	Чистовая машинная резка меди, ручная резка цветных металлов толщиной до 80 мм.

«При воздушно-плазменной резке обогащение воздуха кислородом обеспечивает повышение производительности резки сталей без увеличения затрат энергии и способствует улучшению качества металла на кромках. Подача воды в плазменную дугу также улучшает качество заготовок из сталей и способствует повышению скорости резки»[4].

Качество реза — важный фактор при обработке металла, особенно, если это плазменная резка. Определяется качество реза режимом работы и мастерством исполнителя. Плазменно-дуговая резка регламентируется ГОСТ 14792-80 [31] и международным стандартом качества — ISO 9013-2002 [32]. Нормативные документы определяют следующие основные критерии качества резки и строжки:

- 1) допуск на перпендикулярность или угловатость. Показывает отклонения от перпендикуляра и плоскости реза к поверхности обрабатываемого изделия;
- 2) оплавление верхнего края. Трещины в точках обработки не допускаются. Верхний край может быть острым, оплавленным, оплавленно-нависающим;
- 3) шероховатость. По ГОСТ делится на три класса, 1, 2 и 3.

В настоящее время известны несколько видов плазменно-дуговой резки:

- воздушно-плазменный способ резки металла;
- газоплазменная;
- лазерно-плазменный способ резки.

«Лазерно-плазменная резка по экономическим соображениям имеет еще незначительное применение в промышленности. Излучение лазера с помощью оптических систем может быть сфокусировано в пятно диаметром в несколько микрометров или линию. При этом по концентрации энергии оно на несколько порядков превышает остальные сварочные источники энергии.

Высокая концентрация теплоты в световом пятне лазера позволяет практически все металлы довести до расплавления и кипения. Поэтому его можно использовать для обработки тугоплавких металлов.

Процесс резки заключается в расплавлении металла и удалению его дополнительно подаваемым газом. В результате образуется узкий рез, с качеством кромок сопоставимым с механической обработкой. Резка может выполняться непрерывным или импульсным лучом. При использовании в качестве дополнительного газа кислорода скорость резки увеличивается»[14].

Воздушно-плазменная строжка металла имеет принцип действия: электродуга плюс ионизированный поток раскаленного газа-воздуха.

Плазменная резка - это высокоэффективный метод обработки металла, широко применяемый для решения различных задач: от разделки листов на детали до выборки дефектов в сварных конструкциях[25]. В последнем случае применяют ручные плазменные резаки, которые предлагается использовать при устранении дефектов эстакады. Расширение ассортимента применяемых газов влечет значительное усложнение и рост стоимости.

«Резка металла осуществляется различными типами плазмотронов:

- воздушно-плазменный,
- газоплазменный,
- индукционный,

- комбинированный,
- пароводяной плазмотрон.

При всем разнообразии плазмотроны имеют общие элементы устройства (рисунок 12):

- стержневой вольфрамовый (графитовый) катод;
- дуговая камера с вихреобразователем для создания плазмы;
- сопло, разгоняет поток ионизированного газа, формирует его толщину;
- элементы подвода газа, охладителя (вода);
- электрокабель»[14].

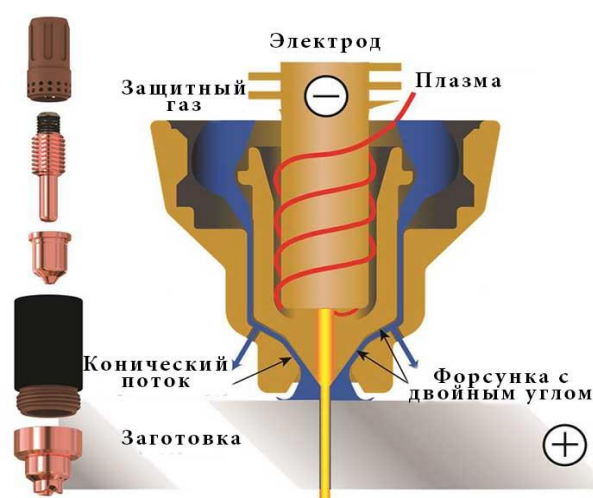


Рисунок 12 – Устройство плазмотрона для резки и строжки

Выборку дефектов в сварном шве в соответствии с нормативными документами производят воздушно-дуговой или плазменной строжкой или механическим способом.

Для заварки трещин делают V-образную разделку трещины, если толщина металла до 16 мм, отверстия раззенковывают. Если трещина не сквозная, то ее удаляют до чистого металла. Участки выборки после плазменной или воздушно-дуговой строжки зачищают до чистоты.

Угол разделки для стыкового шва равен $50^{\circ} \pm 4^{\circ}$ по всей длине трещины (рисунок 13). В тавровых и угловых соединениях угол разделки составляет $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ (рисунок 14).

«Качество подготовки под заварку участков, с которых удалены дефекты, до их заварки проверяется работником ОТК и производственным мастером, а после удаления трещин дополнительно контролируется цветной дефектоскопией» [10].

Ширина выборки должна обеспечить ширину сварного шва, получаемого после подварки не более двойной ширины исходного шва[3].

При наличии дефектов, требующих двусторонней вырубki, допускается исправление дефектного участка проводить последовательно: сначала вырубку и заварку с одной стороны, затем с обратной под углом ($60 - 70^\circ$) (рисунок 15).

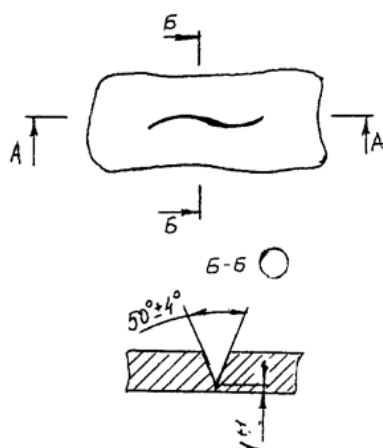


Рисунок 13 – Эскиз разделки трещины в стыковом соединении

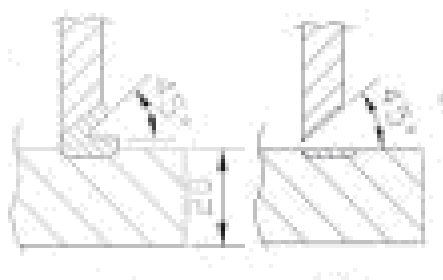


Рисунок 14 - Эскиз разделки трещины в угловом и тавровом соединениях

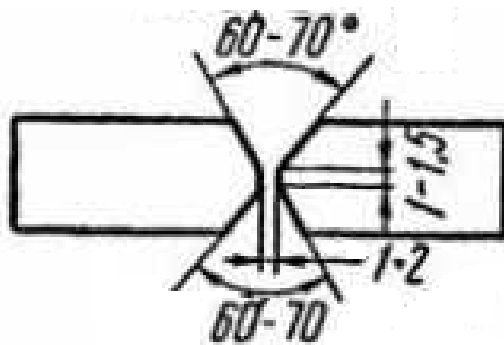


Рисунок 15 – Эскиз Х-образная разделка трещины

Из трех способов рекомендованных нормативными документами для выборки дефектов в сварном шве: воздушно-дуговой, плазменной строжки и механическим способом в данном конкретном случае выбираем плазменную строжку.

Известно, что удельная тепловая мощность плазменной дуги составляет (1):

$$W = 2 \times 10^6 \text{ Вт/см}^2, \quad (1)$$

что значительно больше, чем при других способах. Это позволит уменьшить зону термического влияния и снизить деформации конструкции при устранении дефекта. Кроме этого плазменная строжка обеспечит высокий класс чистоты обработки поверхности разделки трещины. После воздушно-плазменной строжки предлагается проводить заварку трещины без дополнительной подготовки кромок разделки.

Таким образом, обзор способов вырубки дефектов в стыковых, угловых и тавровых соединениях позволил обосновать способ выборки такого дефекта, как трещины в стыковых, угловых и тавровых соединениях, а также при устранении усталостных трещин, разрывах сварных швов и металла.

Применение воздушно-плазменной строжки обеспечит качество обработки поверхности трещины и существенно уменьшит зону термического влияния, снизив деформации конструкции.

3. Разработка технологии воздушно-плазменной выборки трещин в стыковых и тавровых соединениях

3.1. Выбор оборудования для воздушно-плазменной выборки

Разработка технологии воздушно-плазменной выборки предполагает выбор специальных резаков для работы с угловыми и тавровыми соединениями, где диаметр сопла ограничен конструкцией сварного соединения. Если при осуществлении выборки на стыковых соединениях ограничений по диаметру сопла не предъявляется (рисунок 16), то при угловых и тавровых соединениях диаметр сопла резака $d_c < (10-12)$ мм, как показано на рисунке 17.



Рисунок 16 - Внешний вид ручного плазменного резака



Рисунок 17 – Внешний вид ручного плазменного резака $d_c < (10-12)$ мм

Принцип работы плазмотрона заключается в следующем. Газ под высоким давлением, проходя вихреобразователь, входит в узкое отверстие сопла, отесняя дугу от стенок и сжимая ее. Между электродом и соплом зажигается (дежурная) дуга. Ток дежурной дуги устанавливается 25, 40, 60А в зависимости от источника питания плазменной дуги. «Дежурная необходима для создания основного рабочего разряда. Дежурная дуга не касается стенок сопла из-за вихревого потока газов. В результате струя проходящего газа нагреваясь до высоких температур ионизируется, приобретая свойства плазмы. При касании факела дежурной дуги металла возникает режущая дуга (рабочая). Включается повышенный расход воздуха, дежурная дуга при этом автоматически отключается. На рисунке 18 показаны фазы образования рабочей дуги»[8].

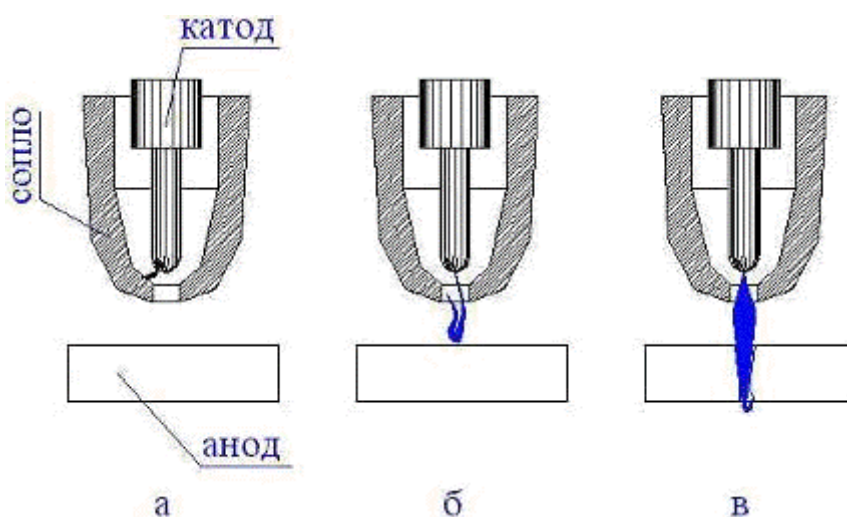
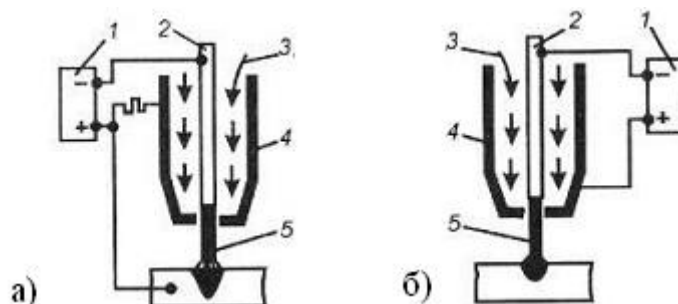


Рисунок 18 - Фазы образования рабочей дуги: а) зарождение дежурной дуги, б) выдувание дежурной дуги из сопла до касания с поверхностью разрезаемого листа, в) появление рабочей дуги

Известны два основных вида устройства плазмотрона: 1) прямого действия, или плазменно-дуговые; 2) косвенного воздействия.

«Плазмотрон прямого действия является частью электрической цепи. Катод - это головка плазмотрона, анод - заготовка. Между ними возникает дуга - плазменный разряд (рисунок 19а). Плазмтроны прямого действия имеют высокий КПД, так как мощность, затрачиваемая на нагрев металла,

складывается из мощности, выделяющейся в анодной области и мощности, передаваемой аноду струей плазмы. Плазменная струя прямого действия дает лучшие результаты при работе на повышенных толщинах металла ввиду высокой скорости и лучшего качества реза.



1-источник питания, 2-электрод, 3-газ, 4-сопло, 5-плазменная струя

Рисунок 19 - Схема получения дуговой плазменной струи прямого (а) и косвенного (б) действия» [4].

При косвенном действии плазмотрона дуга горит между катодом и соплом, которое подключается к положительному полюсу источника питания (рисунок 19б). Струя газа, истекающая из сопла, сжимает часть плазмы столба дуги и выносит за пределы плазмотрона. «Плазмообразующий газ может служить защитой расплавленного металла от воздуха. В некоторых случаях для защиты расплавленного металла используют подачу отдельной струи специального, более дешевого защитного газа. Газ, проходящий вдоль стенок сопла, менее ионизирован и имеет температур ниже, чем в плазмотронах прямого действия. Это предупреждает расплавление сопла»[14]. Для устранения асимметричных потоков используют специальные конструкции сопел и вкладышей.

Для воздушно-плазменной выборки стыковых, угловых и тавровых соединений из всех типов резаков: воздушно-плазменный, газоплазменный, индукционный (высокочастотный) комбинированный, пароводяной плазмотрон.

выбираем воздушно-плазменный ручной резак с диаметром сопла $d_c < (10-12)$, внешний вид которого приведен на рисунке 3.2. В воздушно-плазменном

резке рабочая среда - это подготовленный атмосферный воздух. «Он используется для резки черных металлов. Отличается более простой конструкцией среди аналогов. Плазмотрон для ручной воздушно-плазменной резки оснащен упором для обеспечения оптимального расстояния между резаком и поверхностью восстанавливаемого дефекта. Сделано это для того, чтобы не уставала рука оператора. В противном случае линия реза получается неровной со значительной шероховатостью»[31].

По сравнению с другими видами обработки металла, этот способ обладает рядом следующих преимуществ:

- скорость обработки толщин (до 50 мм) в 25 раз выше, нежели посредством газопламенной резки;
- локальный разогрев детали происходит только в месте воздействия, что способствует отсутствию тепловых напряжений и деформации изделия;
- способ позволяет производить сложные геометрическиерезы.

«В качестве источника питания для ручной воздушно - плазменной вырубки выбран инверторный трехфазный аппарат AuroraPRO AIRFORCE 80, который предназначен для плазменной резки любых токопроводящих материалов: мягкие стали, нержавеющей стали, оцинкованные стали и другие металлы. Данный аппарат отличается высоким качеством и высокой скоростью резки. Бесконтактный поджиг дуги с высокочастотным управлением обеспечивает начальный «поджиг» дуги и делает стабильным каждый старт, увеличивая срок службы расходных материалов горелки. При режущем токе 80А, аппарат способен справляться с углеродистой сталью толщиной до 30мм. А при толщинах до 25 мм, AIRFORCE уверенно чувствует себя даже при продолжительных работах, не теряя в качестве резки. К аппарату необходимо также подключить компрессор для подачи сжатого воздуха»[30].

Технические характеристики аппарата приведены в таблице 5.

Таблица 5 -Технические характеристики Aurora PRO AIRFORCE 80

Наименование параметра	Величина	Единица измерения
Напряжение питающей сети	380	В
Потребляемый ток при максимальной нагрузке	18	А
Потребляемая мощность	11.8	кВА
Режущий ток	20 - 80	А
Максимальная толщина реза	30	мм
Потребление воздуха	220	л/мин.
Давление сжатого воздуха	4 - 5	Бар
ПН	60	%
Температурный диапазон работы	-20; +50	°С
Степень защиты	IP21	
Вес	30.8	кг
Габаритные размеры	580x360x620	мм
Производитель	Aurora	
Код	7410060	
Габаритные размеры	580*360*620	мм
Вес	33	кг

Бесконтактный поджиг дуги с высокочастотным управлением, высокая скорость работы, отсутствие деформации и коробления металла - бесспорные преимущества аппарата AuroraPRO AIRFORCE 80 для воздушно - плазменной выборки дефектов на эстакаде. Аппарат AuroraPRO AIRFORCE 80 рекомендуется применять в комплекте с резаком для воздушно - плазменной выборки $d_c < (10-12)$ мм, который приведен на рисунке 3.2.

3.2 Выбор параметров режима выборки трещин в стыковых угловых и тавровых соединениях

В составе назначаемых параметров режима воздушно – плазменной выборки указываются такие параметры как:

- рабочая плазмообразующая среда;
- расход рабочей среды Q в л/мин;
- рабочий ток I_d в А;
- диаметр сопла d_c в мм;

- длина сопла l_c в мм;
- расстояние от рабочего торца сопла плазмотрона до поверхности металла (длина открытой части дуги) l_d в мм;
- рабочее напряжение дуги U_d в В;
- скорость выборки V_v , мм/мин.

Скорость выборки предлагается определять по формуле (2)

$$V=150*K*I/\delta, \quad (2)$$

где V – скорость выборки, мм/мин;

I_d – ток выборки, А;

δ – глубина выборки дефекта (трещины), мм;

K – коэффициент, учитывающий свойства металла: для углеродистых сталей $K=1$.

Окончательно скорость выборки устанавливается в зависимости от требования к качеству. Скорость выборки устанавливается на основе выполнения выборки на пробных образцах.

Скорость воздушно - плазменной выборки определяет производительность труда, качество поверхности разделки, наличие грата и угол скоса кромок.

Для выбора параметров режима выборки используем данные таблицы 6. [10].

Таблица 6 – Ориентировочные параметры режима плазменной резки

Тип металла	Толщина, мм	Диаметр сопла, мм	Сила тока А	Скорость резки, м/мин	Средняя ширина реза, мм
Сталь	1-10	0,9-1,1	40-60	2-0,2	1-1,3
	10-15	1,4	60-90	1,8-0,3	1,5-1,8
	15-20	2,7	90- 140	1,5-0,5	1,8-2,2
	20-25	1,9	100-150	1,2-0,15	2-2,5

«Скорость потока при воздушно – плазменной выборке достигает значений в пределах (500–1500) м/с и настраивается под определённый вид обработки дефекта в зависимости от размеров трещин, типа материала, угла разделки, длительности работы плазматрона»[14]. Производительность выборки определяется скоростью обработки. Для аппарата AuroraPRO AIRFORCE 80 величина скорости выборки не превышает 6,5–7 м/мин (~0,11 м/сек) и зависит от глубины трещины, вида металла, скорости газовой струи. Естественно, что с увеличением размеров дефекта, скорость обработки падает.

Газ, применяемый для воздушно - плазменной выборки, при работе с чёрными металлами является сжатый воздух.

Длина выплавляемого участка определяется в зависимости от глубины расположения дефекта (таблица 7) [2].

Выборку производят последовательно по слоям. Толщина каждого слоя - не более 2мм. Минимальная длина выбираемого участка принимается в зависимости от толщины металла.

Таблица 7 – Длина выплавляемого металла при выборке

Толщина металла (глубина трещин), мм	Длина выплавляемого металла, мм
3-10	30-40
12-20	50-60
24-40	70-80
42-60	90-100

Качество подготовки поверхности разделки — важный фактор при воздушно-плазменной выборке. Качество подготовки трещины определяется параметрами режима и мастерством исполнителя. Плазменно-дуговая резка регламентируется ГОСТ 14792-80 [31] и международным стандарт качества — ISO 9013-2002 [32].

«Качество выборки дефекта трещины определяется такими показателями как: шероховатость поверхности; радиус верхней кромки; величина зоны термического влияния.» [18].

Получение качественной поверхности при воздушно-плазменной выборке требует тщательной отработки режима. Ток плазменной дуги должен быть минимальным, обеспечивая необходимую производительность, что позволяет произвести работу с минимальным расходом электродов, сопел, электроэнергии.

Ошибки при выборе режимов плазменной резки могут привести к образованию двойной дуги, разрушающей сопло.

При поверхностной резке струя плазмы направляется под углом 15-40° к поверхности металла и перемещается вдоль нее. Металл подогревается от плазмы и от шлака, который перемещаясь по поверхности металла подогревает его следующие слои. Шлак, получающийся при строжке, отличается от шлака разделительной резки большим содержанием недожженного железа (рисунок 20).



Рисунок 20 - Форма и конструктивные элементы строжки

3.3 Технология воздушно - плазменной выборки трещин в стыковом соединении

Результаты контроля качества эстакады, проведенные в 2020г., позволили определить объем дефектов, возникших в процессе ее эксплуатации [25]. Результаты контроля качества, оформленные

специальными протоколами, выявили возникновение трещин в стыковых и угловых соединениях различной длины.

Технологический процесс воздушно - плазменной выборки трещин в данном случае разрабатывается на примере стыкового соединения.

Технологический процесс включает следующие операции:

1) зачистка металла вдоль все длины трещины от масла, окалины на ширину 16-20 мм;

2) засверливание концов трещин. Засверливание производят сверлом $d = (6-8)$ мм. Диаметр сверла должен быть больше ширины трещины; Сверловку производят на расстоянии 10 мм от краев трещин (рисунок 21).

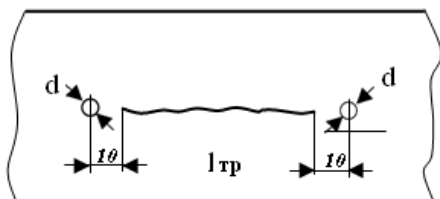


Рисунок 21 – Сверловка отверстий

3) воздушно-плазменная выборка трещины. Выборка производится ручным воздушно – плазменным резаком в комплекте с инвертором AuroraPRO AIRFORCE 80 (рисунок 22). Разделка трещины V-образная под 50° ;

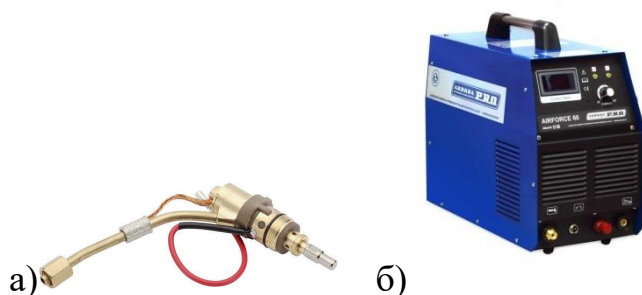


Рисунок 22- Комплект оборудования для выборки

Параметры режима воздушно-плазменной выборкой:

рабочая плазмообразующая среда воздушно-плазменная, при расходе рабочей среды $Q = 220$ л/мин, рабочий ток $I_d = 70$ А, рабочее напряжение дуги $U_d = 180$ В, диаметр сопла $d_c = 1,4$ мм, расстояние от рабочего торца сопла плазмотрона до поверхности металла (длина открытой части дуги) $l_d = 5$ мм, скорость выборки $V_v = 1,2$ м/мин;

4) зачистка поверхности выборки. Для зачистки применяют УШМ;

5) контроль качества. Шероховатость $Rz 40$, класс обработки выборки $Rz 80$, угол разделки 50° , допускаются отклонения $\pm 5^\circ$, контроль визуальный качество выборки трещины.

Таким образом, в результате выбрано оборудование для ручной воздушно – плазменной выборки трещины в стыковом соединении эстакады, определены параметры выборки, которые обеспечили качество подготовки разделки. Произведен расчет скорости выборки. Разработанная технология воздушно – плазменной выборки трещины в стыковом соединении позволяет перейти к устранению обнаруженного дефекта эстакады.

4 Проектирование технологии заварки трещин стыкового соединения эстакады

4.1 Обоснование выбора способа заварки дефекта

Технология воздушно – плазменной выборки трещины стыкового соединения позволяет перейти к устранению обнаруженного дефекта эстакады. Заварку дефекта представляется возможным произвести любым способом сварки плавлением, так как эстакада изготовлена из ст. 09Г2С ГОСТ 19232-73 [34].

Один из распространенных методов, используемых при ремонте сварных конструкций - это ручная - дуговая сварка металлическим электродом с покрытием (РДС) [7].

При дуговой сварке используется простое и мобильное сварочное оборудование, которое дает возможность выполнять сварку в различных пространственных положениях и труднодоступных местах.

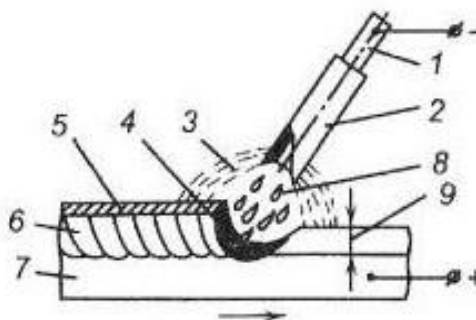
Ручная дуговая сварка имеет ряд недостатков, связанных с зависимостью качества сварки от практических навыков сварщика, малая производительность процесса, неравномерный состав и свойства металла шва.

«Для образования и поддержания сварочной дуги к электроду и свариваемому изделию от источника питания сварочного тока подводится постоянный или переменный ток. Зажигание дуги происходит при быстром боковом движении электрода по свариваемой поверхности и медленным отводом его на 2-3мм от свариваемой поверхности, что поддерживает горение дуги. Дуга расплавляет металлический стержень электрода, его покрытие и основной металл.

Расплавляющийся электрод в виде отдельных капель, покрытых шлаком, переходит в сварочную ванну, где он смешивается с расплавленным основным металлом. Расплавленный шлак всплывает на поверхность.

Застывая шлак создает защиту сварного шва от воздействия окружающего воздуха. Размер сварочной ванны зависит от параметров режима сварки. Доля основного металла в формировании металла шва обычно составляет 15-30%.

Расстояние от активного пятна на расплавленной поверхности электрода до активного пятна на поверхности расплавленного основного металла (длина дуги) зависит от марки и диаметра электрода, разделки кромок и пространственного положения. Увеличение длины дуги снижает качество наплавленного металла из-за его активного окисления, увеличивает потери металла на угар, разбрызгивание, ухудшает внешний вид и уменьшает глубину проплавления основного металла. Расплавляющееся покрытие электрода образует вокруг дуги и над поверхностью сварочной ванны газовую защиту, оттесняя воздух из зоны сварки. Шлак, покрывающий расплавленный металл защищает его от взаимодействия с окружающим воздухом и участвует в металлургических процессах с расплавленным металлом (рисунок 23)»[7].

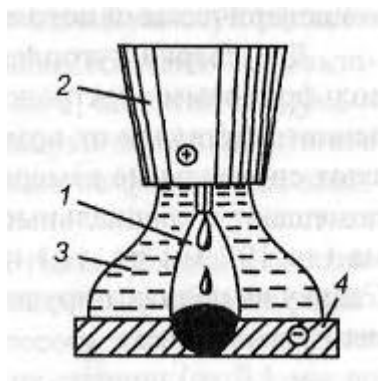


1-металлический стержень, 2-покрытие электрода, 3-газовая атмосфера дуги, 4-сварочная ванна, 5-затвердевший шлак, 6-закристаллизовавшийся металл шва, 7-основной металл, 8-капля расплавленного электродного металла, 9-глубина проплавления

Рисунок 23 - Ручная дуговая сварка металлическим электродом с покрытием

«Сущность сварки в среде углекислого газа заключается в непрерывной подачи сварочной проволоки в зону сварки. Защитный газ, поступающий через сопло, оттесняет окружающий воздух от зоны сварки»[30].

«Образование шва происходит за счет расплавления кромок основного металла и дополнительно вводимой сварочной проволоки. Для получения качественного сварного шва подбирают сварочную проволоку и режимы сварки в соответствии с основным металлом (рисунок 24)»[4].



1-зона дуги, 2-сопло, 3-защитный газ, 4-расплавленный металл

Рисунок 24 - Сварка в защитном газе

К безусловным достоинствам дуговой сварки в защитном газе CO_2 относится возможность сварки больших толщин; низкая стоимость защитного газа и высокая производительность.

При этом способе сварки трудно выполнять работу на открытом воздухе, на ветру. Не смотря на достоинства сварки плавящимся электродом, учитывая необходимость ремонтных работ на эстакаде, где приходится работать с угловыми и тавровыми соединениями, для ремонтных работ останавливаем выбор на РДС.

« Для того, чтобы механизированная сварка плавящимся электродом могла успешно соперничать с методами ручной дуговой сварки, она должна сочетать преимущество автоматической сварки с маневренностью и универсальностью ручной дуговой покрытыми электродами»[10].

4.2 Технические характеристики оборудования и выбор материалов для заварки дефектов

«Организация поста для ручной дуговой сварки предполагает наличие: источника питания, электрододержателя, специального

инструмента»[30].

Основным инструментом при ручной дуговой сварке является электрододержатель. Основными параметрами и техническими требованиями, предъявляемыми к электрододержателям установлены в ГОСТ 14651-78 (в ред. 1989г) [33]. Конструкция электрододержателя должна обеспечить быструю смену электрода и возможность закрепить его в положении под углом и перпендикулярно.

Сварной шов имеет хорошее качество, если во время сварки сохранялись режимы:

- сила сварочного тока I , А;
- напряжение на дуге U , В;
- диаметр электрода d , мм;
- скорость сварки V , м/ч (при РДС – $V = 5\text{м/ч}$).

Процесс регулирования режима горения дуги происходит интенсивно, что позволяет компенсировать все колебания длины дуги, возникающее при ручном ведении держака вдоль шва.

Для заварки дефектов предлагается использовать инверторные сварочные аппараты ТЕСН MIG 250 (N257) и ТЕСН MIG 350 (N258), предназначенные для полуавтоматической сварки в среде защищенных газов (MIG/MAG), ручной дуговой сварки покрытым электродом (ММА) (таблица 8).

Оборудование позволяет сваривать низкоуглеродистые, разнородные стали.

Это совершенно новый класс оборудования, высокотехнологичный, построенный по современной схемотехнике с применением SMT монтажа элементов плат. Благодаря микропроцессорному управлению оператор может тонко настроить сварочный процесс и даже отключать ненужные в определенный момент функции.

Таблица 8 -Технические характеристики TECH MIG 250 (N257) и TECH MIG 350 (N258)

Технические характеристики	TECH MIG 250 (N257)	TECH MIG 350 (N258)
Напряжение питающей сети	380 В	380 В
Частота питающей сети	50 Гц	50 Гц
Потребляемая мощность MIG / MMA / TIG	8,4 / 9,5 / 4,6 кВА	13,9 / 15,1 / 10,6 кВА
Потребляемый ток	14,4 А	22,9 А
Сварочный ток MIG / MMA / TIG	30-250 / 20-250 / 20-250 А	50-350 / 20-350 / 20-350 А
Рабочее напряжение MIG / MMA / TIG	15,5-26,5 / 20,8-30 / 10,8-20 В	16,5-31,5 / 20,8-34 / 10,8-24 В
Сварочный ток при ПН (100%) MIG / MMA / TIG	150 / 150 / 150 А	220 / 220 / 220 А
Напряжение холостого хода MIG / MMA / TIG	54 / 54 (12VRD) / 54 В	62 / 62 (12VRD) / 62 В
Механизм подачи проволоки	встроенный	встроенный
Диаметр сварочной проволоки MIG	0,6 / 0,8 / 1,0 / 1,2 мм	0,8 / 1,0 / 1,2 мм
Диаметр электрода MMA / TIG	1,5-5,0 / 1,6-4,0 мм	1,5-6,0 / 1,6-4,0 мм
Скорость подачи проволоки MIG	1,5-16 м/мин	1,5-15 м/мин
Количество роликов	2 шт.	4 шт.
Кэффициент мощности	0,93	0,93
Плавный старт MIG	да	да
Дожигание проволоки MIG	да	да
Время продувки газом до сварки MIG / TIG	1-10 / 0-20 с	1-10 / 0-20 с
Время продувки газом после сварки MIG / TIG	2-50 / 10-100 с	2-50 / 10-100 с
Регулируемый форсаж дуги MMA	20-100 А	20-100 А
Регулируемый горячий старт MMA	20-100 А	20-100 А
Габаритные размеры	900 x 450 x 755 мм	900 x 450 x 755 мм
Масса	47 кг	52 кг

Для заварки выбранных дефектных участков эстакады предлагается использовать аппарат TECH MIG 350 (N258), который позволяет работать на токах до 300А.

Для заварки дефекта эстакады необходимо правильно подобрать сварочные материалы. Общие принципы выбора сварочных материалов основаны на выполнении ряда условий:

- обеспечение требуемой прочности сварного соединения, т.е. определенного уровня механических свойств основного металла и металла шва;
- обеспечение качества шва без пор и шлаковых включений;
- выбор электродов пригодных для заварки в различных пространственных положениях.

Для обеспечения технологической прочности шва применяют электроды с содержанием углерода не более 0,15%. Необходимые прочностные характеристики шва достигаются легированием определенными

химическими элементами. Применяемые для сварки электроды, имеют покрытие различные по химическому составу [1,5,30].

Рудно-кислые покрытия (СМ-5, ЦМ-7) имеют окислительный характер, что приводит к потерям легирующих элементов. При сгорании этих покрытий происходит образование защитного газа окиси углерода и водорода. Водород растворяется в жидком металле, а это приводит к образованию холодных трещин из-за охрупчивающего действия водорода. К недостаткам также можно отнести повышенное разбрызгивание и токсичность выделяемых марганцовистых соединений. К достоинствам электродов с рудно-кислым покрытием относится низкая чувствительность к образованию пор при сварке ржавого металла и наличии окалина на свариваемых кромках металла, так как шлаки связывают закись железа в нерастворимые соединения. Дуга горит стабильно, легко зажигается при небольшом напряжении холостого хода трансформатора (60-70В).

«Электроды с рутиловым покрытием (АНО-1, ОЗС4, ЗРС1) имеют в своем составе рутил, состоящий из двуокиси титана» [9]. Электроды имеют органическую составляющую, которая при сгорании выделяет большое количество водорода. Это приводит к наводороживанию металла шва. Рутиловые электроды не склонны к образованию пор при сварке деталей, имеющих окалину и ржавчину на поверхности. Пористость появляется при повышенных режимах тока, они имеют небольшое разбрызгивание и менее токсичны. Электроды с рутиловым покрытием обеспечивают плавный переход от металла шва к основному металлу. Они обеспечивают хорошую стабильность горения дуги и являются лучшими для сварки в вертикальном и потолочном положении.

Электроды ЦЦ-1, ОМА2 имеют органические покрытия, которые при сгорании создают большое количество защитных газов и водорода. Это приводит к значительному наводороживанию металла шва, что недопустимо при сварке сталей с повышенным содержанием углерода и легирующих элементов, так как это приводит к образованию холодных трещин. «К

достоинствам можно отнести малое количество образующихся шлаков, хорошую газовую защиту расплавленного металла шва. Это позволяет получать швы без пор и зашлакованности. Дуга обладает стабильным горением, электроды пригодны для сварки переменным током и возможно выполнять швы в любых пространственных положениях [9].

Электроды УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 относятся к электродам с фтористо-кальциевым покрытием. При горении дуги покрытие, расплавляясь, образует газозащитную среду, которая не сопровождается образованием водорода. Малая окислительная способность покрытия обеспечивает значительный переход легирующих элементов в металл шва. Это позволяет эффективно произвести раскисление и легирование наплавленного металла, что в свою очередь дает высокую стойкость против образования горячих трещин (таблица 9). Механические свойства металла шва при использовании электродов УОНИ-13/45 приводятся в таблице 10.

Таблица 9 - Химический состав наплавленного металла

С	Mn	Si	S	P
Не более 0,11	0,35-0,7	0,12-0,25	не более 0,03	не более 0,035

Таблица 10 - Механические свойства металла шва при температуре 20±10°С, не менее

Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение	Ударная вязкость, Дж/см ²	Работа удара KV, Дж	Температура испытаний, °С
410	305	22	147		+20
			60	47	-20

Сварку этими электродами можно производить во всех пространственных положениях. «К недостаткам фтористо-кальциевым покрытиям следует отнести склонность к образованию пор в швах при сварке ржавых элементов» [9]. Стабильность горения дуги хуже, чем у всех остальных видов

покрытий. Для стабильного горения дуги применяют сварку на постоянном токе обратной полярности.

Для ремонта эстакады, изготовленной из стали 09Г2С[34] мы выбираем электроды УОНИ-13/45, так как они отличаются минимальным разбрызгиванием металла при сварке, сварные швы выдерживают значительные нагрузки.

«При протекании тока по стержню электрода происходит его разогрев. Чем дальше протекает по стержню ток, тем больше он разогревается. Перед началом сварки металлический стержень имеет температуру окружающей среды, а к концу расплавления электрода она уже составляет 500-600°C. Это приводит к тому, что количество расплавленного электродного металла в начале и в конце различно. Изменяется глубина проплавления основного металла, изменяется соотношение долей электродного и основного металла, участвующих в образовании металла шва. Это один из недостатков ручной дуговой сварки»[1].

4.3 Расчет параметров режима заварки дефекта

Для получения качественного сварного шва необходимо правильно выбрать режимы сварки.

Для РДС режимы сварки определяются диаметром электрода, величиной сварочного тока, напряжения и длиной дуги. Диаметр электрода подбирают в зависимости от толщины металла и типа сварного соединения.

Для расчета режима сварки используем исходные данные: основной материал-сталь 09Г2С-ГОСТ 19281-89 [34], толщина металла-12мм, марка сварочного электрода УОНИ-13/45, тип соединения стыковой ГОСТ 5264-80 [7].

Согласно ГОСТ 5264-80[36] выбираем конструктивные параметры сварного шва (рисунок 25): $S = 12\text{мм}$, $e = 17\text{мм}$, $c = 1\text{мм}$, $g = 2\text{мм}$.

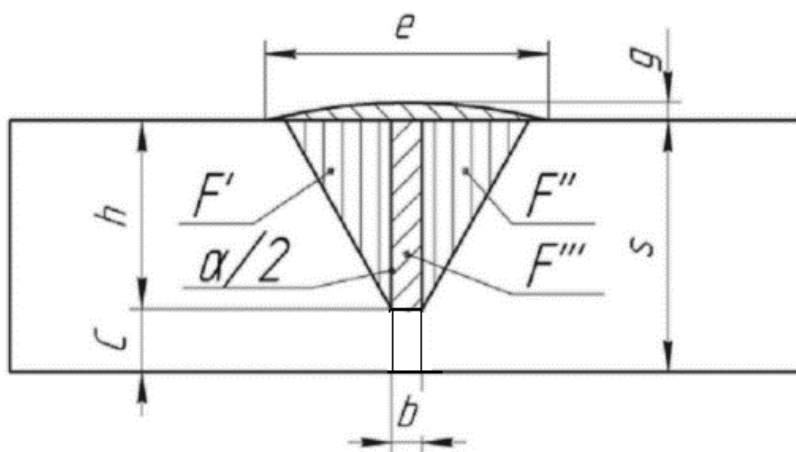


Рисунок 25 – Эскиз сечения шва после выборки

«Для определения числа проходов при сварке швов стыковых соединений с разделкой кромок рассчитаем общую площадь поперечного сечения наплавленного металла

$$F_H = h^2 \operatorname{tg} \alpha / 2 + bS + 2/3 * g * (2h \operatorname{tg} * \alpha / 2 + b + 6), \quad (3)$$

где e – ширина шва, мм;

g – усиление шва, мм;

b – величина прямоугольника для расчета, мм;

S – толщина металла, мм;

h – глубина разделки, мм;»[28].

$S=12$ мм.

$$F_H = 11^2 \operatorname{tg} 25/2 + 1 * 12 + 2/3 * 2 * (211 \operatorname{tg} * 25/2 + 1 + 6) = 50,62 \text{ мм}^2 \approx 51 \text{ мм}^2$$

При многопроходной сварке первый проход следует выполнять диаметром электрода \varnothing 2-3мм для качественного проплавления разделки трещины.

Площадь поперечного сечения первого прохода определяем по формуле:

$$F_1 = (6-8) * d_э, \quad (4)$$

$$F_1 = 6 * 2 = 12 \text{ мм}^2$$

Площадь наплавленного металла для последующих проходов определяем по формуле:

$$F_n = (8/12) * d_э, \quad (5)$$

$$F_n = 8 * 5 = 40 \text{ мм}^2.$$

Определяем число проходов на основании полученных площадей

$$n = (F_H - F_1) / F_H + 1; \quad (6)$$

$$n = (51 - 12) / 40 + 1 = 1,98$$

Принимаем 2 прохода.

Рекомендации по выбору диаметра электрода приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Рекомендации по выбору диаметра электрода [8]

Толщина деталей при сварке, мм	4-8	9-12	13-15	16-20	20
Диаметр электрода, мм	4	4-5	5	5-6	6-10

«Величина сварочного тока при ручной дуговой сварке определяем в зависимости от диаметра электрода и допустимой плотности тока:

$$J_{CB} = \pi * d_э^2 / 4 * j, \quad (7)$$

где $d_э$ - диаметр электрода, мм;

j - допускаемая плотность тока, А/мм² ;

$$J_{CB} = 3,14 * 5^2 / 4 * 10 = 196,25 \text{ А.}$$

Принимаем ток $J = 197 \text{ А}$, интервал тока 197-200А.

Напряжение дуги принимаем на основании рекомендаций паспорта на электрод УОНИ-13/4 $U_g = 23-27 \text{ В}$

Скорость сварки определяем из соотношения:

$$V_{CB} = \alpha_H * J_{CB} / 100 * F_H * \gamma, \quad (8)$$

где α_H - коэффициент наплавки, г/А.ч;

γ – плотность наплавленного металла, г/см³;

F_H - площадь поперечного сечения наплавленного металла за

данный проход, см²»[28].

$$V_{св}=8,5*197/100*7,8*12=0,18 \text{ (м/ч)}$$

Длина дуги играет важную роль в процессе сварки. Если дуга слишком длинная, то это приводит к уменьшению глубины провара и увеличению разбрызгивания расплавленного металла. слишком малая длина дуги может привести к короткому замыканию и ухудшает формирование шва.

Длина дуги определяется по формуле:

$$\ell_g = 0,5 * (d_{э} + 2), \quad (9)$$

$$\ell_g = 0,5 * (5 + 2) = 3,5 \text{ мм}.$$

Значения допустимой плотности тока в электроде при ручной дуговой сварке приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Допустимая плотность тока в электроде [8]

Вид покрытия	Допускаемая плотность тока в электроде, (А/мм ²) при d _э (мм)			
	3	4	5	6
Рудно-кислородное рутиловое	14-20	11,5-16	10-13,5	9,5-12,5
Фтористо-кальциевое	13-18,5	10-14,5	9-12,5	8,5-12

При приближенных подсчетах величина сварочного тока может быть рассчитана по формуле:

$$J_{св} = K * d_{э}^2, \quad (10)$$

где K – это коэффициент, принимаемым в зависимости от диаметра электрода.

$$J_{св} = 5 * 40 = 200 \text{ (А)}.$$

$$V_{св} = 8,5 * 200 / 100 * 7,8 * 40 = 0,059 \text{ (м/ч)}$$

Таблица 13 – Выбор коэффициента К [8]

Диаметр электрода, мм	2	3	4	5	6
К	25-30	30-45	35-50	40-55	45-60

Таким образом, в работе предложен метод расчета параметров режима заварки трещины в стыковом соединении после выборки трещины воздушно-плазменным способом на определенную глубину.

4.4 Технологический процесс заварки трещин стыкового соединения, возникающих в процессе эксплуатации эстакады

Для процессов осуществления ремонта эстакады необходимо соблюдать технику безопасности так как она находится под ведовством Рос технадзора. Техника безопасности – это система организационных и технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов. Охрана труда – это система законодательных актов и соответствующих организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Значение техники безопасности в производстве сборочных и сварочных работ очень велико. Хорошо организованный процесс сборки и сварки любого изделия должен обеспечивать безопасность работы. При составлении технологического процесса вопросы по технике безопасности должны быть отражены в технологических картах.

«В производстве сварочных работ следует учитывать главные опасности:

- поражение электрическим током при прикосновении человека к токоведущим частям электрической цепи, находящейся под напряжением;
- поражение электрическим током при прикосновении человека к токоведущим частям электрической цепи, находящейся под напряжением;
- поражение лучами электрической дуги глаз и открытой поверхности кожи;
- ушибы и порезы во время подготовки изделий к сварки и во время сварки;
- отравление вредными газами, выделяющимися при сварке и запыление помещения;
- ожоги от брызг расплавленного металла и шлака во время сварки;
- взрывы при сварке сосудов, находящихся под давлением, при работе вблизи легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ;
- пожары от расплавленного металла и шлака»[1].

Поражение электрическим током.

Электросварщику постоянно приходится иметь дело с достаточно высоким напряжением сварочной сети; для электродуговой сварки напряжение составляет 45-70В при постоянном токе; 55-75В при переменном токе. Сварщик всегда может включиться в находящуюся под напряжением цепь как при смене электрода, так и при случайном прикосновении к изделию.

«Основные мероприятия по технике безопасности при сварочных работах следующие:

- надежная изоляция всех проводов источника тока и сварочной дуги, заземление корпуса сварочных аппаратов, сечение заземляющих проводов

должно быть не менее 25 мм², подключение, отключение и ремонт сварочного оборудования занимается только электромонтер.

- в качестве переносных источников освещения могут быть использованы переносные лампы напряжения не более 12В;
- все источники питания в момент холостого хода разрывают цепь и подают на держатель напряжение 12В;
- хорошая изоляция электрододержателя и надежное устройство его гарантирует отсутствие контакта токоведущих частей электрододержателя с руками сварщика и изделием;
- исправная спецодежда и работа в сухой спецодежде и рукавицах; при работе в сырых, неудобных местах сварщик должен быть одет в резиновые сапоги или галоши, иметь коврик»[16].

Поражение работающих лучами электрической дуги.

Сварочная дуга является сильным световым источником с очень большим диапазоном излучаемых волн. В дуге наблюдаются нормальные световые лучи с длиной волны $\lambda=4000-7600\text{Å}$. Эти лучи обладают большой яркостью свечения и могут вызвать ожог незащищенных глаз при облучении их всего за 10-15 секунд. Это действие увеличивается при многократном кратковременном облучении, так что сварщик и работающий с ним сборщик могут в течении рабочего дня подвергнуться такому суммарному воздействию лучей, которое вызовет сильные ожоги глаз[11].

Для предотвращения опасного поражения глаз обязательно применение защитных стекол – наиболее темных для сварщиков и более светлых для вспомогательных рабочих, что обеспечит значительное поглощение вредного излучения.

Для защиты окружающих сварки применяют переносные ширмы, занавески. Желательным является окраска стен огнестойкими красками. Занавески и спецодежда должна быть пропитана огнестойкими составами.

Это значительно увеличивает срок их службы и уменьшает опасность загорания.

Освещение рабочего места должно быть достаточным для выполнения работ.

Механические повреждения, травмы при сборке-сварке изделий.

Основными причинами механических травм на производстве могут быть:

- отсутствие приспособлений для сбора тяжелых деталей;
- неисправность транспортных средств: тележки, крана;
- неисправность инструмента: молотка, кувалды, ключа, зубила;
- незнание и несоблюдение персоналом правил по сборочным работам.

При сборочно-сварочных работах чаще всего наблюдаются травмы в виде ушибов и ранений рук и ног. Для обеспечения безопасного труда рабочее место сварщика должно быть полностью обеспечено необходимым, исправным оборудованием и инструментом[15].

Загрязненность воздуха и возможность отравления газами.

Сварочная дуга выделяет большое количество газа и дыма. Состав дыма состоит из мелко дисперсных взвешенных в воздухе твердых частиц окислов металла и обмазки, размером менее 1 мк.

Состав газов зависит от состава обмазки. Содержание вредных газов резко увеличивается при сварке в плохо вентилируемых помещениях и сосудах. Сварочная дуга представляет собой точечный источник газовых выделений, поэтому концентрация пыли и газов будет максимальна непосредственно около дуги, а по мере удаления от нее концентрации резко уменьшается.

Вентиляция выбирается в зависимости от характера производства. При сварке больших, габаритных изделий применяют общую вентиляцию. При сварке изделий в стационарных условиях применяют индивидуальную вентиляцию на каждом сварочном посту.

Пожарная безопасность.

При ремонте сварных конструкций эстакад балок, механизмов широко используют электрическую сварку.

При сварке на высоте капли расплавленного металла разлетаются на десятки метров, что может привести к воспламенению горючих материалов.

Требования пожарной безопасности к проведению работ по электрической сварке изложены в нормативном документе «ППР в РФ».

«Пожарная безопасность обеспечивается неукоснительным выполнением комплекса мероприятий, изложенных в актах:

- 1) подготовка рабочего места – очистка рабочего места, наружной территории от любых горючих материалов, наименьший радиус 5м до 14м. Это связано с разлетом капель расплавленного металла;
- 2) место ведения электросварочных работ ограждается перегородкой, экраном из негорючих материалов высотой не менее 1,8м с нижним зазором до пола не больше 50мм;
- 3) возле мест предстоящих сварочных работ должны быть установлены переносные, передвижные огнетушители»[4,16].

По окончании сварочных работ следует выполнить следующие меры пожарной безопасности:

- полностью отключить сварочный аппарат, включая перерывы в работе;
- по окончании работ все электросварочное оборудование убирают на места постоянного хранения;
- запрещается приступать к работе с неисправным оборудованием;
- электросварочная аппаратура должна быть надежно заземлена;
- использовать только стандартные электроды промышленного производства, что соответствуют установленному сварочному току;
- запрещено выбивать огарки о конструкции, выбрасывая их вне зоны работ, так как это нередко приводит к возникновению возгорания;

– запрещено использовать кабели электросварочной аппаратуры с поврежденной изоляцией.

Техника безопасности сварочных работ на высоте.

Сварочные работы на высоте следует осуществлять с навесных люков, лесов, подмостей, приставных лестниц, имеющих ограждение рабочей площадки с настилом из несгорающего материала. Электросварщики и газорезчики должны пользоваться предохранительными поясами при работе на высоте более 1,5м от земли[17].

«При сварке на высоте запрещается:

- а) бросать огарки, привлекать сварщиков к работам, не связанных с их специальностью. Сварщик должен быть аттестован на II группу по технике безопасности;
- б) сварочное оборудование должно располагаться так, чтобы к нему был свободный и безопасный доступ;
- в) инструменты должны храниться в удобных сумках, пенал для электродов и огнестойкую тару для огарков;
- г) во время сварочных работ контролируют правильность присоединения источников питания:
 - провода сварки размещают на расстоянии не менее 10м от кислородных и ацетиленовых трубопроводов;
 - между источниками тока и сварочным аппаратом длина первичной цепи не должна быть более 10м»[16,4].

Таблица 14 - Технологическая карта процесса ремонта эстакады

ССТБ БК	Карта технологического процесса восстановления детали (узла)				Изделие	Эстакада
Материал (марка стали, ГОСТ)			Масса, кг	Кол-во на изделие	Узел	Эстакада
Сталь09Г2С ГОСТ 19281-2014			528	1	Деталь	Эстакада
N операции	Наименование и содержание операций и переходов	Оборудование и приспособления	Инструмент	Разряд сварщика	Основное время	Вспомогательное время
1	2	3	4	5	6	7
П	Слесарная					
1	Кернить концы трещины на расстоянии 10мм от начала и конца трещины		Керн 7843-0031 ГОСТ 7213			
2	Сверлить концы трещины напроход	Дрель	Сверло 5-1 ГОСТ10902			
3	Разделать трещину под заварку V-образным швом. Угол разделки 50-60°	Плазморез AURORA				
4	Зачистить разделанный дефектный участок под сварку	УШМ	Круг шлифов. ЭБ80СТК ГОСТ 2424			

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7
	Контроль ОТК					
II	Сварочная			5		
1	Заварить трещину двумя швами от краев трещины до середины. Сварку осуществлять в два прохода. Первый проход пройти электродом Ø 2мм, второй проход Ø 5мм.	Сварочный п/а TECH MIG -350	Электрод типа Э42А ГОСТ 9467 УОНИ- 13/45			
III	Слесарная					
1	Зачистить сварной шов от шлака	УШМ	Круг шлифов. ЭБ80СТК ГОСТ 2424			
	Контроль ОТК					

Разработка технологического процесса заварки трещин стыкового соединения, возникающих в процессе эксплуатации эстакады предполагает соблюдение безопасной эксплуатации крановой эстакады и непременною аттестацию сварщиков и специалистов сварочного производства [15,16,17].

5 Разработка рекомендаций по устранению дефектов возникающих в процессе эксплуатации эстакады

Анализ результатов контроля качества сварных соединений крановой эстакады, позволяет сформулировать рекомендации по устранению дефектов, возникающих в процессе эксплуатации [12,23,24].

В работе спроектирована технология устранения трещин стыкового соединения с определенной глубиной h , однако опыт работы показал, что трещины возникают на всю глубину толщины металла (рисунок 26а), а также с обратной стороны глубиной h_1 (рисунок 26б) [25,26,29].

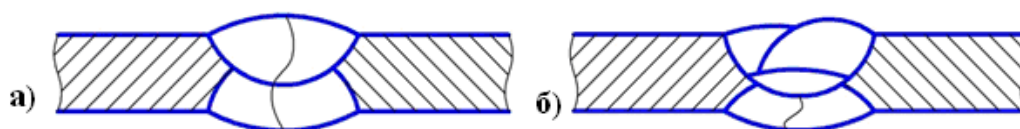


Рисунок 26 - Варианты Дефектов крановой эстакады

«Трещины, как и любой дефект, в сплошном теле, передающем усилия, является концентратором напряжения. Как один из самых опасных дефектов, способных при определенных условиях привести к разрушению. При их устранении следует руководствоваться основными правилами» [28].

- определяют границы трещины;
- засверливают трещины на расстоянии 10мм от концов. Диаметр сверла должен быть больше величины раскрытия трещины, \varnothing 6-12мм;
- разделку производят по всей длине трещины;
- перед сваркой зону разделки зачищают от масла, окалины и других загрязнений на расстоянии 16-30мм со всех сторон;
- разделку заполняют за несколько проходов во избежание перегрева;
- заварку трещин в деталях с толщиной стенки более 8 мм выполняют в несколько слоев;

- диаметр электрода для первого прохода при выполнении сварного шва заварки трещины принимается равным 2 или 3 мм;
- при длине трещины до 300мм сварку выполняют обратноступенчатым швом на проход. При длине более 300мм сварку ведут обратноступенчатым способом с длиной ступени 150-200мм от концов к середине;
- после заварки трещин зачищают начало и конец сварного шва;
- при ремонте элементов конструкции применяют сварочные материалы ранее использованные в работе. Если сварочные материалы ранее не применялись для изготовления и ремонта, и отсутствуют в нормативной документации, то их применяют после согласования с Ростехнадзором.

Если есть возможность разделить трещину с двух сторон, то делают х-образную разделку трещины. Сварку производят первого слоя диаметр электрода Ø 2-3мм, последующие Ø 4-5мм. Затем с обратной стороны детали делают наплыв и шлак, и производят сварку. Каждый слой сварного шва зачищают от шлака. При необходимости усиления исправленного участка, места заварки трещины зачищают до основного металла и затем приваривают накладку. «Накладки изготавливают из тех же марок стали, что и основная конструкция. Приварку ведут по всему контуру и обеспечивают плотное прилегание накладки к усиливаемому элементу»[25].

При эксплуатации конструкции образовавшиеся трещины могут выйти на край детали. Исправляя данный дефект, применяют выводные планки. После окончания работ по заварки трещины планки удаляются газорезкой и места их установки зачищаются, а отверстия - ловители рассверливаются и не завариваются.

Накопленный опыт контроля качества крановой эстакады позволяет представить на рисунке 27, 28 варианты с различным расположением трещин относительно конструкции [23,25]. Ремонт трещин при наличии доступа с одной стороны показан на рисунках 28 а, б.



Рисунок 27 – Эскиз трещины с доступом ремонта с одной стороны

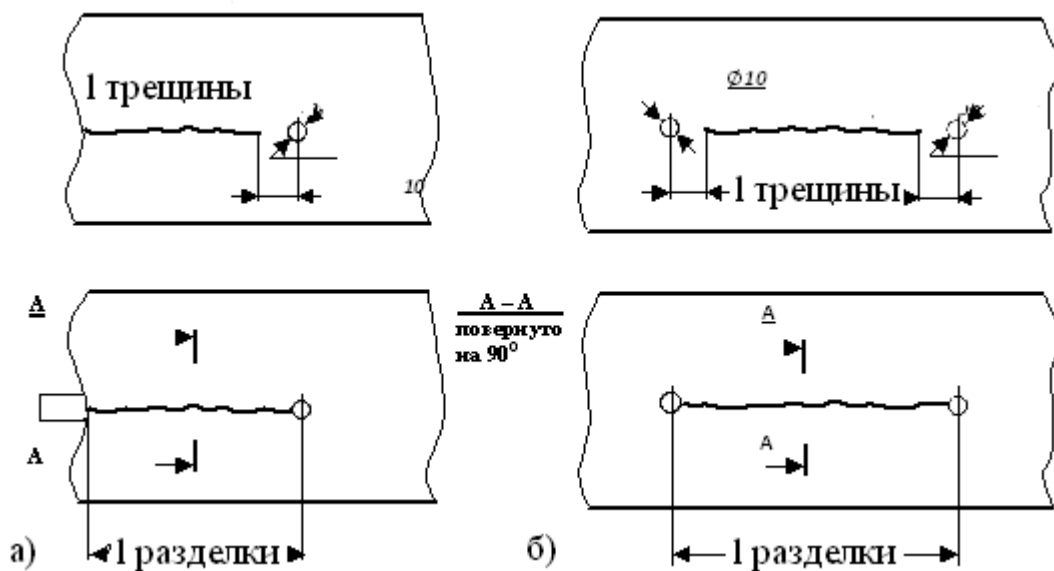


Рисунок 28 - Сверление первичное при доступе к дефекту с одной стороны

Возможны варианты ремонта трещины при наличии доступа с двух сторон (рисунок 29, 30а,б).



Рисунок 29 – Эскиз трещины при наличии доступа с двух сторон

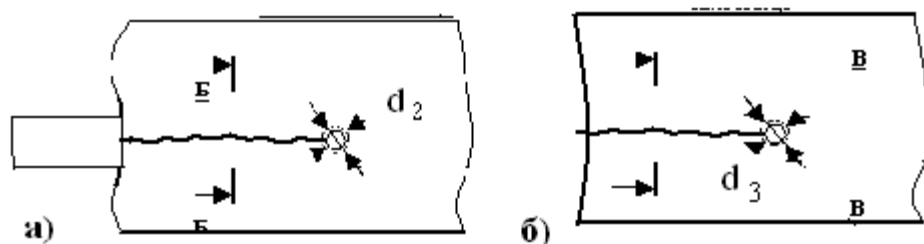


Рисунок 30 – Сверление вторичное при доступе к дефекту с двух сторон

На рисунке 30а показана технологическая планка, которая удаляется механическим способом с обязательной зачисткой также механическим способом. Отверстие d_2 не заваривается при вторичном сверлении. Сверление вторичное d_3 (рисунок 30б) производится для снятия напряжений на недозаваренном участке трещины и зачищается механическим способом.

Возможно усиление элемента за счет накладки (рисунок 31)

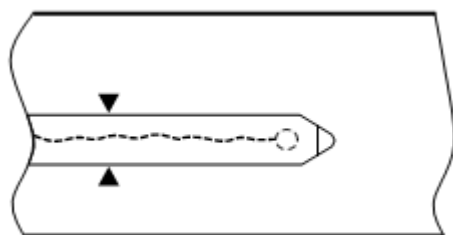


Рисунок 31 - Усиление элемента накладкой

«На рисунке 32 представлен принципиальный вариант ремонта элементов с трещинами сваркой при наличии доступа к трещине с одной стороны. Обязательным требованием при этом является обеспечение полного провара при заварке трещины. При доступе к трещине только с одной стороны провар обеспечивается первым (корневым) сварным швом, который выполняется следующим образом:

- заварка ведется ручной дуговой сваркой электродом типа Э-42А или Э-50А, марок УОНИ -3/45 или УОНИ-13/55 в зависимости от марки стали элемента с трещиной [7];
- диаметр электрода для первого прохода при выполнении сварного шва заварки трещины принимается равным 2 или 3 мм [5].

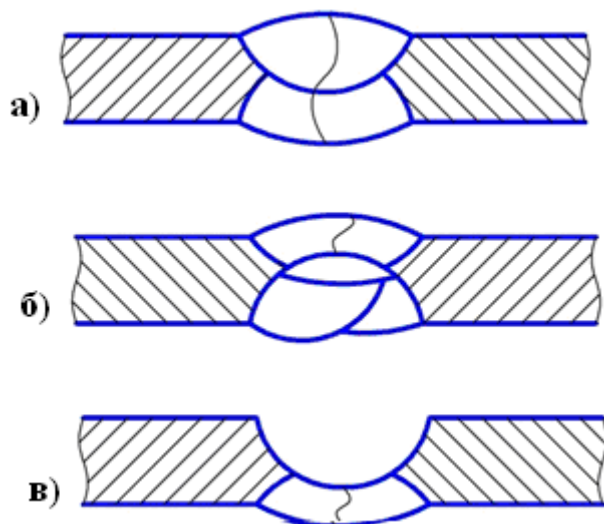


Рисунок 32 - Вариант ремонта трещин сваркой при доступе с одной стороны

Уменьшение напряжений в конструкции после заварки (ремонта) трещин достигается методами подогрева зон, прилегающих к трещине, или наклепом этих зон, создавая напряжение обратного знака» [19]. Возможны варианты ремонта с обратной стороны дефекта.

Любое исправление дефектов предполагает контроль качества.

«Качество сварки во многом определяет надежность и долговечность ответственных конструкций»[24]. «В связи с этим эффективный, быстрый и надежный контроль качества сварных швов имеет большое значение для повышения сварочных работ и ремонтных работ в целом» [26].

При выполнении ремонтных работ необходимо в первую очередь проводить контроль сварных швов внешним осмотром согласно ГОСТ Р ИСО 17637-2014.

Перед выполнением сварочных работ проверяют подготовку кромок под сварку на соответствие форм и размеров. В данном случае при выполнении выборки.

«При контроле качества сварки необходимо обращать внимание на следующие операции:

- зачистку каждого валика от шлака перед наложением последующего;
- отсутствие видимых дефектов (трещин, раковин);
- переходы между валиками таковы, что при выполнении следующего валика будет обеспечено необходимое сплавление;
- сварной шов соответствует требованиям после любых исправлений»[1,4,10].

После завершения заварки дефектов проверяют, чтобы удостовериться в отсутствии: шлака на всей протяженности шва; отсутствии следов шлифования (равномерность формы шва).

При проверке формы шва обращают внимание на форму и высоту валика; поверхность шва должна быть с равномерной чешуйчатостью; ширина шва равномерна по всей длине.

«Доступные для осмотра элементы сварного соединения, корень шва и поверхность сварного соединения проверяют на наличие отклонений от требований»[37].

Сварное соединение проверяют на проплавление, вогнутость корня, прожоги, усадки на протяжении шва; следы возбуждения дуги находятся в пределах приемочных требований[23].

При частичном удалении дефектного участка и его исправлении проходит проверку на соответствие всем требованиям к шву [26].

«Качество сварки во многом определяет надежность и долговечность ответственных конструкций»[24]. В связи с этим эффективный, быстрый и надежный контроль качества сварных швов имеет важное значение для повышения сварочных работ и ремонтных работ в целом.

При выполнении работ необходимо в первую очередь проводить контроль изделий, сварных швов внешним осмотром согласно ГОСТ Р ИСО 17637-2014[37,39].

«К неразрушающим методам контроля помимо внешнего осмотра и измерениям относятся радиационный, ультразвуковой и др»[29].

«Методы радиационной дефектоскопии различаются применяемыми способами дефектирования дефектоскопической информации, классификация которого приведена на рисунке 33» [13,39].

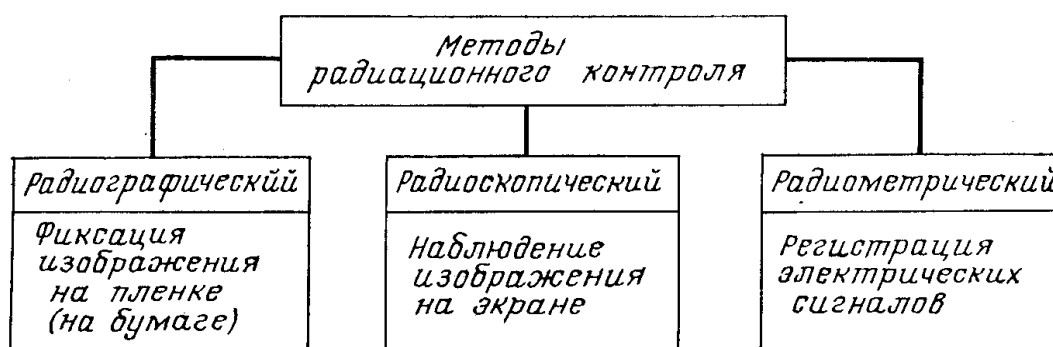


Рисунок 33 – Классификация методов радиационного контроля[39]

Для проверки исправленного участка на эстакаде рекомендуем применять радиографический метод контроля. Этот метод основан на преобразовании радиационного изображения, контролируемого участка в радиографический снимок[41]. При прохождении рентгеновских лучей через металл шва их интенсивность уменьшается за счет поглощения и рассеивания излучения материалом объекта. При обнаружении дефекта на рентгеновской пленке он проявляется в виде темного контура[39] (рисунок 34).

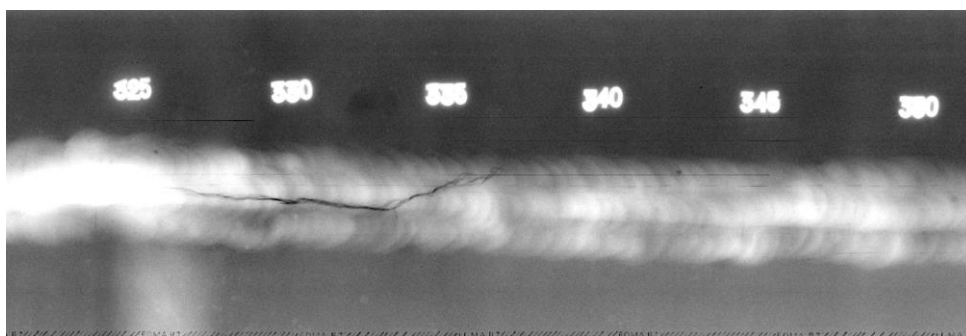


Рисунок 34 - Дефекты на рентгеновской пленке

В качестве рентгеновской аппаратуры применяем рентгеновский аппарат марки МАРТ-200.

Таблица 15 - Технические характеристики аппарата МАРТ-200

Рабочее напряжение на рентгеновской трубке	105÷200кВ
Доза рентгеновского излучения в прямом пучке на расстоянии 500 мм от фокуса трубки за 1 мин	1 Р
Диаметр фокусного пятна	3 мм
Максимальная толщина просвечиваемой стали с фокусного расстояния 700 мм за время экспозиции 10 мин	20 мм (D7 + Pb) 30 мм (F8 + RCF) 40 мм (F8 + NDT 1200)
Мощность аппарата	100 Вт
Метод просвечивания	направленный панорамный
Диапазон рабочих температур	-20 ÷ +40 °С
Вес излучателя	6 кг
Габариты излучателя	430 × 100 × 160 мм

Таким образом, разработанные рекомендации по устранению дефектов (трещин) сварной конструкции охватывают варианты ремонта сваркой при доступе с одной и с двух сторон к дефекту. Учитываются варианты развития трещин с края конструкции и с отступом от него. Для рассмотренных вариантов приведены рекомендации по устранению дефектов ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Заключение

В данной работе рассмотрены методы исправлений такого сварного дефекта как трещина, возникающая в процессе эксплуатации эстакады. В данной работе исследуется сталь О9Г2С, которая обеспечивает эксплуатационные требования к конструкции. Во время эксплуатации в конструкции эстакады возникают напряжения, которые приводят к образованию усталостных трещин. Трещина - один из самых опасных дефектов. Для устранения ее рассматривается ряд мероприятий по обнаружению и остановки трещины в детали и несколько способов выборки. На основании рассмотренных видов выборки трещины в работе применяется воздушно-плазменный способ. Этот метод отличается низким образованием шлака, хорошим качеством реза, что снижает время на зачистку разделки кромки, большей скоростью резки, локальный разогрев металла происходит в месте воздействия, что способствует отсутствию напряжения и деформации.

В работе рассмотрены ориентировочные режимы воздушно-плазменной выборки трещины. Заварка трещины производится РДС. В связи с этим проведен анализ различных видов электродов для заварки трещины. Это электроды с фтористо-кислым покрытием. Для заварки выбранного участка шва применяются электроды УОНИ-13/45. Электрод отличается хорошим образованием газовой защиты при сварке, горение дуги стабильное, значительное легирование шва, малое разбрызгивание, раскисление металла, что дает высокую стойкость против образования горячих трещин. Для сварки применяем постоянный ток обратной полярности, используя ТЕСН MIG-350. При решении задач по устранению трещин рассмотрены варианты сквозных трещин; трещин выходящих за пределы листа и несквозных трещины, для которых разработаны рекомендации по устранению дефектов, возникающих в процессе эксплуатации эстакады. Заключение по радиографическому контролю заваренных дефектов приведены в приложении 1-3. Поставленные задачи решены в полном объеме.

Список используемых источников

1. В.М. Рыбаков и К.П. Вощанов. Технология ручной дуговой сварки. – М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1953. -с.
2. Ф.А. Хромченко. Справочное пособие электросварщика. - М. : Машиностроение, - 2003. - 416с; ил.
3. ISO 5817-2009 (E) (JEN 25817). Стальные соединения, выполненные дуговой сваркой. – М. : Изд-во стандартов, 2009. – ...с.
- 4.А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. Технология и оборудование сварки плавления. – Москва : Машиностроение, 1972 - 537с; ил.
- 5.ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. – М. : Изд-во стандартов, 1975. – ...с.
- 6.ГОСТ19232-73. Сварка металлов плавлением . Дефекты сварных соединений. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – ...с.
- 7.ГОСТ 5264-80.Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы , конструктивные элементы и размеры. М. : Изд-во стандартов, 1973. – ...с.
8. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М. : Машиностроение ,1970. – 334 с.
9. Закс И А. Сварка разнородных сталей. - Л. : Машиностроение, 1973г. - 208с.
10. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник. – Москва : Машиностроение, 2003. - 656с, ил.
11. ГОСТ..... Измерения. Контроль. Качество. Неразрушающий контроль. - М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. - 709 с.
- 12.Клюев В.В. Неразрушающий контроль: Справочник. Том 3/ Клюев В.В., Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с;

13. Ключев В.В, Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. и др. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Т. IV-3 : Энциклопедия / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.. - М. : Машиностроение. 1998. - 592 с., ил.

14. Потапьевский А.Г. «Сварка в защитных газах плавящимся электродом» М., Машиностроение, 1974 - 239с., 84ил.

15. ПБ 10-611-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации подъемников (вышек). – М. : НПО ОБТ, 2003. - .. с.

16. ПБ 03-273-99. Правила аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства. – М. : НПО ОБТ, 1999. - .. с.

17. ПБ 10-14-92. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных машин. – М. : НПО ОБТ, 1992. – ..с.

18. ТУ 24.22.310-05. Инструкция на производство сварочных работ при ремонте, изготовлении и реконструкции крановых металлоконструкций : приложение № 3.- М.: НПО ОБТ, 2005. - с.

19. Николаев Г.А. и др «Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций», М., «высшая школа», 1971-760с, ил.

20. РД 22-16-2005. Машины грузоподъемные. Выбор материалов для изготовления, ремонта и реконструкции сварных стальных конструкций: руководящий документ. – М. : изд-во, 2005. – 95 с.

21. РД 24.090.52-90. Подъемно-транспортное оборудование. Требования к изготовлению сварных конструкций: руководящий документ. – М. : изд-во , 1990. – 95 с.

22. РД 24.090.97-98. Подъемно-транспортные машины. Материалы для сварных металлических конструкций: руководящий документ. – М. : изд-во , 1998. – 45 с.

23. РД РОСЭК 001-96. Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Контроль ультразвуковой. Основные положения : руководящий документ. – М. : изд-во , 1996. – 65 с.

24. Румянцев С.В. и др. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. – Москва : Машиностроение, 1976 г. - 335 с

25.ТУ 24.22.310-05. Технические условия на регламент выполнения капитального, полно-капитального и капитально-восстановительного ремонтов, изготовление (отдельных элементов), реконструкцию и монтаж грузоподъемных кранов с применением сварки. – М. : изд-во, 2005. – 54с.

26.Троицкий В.А., Валеви́ч М.И. Неразрушающий контроль сварных соединений. - М. : Машиностроение, 1988. – 112 с.

27.ГОСТ 30242-97. Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение, определения, М., Издательство ПЭВМ - 11с.

28.Чертищев В.Ю. Определение глубины залегания дефектов в многослойных конструкциях из ПКМ акустическими методами по величине механического импеданса / Чертищев В.Ю., Бойчук А.С., Диков И.А., Яковлева С.И., Генералов А.С. РАН. – М : Дефектоскопия, 2018. - №8. - С. 21-34.

29.Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Козлов В.Н. Ультразвуковые низкочастотные пьезопреобразователи с сухим точечным контактом и их применение для неразрушающего контроля // Контроль. Диагностика, 2003. - № 2. - С. 30 - 39.

30.Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением. - М. : Машиностроение, 1987 - 461с., ил.

31.ГОСТ 14792-80. Детали и заготовки, вырезаемые кислородной и плазменно-дуговой резкой. - М. : Издательство стандартов, 1980. - ..с.

32.ISO 9013-2002, Резка тепловая. Классификация резов, полученных тепловым способом. Геометрические характеристики изделий и допуски на характеристики. – М. : Издательство стандартов, 2002 - 30с.

33. ГОСТ 14561-78. Электрододержатели для ручной дуговой сварки. - М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. - ...с.

34. РД 24.090.100-99 Оборудование подъемно-транспортное.Указания по проведению входного контроля качества конструкционных сталей и сварочных материалов для изготовления, ремонта, реконструкции и монтажа

металлоконструкций грузоподъемных кранов. Разработан Акционерным обществом открытого типа ВНИИПТМАШ.

34. ГОСТ 19282-73. Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3) Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР.

35. ГОСТ 30242-97. ДЕФЕКТЫ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ ПЛАВЛЕНИЕМ. Классификация, обозначение и определения. – Минск : Изд-во МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ.

36. ГОСТ 5264-80. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА. СОЕДИНЕНИЯ СВАРНЫЕ ОСНОВНЫЕ ТИПЫ, КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И РАЗМЕРЫ. – Москва : Изд-во Стандартиформ, 2010.

37. ГОСТ Р ИСО 17637-2014. КОНТРОЛЬ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением.- Москва : Изд-во Стандартиформ, 2015.

38. ГОСТ 380-2005.СТАЛЬ УГЛЕРОДИСТАЯ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА. - Москва : Стандартиформ, 2009.

39. Румянцев С. В., Штань А. С., Гольцев В. А. / под ред. С. В. Румянцева. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля. - М. : Энергоиздат, 1982. - 210 с.

40. СНиП 2.09.03-85 Проектирование открытых крановых эстакад.- Москва Стройиздат, 1990-40с.: ил.

41. Non-Destructive Testing Handbook-Volume 2: Liquid Penetrant Tests. R C McMaster et al. ASNT, 1982.

42. McCracken, Brian, Fluorescent Penetrant Method (FPM) Master, Prant & Whitney, 1997.

43. Vladimir K. Kachanov and Igor V. Sokolov. Application features of radio engineering signal processing methods for ultrasonic flow detection, *Nondestr. Test. Eval.*, 2000, Vol. 15, p. 330-360.

44. Karkkainen K. Influence of various PN sequence phase optimization criteria on the SNR performance of an asynchronous DS-SS-SSMA system. *IEEE Trans. On Con.* 1995.P.641-646.

45. Niederdrank T. Maximum length sequences in non-destructive material testing: application of piezoelectric transducers and effects of time variances. *Ultrasonics*. 1997. Vol.35 .P. 195-203.

Приложение А

Заказчик: Адрес:	Лаборатория НИЛ ООО "Центр СМТК" 430001, г. Саранск, ул. Пролетарская, 130 Б Место проведения испытаний:
---------------------	--

ЗАКЛЮЧЕНИЕ № 61

"06" Сентября 2020г.

по радиографическому контролю сварных соединений

Контроль качества сварных соединений эстакада подъемно транспортного оборудования узел Т25/1

(наименование объекта)

проводился с применением Рентген аппарат МАРТ 200 зав.№ 7887

(аппаратура или источник излучения)

с оценкой качества по РД 24.090.100-99[34]

(наименование НТД, ГОСТ)

Результаты проверки.

Номер стыка по сварочной схеме	Номер снимка	Размер снимка, см	Чувствительность контроля, мм	Обнаруженные дефекты	Оценка стыка	
					по каждому снимку	Общая по стыку
1	1	10x30	0,2	Недопустимых дефектов не обнаружено	Годен	Годен
	2	10x30	0,2	Недопустимых дефектов не обнаружено	Годен	Годен

Руководитель лаборатории
Контроль провел

Н.В.Спиридонов
М.В.Слепокуров

Удостоверение № 0009-3073, действительно до 03. 2022г.

Приложение Б

Заказчик: Адрес:	Лаборатория НИЛ ООО "Центр СМТК" 430001, г. Саранск, ул. Пролетарская, 130 Б Место проведения испытаний:
---------------------	--

ЗАКЛЮЧЕНИЕ № 62

"06" Сентября 2020г.

по радиографическому контролю сварных соединений

Контроль качества сварных соединений эстакада подъемно транспортного оборудования узел С51/1

(наименование объекта)

проводился с применением Рентген аппарат МАРТ 200 зав№ 7887

(аппаратура или источник излучения)

с оценкой качества по РД 24.090.100-99[34]

(наименование НТД, ГОСТ)

Результаты проверки.

Номер стыка по сварочной схеме	Номер снимка	Размер снимка, см	Чувствительность контроля, мм	Обнаруженные дефекты	Оценка стыка	
					по каждому снимку	Общая по стыку
1	1	10x30	0,2	Недопустимых дефектов не обнаружено	Годен	Годен
	2	10x30	0,2	Недопустимых дефектов не обнаружено	Годен	Годен

Руководитель лаборатории _____

Н.В.Спиридонов

Контроль провел _____

М.В.Слепокуров

Удостоверение № 0009-3073, действительно до 03. 2022г.

Приложение В

Заказчик:	<u>Лаборатория НИЛ ООО "Центр СМТК"</u>
Адрес:	430001, г. Саранск, ул. Пролетарская, 130 Б
	Место проведения испытаний:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ № 63

"06" Сентября 2020г.

по радиографическому контролю сварных соединений

Контроль качества сварных соединений эстакада подъемно транспортного оборудования узелТ61/1

(наименование объекта)

проводился с применением Рентген аппарат МАРТ 200 зав № 7887

(аппаратура или источник излучения)

с оценкой качества по РД 24.090.100-99[34]

(наименование НТД, ГОСТ)

Результаты проверки.

Номер стыка по сварочной схеме	Номер снимка	Размер снимка, см	Чувствительность контроля, мм	Обнаруженные дефекты	Оценка стыка	Общая по стыку
					по каждому снимку	
1	1	10x30	0,2	Недопустимых дефектов не обнаружено	Годен	Годен
	2	10x30	0,2	Недопустимых дефектов не обнаружено	Годен	Годен

Руководитель лаборатории _____

Контроль провел _____

Удостоверение № 0009-3073

Н.В.Спиридонов

М.В.Слепокуров

, действительно до 03. 2022г.