

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

Архитектурно-строительный институт
(Наименование института)

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации строительства
(Наименование центра)

08.04.01 Строительство
(код и наименование направления подготовки)

Строительство, эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Надежность металлических конструкций мостовых сооружений»

Обучающийся

С.С. Сергеев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н, доцент, Д.С. Тошин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Оглавление

Термины, перечень сокращений и обозначений.....	5
Введение.....	6
1. Обзор мостового сооружения, методов, средств визуального и измерительного контроля.....	10
1.1 Обзор мостового сооружения.....	10
1.2 Методы, приборы и инструменты для визуального и измерительного контроля.....	12
1.3 Погрешность измерений.....	25
1.4 Измерение шероховатости поверхности.....	27
1.5 Контроль внутренних поверхностей конструкций.....	29
2. Надежность сварочных элементов конструкций.....	35
2.1. Обзор и классификация основных элементов сварного соединения. Структура металла в зависимости от температуры. Деформации и напряжения.....	35
2.1.1. Сварные соединения.....	35
2.1.2. Типы сварных соединений.....	35
2.1.3. Основные элементы сварного шва.....	38
2.1.4. Разделка кромок и её формы.....	39
2.1.5. Усиление сварного шва. Виды усилений.....	42
2.1.6. Структура металла.....	43
2.1.7. Зона термического влияния.....	45
2.1.8. Напряжения и деформации.....	47
2.2. Классификация дефектов сварных швов. Допускаемые отклонения.....	52
2.2.1. Виды дефектов, причины их возникновения и влияние на конструкцию.....	52
2.2.1.1 Трещина.....	52
2.2.1.2 Кратерная трещина.....	53

2.2.1.3 Поверхностная пора.....	54
2.2.1.4 Незаваренный кратер.....	55
2.2.1.5 Несплавление.....	55
2.2.1.6 Непровар в корне сварного шва	56
2.2.1.7 Подрез	57
2.2.1.8 Усадка в корне шва	58
2.2.1.9 Превышение выпуклости	58
2.2.1.10 Неправильный профиль сварного шва	59
2.2.1.11 Превышение проплава.....	60
2.2.1.12 Натек.....	61
2.2.1.13 Протек	62
2.2.1.14 Незаполненная разделка кромок	63
2.2.1.15 Прожог	63
2.2.1.16 Асимметрия углового шва	64
2.2.1.17 Плохое повторное возбуждение дуги	64
2.2.1.18 Занижение и превышение углового шва	65
2.2.1.19 Ожог дугой.....	66
2.2.1.20 Брызги металла.....	67
2.2.1.21 Цвета побежалости	68
2.2.2. Ограничения по дефектам.....	68
2.3 Контроль сварных швов на наличие недопустимых дефектов	68
2.3.1 Порядок выполнения визуального и измерительного контроля сварных соединений.....	68
2.3.2 Результаты визуального и измерительного контроля сварных швов пролетного строения	70
3. Адгезия лакокрасочного покрытия	78
3.1 Сущность и методы.....	78
3.2 Аппаратура и материалы.....	79
3.3 Особенности метода	79
3.4 Подготовка перед испытанием	80

3.5 Проведение испытаний и критерии оценки	81
3.6 Результаты испытаний.....	84
4. Контроль заводского грунтовочного покрытия.....	87
4.1 Определение характеристик АКЗ.....	87
4.2 Подготовка поверхности перед окрашиванием	90
4.2.1 Устранение дефектов поверхности	90
4.2.2 Обезжиривание поверхности.....	91
4.2.3 Удаление водорастворимых солей.....	92
4.2.4 Абразивоструйная очистка	92
4.2.5 Обеспыливание.....	92
4.2.6 Другие способы очистки	93
4.3 Проверка грунтовочного покрытия и необходимые мероприятия перед покраской	94
4.3.1 Подготовка грунтовочного покрытия перед нанесением следующих слоев.....	94
4.3.2 Визуальный контроль лакокрасочного грунтовочного покрытия	96
4.3.3 Результаты контроля толщины грунтовочного покрытия, наличие недопустимых дефектов и их устранение	99
4.4 Математический анализ результатов измерения толщины	103
Заключение	116
Список используемой литературы и используемых источников	118
Приложение А	126
Приложение Б.....	133

Термины, перечень сокращений и обозначений

АКЗ – антикоррозионная защита.

ВИК – визуально-измерительный контроль.

ЛКМ – лакокрасочные материалы.

ЛКП – лакокрасочное покрытие.

Максимальная толщина сухой плёнки МаксТСП – максимальное допускаемое изготовителем значение толщины сухой плёнки ТСП, при превышении которой характеристики слоя покрытия или лакокрасочной системы ухудшаются.

Номинальная толщина покрытия НТСП – толщина сухой плёнки для каждого слоя покрытия и системы АКЗ в целом, назначаемая изготовителем для обеспечения требуемых рабочей документацией защитных свойств, включая долговечность.

Толщина сухой пленки / толщина сухого покрытия ТСП – толщина покрытия над пиками шероховатой поверхности после отверждения покрытия.

Введение

Актуальность работы.

В современном мире в качестве конструкции мостовых сооружений используют металл благодаря разнообразию характеристик и большому спектру сплавов. Для выбора металла определенной конструкции создано множество нормативной документации. Но это не исключает возникновения аварий, возникших из-за разрушения или отказа металлических элементов конструкций. В строительной индустрии известны ситуации, когда причиной выхода из строя «конструкций были дефекты металлических элементов» [34].

Часто на производстве не уделяют должное внимание входному контролю материалов, поступающих на строительную площадку. А именно: не обращают внимания на дефекты сварных швов, лакокрасочного покрытия, недостаточную адгезию защитного слоя металлоконструкций, тем не менее, их наличие в определенном расположении способно вызвать неблагоприятное воздействие на способность выполнять требуемые функции ответственных металлических элементов. А убыток, наносимый коррозией народному хозяйству, велик, из-за недостаточного контроля качества лакокрасочных слоев, что в свою очередь не гарантирует надежной защиты мостовых металлических конструкций.

Одной из основных причин аварий металлоконструкций является хрупкое разрушение. В работе [20] в одной из причин хрупкого разрушения является разрушение «под влиянием различных дефектов в основном металле и сварных швах» [20].

Во втором издании книги профессора Йоахима Шеера «Разрушения мостов: характерные примеры, причины и последствия» [46] рассмотрены ситуации разрушения мостов в связи различными факторами, в том числе и с недостаточным контролем состояния и эксплуатацией мостов. Изучить данную информацию рекомендуется как студенту, так и инженеру по

строительству мостов, поскольку в книге продемонстрировано огромная ответственность, которая связана со строительством моста.

В статье [47] отмечено, что надежность линейных сооружений зависит от долговечности и прочности их компонентов. Для предотвращения преждевременного отказа конструкций и повышения срока службы моста необходимо обеспечивать правильную эксплуатацию. В статье как раз рассмотрены аварии по причине неправильной эксплуатации и методы их восстановления.

Проанализировав иностранную литературу, можно заметить, что в последнее время определенное внимание уделяется прогрессирующему разрушению мостов, о чем говорится в работах [48], [49], [50].

Отступления от нормативной и проектной документации, а также дефекты приводят к аварийным состояниям не сразу, а при сочетании сразу нескольких неблагоприятных сочетаний обстоятельств и факторов.

Объект исследования.

Мост состоит из двух цельнометаллических балочных неразрезных пролетных строений со схемами (по осям опирания): Пролетное строение ПС1 в осях опор 1-13, полной длиной 1692,5 м, пролетное строение ПС2 в осях опор 13-26 полной длиной 1951,5 м.

Предмет исследования.

Контроль качества сварных соединений, лакокрасочного покрытия в том числе его толщины и адгезии.

Практическая значимость.

Результаты обследования позволяют получить информацию о состоянии объекта в процессе входного контроля, монтажа, эксплуатации и является одним из важнейших элементов контроля и обеспечения промышленной безопасности. В дальнейшем поможет составить своевременные профилактические мероприятия по восстановлению участков, техническому обслуживанию, что на прямую влияет на дальнейшую надежность мостовых конструкций. Для поддержания их высокой эксплуатационной надежности

требуется постоянная актуализация, оптимизация и усовершенствование методов контроля.

Целью является повышение эксплуатационной надежности металлических конструкций мостовых сооружений, с помощью визуального и измерительного контроля сварных соединений и антикоррозийного покрытия.

Гипотеза исследования.

Ввиду того, что результаты исследуемых параметров зависят от ряда случайных факторов, имеет смысл на примере результатов измерений толщин ЛКП провести математический анализ для выявления подчинения закону нормального распределения.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

- Ознакомиться с методами и средствами визуального и измерительного контроля;
- Определить параметры, влияющие на качество сварных соединений, ознакомиться с дефектами сварных швов, причинами их возникновения и допускаемыми отклонениями;
- Провести визуальный и измерительный контроль сварных соединений и выявить влияние полученных несоответствий на надежность мостовых конструкций;
- Провести испытание на проверку адгезии лакокрасочного покрытия;
- Определить параметры, влияющие на качество ЛКП, ознакомиться с дефектами защитного покрытия, провести визуальный и измерительный контроль с измерением толщины ЛКП, разработать методы устранения дефектов;
- Провести математический анализ результатов измерения толщины ЛКП.

Методы исследования.

Метод экспериментального исследования и метод математической обработки.

Научная новизна исследования заключается в выявлении подчинения закону нормального распределения значений локальных толщин лакокрасочного покрытия.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в том, что автор принимал непосредственное участие в формировании аналитического обзора по направлению исследований, а также в анализе экспериментальных данных.

Структура магистерской диссертации.

Диссертация состоит из перечня сокращений и обозначений, введения, 4 глав, заключения с основными результатами и выводами, содержит 80 рисунков, 14 таблиц, списка использованных источников (50 источников). Основной текст изложен на 107 страницах.

1. Обзор мостового сооружения, методов, средств визуального и измерительного контроля

1.1 Обзор мостового сооружения

Для эффективного проведения контроля качества металлических конструкций пролетных строений, необходимо ознакомиться с объектом исследования, методами и средствами визуального и измерительного контроля.

Мост, состоит из двух цельнометаллических балочные неразрезных пролетных строений со схемами (по осям опирания): Пролетное строение ПС1 в осях опор 1-13, полной длиной 1692,5 м, пролетное строение ПС2 в осях опор 13-26 полной длиной 1951,5 м.

Уровень ответственности сооружения на стадии эксплуатации – 1 (повышенный) в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ «Технологический регламент по безопасности зданий и сооружений». На стадии монтажа пролетных строений уровень ответственности сооружения – 2 (нормальный).

Пролетные строения предназначены для пропуска автомобильных нагрузок по схеме А14 и Н14 в соответствии с СП 35.13330.2011 [28].

Проезжая часть пролетных строений имеет двухсторонний (двухскатный) симметричный поперечный уклон 2% от оси пролетного строения к его краям.

В поперечном сечении пролетные строения представляют собой одну трапецевидную коробку, образованную двумя L-образными блоками главных балок с наклонными стенками, нижними ребристыми плитами и верхними ортотропными средними и консольными плитами. Высота стенки блока главной балки по вертикали от верха стенки до низа нижнего пояса составляет ~4,5 м. Ортотропные плиты запроектированы с продольными трапецевидальными (корытными) ребрами жесткости, нижние ребристые

плиты – с продольными полосовыми ребрами. В створе каждой поперечной балки, внутри коробчатого контура главной балки, предусмотрена установка системы раскосов в виде треугольной решетки образующая совместно с поперечными балками ортотропных и ребристых плит плоские поперечные фермы. Промежуточные опорные зоны запроектированы в виде встроенных двухстенчатых коробчатых ригелей, образованных из двух нижних и двух верхних П-образных блоков. Концевые опорные зоны запроектированы в виде встроенных ригелей, образованных нижним коробчатым блоком и двумя верхними двутавровыми блоками с возможностью прикрепления к ним аванбеков и арьербеков.

Монтажные соединения стенок главных балок, настильных листов ортотропных и ребристых плит, продольных ребер ортотропных и ребристых плит, верхних и нижних блоков опорных ригелей – на сварке. Монтажные соединения поясов и стенок поперечных балок – фрикционные, на высокопрочных болтах.

Для движения обслуживающего персонала внутри коробчатых блоков на всем протяжении моста предусмотрены служебные проходы шириной не менее 1,0 м с возможностью схода на нижний пояс в каждом отсеке между соседними поперечными балками.

Для прокладки кабельных коммуникаций внутри коробчатых блоков пролетных строений под нижними поясами поперечных балок ортотропных плит предусмотрены два кабельных моста.

В наклонных стенках главных балок и опорных ригелей предусмотрены технологические люки с влагозащитными воздухопроницаемыми откидными крышками, обеспечивающими возможность доступа наружного воздуха внутрь коробчатых блоков.

В нижнем поясе коробчатых блоков предусмотрены технологические люки с откидными крышками оснащенными дефлекторами для естественной приточно-вытяжной вентиляции внутреннего пространства коробчатых блоков пролетных строений.

Барьерные ограждения – металлические деформируемые. По краям проезжей части, с наружных сторон моста, устанавливается одностороннее ограждение, в разделительной полосе – двухстороннее.

Цоколи барьерных ограждений – металлические, индивидуальной проектировки. Установка цоколей в проектное положение на настильном листе ортотропной плиты выполняется на монтаже при помощи сварки.

Деформационные швы – индивидуальной проектировки, герметичные, резинометаллические, многопрофильные с поворотными траверсами и неподвижным опиранием траверс со стороны пролетного строения.

На пролетных строениях предусмотрен организованный сбор, очистка и отвод воды. Поверхностные и дренажные воды через переливные и дренажные проемы продольных торцевых листов поступают в продольные водоотводные лотки и далее по уклону моста к точкам приема воды. На конструкцию устройства для приема, очистки и отвода воды с проезжей части мостов

Опорные части – индивидуальной проектировки, шаровые сегментные в обычном (не перевернутом) исполнении с применением в качестве пары трения полиэтилена с ультравысокой молекулярной массой и полированного листа. Каждое пролетное строение на каждой опоре опирается на две опорные части.

1.2 Методы, приборы и инструменты для визуального и измерительного контроля

Визуальный метод основан на оптическом не разрушаемом контроле, включающий в себя наблюдение и анализ объекта контроля непосредственно глазами оператора, без использования оптических устройств и приборов.

«Визуальный контроль с применением оптических приборов называют визуально-оптическим. Он предназначен для обнаружения различных поверхностных дефектов материала деталей, скрытых дефектов агрегатов, контроля закрытых конструкций, труднодоступных мест механизмов и машин

(при наличии каналов для доступа приборов к контролируемым объектам). Контроль проводится путем наблюдения деталей и изделий в видимом свете. При контроле используются оптические приборы, создающие полное изображение проверяемой зоны, ее видимую картину» [35].

Есть также непрямой визуальный контроль (телевизионный метод), основанный на визуальном анализе изображения объекта, регистрируемого оптико-электронными устройствами, средствами фото- и видеотехники.

Преимуществом визуального и измерительного контроля является его простота, информативность и скорость. Он не требует дорогого оборудования, но необходимо иметь специальные навыки для его проведения.

К недостаткам можно отнести ограниченность исследования только видимой частью объекта.

Помимо визуальной оценки сварных соединений визуальным измерительным контролем включает в себя использование специального оборудования. Для того, чтобы проводить визуальный и измерительный контроль пролетных строений необходимо ознакомиться с инструментами. При визуальном и измерительном контроле применяют:

- Лупы,
- Нутромеры (микрометрические и индикаторные),
- Угольники, калибры,
- Угломеры с нониусом,
- Щупы,
- Штангенциркули,
- Толщиномеры, микрометры,
- Поверочные плиты,
- Штриховые меры длины,
- Шаблоны,
- Эндоскопы.

Допускается применение других средств визуального и измерительного

контроля при условии наличия методик их применения и соответствующих инструкций.

Определить наличие дефекта сварного шва без использования специальных инструментов возможно только тогда, когда они имеют значительные размеры и ярко выражены. В противном случае без дополнительных инструментов и измерений.

Комплект для ВИК, изображенный на рисунке 1, содержит все необходимые приспособления для проведения контроля типовых изделий. Если необходимо проверять какие-то специфические параметры изделия или объекты сложной формы, может потребоваться дополнительное оборудование.



Рисунок 1 – Комплект ВИК

Лупы просмотрные используются для просмотра деталей и мелких предметов при наружном освещении, в также с подсветкой от миниатюрного фонаря, фиксируемого на корпусе лупы, пример такой лупы изображен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Лупа просмотрная

Лупы измерительные используются для измерения линейных размеров плоских предметов с помощью шкалы, выполненной на стеклянной пластине, пример такой лупы изображен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Лупа измерительная

Плиты поверочные – предназначены для проверки плоскости и для использования в качестве вспомогательного приспособления при различных контрольных и цеховых работах. Угольники, так же, используются для разметки деталей и для оценки угла между поверхностями. Плита представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Плита поверочная

Измерительная линейка – представляет собой гибкую металлическую полосу с нанесенной на ней миллиметровой шкалой. Металлические линейки используются для измерений с невысокой точностью и подразделяются на несколько видов в зависимости от длины и толщины рабочей части. Возможно изготовление измерительной линейки в складном варианте, что позволяет получить компактный инструмент для измерения больших длин. Пример линеек измерительных представлен на рисунке 5.

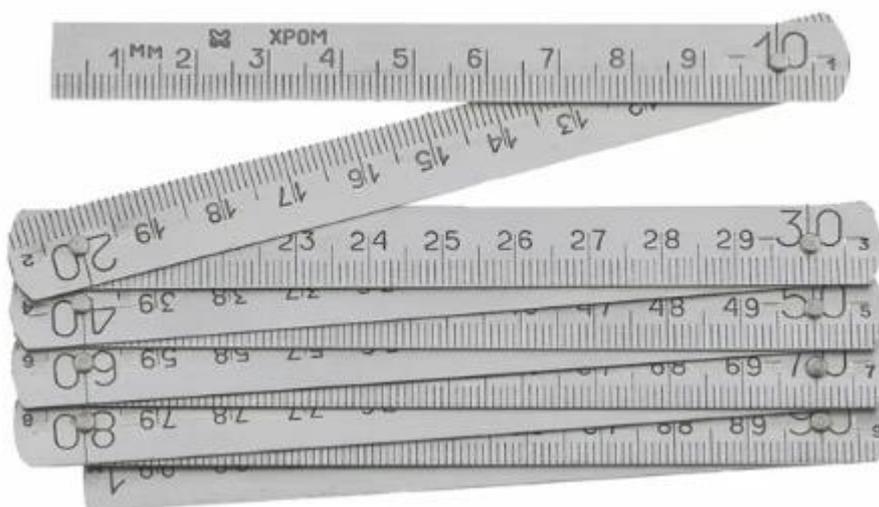


Рисунок 5 – Измерительная складная линейка

Рулетка измерительная – инструмент, выполненный в виде гибкой ленты с нанесенной миллиметровой шкалой и механизмом сматывания. Основное применение рулеток – определение размеров крупногабаритных деталей и разметка на местности. В нашем случае рулетки мы используем для проверки габаритных размеров конструкций. Рулетки измерительные подразделяются на несколько типов и отличаются материалом и длиной измерительного полотна.

Корпус – металлический, пластиковый и пластиковый с резиновым покрытием. Лента изготавливается из тонкой, специальным образом прокатанной стали, либо из пластика. Пример такой рулетки изображен на рисунке 6.

Штангенциркуль – измерительный инструмент, позволяющий определять внешние и внутренние размеры, а также глубину отверстий и уступов. Он состоит из штанги с измерительной шкалой и подвижной рамки со шкалой нониуса. Штангенциркуль изображен на рисунке 7. Для входного контроля конструкций пролетных строений штангенциркулем измеряют толщину проката.

Нониус – это вспомогательная шкала с небольшим числом интервалов. Погрешность измерений по основной шкале для штангенциркулей составляет 0,05 мм - 0,1 мм. Диапазон измерений от 0 до 300 мм в зависимости от модели.



Рисунок 6 – Рулетка измерительная



Рисунок 7 – Штангенциркуль

Нутромер – измерительный прибор для определения внутренних размеров деталей: отверстий, проточных канавок и т.д. Нутромер состоит из кругового стрелочного индикатора и штанги с измерительным наконечником. Специальный механизм преобразует линейное перемещение наконечника в показания индикатора.

Тип НИ 6-10 – НИ 18-35 снабжены конусным механизмом передачи на индикаторное устройство, а НИ 35-50 – НИ 700-100 – рычажным. Примеры приборов изображены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Нутромер

Микрометр – универсальный инструмент для измерений с высокой точностью в области малых размеров. Принцип действия микрометра основан на использовании зависимости линейного перемещения винта от угла его

поворота в неподвижной гайке. В зависимости от конструкции микрометр измеряет охватываемые и охватывающие размеры.

Микрометры имеют рычажно-зубчатое отсеченное устройство, встроенное в корпус. Контактные поверхности отсчетного устройства армированы твердым сплавом. Измерительные поверхности микрометры выполнены из твердого сплава.

Механизм – трещотка на вращающейся рукоятке микрометра позволяет нормировать усилие прижима контактных площадок, чтобы избежать повреждение прибора и внесения погрешностей в измерения. Перемещение зажимов микрометра при контакте зажимов и измеряемого изделия можно проводить только с использованием механизма-трещотки. Пример микрометра изображен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Микрометр

Измерители вмятин и глубины местной коррозии – Приспособление для измерения вмятин, обычно состоит из основания, которое ставится на поверхность, подвижного щупа и приспособления, измеряющего перемещения щупа. Измерение глубины вмятин и местной коррозии – важная задача визуального контроля.

Механический глубиномер, указанный на рисунке 10, предназначен для оперативного контроля глубины очаговой коррозии и контроля глубины узких отверстий и пазов.



Рисунок 10 – Механический глубиномер

Шаблоны сварщика – предназначены для контроля элементов разделки под сварной шов, электродов и элементов сварного шва (ширина шва, высота усиления, глубина подреза).

Выпускаются в широком диапазоне форм и размеров. Шаблон сварщика – сложное устройство, для его правильного использования необходимо ознакомиться с инструкцией.

Шаблон Ушерова-Маршака, представленный на рисунке 11, предназначен для:

- Измерения выпуклости сварного шва;
- Угла разделки кромок соединяемых частей угловым и стыковым сварными швами;
- Скоса кромок при подготовке свариваемых соединений деталей;
- Измерения высоты катета углового шва;
- Измерения высоты валика усиления;
- Измерения зазора в соединении при подготовке деталей к сварке.

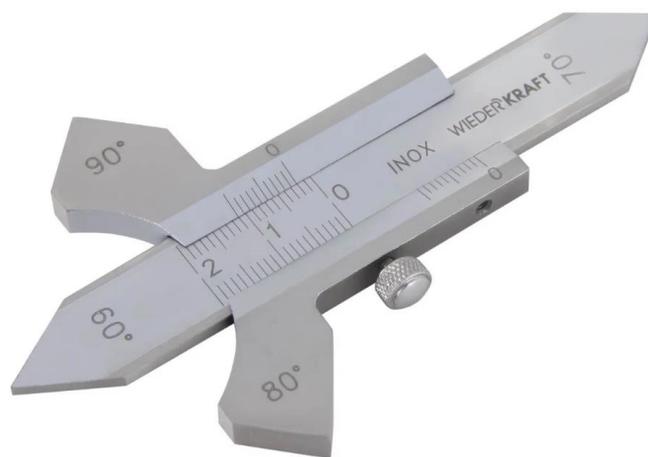


Рисунок 11 – Шаблон Ушера-Маршака

УШС-3, представленный на рисунке 12, предназначен для контроля элементов разделки под сварной шов, электродов и элементов сварного соединения. Позволяет проводить контроль: глубины раковин, забоин; превышения кромок; глубины разделки стыка до корневого слоя; высоту усиления шва; контроль зазора, притупления шва; ширины сварного шва; углов скоса кромок; диаметров электродов.

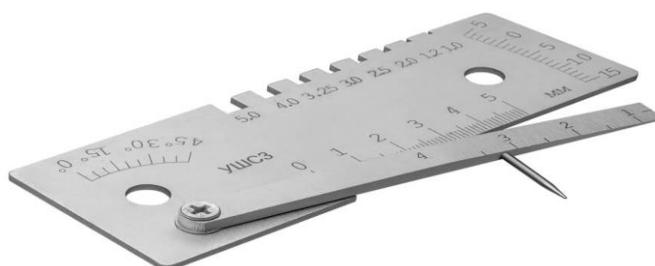


Рисунок 12 – УШС-3

УШС-4, представленный на рисунке 13, предназначен для визуального контроля элементов разделки под сварной шов, электродов, углов скоса кромок; высоты валика усиления и катета углового шва; выпуклости корня

шва стыкового (углового, нахлесточного и т.д.) сварного соединения;
величины зазора между свариваемыми деталями.



Рисунок 13 – УШС-4

УШК-1: шаблон Красовского, представленный на рисунке 14, служит для контроля тавровых и нахлесточных сварных соединений, стыковых сварных соединений. Применяется при проведении визуального контроля сварных соединений; измерения зазора между кромками свариваемых деталей.

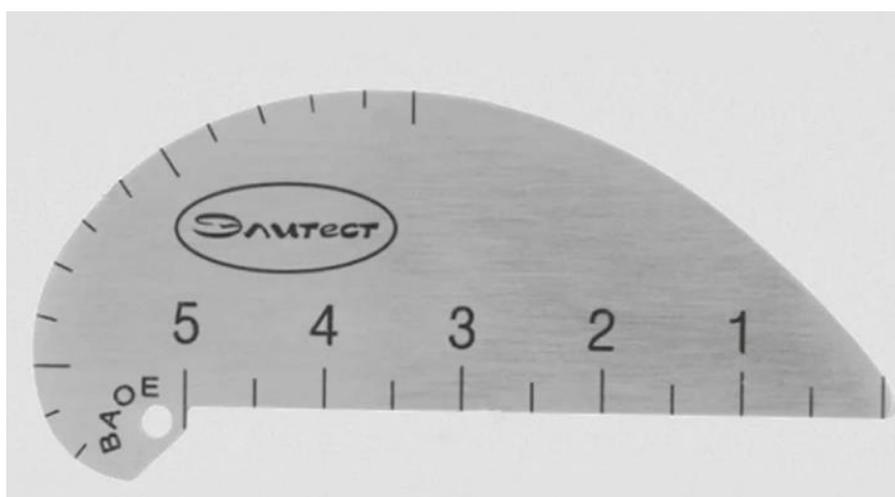


Рисунок 14 – УШК-1

Калибры – безшкальные инструменты, используемые для определения размера. Изделие последовательно сравнивают с калибрами, начиная с минимального, пока не будет найден калибр, в которое изделие проходит. Этот калибр называется проходным. Пример подбора по калибру показан на рисунке 15.

Проходной калибр – отверстие или скоба минимального диаметра или линейного размера, в которое изделие проходит.

Непроходной калибр – отверстие или скоба максимального размера или диаметра, в которое изделие проходит.

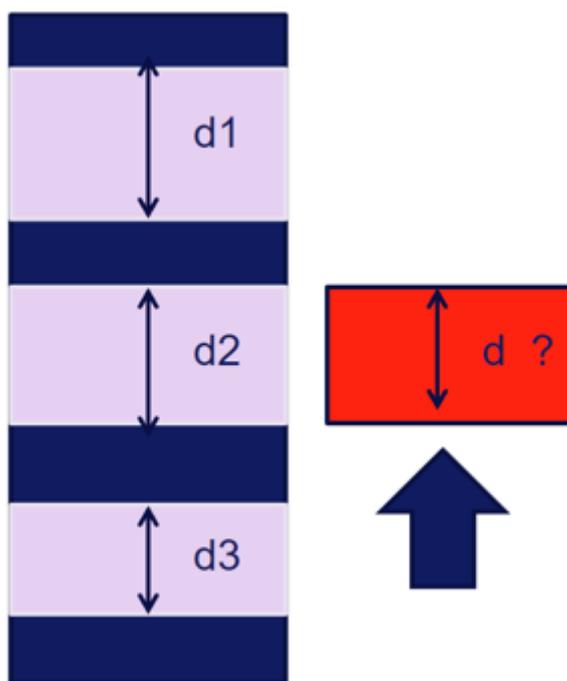


Рисунок 15 – Калибр

Резьбовые калибры – позволяют оценить: была резьба растянута или нет, обнаружить износ поверхности резьбы. Являются незаменимым инструментом при контроле резьбовых соединений. Пример проверки резьбы указан на рисунке 16.



Рисунок 16 – Резьбовой калибр

К калибрам также относятся шаблоны различных форм. Форма участка изделия поочередно сравнивается с формой калибра. На рисунке 17 изображены калибры для определения радиуса кривизны, сварного шва, углового сварного шва.

Набор щупов – измерительный инструмент, состоящий из обоймы стальных пластин эталонной толщины.

Набор используется для определения зазора между двумя плоскостями и применяется при проведении токарно-фрезерных, слесарных и ремонтных работ.



Рисунок 17 – Щупы

Для нанесения надписей, включая разметку поверхности контролируемых изделий используют маркер промышленного применения.

1.3 Погрешность измерений

Любое измерение независимо от условий его проведения сопряжен с погрешностями, которые изменяют представление о действительном значении измеряемой величины.

В измерениях есть такое понятие как номинальный размер – «размер, относительно которого определяются предельные размеры, и который служит началом отсчета отклонений» [21].

«Действительный размер – размер, установленный с помощью средства измерений с допусковой погрешностью.

Под погрешностью измерения понимается отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины, которое определяется как алгебраическая разность этих величин.

За истинное значение измеряемой величины принимается математическое ожидание многократных измерений» [21].

«Предельные размеры – два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Большой из двух предельных размеров называется на⁰ и большим предельным размером, а меньший – наименьшим предельным размером.» [21].

Реальный размер не известен и не может быть точно определен.

Погрешность измерения может быть вызвана:

- Отклонениями от базовой температуры;
- Изменениями формы контролируемого объекта или измерительного прибора из-за воздействия измерительного усилия;
- Параллаксом вследствие считывания под углом;
- Загрязнением контактных поверхностей (и износ).

Точность измерительного прибора можно проверить посредством сравнительного измерения с использованием точных измерительных приборов.

На этом основаны калибровка и поверка, то есть сравнение индикации (показания прибора) измеряемого значения со сравнительным эталоном.

Погрешность классифицируется по причине возникновения как систематическая и случайная.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, которая или остается постоянной, или изменяется по определенному закону при повторных измерениях. Так, например, если измерительный инструмент зажимает изделие, то деформация изделия будет систематической составляющей погрешности.

Случайная погрешность – составляющая погрешности, которая изменяется не прогнозируемо (случайным образом) при повторных измерениях одной и той же величины.

Также имеет место классификация погрешностей по виду представления: абсолютная; относительная, инструментальная.

Абсолютная погрешность – погрешность измерения, которая выражена в единицах измеряемой величины. Абсолютная погрешность равна разности значения величины x и истинного значения x -истинное.

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины. Относительная погрешность выражается в относительных единицах или в процентах.

Инструментальная погрешность – погрешность при измерении, которая возникает в связи с несовершенством инструмента измерения.

Точность измерения многих приборов зависит от размера измеряемой величины. Часто относительная погрешность существенно меньше, чем абсолютная погрешность.

1.4 Измерение шероховатости поверхности

Все термины и определения согласно ГОСТ 25142-82 [5]

«Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхностей деталей и оказывает влияние на эксплуатационные показатели» [19].

«Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины L » [35].

Способы измерения шероховатости поверхности:

- Визуальный (сравнение по образцам),
- Бесконтактный (при помощи микроскопа),
- Контактный (профилометр).

ISO 8503 определяет требования по определению компараторов профиля, который предназначен для визуального и тактильного сравнения стальных поверхностей, очищенных при помощи абразивных частиц в струе сжатого воздуха.

«Волнистость — совокупность периодически повторяющихся неровностей на поверхности» [33], длина которого превышает номинальную базовую длину.

При контактном методе используют профилометр. «В профилометрах параметры шероховатости определяют по стрелочным или цифровым отсчетным устройствам» [21]. «Профилометр состоит из механотронного преобразователя, привода, электронного блока, столика, призмы, стойки. Колебания иглы передаются на анод механотрона через стержень, выходящий из стеклянной колбы. В электронной лампе они преобразуются в электрические сигналы, которые передаются в электронный блок прибора. Там сигналы усиливаются и фиксируются на отсчетном устройстве» [21]. Профилометр показан на рисунке 18.



Рисунок 18 – Профилометр

При визуальном методе используют образцы шероховатости. «Образец шероховатости поверхности (сравнения) представляет собой пластинку, одна из поверхностей которой обработана с образцовой шероховатостью» [21]. Образцы, указанные на рисунке 19, «получены точением, фрезерованием, строганием, шлифованием, растачиванием, развертыванием, протягиванием, полированием и доводкой, стандартизированы и выпускаются с различными значениями шероховатости» [21]. Они предназначены для оценки шероховатости поверхности, путем сравнения с ними визуально или на ощупь.

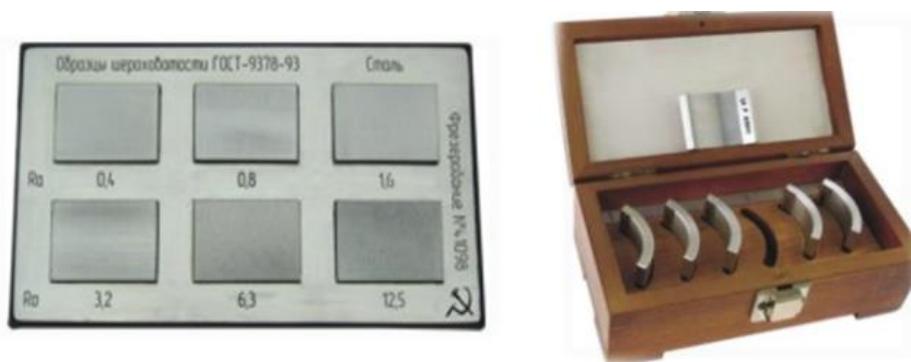


Рисунок 19 – Образцы шероховатости

Эталоны шероховатости (компараторы) – позволяют производить оценку шероховатости тактильно (на ощупь) или визуально. Примеры эталонов указаны на рисунке 20.



Рисунок 20 – Эталоны шероховатости

Два варианта исполнения: песок (эталон шероховатости после пескоструйной обработки); дробь (эталон шероховатости после дробеструйной обработки).

1.5 Контроль внутренних поверхностей конструкций

Для контроля качества внутренних поверхностей и в труднодоступных местах используют различные приборы. К одним из них относят эндоскоп.

«В переводе с греческого endos – внутри и scopeo – рассматривать. Эндоскопы разделяются на гибкие и жесткие» [21].

Эндоскопический контроль позволяет проводить осмотр внутренних полостей механизмов без их снятия и разборки.

«Жесткие эндоскопы – предназначены для визуального контроля узлов, к которым возможен прямолинейный доступ (особенно, когда

эндоскопический контроль запланирован на стадии проектирования изделия)» [21]. Пример использования приведен на рисунке 21.

«Жесткие эндоскопы характеризуются четырьмя основными параметрами: диаметром рабочей части, длиной рабочей части, углом направления наблюдения и углом поля зрения» [21].

Устройство эндоскопа состоит из объектива, которое фокусирует изображение и передает его на систему передающих линз, которые стоят друг за другом на расстоянии, равном двум фокусным расстояниям, и передают изображение без искажений до окуляра, который делает изображение резким и сфокусированным для глаза. Часто внутри изделия нет источников освещения или освещения не достаточно. Для подсветки используется источник света и световод, который «доставляет» свет в зону контроля. Устройство эндоскопа указано на рисунке 22.



Рисунок 21 – Жесткий эндоскоп и пример его использования

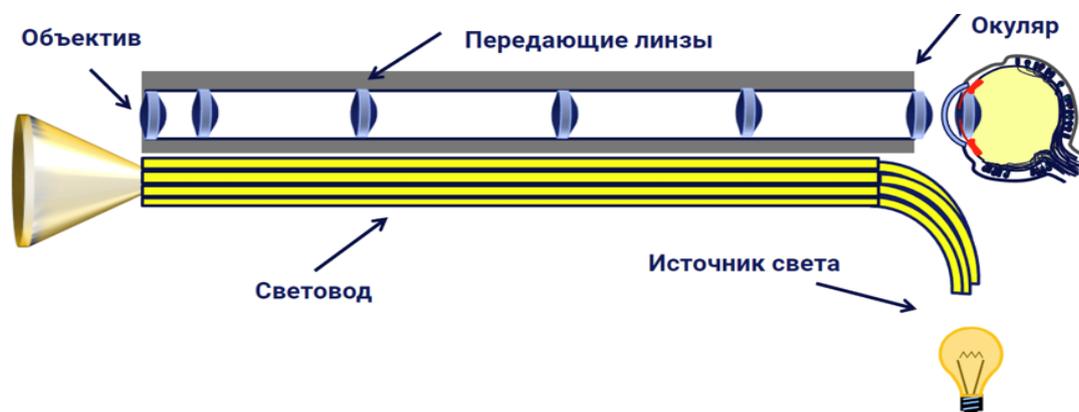


Рисунок 22 – Устройство эндоскопа

Также эндоскопы имеют 4 вида объективов, в зависимости от того, какую поверхность необходимо осматривать: боковой, косоприцельный, прямонаправленный, ретроспективный. Так, например, если нам нужно осмотреть внутреннюю кромку возле отверстия, через которую вставили эндоскоп, необходимо использовать ретроспективный объектив. Виды объективов указаны на рисунке 23.

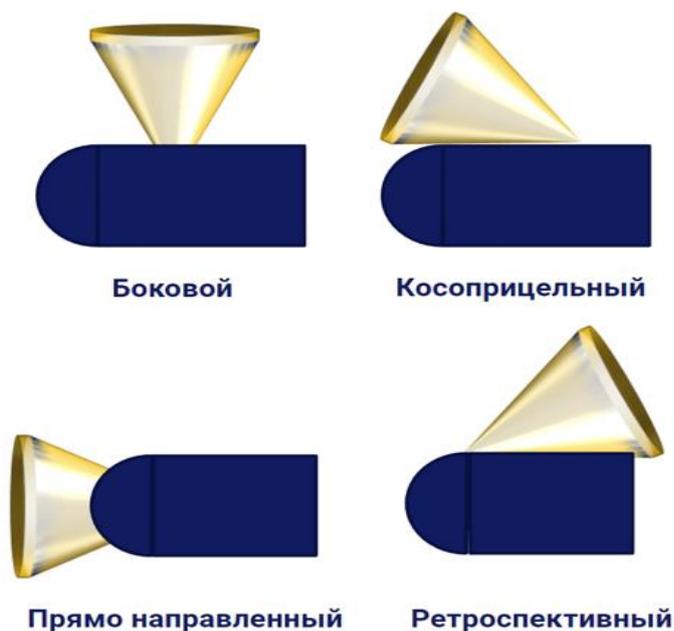


Рисунок 23 – Виды объективов эндоскопа

Еще один вид эндоскопов – гибкие фиброскопы. В этих устройствах изображение передается по волоконно-оптическому жгуту. Каждое единичное волокно передает одну точку (пиксель изображения). Разрешающая способность фиброскопа зависит от количества волокон в жгуте и достаточно мала. Так, для того, чтобы получить картинку с разрешением 640×480 точек необходимо использовать 307200 волокон. Главным достоинством фиброскопов является его устойчивость к любым электромагнитным помехам и радиации. Применяются для осмотра труднодоступных зон, для доступа в

которые необходимо пройти несколько изгибов. Пример фиброскопа приведен на рисунке 24.

Объектив фиброскопа в большинстве современных приборов может поворачиваться, обеспечивая угол обзора от прямонаправленного до ретроспективного. Недостаточная жесткость фиброскопа затрудняет его точное позиционирование.



Рисунок 24 – Фиброскоп

«Гибкие волоконно-оптические эндоскопы имеют ряд недостатков, наиболее существенные из которых – невысокая разрешающая способность и ограничение по длине, определяемые волокном передачи изображения. Модернизация или, точнее, замена в системе передачи изображения гибкого эндоскопа волоконно-оптического жгута на электронику позволила повысить разрешающую способность приборов и увеличить их длину и привела к появлению видеоэндоскопов. Изображение в них через объектив попадает на ПЗС матрицу, затем сигнал по кабелю передается в блок преобразования и выводится на монитор.

В настоящее время в мире производится видеоэндоскопы с диаметрами рабочей части 6, 8, 10, 12, 16, и 20 мм и длиной от 2 до 30 метров» [21]. Видеоэндоскоп и пример его использования показан на рисунке 25.



Рисунок 25 – Видеоэндоскоп и пример его использования

При эксплуатации эндоскопической аппаратуры и аппаратуры для не прямого визуального контроля используются сравнительные эталоны. Сравнительные эталоны подтверждают возможность выявления дефектов заданного размера при проведении предлагаемого способа визуального контроля (схема и интенсивность освещения, используемое оборудование, угол визирования).

Сравнительный эталон должен содержать в себе характеристики подобные объекту контроля: доступность; контрастное соотношение отражающая способность; состояние поверхности.

Метод всегда испытывается в условиях, которые равны самым плохим местам контролируемой поверхности.

На практике могут применяться металлические пластины, содержащие сверления или пазы различных размеров и глубины.

Также для того, чтобы провести измерения в недоступных местах используют реплицирование: полость заполняется модельным материалом, который потом твердеет и извлекается. Измерения проводятся на слепке.

Необходимо понимать, что в ряде случаев слепок извлечь будет невозможно.

Реплицирование широко используется, например, для проверки соответствия требованиям калибровочных образцов для ультразвукового контроля. .

Выводы к первой главе.

Рассмотрены методы, инструменты при визуальном измерительном контроле как в незатрудненных местах, так и в затрудненных, а также приведен обзор основных элементов мостового сооружения.

Данная информация способствует дальнейшему обследованию пролетных строений т.к. в ней изложены методы и средства проведения входного контроля металлоконструкций.

2. Надежность сварочных элементов конструкций

2.1. Обзор и классификация основных элементов сварного соединения. Структура металла в зависимости от температуры. Деформации и напряжения

2.1.1. Сварные соединения

Сварка - способ объединения деталей в твердую конструкцию, результатом которой является сварной шов. Несмотря на то, что сварные соединения и швы являются частью одного процесса, их следует различать. Соединение представляет собой неразъемную структуру из двух металлических деталей, в то время как сварной шов означает след после совмещения.

2.1.2. Типы сварных соединений

Стыковое соединение – сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцевыми поверхностями. Сварка встык используется для соединения труб и листов металла. Для этого требуется предварительная подготовка торцевых поверхностей, которая представляет из себя подгонку торцов друг к другу. Стыковое соединение указано на рисунке 26.

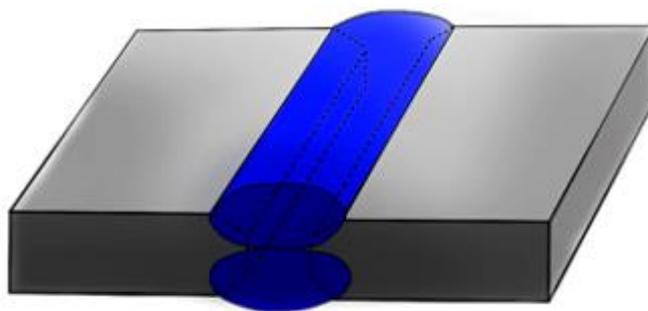


Рисунок 26 – Стыковое соединение

Угловое соединение – сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев. Наиболее часто этот угол является прямым. Дополнительную прочность при сварке под прямым углом обеспечивает одинаковая нагрузка на обе стороны. Сварка углового шва определяет его форму. Она может быть плоской, а также иметь сферичность – выпуклую или вогнутую. Угловое соединение указано на рисунке 27.

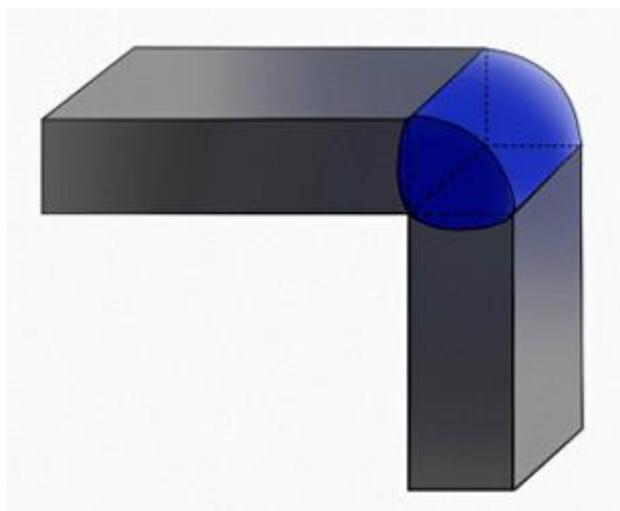


Рисунок 27 – Угловое соединение

Тавровое соединение – сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента. Тавровая сварка применяется в несущих конструкциях после тщательной подготовки поверхностей. Этот вид сварки обладает высокой прочностью и может применяться в труднодоступных местах, где также могут иметь место требования выдерживать высокие нагрузки.

Тавровое соединение указано на рисунке 28.

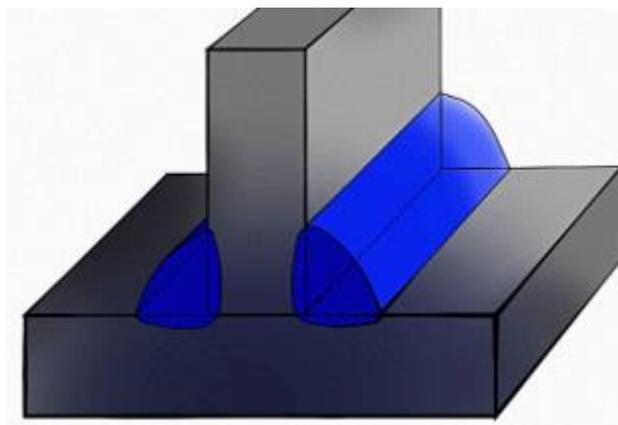


Рисунок 28 – Тавровое соединение

Нахлесточное соединение – сварное соединение, в котором сварные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга.

Сварка нахлесточным способом используют для соединения металлических листов толщиной не более 12 мм без зазоров между поверхностями. Нахлесточное соединение указано на рисунке 29.



Рисунок 29 – Нахлесточное соединение

Торцевое соединение – сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу. Торцевое соединение указано на рисунке 30.



Рисунок 30 – Торцевое соединение

Сварка торцевая подразумевает сварку торцов деталей любой толщины. Преимуществом данного вида является минимальная деформация после сварки.

2.1.3. Основные элементы сварного шва

Рассмотрим основные элементы сварного шва, указанные на рисунке 31.

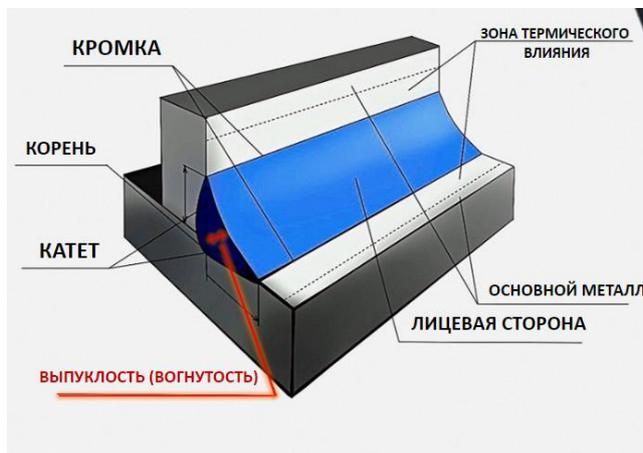


Рисунок 31 – Основные элементы сварного шва

Выпуклость и вогнутость – это значение расстояния между линией основной поверхности металла заготовки и поверхностью, которая проходит по линии максимальной выпуклости (вогнутости).

Катет углового шва - это расстояние от плоскости одной заготовки до границы сварного углового соединения на плоскости другой заготовки.

Корень шва – часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности.

Лицевая сторона шва – это открытая поверхность сварного шва на той стороне, с которой выполнялась сварка.

Кромка лицевой поверхности шва – это линия контакта лицевой поверхности шва и основного металла.

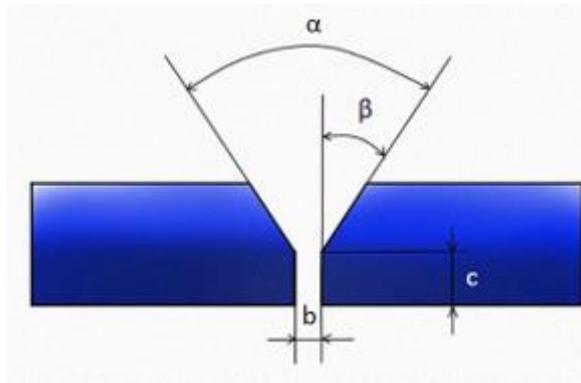
Зона термического влияния – область контроля, включающая в себя сварной шов и участок прилегающего к нему основного металла в обе стороны сплавления.

Зона основного металла, не входящая в зону термического влияния, не контролируется, однако участвует в контроле при измерении геометрии и позволяет выявить деформации.

2.1.4. Разделка кромок и её формы

Существуют различные варианты разделки кромок. Их используют в зависимости от типа шва, применяемой технологии и толщины элементов. Каждый вид получил название по латинской букве, которую он напоминает.

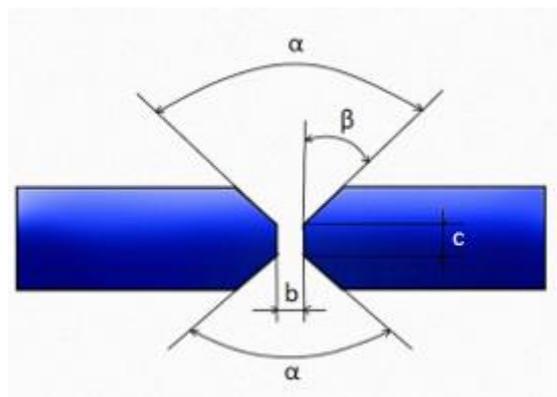
«V-образная – является наиболее часто применимой. Это объясняется простотой выполнения и возможностью использования для различных толщин свариваемых деталей. Диапазон толщин – от 3 до 26 мм. Представляет собой разделку обеих кромок с одной стороны. Угол разделки – 60 градусов» [22]. Применяется для стыковых, угловых и тавровых соединений. V-образная разделка указана на рисунке 31.



Обозначение: α – угол разделки кромок, β – угол скоса кромок, b – притупление кромок, c – зазор.

Рисунок 31 – V-образная разделка кромки

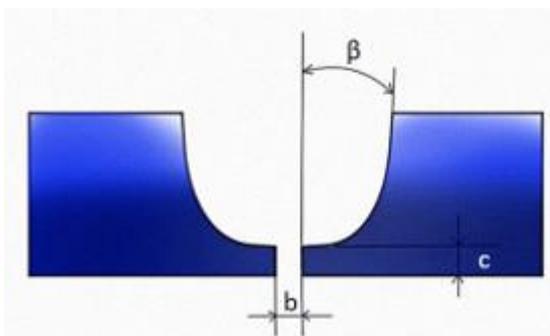
X-образная – «используется также достаточно часто. Скосы выполняют с обеих сторон. Способ применяется для соединения деталей, имеющих толщину от 12 до 60 мм. Угол разделки такой же, как в предыдущем варианте. С каждой стороны осуществляется несколько проходов. При таком способе значительно снижается расход электродов при сварке. Остаточные деформации при нагреве являются незначительными» [22]. X-образная разделка указана на рисунке 32.



Обозначение: α – угол разделки кромок, β – угол скоса кромок, b – притупление кромок, c – зазор.

Рисунок 32 – X-образная разделка кромки

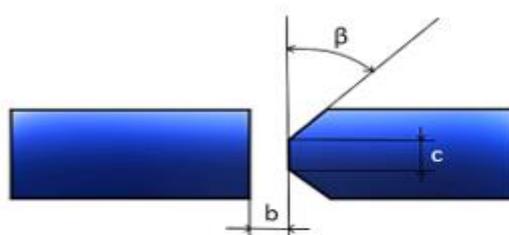
U-образная – «единственный вид криволинейного скоса. Разделка кромок для сварки таким способом является наиболее трудной. Применение оправдано, когда необходимо получить высокое качество шва. Обе кромки скашиваются одинаково с одной стороны. Подходящая толщина деталей – от 20 до 60 мм. При сварке кромок таким способом происходит уменьшенный расход электродов. Вручную выполнить трудно, поэтому применяются кромкорезы» [22]. U-образная разделка указана на рисунке 33.



Обозначение: β – угол скоса кромок, b – притупление кромок, c – зазор.

Рисунок 33 – U-образная разделка кромки

Следующий вид кромки – K-образная, указана на рисунке 34.



Обозначение: β – угол скоса кромок, b – притупление кромок, c – зазор.

Рисунок 34 – K-образная разделка кромки

«Наиболее редко применяемый способ. Скос кромок под эту сварку в соединении делается только для одной детали. Одна из кромок односторонняя, а вторая имеет сразу два скоса» [22].

2.1.5. Усиление сварного шва. Виды усилений

Под усилением подразумевается увеличение длины и/или ширины и сечения валика сварного шва. В зависимости от усиления сварные соединения подразделяются на вогнутые, нормальные и выпуклые. Усиление производится с учетом конструктивных особенностей будущего шва, придавая ему дополнительную прочность или позволять выдерживать перепады нагрузок.

Выпуклыми считаются сварные соединения с положительным усилением. Выпуклость определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости. Швы с выпуклой поверхностью считаются усиленными. Лучше всего применять их, если на изделие производится статическая нагрузка.

При нормальном усилении профиль сварного соединения представляет собой равнобедренный треугольник. Швы с плоской поверхностью являются наиболее универсальными и одинаково хорошо справляются как с статическими, так и с динамическими нагрузками.

Вогнутыми считаются сварные соединения с отрицательным усилением. Вогнутость определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы углового шва с основным металлом и поверхностью шва, измеренным в месте наибольшей вогнутости.

Что касается вогнутых швов, то они являются ослабленными, однако очень хорошо могут выдерживать динамические нагрузки, т.к. обеспечивают плавный переход шва в основной металл детали, тем самым снижая концентрацию напряжений. Отличие усилений наглядно показано на рисунке 35.

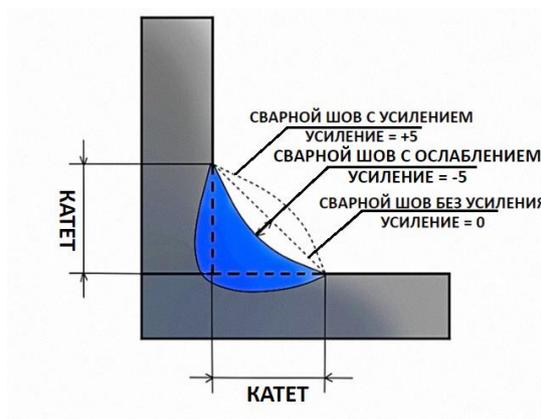


Рисунок 35 – Усиления сварного шва

Усиление стыковой сварки осложнено тем, что чаще всего его усиление может привести к порче места соединения. Наплавка создаст излишнюю концентрацию в месте плавления, из-за чего наплав может не только испортиться, но также вовсе разрушиться, т.к. высота данных сварных швов определяется исключительно по стыкуемым элементам с учетом строения валика самого соединения.

2.1.6. Структура металла

Все металлы в твердом фазовом состоянии имеют кристаллическое строение. Это пространственное образование из многократно повторяющихся первичных структур называют кристаллической решеткой.

Свойства металлов таковы, что при повышении температуры или давления параметры решеток могут изменяться. Некоторые металлы в твердом состоянии при различных температурах изменяют строение своих кристаллических решеток, что всегда приводит к изменению физико-химических свойств металлов.

В процессе сварки металл всегда претерпевает структурные изменения, называемые кристаллизацией. Всего существует два вида кристаллизации: Первичная – процесс перехода из жидкого состояния в твердое, и вторичная (перекристаллизация) – полиморфное преобразование, при котором структура меняется, позволяя металлу при этом оставаться в твердом виде, т.е. минуя жидкое состояние.

Температуры перехода от одной структуры к другой называются критическими точками. При всех переходах происходит скачкообразное изменение свойств материала.

Разберем эту тему подробнее на примере железа (Fe), взяв в основу график на рисунке 36.

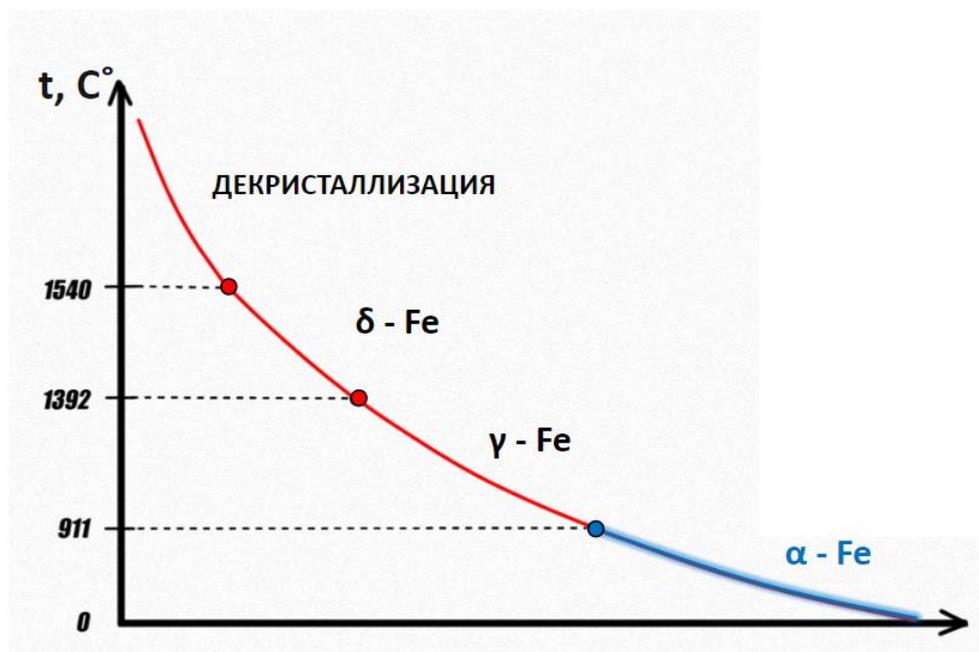


Рисунок 36 – График зависимости структуры железа от температуры

α -Fe – существует от 0°C до 911°C. При достижении 768°C (точки Кюри) происходит исчезновение ферромагнитных свойств и относительно небольшое увеличение расстояния между атомами.

γ -Fe – образуется с 911°C и существует вплоть до 1392°C, при этом расстояние между атомами заметно увеличивается, а сам металл при этом остается парамагнитным.

δ -Fe – сохраняется в диапазоне 1392-1540°C. Расстояние между атомами вновь сокращается почти до уровня α -Fe. Все еще парамагнитно.

При достижении отметки в 1540°C начинается стадия декристаллизации, характеризующаяся переходом твердого металла к жидкому состоянию. При этом его кристаллическая структура разрушается.

Процесс сварки включает оба вида кристаллизации: первичную в зоне сплавления сварного шва и подготовленных кромок, а также вторичную, обусловленную отводом тепла в зону основного металла.

При затвердевании металла сварочной ванны возникают быстрорастущие кристаллы вследствие интенсивного отвода тепла в основной металл. Между ними появляются более мелкие и медленнее растущие кристаллы, поскольку от них тепло отводится не так быстро. Затем зерна смыкаются и из них продолжают расти только те, которые расположены перпендикулярно поверхности раздела между твердым и жидким металлом.

2.1.7. Зона термического влияния

Зона термического влияния – объем металла или другого материала, который при сварке не доводится до плавления, однако его микроструктура и свойства меняются под воздействием выделяемого тепла.

Под влиянием теплового и деформационного воздействия сварочного процесса может наблюдаться ухудшение свойств металла зоны термического влияния по сравнению со свойствами основного металла. Разрушение сварных соединений происходит в основном по зоне термического влияния, локализованной у сопряжения шва с основным металлом.

Распределение максимальной температуры в сварном соединении, при дуговой сварке низкоуглеродистой стали, схематичная структура разных зон соединения, указанная на рисунке 37, изменение температуры в этих зонах и свойства металла.

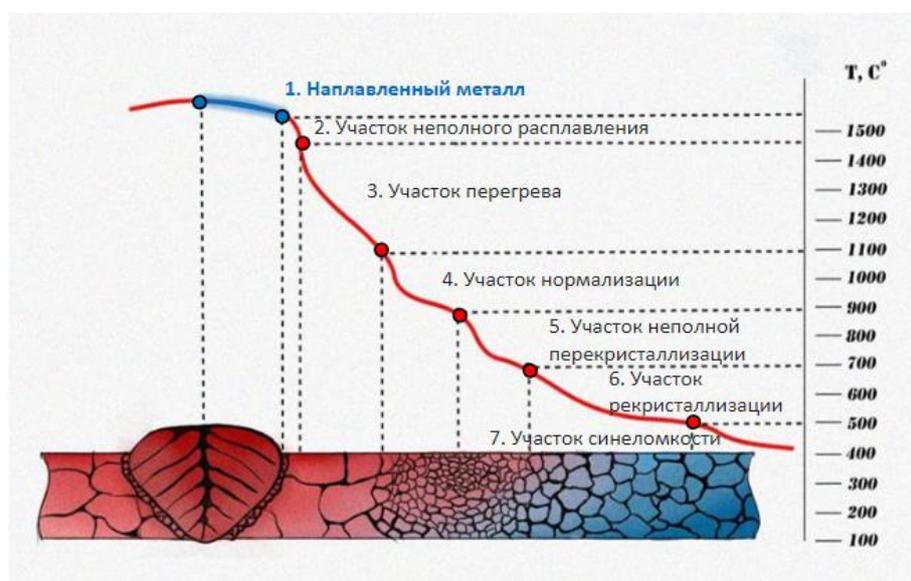


Рисунок 37 – Структура разных зон соединения в зависимости от температуры

График имеет следующие участки 7 участков.

Первый участок - наплавленный металл. Металл, который находился в жидком состоянии и затвердел, образуя сварной шов. Грубая структура металла шва нежелательна, так как это снижает его прочность и пластичность. Ширина участка 1 составляет приблизительно половину ширины шва.

Второй участок частичного плавления. На этом участке происходит образование соединения и проходит граница сплавления. Этот участок представляет собой очень узкую область основного металла (0,1-0,4 мм), где происходит образование соединения и граница плавления. Он является самым слабым участком сварного соединения с сниженной прочностью и пластичностью. На данном участке большая вероятность образования трещин, ножевой коррозии, усталостных разрушений при вибрационной нагрузке.

Третий участок перегрева. Область основного металла, нагретого до температур 1470-1100°C, что приводит к понижению его механических свойств. Чем шире зона перегрева, тем ниже эти свойства. Ширина участка 3 составляет 3-4 мм.

Четвертый участок нормализации. Область металла, подогретого до температур 880-1100°C, с высокими механическими свойствами. Ширина участка 4 составляет 0,2-0,4 мм.

Пятый участок частичной перекристаллизации. Зона металла, нагретого до температур 720-880°C, с более низкими механическими свойствами по сравнению с предыдущим участком. Ширина участка 5 составляет 0,1-3 мм. Переменная структура металла на этом участке значительно меньше влияют на качество сварного соединения, чем в первых трех участках.

Шестой участок рекристаллизации. Область металла, нагретого до температур 510-720°C, где происходят процессы разупрочнения при наличии холодной деформации. Ширина участка составляет 0,1-1,5 мм.

Седьмой участок синеломкости. Этот участок является переходной зоной от зоны термического воздействия к основному металлу. Здесь возможны процессы старения, что приводит к снижению механических свойств. Ширина участка 7 незначительно влияет на работоспособность конструкции, так как он расположен вне зоны концентрации напряжений.

Ширина зоны термического влияния зависит от вида, способа и режимов сварки. Чем меньше тепловое воздействие, тем она уже. Чем ниже скорость нагрева и охлаждения, тем она больше.

Зона термического влияния при некоторых видах сварки: Электрошоковая – 25 мм и более; газовая – 15-20 мм; сварка под флюсом средних толщин – 10 мм; ручная дуговая сварка – 3-6 мм; сварка в защитных газах – 1-3 мм; лазерная и электро-лучевая – 0,1-0,9 мм.

2.1.8. Напряжения и деформации

«При сборке заготовок под сварку необходимо учитывать, что при всех способах сварки происходит нагрев и расширение металла околошовной зоны с последующим охлаждением и усадкой. Расширение и усадка могут привести к возникновению повышенных внутренних напряжений и деформированию сварной конструкции» [23]. Искажается форма и размеры изделия, в результате чего оно не может выполнить свои функции.

Если на металлический предмет оказывается механическое воздействие, то в нем возникают напряжения и деформации. Первое характеризуется силой давления, оказываемой на единицу площади. Второе – нарушением габаритов и формы изделия из-за силового воздействия.

Поперечные усадки происходят при симметричной укладке сварных швов, т.е. когда центр тяжести (ЦТ) сварного шва и сварного соединения совпадают. Это характерно для сварных швов, имеющих постоянную ширину по толщине сварного соединения. В результате поперечных усадок происходит сокращение сварного изделия по ширине. Поперечные усадки указаны на рисунке 38.

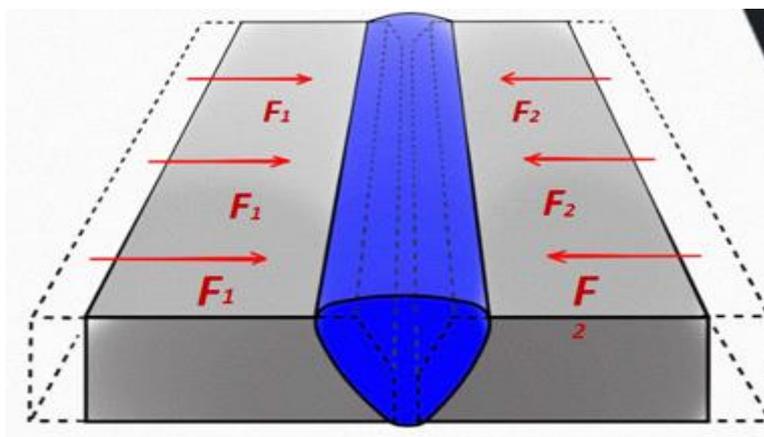


Рисунок 38 – Поперечные усадки сварного шва

Угловые деформации происходят в тех случаях, когда центр тяжести (ЦТ) сварного шва и совпадают. Если шов имеет переменную ширину по высоте стыка, то центр тяжести сварного шва и сварного соединения могут не совпадать. В результате поперечная усадка создает изгибающий момент. Под действием изгибающего момента возникает угловая деформация сварного соединения. Угловые деформации, указанные на рисунке 39, могут достигать 3-7° в зависимости от толщины свариваемого металла.

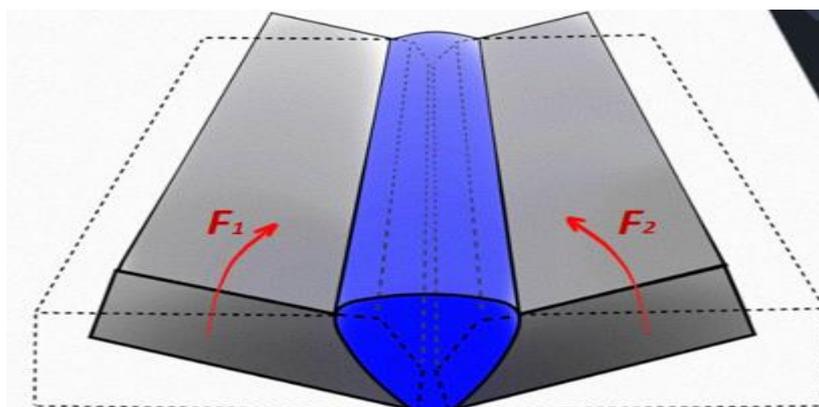


Рисунок 39 – Угловые деформации сварного шва

Продольные усадки, указанные на рисунке 40, так же происходят при симметричной укладке сварных швов, т.е. когда ЦТ сварного шва и сварного соединения совпадают. Это характерно для сварных швов, имеющих постоянную ширину по толщине сварного соединения. В результате продольных усадок происходит сокращение сварного изделия по длине.

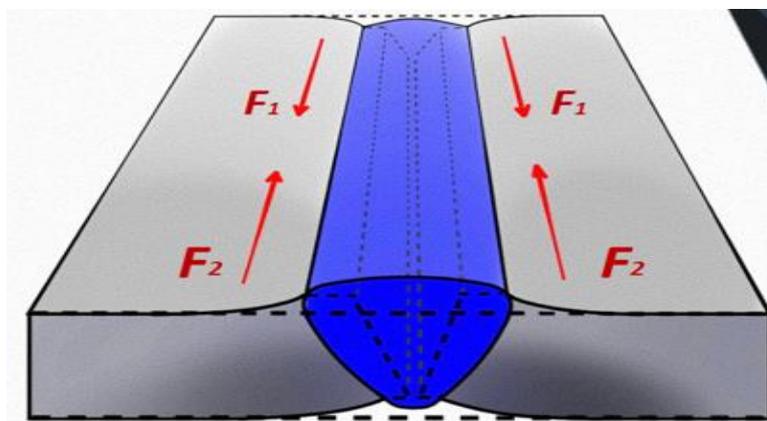


Рисунок 40 – Продольные усадки сварного шва

Продольные деформации, указанные на рисунке 41, происходят в тех случаях, когда ЦТ сварного шва и сварного соединения не совпадают. Продольная усадка создает изгибающий момент, под действием которого

происходит изгиб вдоль всего сварного соединения. Величина этого изгиба может достигать 5 мм и более.

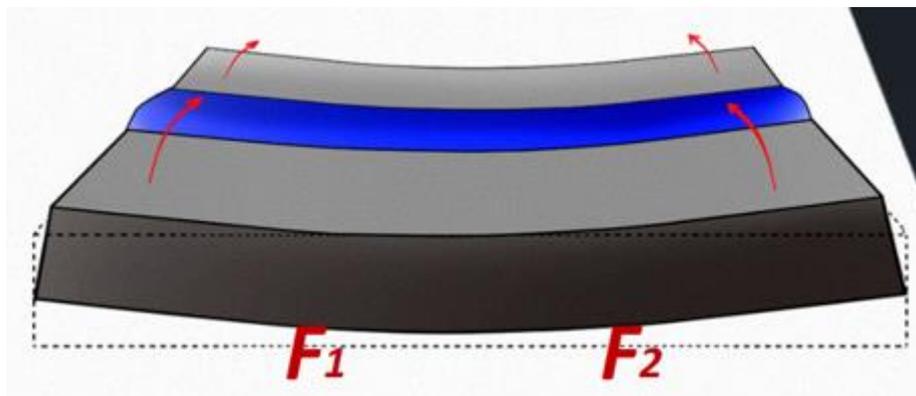


Рисунок 41 – Продольные усадки сварного шва

Деформации изгиба, указанные на рисунке 42 – следствие несимметричного расположения швов относительно центра тяжести сечения, неодновременного выполнения симметрично расположенных швов или неодновременного заполнения разделки кромок валиками сварного шва. Напряжения при такой деформации создают изгибающий момент, при котором создается изгиб во внутреннюю или же наружную сторону сварного соединения.

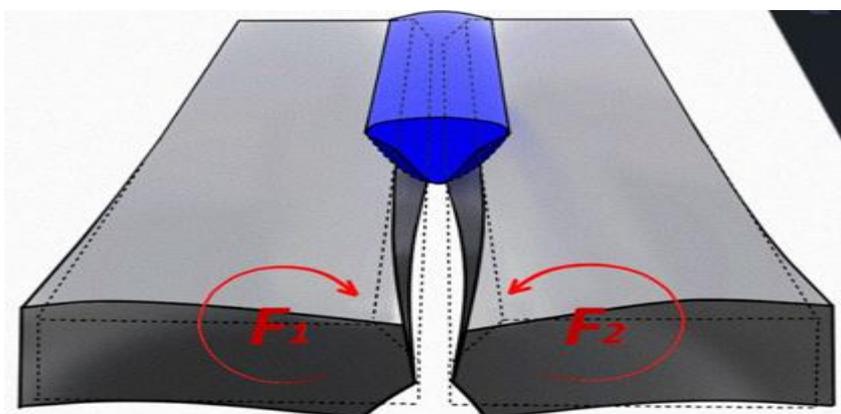


Рисунок 42 – Деформации изгиба сварного шва

Напряжения можно классифицировать по продолжительности - временные и остаточные, по объему – общие и местные.

Временные сварочные деформации возникают в процессе сварки, а после сварки исчезают, в то время как остаточные (конечные) устойчиво сохраняются после окончания процесса сварки.

Общие деформации приводят к изменению размеров всего изделия, искривлению его геометрических осей, а местные – к изменению формы и размеров отдельных участков изделия.

Остаточные напряжения присутствуют почти во всех конструкционных материалах в течение всего эксплуатационного периода, что с одной стороны снижает его срок, а с другой – со временем приводит к деформации и невозможности использовать объект по назначению. Чтобы этого избежать, производится снятие напряжений.

Существует несколько методов снятия напряжений, которые применяются как по отдельности, так и вместе: термообработка; аргонодуговой прием; проковка сварочного шва; механическая правка шва; термическая правка.

Сварка – технологически сложный процесс, включающий множество этапов. Каждый из них играет ключевую роль, и нарушение технологии хотя бы на одном из них ведет к появлению дефектов.

Визуальный контроль сварных соединений проводится в целях выявления поверхностных дефектов, нарушений геометрии сварного шва и наличия недопустимых деформаций.

2.2. Классификация дефектов сварных швов. Допускаемые отклонения

2.2.1. Виды дефектов, причины их возникновения и влияние на конструкцию

«Совершенствование известных или использование новых способов получения сварных соединений только частично решает проблему повышения качества изготавливаемых конструкций, так как даже при хорошо отработанной технологии сварки возможно образование разного рода дефектов, приводящих к снижению надежности и долговечности соединений. В связи с этим важное значение для повышения качества сварных конструкций приобретает неразрушающий контроль» [23].

С помощью данного метода есть возможность оценить допустимость наличия наружных дефектов, учитывая допуски в нормативных документах, которые в свою очередь указываются в рабочей документации.

Рассмотрим основные дефекты сварных швов согласно ГОСТ Р ИСО 5817-2021 [17].

2.2.1.1 Трещина

Трещина – нарушение сплошности, показанное на рисунке 43, вызванное локальным разрывом в результате охлаждения или действия нагрузок



Рисунок 43 – Трещина сварного шва

Процесс возникновения: трещины подразделяют на горячие и холодные. Горячие возникают в процессе сварки при высокой температуре – 1000 С°. Холодные образуются при температурах намного ниже – 200-300 С° и проявляются в результате остывания металла.

Причины появления: превышенное содержание углерода в свариваемой стали; быстрая скорость охлаждения шва при сварке сталей с высоким содержанием углерода; неправильная форма сварочного шва; повышенная жесткость свариваемой конструкции; высокие сварочные напряжения.

Трещины, оксидные пленки и несплавления являются недопустимыми дефектами, требующие устранения.

2.2.1.2 Кратерная трещина

Кратерная трещина – трещина в кратере в конце сварного шва. Может быть: продольной, поперечной, радиальной (звездообразной).

Процесс возникновения: Кратерная трещина, показанная на рисунке 44, возникает под действием сварочных напряжений.



Рисунок 44 – Кратерная трещина

Когда металл сварочной ванны находится в твердо-жидком состоянии, возникают разрывы по линии эвтетик, расположенных между кристаллами.

Причинами возникновения являются высокие сварочные напряжения в кратере.

2.2.1.3 Поверхностная пора

Поверхностная пора – газовая пора, указанная на рисунке 45, выходящая на поверхность сварного шва. Большинство пор образуются от пузырьков водорода, азота, окиси углерода или водяного пара, которые не успевают выйти из сварочной ванны до ее затвердевания.



Рисунок 45 – Поверхностная пора

Причины возникновения: использование влажных электродов в процессе сварки; использование загрязненной сварочной проволоки; плохая очистка поверхности свариваемых деталей; повышенная вязкость шлака, которая препятствует нормальному выделению газов из жидкой ванны.

Поры и шлаковые включения мало влияют на статическую прочность сварного соединения, если их суммарная площадь составляет 5-10% площади сечения шва. «Для швов с значительной выпуклостью, доля суммарной площади дефектов от площади шва в поперечном сечении составляет 10-15% и может быть до 10-25% в зависимости от местоположения» [23] этих дефектов для некоторых конструкций.

2.2.1.4 Незаваренный кратер

Незаваренный кратер – открытая усадочная раковина с полостью, которая уменьшает площадь поперечного сечения сварного шва. Пример незаваренного кратера указан на рисунке 46.

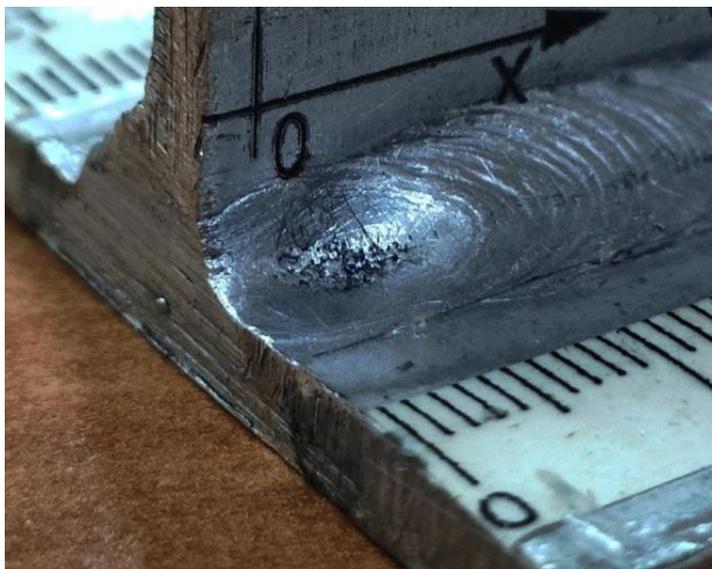


Рисунок 46 – Незаваренный кратер

Под воздействием давления сварочной дуги, жидкий металл сварной ванны приобретает вогнутую форму. Если резко оборвать дугу, впадина не успевает приобрести нормальную форму до кристаллизации, что в свою очередь образует незаваренный кратер.

Кратеры и прожоги во всех случаях являются недопустимыми дефектами, которые требуют устранения.

2.2.1.5 Несплавление

Несплавление – отсутствие соединения между основным и наплавленным металлом или между отдельными слоями (валиками). Пример несплавления указан на рисунке 47.

Сварка на больших токах или с большой скоростью иногда приводит к отсутствию зоны сплавления между швом и основным металлом. Данный

дефект очень похож на подрезы и причины отсутствия сплавления такие же, как при возникновении подрезов.



Рисунок 47 – Несплавление сварного шва

Причины появления: неправильная форма или угол разделки кромок под сварку; плохая зачистка поверхности свариваемых кромок; плохая подготовка поверхности предыдущих слоев при многопроходной сварке; химическая неоднородность металла; слишком низкая сила тока; слишком высокая скорость ведения сварки.

2.2.1.6 Непровар в корне сварного шва

Неполное проплавление поверхностей в корне шва называется его непроваром. Пример непровара указан на рисунке 48.



Рисунок 48 – Непровар в корне сварного шва

Непровар чаще всего появляется из-за неправильного выбора режимов сварки. Прежде всего к появлению дефекта приводит слишком маленькая сила тока, в результате чего глубина проплавления оказывается слабой. Также к причинам возникновения относятся высокая скорость сварки и плохая очистка свариваемых кромок.

2.2.1.7 Подрез

Подрезы бывают прерывными и непрерывными

Непрерывный подрез – подрез значительной длины без прерываний.

Прерывный подрез – подрез малой длины, периодически повторяющийся вдоль сварного шва.

Подрез возникает, когда сварочная ванна сливается с еще не расплавившимся участком детали и вызывает появления канавки. Он появляется вдоль сварочного валика в виде желоба, пример указан на рисунке 49.

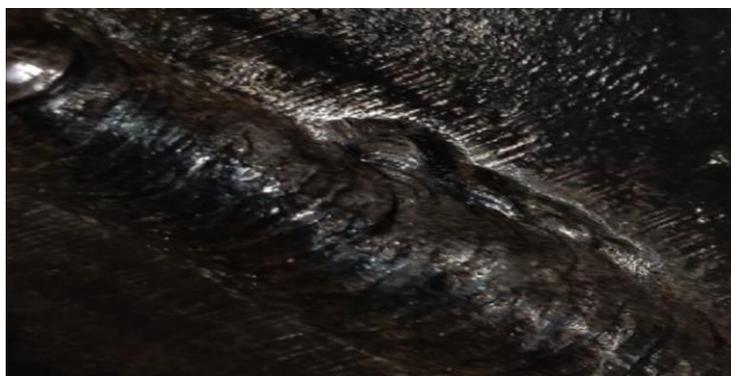


Рисунок 49 – Подрез

Причины возникновения подреза: нарушение режимов сварки (сварка на повышенном напряжении дуги, слишком высокая скорость сварки, слишком высокая сила тока); неточное ведение электрода вдоль оси шва; низкая смачиваемость металла сварочного шва; плохая зачистка поверхности свариваемых кромок.

«Опасными наружными дефектами являются подрезы. Их наличие не допускается в конструкциях, работающих при циклических нагрузках, но подрезы небольшой глубины, не превышающей 5% толщины основного металла, считаются приемлемыми в конструкциях, эксплуатирующихся в условиях статического нагружения» [23].

2.2.1.8 Усадка в корне шва

Усадка в корне шва – подрезы, которые расположены с обеих сторон корневого валика.

Жидкий металл под давлением дуги вытесняется в центральную часть нижней области сварочной ванны. Металл кристаллизуется, не успев заполнить впадину до линии сплавления. Пример данного дефекта указан на рисунке 50.



Рисунок 50 – Усадка в корне шва

Причины появления: неправильно подобраны параметры режимов сварки; нарушение геометрических размеров сварочного шва.

2.2.1.9 Превышение выпуклости

Избыток наплавленного металла на лицевой стороне сварочного шва, превышающий допустимое значение, называется превышением выпуклости.

Превышение имеет место как на стыковых, так и на угловых швах. Пример дефекта указан на рисунке 51.

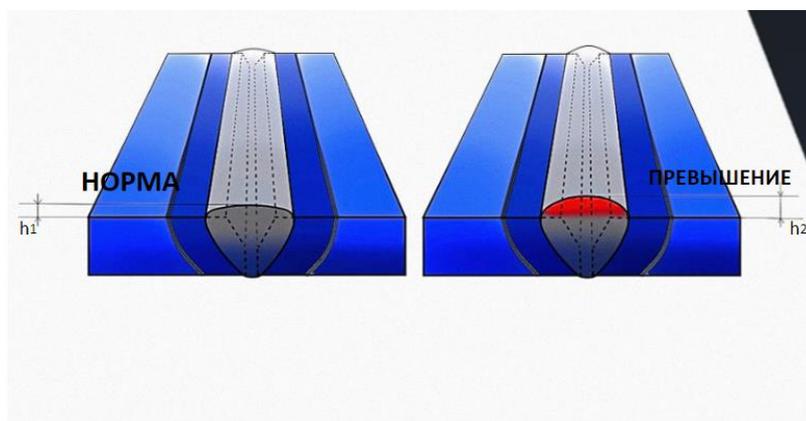


Рисунок 51 – Превышение выпуклости сварного шва

Причинами появления являются: низкая скорость сварки; сварка углом назад конструкции с малой толщиной стенки; неправильный выбор параметров режима сварки; узкая разделка кромок при однопроходной сварке.

2.2.1.10 Неправильный профиль сварного шва

К данному дефекту относится профиль с малым углом между поверхностью основного металла и плоскостью касательной к поверхности выпуклости сварного шва. Пример такого шва указан на рисунке 52.

Процесс возникновения: при формировании шва под действием давления дуги жидкий металл центральной части сварочной ванны вспучивается и после кристаллизации образует выпуклость.

Такой дефект может образоваться из-за малой скорости сварки, сварки «углом назад» металла малой толщины, плохой текучести в жидком состоянии металла в сварочной ванне, высокого поверхностного натяжения расплавленного металла или межфазного натяжения на границе со шлаком.

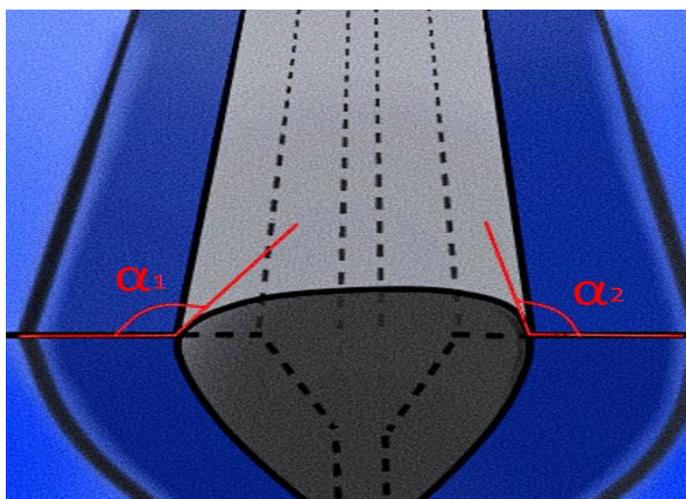


Рисунок 52 – Неправильный профиль сварного шва

Установлено, что такие дефекты, как превышение выпуклости и неправильный профиль сварного шва, не снижают статическую прочность сварного шва, но «снижают предел выносливости сварного соединения» [23]. Следовательно, данные дефекты могут лишить «всех преимуществ, обусловленных оптимизацией технологического процесса с целью повышения качества» [23] металла шва, которые подвергаются повторно-статическим, вибрационным и динамическим нагрузкам.

2.2.1.11 Превышение проплава

Превышение проплава – избыточное количество наплавленного металла при сварке корня шва. Оно возникает под действием собственного веса, расплавленный металл сварочной ванны провисает, формируя избыточную выпуклость в корне сварного шва. Пример дефекта указан на рисунке 53.



Рисунок 53 – Превышение проплава

Причины появления: повышенная текучесть расплавленного металла сварочной ванны; повышенное поверхностное натяжение металла сварочной ванны; неправильный выбор параметров режима сварки; увеличенный зазор в стыке; разная толщина металла по длине шва.

2.2.1.12 Натек

Избыток наплавленного металла, натекшего на поверхность основного металла без сплавления с ним. Пример натека указан на рисунке 54.



Рисунок 54 – Натек

При формировании шва избыток металла сварочной ванны натекает на холодные кромки основного металла, не образуя с ним соединения. Происходит это из-за нарушения техники сварки, нарушения параметров режима сварки, неправильный выбор сварочных материалов, высокий сварочный ток, излишняя длина дуги.

2.2.1.13 Протек

Данный дефект, указанный на рисунке 54, является протеканием наплавленного металла, обусловленный действием силы тяжести.



Рисунок 54 – Протек

Во время образования жидкой сварочной ванны расплавленный металл под действием силы тяжести натекает на основной металл. Причинами являются: неблагоприятное пространственное положение при выполнении сварки; высокая жидкотекучесть металла сварочной ванны; применение сварочных материалов с низкой вязкостью шлака; нарушение режима сварки.

Такие дефекты, как натеки, протекания, превышение проплава, «образуют концентраторы напряжений и тем самым снижают предел выносливости конструкций. Наплывы, имеющие большую протяженность, считаются недопустимыми дефектами, так как они не только вызывают концентрацию напряжений, но и нередко сопровождаются непроварами» [23]. Наплывы небольшого размера можно считать, как приемлемые дефекты.

2.2.1.14 Незаполненная разделка кромок

Сплошным или прерывистым углублением на поверхности шва из-за недостатка наплавленного металла называется дефект «незаполненная разделка кромок», указанный на рисунке 55.



Рисунок 55 – Незаполненная разделка кромок

Процесс возникновения: при недостатке жидкого металла сварочной ванны шов формируется с углублением в центре или по краям. Причинами могут быть: неправильно выбранные марка и размеры присадочного материала; неправильная разделка кромок; неправильное пространственное положение, вызывающее стекание металла на одну сторону.

2.2.1.15 Прожог

Вытекание сварочной ванны с образованием сквозного отверстия в сварном шве называется прожогом. Пример прожога указан на рисунке 56.



Рисунок 56 – Прожог

В сварочной ванне образуется чрезмерный объем жидкого металла. Он не удерживается силами поверхностного натяжения и самопроизвольно вытекает из шва. Причиной такого дефекта могут быть: химическая неоднородность свариваемого металла и завышенная сила тока при недостаточной скорости сварки.

2.2.1.16 Асимметрия углового шва

В процессе сварки не удается сформировать симметричное, равнобедренное сечение углового шва, за счет чего формируется существенное неравенство катетов, указанное на рисунке 57.

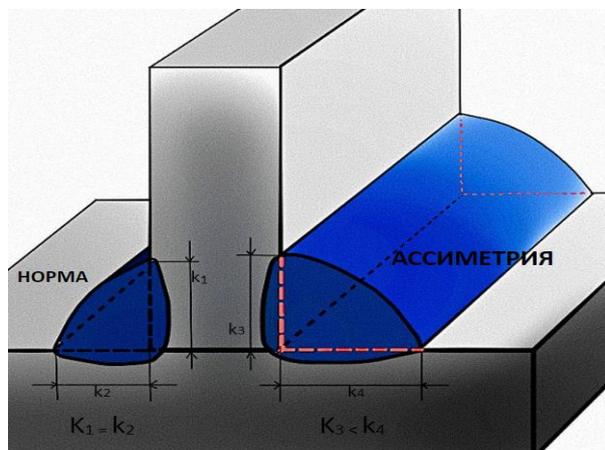


Рисунок 57 – Асимметрия углового шва

Причинами асимметрии могут быть: неудобное пространственное положение для формирования шва; высокая жидкотекучесть металла сварочной ванны; различная теплопроводность металла свариваемых деталей.

2.2.1.17 Плохое повторное возбуждение дуги

Местная неровность поверхности в месте возобновления сварки называется плохим повторным возобновлением дуги. Пример такого дефекта указан на рисунке 58.



Рисунок 58 – Плохое повторное возбуждение дуги

При выполнении длиномерных швов при переходе от предыдущего участка к последующему образуется наплыв металла или канавка. Причинами данного дефекта могут быть: нарушение техники сварки; низкое качество покрытых электродов; нарушение режима прокалики покрытых электродов; низкая жидкотекучесть металла сварочной ванны.

2.2.1.18 Занижение и превышение углового шва

Такие дефекты относящиеся к отклонениям формы, возникают из-за изменений параметров сварочной дуги в результате изменения ее длины или напряжения питающей сети, а также воздействием других факторов. Примеры таких дефектов указаны на картинках 59,60.

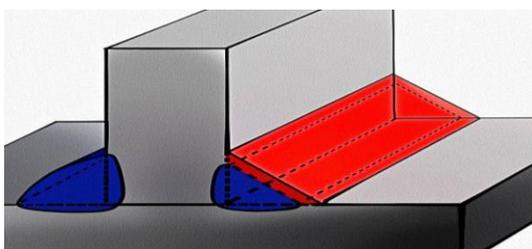


Рисунок 59 – Занижение углового шва



Рисунок 60 – Превышение углового шва

К причинам занижения и превышения углового шва относят: низкое качество электродов; колебания напряжения питающей сети; сварка от источника дуги с пологопадающей ВАХ; сварка длинной дугой; химическая неоднородность основного металла.

2.2.1.19 Ожог дугой

Ожог дугой – местное повреждение поверхности основного металла рядом со сварным швом из-за горения дуги вне разделки кромок. Пример ожога дугой указан на рисунке 61.



Рисунок 61 – Ожог дугой

Зажигание дуги на основном металле с последующим переводом ее в разделку. От точки зажигания до разделки образуется ожог металла.

Причины появления: высокая плотность светофильтра относительно сварочного тока; отсутствие заходной планки для зажигания дуги.

2.2.1.20 Брызги металла

Брызги металла – капли наплавленного или присадочного металла, образовавшиеся во время сварки и приварившиеся к поверхности основного металла или металла шва. Брызги металла показаны на рисунке 62.



Рисунок 62 – Брызги металла

При сварке в момент короткого замыкания дугового промежутка под действием электродинамического удара сварочного тока часть электродного металла разлетается и оседает на поверхности основного металла, прилегающего к шву.

Причины появления: некачественная подготовка покрытого электрода; завышенный сварочный ток; отсутствие защитных покрытий, обеспечивающих легкое удаление брызг после сварки.

2.2.1.21 Цвета побежалости

Видимая оксидная пленка – слегка окисленная поверхность в зоне сварки, например, при сварке нержавеющей стали.

В результате теплого воздействия на металл образуются цвета побежалости, которые окрашивают поверхность в разные цвета.

Причина возникновения дефекта – нарушение температурного режима при сварке.

2.2.2. Ограничения по дефектам

Для оценки качества сварного элемента, необходимо знать допуски по количеству и размеру того или иного дефекта.

Разные конструкции изготавливают для разных назначений, но с одинаковыми требованиями. Тем не менее, одни и те же требования должны применяться к идентичным элементам, изготовленным на разных производствах, чтобы гарантировать, что работа выполняется с использованием одних и тех же критериев. Требования, указанные в приложении А в таблице А1, устанавливаются к трем уровням качества для сварных швов.

2.3 Контроль сварных швов на наличие недопустимых дефектов

2.3.1 Порядок выполнения визуального и измерительного контроля сварных соединений

Визуальный контроль материала, кромок свариваемых элементов и сварных швов проводится с целью выявления коррозии на поверхности и поверхностных дефектов, вызванных технологией изготовления (условиями хранения) или транспортировкой, подтверждения наличия и правильности клеймения, а также соответствия формы (типа) разделки кромок, подлежащих сварке, требованиям рабочих чертежей и ТУ на изготовление.

Измерительный контроль проводится с целью измерения размеров сварных швов и поверхностных дефектов, выявленных при визуальном контроле, а также подтверждения соответствия основных размеров изделий (деталей, сборочных единиц) требованиям стандартов, ТУ и паспортов изделий. Измерительный контроль сварных швов выполняют через один метр по длине каждого контролируемого шва, но не менее чем в трех сечениях сварного шва.

В сварных соединениях поступающих на строительный участок металлоконструкциях визуально следует контролировать:

- Отсутствие (наличие) поверхностных трещин всех видов и направлений;
- Отсутствие (наличие) на поверхности сварных соединений дефектов (пор, включений, скоплений пор и включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости, а также мест касания сварочной дугой поверхности основного материала);
- Качество зачистки металла в местах приварки временных технологических креплений, гребенок индуктора и бобышек крепления термоэлектрических преобразователей (термопар), а также отсутствие поверхностных дефектов в местах зачистки;
- Качество зачистки поверхности сварного соединения изделия (сварного шва и прилегающих участков основного металла) под последующий контроль неразрушающими методами (в случае если такой контроль предусмотрен ПТД);
- Качество замыкания кольцевых швов;
- Наличие маркировки (клеймения) шва и правильность ее выполнения.

В выполненном сварном соединении измерениями необходимо контролировать:

- Размеры поверхностных дефектов (поры, включения и др.), выявленных при визуальном контроле;
- Высоту и ширину шва, а также вогнутость и выпуклость обратной стороны шва в случае доступности обратной стороны шва для контроля;
- Высоту (глубину) углублений между валиками (западания межваликовые) и чешуйчатости поверхности шва;
- Подрезы (глубину и длину) основного металла;
- Отсутствие непроваров (за исключением конструктивных непроваров) с наружной и внутренней стороны шва;
- Размеры катета углового шва;
- Отсутствие переломов осей сваренных цилиндрических элементов.

На основании данных, полученных при входном контроле металлоконструкций, при наличии недопустимых отклонений составляется обобщенный акт по качеству заводского изготовления конкретных марок элементов. акт составляют в 3-х экземплярах для передачи заводу – изготовителю, проектной организации и Мостовой инспекции; рабочий экземпляр акта хранят в составе исполнительной документации. Решение о возможности ремонта, способу (технологии) исправления дефекта и др. принимается комиссионно в установленном порядке.

В случае ремонта металлоконструкции (заводской отправочной марки) на строительной площадке, составляется акт о выполнении ремонта с последующим комиссионным освидетельствованием и её приемкой, включающий заключение о допуске на монтаж.

2.3.2 Результаты визуального и измерительного контроля сварных швов пролетного строения

После изучения элементов сварных соединений, типов дефектов и «порядка выполнения визуального и измерительного контроля сварных соединений» [25], был проведен осмотр 28 блоков пролетного строения 22-23 и выявлены следующие дефекты:

- Плохое возобновление дуговой сварки присутствует на 5 блоках;
- Сварные брызги – на 23 блоках;
- Подрез сварного шва – на 17 блоках;
- Пора в основном металле – на 7 блоках;
- Пора в сварном шве – на 17 блоках;
- Несплавление сварного шва – на 20 блоках;
- Скопление пор в сварном шве – на 10 блоках;
- Превышение усиления сварного шва – на 1 блоке;
- Недостаточный катет сварного шва – на 3 блоке;
- Задир – на 4 блоках;
- Неполное заполнение разделки кромки сварного шва – на 2 блоке;
- Незакольцованность сварного шва – на 1 блоке;
- Незаваренный кратер – на 1 блоке;
- Межваликовая впадина в сварном шве – на 7 блоках;
- Трещина вдоль сварного шва – на 1 блоке;
- Наплыв (натек) – на 1 блоке.

Из перечня видно, что самый часто встречающийся дефект – сварные брызги. Такая частота обусловлена тем, что сварщики забывают производить зачистку сварных швов после его выполнения.

«Наличие тех или иных дефектов в сварных соединениях само по себе еще не определяет потерю работоспособности этих соединений. Опасность дефектов, наряду с влиянием собственных характеристик (вид, тип и форма дефекта, его ориентация и месторасположение, размер дефекта и др.), зависит от большого количества конструктивно-эксплуатационных факторов» [24]. К ним относятся:

- концентрация напряжений,
- свойства материала,
- наличие контакта с агрессивной средой,
- конструкция соединения (стыковое, угловое и т.д.),
- температурные воздействия;

- вид нагрузки (статическая, динамическая, знакопеременная, ударная).

Приведем «некоторые типовые примеры оценки влияния дефектности. При оценке дефектности сварного соединения оперируют понятиями» [24]:

- 1) Относительная величина дефекта, вычисляется по формуле (1):

$$\Delta\delta = \frac{\Delta i}{\delta} \cdot 100\%, \quad (1)$$

«где Δi – абсолютный размер дефекта в i -м сечении» [24];

δ – толщина сечения в зоне шва.

- 2) «Относительная суммарная площадь дефектов» [24], вычисляется по формуле (2):

$$\Delta g = \frac{\sum S_i}{S_p} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где S_i – «площадь дефекта в расчетном сечении» [24];

$\sum S_i$ – суммарная площадь всех дефектов в расчетном сечении;

S_p – «площадь поперечного сечения шва в расчетном сечении» [24].

- 3) Эквивалентная дефектность, вычисляется по формуле (3):

$$g = \Delta g \cdot \rho, \quad (3)$$

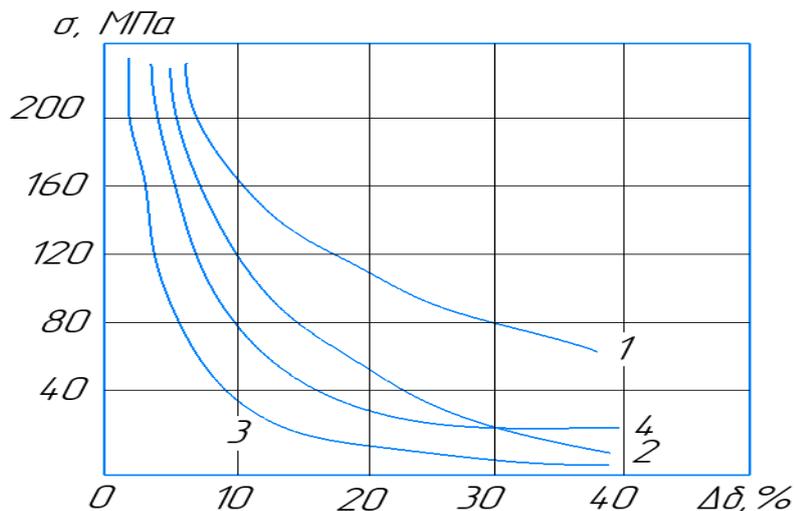
«где ρ – коэффициент приведения площади дефектов любого вида к площади условного дефекта.

Например, для сварных соединений толщиной более 20 мм за условный дефект принята пора диаметром 1 мм, для которой коэффициент приведения $\rho = 1$. В сравнении с порой для шлаковых включений округлой формы $\rho_{ш} = 1,0-1,5$, вытянутой - $\rho_{ш} = 1,0-2,3$; для непроваров в двустороннем шве $\rho_{н} = 1,8-2,7$,

в одностороннем - $P_{НОЛ} = 3,0 - 5,0$; для несплавлений $p_{мс} = 5,0-8,0$, а для трещин - $p_t > 100$ » [24].

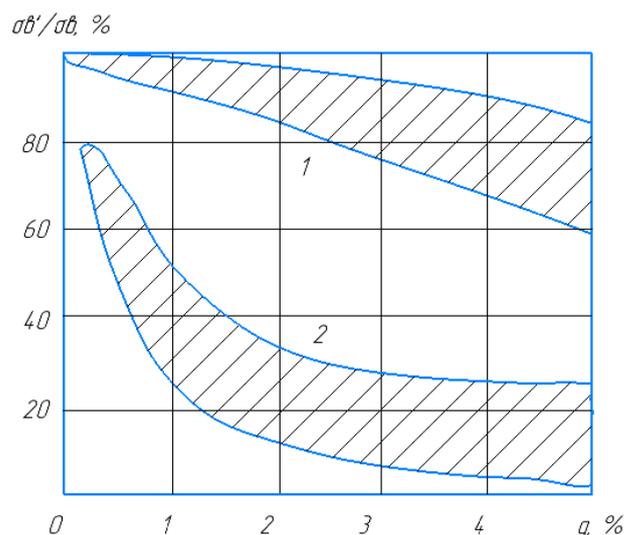
«Результаты многочисленных исследований, как отечественных, так и зарубежных, показывают, что при статической нагрузке и пластичном материале влияние относительной величины дефекта на потерю прочности примерно пропорционально относительной величине этого дефекта или его площади, что указано на рисунке 63. Для малопластичных материалов линейная пропорциональность между потерей работоспособности и величиной дефекта нарушается: даже сравнительно небольшие дефекты могут существенно влиять на прочность» [24], график указан на рисунке 64.

«Дефекты типа включений (поры, шлаковые и металлические включения) при относительной суммарной площади в сечении шва до 5—10 % практически мало влияют на статическую прочность сварных соединений» [24].



1 — поры; 2 — подрезы; 3 — непровар в корне шва; 4 — шлаковые включения вытянутой формы; число циклов $N = 3,2-10^6$; $\gamma = 0$ (симметричный цикл)

Рисунок 63 - Влияние относительной величины дефектов на усталостную прочность стыковых сварных соединений из низкоуглеродистой стали.



$\sigma_{в}'\%$ — предел прочности металла шва с дефектом; $\sigma_{в}$ — предел прочности металла шва без дефекта; 1 — статическая нагрузка; 2 — динамическая

Рисунок 63 - Зависимость относительной прочности сварных стыковых соединений низкоуглеродистой стали от суммарной площади дефектов и вида нагрузки

«По отдельным видам соединений безопасная величина ослабления стыкового шва дефектами при статической нагрузке может достигать 10—20 и даже 30 %. Однако последнее относится только к пластичным материалам и сравнительно малонагруженным соединениям, работающим при статических нагрузках. При воздействии знакопеременных, а тем более динамических и вибрационных нагрузок, допустимая величина относительной суммарной площади дефектов снижается и не превышает» [24] 1,0—2,0 %.

Определим влияние дефектов сварных швов на прочность стыковых соединений определенной конструкции, она имеет: подрез 1 шт.; несплавление сварного шва 1 шт.; одиночная пора в сварном шве 1 шт.; сварные брызги 1 шт. Размеры дефектов ~ 2 мм. Конструкция сделана из низкоуглеродистой стали 10ХСНД по ГОСТ Р55374-2012 [16].

Тип сварных швов ТЗ-ИП-Δ8 по ГОСТ 14771-76 [1], где ТЗ – двусторонний угловой шов без скоса кромок, ИП – способ сварки: «в инертных

газах и их смесях с углекислым газом и кислородом плавящимся электродом» [1], $\Delta 8$ – катет 8 мм.

Так как мостовые сооружения принимают динамические нагрузки от автотранспорта, оценивать влияние необходимо по графику на рисунке 63 в зоне с динамическими нагрузками.

По формуле (2) вычисляем относительную суммарную площадь дефектов:

Для поры:

$$\Delta g = \frac{\sum S_i}{S_p} \cdot 100\% = \frac{2^2 \cdot 3,14}{32} \cdot 100\% = 9,8\%.$$

Для несплавления и подреза:

$$\Delta g = \frac{\sum S_i}{S_p} \cdot 100\% = \frac{3}{32} \cdot 100\% = 9,3\%.$$

Для сварных брызг:

$$\Delta g = \frac{\sum S_i}{S_p} \cdot 100\% = \frac{2}{32} \cdot 100\% = 6,25\%.$$

$$S_p = \frac{8 \cdot 8}{2} = 32 \text{ мм}^2.$$

Когда известна суммарная площадь определенных дефектов необходимо по формуле (3) вычисляем дефектность:

Для поры:

$$g = \Delta g \cdot \rho = 9,8 \cdot 1 = 9,8\%.$$

Для несплавления:

$$g = \Delta g \cdot \rho = 9,3 \cdot 5 = 46,5\%.$$

Для подреза:

$$g = \Delta g \cdot \rho = 9,3 \cdot 3 = 27,9\%.$$

Для сварных брызг:

$$g = \Delta g \cdot \rho = 6,25 \cdot 1 = 6,25\%.$$

После обследования и расчетов дефектности на разные сварные швы в конструкции, можно оценить их влияние на несущую способность по графику на рисунке 63: процент дефектности превышает допустимое значение, что сказывается на занижении предела прочности металла сварного шва до 80%. Дальнейшая эксплуатация конструкции при неблагоприятном сочетании нагрузок может привести к летальному исходу. Единственным выходом является устранение дефектов.

Расчет по остальным 27 конструкциям не имеет смысла, т.к. они имеют идентичные дефекты, которые также снижают предел прочности до недопустимого значения. Все мостовые конструкции, имеющие подобные дефекты в сварных швах, требуют их устранения.

Выводы ко второй главе

Во второй главе были рассмотрены элементы сварного соединения их виды, определены параметры, влияющие на надежность сварных соединений, к ним относятся: элементы, влияющие в зависимости от температуры на структуру металла, какие деформации могут быть в сварных соединениях и причины их возникновения.

Также изучены дефекты сварных швов и их допуски для получения опыта в их идентификации в дальнейшем исследовании.

Определено влияние дефектов на несущую способность сварного соединения: при динамических нагрузках дефект в виде поры и несплавления может снижать несущую способность до 80%, что в свою очередь ведет к негативным последствиям. Все мостовые конструкции, имеющие дефекты в сварных швах, требуют их устранения.

По результатам второй главы, можно сделать вывод, что наличие дефектов в сварных швах оказывают колоссальное воздействие на надежность металлических конструкций мостовых сооружений.

3. Адгезия лакокрасочного покрытия

3.1 Сущность и методы

Одним из основных свойств лакокрасочного покрытия является адгезия. Под адгезией понимают явление, которое заключается в связи между покрытием и основным металлом. Адгезия определяется силой химического взаимодействия молекул на поверхности двух элементов. Адгезию судят по результатам измерений адгезионной прочности – работа, которую необходимо затратить на разрушении адгезионных связей.

Адгезионная прочность зависит от энергии, характера межфазных связей, их количества, полноты контакта и других явлений. Уменьшение адгезионной прочности может быть связана с возникновением физических и химических процессов в покрытии, образованием новой фазы на границе.

Также на адгезионную прочность влияют следующие факторы: химические и физические характеристики лакокрасочного материала, основного металла и их структура (благодаря пористости металла увеличивается площадь адгезии); методы подготовки поверхности перед окрашиванием и её чистота перед нанесением покрытия; температурный режим; толщина покрытия (чем толще покрытие, тем ниже адгезионная прочность).

Методы измерения адгезии лакокрасочных материалов основаны на определении приложенного внешнего усилия, под действием которого в адгезионном соединении возникают напряжения, приводящие к его разрушению. Выделяют количественные (методы отслаивания и отрыва) и качественные (методы параллельных и решетчатых надрезов) методы определения адгезии.

В диссертации применяется количественный метод – метод отрыва металлического цилиндра

3.2 Аппаратура и материалы

Для проведения проверки необходим аппарат для испытания на отрыв. На прочность при отрыве испытательного цилиндра сильно влияет скорость удаления. Прибор устанавливают перпендикулярно окрашенной поверхности и прикладывают растягивающее напряжение с равномерным увеличением скорости, не более чем 1 Мпа/с. Это делают для того, чтобы отрыв произошел приблизительно через 90 секунд. Аппарат, не соответствующий таким требованиям, к испытаниям не допускается. Неравномерное приложение растягивающего напряжения может вызвать отрыв преждевременно и при этом дать неверные результаты.

Отрывают обычно алюминиевые или нержавеющей стали цилиндры диаметром 20 мм такой толщины, чтобы исключить «деформацию во время испытания» [38]. Рекомендуется брать цилиндр, длина которого не превышает половины диаметра. Торцы цилиндра должны быть обработаны таким образом, чтобы иметь 90 градусов к оси образца.

Клей используют для присоединения цилиндрического образца к испытываемой поверхности. Обычно применяют однокомпонентный цианоакрилатили или двухкомпонентный эпоксидный клей. Клеи, проникающие в покрытие или повреждающие его, не допускаются.

Также необходимо режущее устройство для подрезки лакокрасочного покрытия вокруг цилиндра.

3.3 Особенности метода

Используемое оборудование должно быть откалибровано, иметь сертификат о калибровке.

Поскольку испытания на отрыв являются разрушающими методами, потребуется ремонт покрытия.

Перед испытанием необходимо высушить поверхность в соответствии с рекомендациями изготовителя.

Возраст покрытия может повлиять на результат испытания. Свеженанесенные покрытия могут иметь более низкую прочность при отрыве, чем покрытия, испытанные через два или три месяца после нанесения. Температура, влажность и вентиляция во время сушки/отверждения покрытия также будут влиять на полученную прочность при отрыве.

Если окрашиваемая конструкция изготовлена из высокопрочной стали, то следует избегать повреждения ее поверхности. Повреждение поверхности стальных конструкций может вылиться в повреждение самой конструкции в результате коррозии.

В случае проведения испытаний в полевых условиях, то необходимо за 24 часа до проведения контроля и во время проведения испытания проконтролировать погодные условия (температура и влажность воздуха), температура окрашенной поверхности, проверить на влажность конструкции.

Если поверхность влажная, то она должна быть обязательно осушена.

3.4 Подготовка перед испытанием

В процессе подготовки проверяют аппарат на готовность к работе, в том числе контролируют нарастание скорости отрыва.

Очищают поверхность защитного лакокрасочного покрытия и испытательного цилиндра перед испытаниями. В конце очистки необходимо тщательное обезжиривание.

Чтобы уменьшить вероятность разрушения клеевого слоя, можно произвести истирание поверхности самого цилиндра (например, ее пескоструйную обработку) и поверхности защитной лакокрасочной системы (например, тонкой абразивной бумагой). Если такая обработка абразивными материалами происходит, после нее поверхности моют.

3.5 Проведение испытаний и критерии оценки

Контролируется адгезия грунтовочного покрытия ИЗОЛЭП-primer.

Минимальное количество измерений – по одному измерению на каждый десятый блок, поступающий на объект. За блок принимается один элемент конструкции моста (блоки – нижняя ортотропная плита, верхняя ортотропная плита, консольная плита, верхняя ортотропная плита, консольная плита, нижняя панель главной балки, верхняя плита, нижняя панель главной балки, верхняя панель главной балки). При десяти полученных подряд положительных результатов адгезии, принимается минимальное количество измерений – по одному измерению на каждый 20-ый блок. Измерения должны проводиться в присутствии представителя специализированной организации, осуществляющей нанесение лакокрасочного покрытия на металлоконструкции пролетных строений.

Наносят клей тонким равномерным слоем на всю торцевую поверхность испытательного цилиндра в достаточном количестве, чтобы обеспечить хорошее приклеивание цилиндра к лакокрасочному покрытию. Необходимо избегать нанесение избытка клея, поскольку неравномерное нанесение может привести к тому что разрывающее усилие будет прилагаться не строго перпендикулярно поверхности покрытия.

Подрезают лакокрасочное покрытие вокруг приклеенного цилиндра до защищаемой поверхности, чтобы отделить испытуемый участок от остального покрытия.

Минимальное количество испытаний, которые проводят на случайном участке поверхности, чтобы проверить адгезию при отрыве указано в таблице 1.

Таблица 1 – Минимальное количество измерений на участке контроля

Участок контроля, м ²	Количество измерений
≤ 1000	3 на каждые 250 м ² участка или части его
> 1000	12 + 1 на каждые дополнительные 1000 м ² участка

Для определения характера разрушения после отрыва, поверхность разрушения визуально оценивают. Существуют следующие типы разрушения:

- А – когезионное разрушение;
- АВ – адгезионное разрушение между окрашиваемой поверхностью и первым слоем лакокрасочного покрытия;
- В – когезионное разрушение первого слоя;
- В/С – адгезионное разрушение между первым и вторым слоем;
- С – когезионное разрушение второго слоя;
- С/т – адгезионное разрушение между вторым слоем и слоем т многослойной защитной лакокрасочной системы;
- т – когезионное разрушение слоя т многослойной защитной лакокрасочной системы;
- т/п – адгезионное разрушение между слоем т и слоем п многослойной защитной лакокрасочной системы;
- п/- - адгезионное разрушение между слоем п и верхним слоем многослойной защитной лакокрасочной системы;
- - когезионное разрушение верхнего слоя;
- -/У – адгезионное разрушение между верхним слоем и слоем клея;
- У – когезионное разрушение слоя клея;
- У/З – адгезионное разрушение между клеевым слоем и цилиндром.

На рисунке 64 указаны границы раздела между цилиндром и нижними слоями.

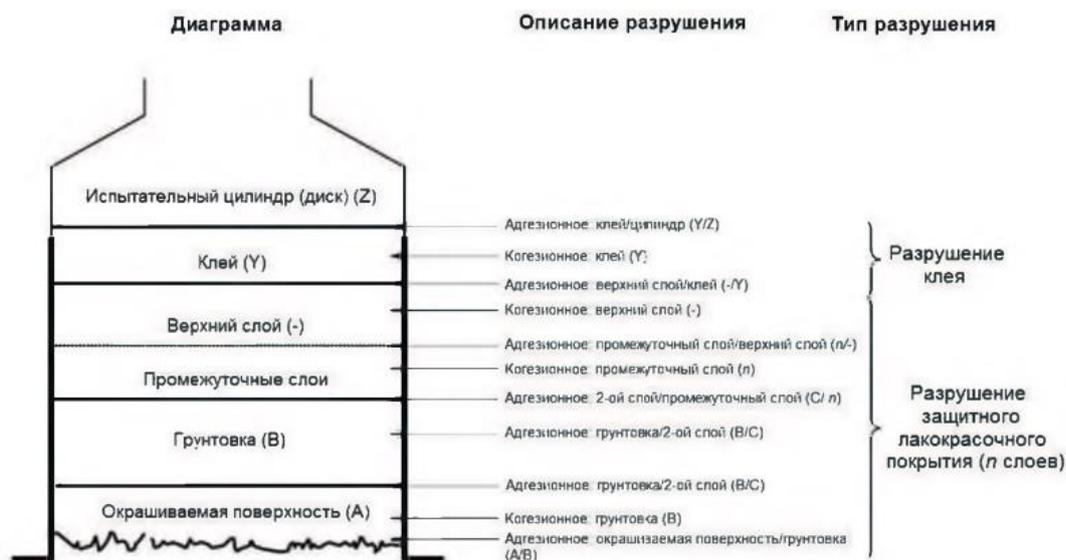


Рисунок 64 – Описание типов разрушения

«Если результат измерения превышает установленное значение, то испытание считают пройденным независимо от типа разрушения.

Если измеренное значение превысило установленное значение во время испытания, нет необходимости продолжать испытание до разрушения, если нет иных указаний в спецификации» [38].

В том случае, когда прочность при удалении цилиндра меньше установленного значения, то результат анализируют следующим образом:

- Если более 20 % площади торцевой поверхности диска демонстрирует разрушение клеевого слоя (Y/Z) и/или (Y) и/или (-/Y), то испытание не пройдено и его необходимо повторить;
- Если нет иных указаний, достоверные измерения требуют кондиционирования в соответствии с ISO 4624 [38] [(23 ± 2) °C, (50 ± 5) % относительной влажности в течение не менее 16 ч]. Если эти условия не выполнены, проводят лабораторные испытания в соответствии с ISO 4624, чтобы подтвердить результат.

Для идентификации разрушения как адгезионное или когезионное, участок соответствующего разрушения должен составлять более 80% площади торцевой поверхности испытательного цилиндра.

Результаты испытаний должны быть отражены в протоколе как индивидуальные картины разрушения, указав в процентах адгезионное и когезионное разрушение. При условии соблюдения требований к кондиционированию, значения прочности при отрыве должны быть выражены в мегапаскалях или как число испытаний, в которых установленное значение было превышено, в зависимости от рассматриваемого случая.

Для приемки поверхности должны выполняться следующие условия:

- Значения прочности при отрыве для адгезионных разрушений окрашиваемая поверхность/грунтовка (А/В) должны быть равны или больше установленного значения;
- При количестве измерений, равном 10 и более на одном участке контроля, не более одной десятой значений прочности при отрыве должны составлять от 20 % до 60 % от установленного значения;
- Две трети измеренных значений прочности при отрыве должны быть равны или больше установленного значения, кроме того, оставшаяся треть значений должна быть равна или больше 60% от установленного значения.

3.6 Результаты испытаний

В процессе адгезионных испытаний проверки сцепления грунтовочного слоя с поверхностью металла было испытано 10 отправочных марок пролетного строения в пролете 21-22: 2-61-БН-Б, 2-60-ПН1-Б, 2-59-БН-А, 2-58-БН-А, 2-62-БН-А, 2-58-БН-Б, 2-59-БН-Б, 2-22-РН-А, 2-62-ПН1-Б, 2-62-БН-Б. Результаты испытаний приведены в таблице 2. Фото результатов испытаний указано на рисунках Б1 – Б10 приложения Б.

Температура наружного воздуха составляла +5°C, относительная влажность воздуха – 61%, температура испытываемого материала +2°C.

Все измерительные приборы имеют сертификацию и действующее свидетельство о поверке.

Таблица 2 – Результаты испытаний на адгезию

№ образца	Дата проведения испытания	Толщина ЛКП, мкм	Минимальная толщина ЛКП, мкм	Прочность сцепления образца с основанием, МПа	Нормативная прочность сцепления с основанием, МПа	Характер отрыва
1	31.03.2023	210	100	7,61	5	Когезионно-адгезионный
2		190		10,81		
3		200		8,96		
4		310		14,61		
5		250		19,39		
6		190		12,7		
7		250		16,49		
8		215		12,81		
9		160		16,89		
10		270		8,87		

По результатам испытаний видно, что усилие отрыва превышает нормативное и при этом характер отрыва адгезионно-когезионный, что означает отсутствие разрушения грунтовочного покрытия, поскольку после каждого отрыва цилиндра была замерена толщина ЛКП и по значению она не меньше допустимого, но имеет место разрушение клея, что видно на рисунках Б1 – Б10 приложения Б, это говорит о том, что вся технология метода отрыва была соблюдена.

Таким образом, в конструкциях пролетного строения 21-22 грунтовочный слой ЛКП имеет достаточную адгезию с основным металлом и проходит испытание.

Выводы к третьей главе

В третьей главе был рассмотрен один из факторов надежности металлических конструкций мостовых сооружений – адгезия. Для её проверки выбран и усвоен метод, а также критерии оценки отрыва металлического цилиндра от поверхности покрытия.

Проведено испытание на адгезию 10 конструкций пролетных строений 21-22 и результат показал значения, которые полностью удовлетворяют всем требованиям, что в свою очередь показывает высокую надежность сцепления лакокрасочного покрытия с основным металлом. Надежность адгезии ЛКП в металлических конструкциях обеспечивается.

4. Контроль заводского грунтовочного покрытия

4.1 Определение характеристик АКЗ

Антикоррозионная защита металлоконструкций пролетных строений должна выполняться в соответствии с СП 28.13330.2017 [27], ГОСТ 9.104-2018 [14], ГОСТ 9.402-2004 [15], ГОСТ 15150-69 [2], СТО 01393674-007-2022 [31].

По нормативным документам СП 28.13330.2017, п. 4.3 [27]; СП 46.13330.2012, п. 10.72 [29], определены характеристики района размещения объекта строительства и отражены в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристики района размещения объекта строительства

Климатический район строительства по СП 131.13330.2018 [26]	Зона влажности по СП 50.13330.2012 [30]	Условия эксплуатации по ГОСТ 9.104-2018 [14]
II B	3 – сухая	У1

Различные поверхности и/или элементы пролетных строений в процессе эксплуатации мостового сооружения подвержены влиянию различных климатических и/или эксплуатационных факторов, воздействующих на них в определенных зонах пролетных строений – зонах размещения конструкций. В зависимости от условий формирования каждой конкретной зоны размещения конструкций определяется соответствующая категория коррозионной активности среды по ГОСТ 9.104 [14] и ISO 12944-2 [9]. Результаты определения категорий коррозионной активности среды в каждой конкретной зоне размещения конструкций приведены в таблице 4 по СП 35.13330.2011, п.п. 8.113, 8.114 [28]; СП 28.13330.2017, п. 4.2 [27].

Таблица 4 - Категория коррозионной активности среды в зоне размещения конструкций

Характеристика зоны размещения	Условия формирования зоны размещения конструкций	Описание зоны размещения конструкций	Категория коррозионной активности среды
Зона размещения конструкций ЗР-1			
Конструкции и сооружения расположенные в зоне проектируемого моста	Воздействие окружающей атмосферы	Конструкции и сооружения расположенные вне зон ЗР-2 – ЗР-4	C3
Зона размещения конструкций ЗР-2			
Конструкции и поверхности не подверженные воздействию атмосферных осадков и солнечной радиации	Внутренний объем коробчатых блоков	Распространяется на все конструкции и поверхности расположенные внутри коробчатых блоков главных балок, включая внутренние поверхности опорных ригелей	C2
Зона размещения конструкций ЗР-3			
Конструкции и сооружения, расположенные в зоне напыления солей и/или соляного тумана	Вдоль проезжей части	Распространяется не менее, чем на 15 м вверх от верха покрытия проезжей части и не менее, чем на 15 м в обе стороны от проезжей части от линии бортов наружных барьерных ограждений.	C5
Зона размещения конструкций ЗР-4			
Конструкции и поверхности, к которым в процессе эксплуатации нет прямого доступа	Конструктивная особенность эксплуатации	Конструкции и поверхности, расположенные под и/или в теле асфальтобетонного покрытия. Внутренние поверхности герметичных элементов корытных ребер	- (*1)
<p>Примечание к таблице 4:</p> <p>(*1) - Для конструкций и поверхностей зоны размещения ЗР-4 в настоящей Таблице категория коррозионной активности среды в явном виде не указана, поскольку определяющими являются требования по антикоррозионной защите, предъявляемые к закрывающим их конструкциям и/или покрытиям. Ревизия таких конструкций и поверхностей должна производиться при плановом ремонте или замене закрывающих их конструкций и/или покрытий. Ревизия внутренних поверхностей герметичных элементов не предусмотрена на протяжении всего срока службы пролетного строения.</p>			

Для корректного выбора антикоррозионной защитной системы помимо коррозионной активности среды необходимо определить долговечность антикоррозионного покрытия. Категории долговечности для лакокрасочного покрытия по ISO 12944-1 [8] приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Долговечность или ожидаемый срок службы защитного антикоррозионного покрытия до первого ремонта

Категория долговечности покрытия	Обозначение	Срок службы, лет
		Лакокрасочного покрытия (ЛКП) по ISO 12944-1 [8]
Очень низкая	VL	не определен
Низкая	L	до 7
Средняя	M	от 7 до 15
Высокая	H	от 15 до 25
Очень высокая	VH	более 25
Примечание к таблице 5: Долговечность не является «гарантийным сроком службы» покрытия. Долговечность является техническим параметром на основании которого может быть разработана программа по уходу и техническому обслуживанию конкретных элементов конструкций с конкретным антикоррозионным покрытием {ISO 12944-1:2017, п.5.5 [8]}.		

Для антикоррозионной защиты наружных поверхностей основных металлоконструкций принята система покрытий стойкая к воздействию солнечной радиации и атмосферных осадков в соответствии с указаниями по СП 28.13330.2017, п. 10.72 [27] с категорией коррозионной активности среды С3 по таблице 3 и категорией долговечности Н по таблице 4.

Для антикоррозионной защиты поверхностей, расположенных внутри коробчатых элементов пролетных строений, следует применять систему покрытий без требований по стойкости к воздействию солнечной радиации и атмосферных осадков в соответствии с указаниями СП 46.13330.2012, п. 10.72 [29] с категорией коррозионной активности среды С2 по таблице 4 и категорией долговечности Н по таблице 5.

Принятые системы покрытия пролетных строений приведено в таблице 6.

Таблица 6 – Системы покрытий для защиты металлоконструкций пролетных строений

Наименование ЛКМ	НТСП слоя, мкм	НТСП системы, мкм
1. Система антикоррозионного покрытия, стойкая к воздействию солнечной радиации и атмосферных осадков, для основных металлоконструкций, в том числе нижней поверхности ортотропной плиты со стойкостью к воздействию температуры до плюс 150 °С включительно		
Грунтовка ИЗОЛЭП-primer	100	240
Эмаль ИЗОЛЭП-mio	80	
Эмаль ПОЛИТОН-УР (УФ) RAL 7038	60	
2. Система антикоррозионного покрытия, стойкая к воздействию солнечной радиации и атмосферных осадков, применяемая для окраски наружных поверхностей торцевых листов консольных плит		
Грунтовка ИЗОЛЭП-primer	100	360
Эмаль ИЗОЛЭП-mio	200	
Эмаль ПОЛИТОН-УР (УФ) RAL 7038	60	
3. Система антикоррозионного покрытия для окраски внутренних поверхностей коробчатых блоков главных балок и опорных ригелей, в том числе нижних поверхностей ортотропной плиты со стойкостью к воздействию температуры до плюс 150 °С включительно		
Грунтовка ИЗОЛЭП-primer	100	180
Эмаль ИЗОЛЭП-mio, цвет серый (RAL 7032)	80	

Все слои лакокрасочного покрытия должны быть контрастными по цвету для обеспечения визуального контроля при нанесении каждого последующего из слоев системы согласно ГОСТ Р 57351-2016 [11], Прил. F, п. F.6.1.

Качество окрашенных поверхностей по внешнему виду должно соответствовать требованиям V класса по ГОСТ 9.032-74 [13], согласно ГОСТ 23118-2012, п. 4.8 [4].

4.2 Подготовка поверхности перед окрашиванием

4.2.1 Устранение дефектов поверхности

С поверхности металлоконструкций, подлежащих подготовке и окрашиванию, должны быть удалены дефекты (заусенцы, сварочные брызги,

остатки флюса и т.п.); острые свободные кромки, подлежащие грунтованию, следует скруглять радиусом не менее 2 мм (для сверлённых отверстий, заполняемых болтами, скругления кромок не требуется); поверхность должна быть очищена от грязи, пыли, жировых пятен, ржавчины и окалины. Степень подготовки кромок и поверхности в целом должна соответствовать степени РЗ по ISO 8501-3 [42] (дефекты и степени подготовки приведены в таблице Б1 приложения Б).

Сварные швы должны быть цельными и сплошными (непрерывными) без пор, трещин и разрывов. Форма сварного шва должна быть гладкая, с плавным переходом от валика сварного шва к металлу. Степень подготовки должна соответствовать степени:

- монтажных сварных швов, кромок и поверхности в целом не ниже РЗ по ISO 8501-3 [42] (таблица Б1 приложение Б);
- заводских сварных швов в соответствии с требованиями (таблица Б1 приложение Б).

При устранении на очищенной поверхности дефектов сварки и дефектов поверхности металла допускается степень очистки St 3 по ГОСТ Р ИСО 8501-1 [18].

4.2.2 Обезжиривание поверхности

Обезжиривание поверхности следует выполнять, используя органические растворители, например, уайт-спирит по ГОСТ 3134 [7], растворители марок 646, 648 по ГОСТ 18188 [3] или другие составы. Обезжиривание допускается проводить струйным обмывом, кистью, мягкой волосяной щеткой или безворсистым обтирочным материалом (ветошью). Степень обезжиривания должна соответствовать первой степени по ГОСТ 9.402 [15] (необходимо проверять капельным методом или методом протирки в соответствии с ГОСТ 9.402).

После обезжиривания осушить поверхность сухим чистым воздухом до полного удаления паров растворителя естественной сушкой или сжатым воздухом, соответствующим ГОСТ 9.010 [12].

4.2.3 Удаление водорастворимых солей

Содержание водорастворимых солей на поверхности перед окрашиванием должно быть не более 50 мг/м² по ISO 8502-9 [44]. При необходимости удаление солевых загрязнений рекомендуется проводить путем промывки изделия чистой пресной водой, без посторонних примесей, под высоким давлением (более 150 бар). После промывки конструкции высушиваются.

4.2.4 Абразивоструйная очистка

Очистить поверхность методом струйной абразивной очистки от оксидов (окалины и ржавчины) и старого покрытия. Требуемая степень очистки – не ниже 2 по ГОСТ 9.402 [15] и не ниже Sa 2 1/2 по ГОСТ Р ИСО 8501-1 [18]. Допускается разнооттеночность очищенной поверхности от светло-серого до темно-серого цвета, вызванная различной шероховатостью поверхности металлоконструкций.

Шероховатость поверхности Rz должна составлять от 30 до 80 мкм по ГОСТ 2789 [7]; по ISO 8503-1 [45] – от тонкого (тип компаратора G – между сегментами 1 и 2, но ниже сегмента 2) до среднего (тип компаратора G – между сегментами 2 и 3, но ниже сегмента 3) с острым угловатым профилем.

Для абразивоструйной очистки должен применяться абразивный материал, удовлетворяющий требованиям стандарта ISO 11124 [36] или ISO 11126 [37], обеспечивающий остроугольный профиль и требуемую шероховатость окрашиваемой поверхности. Допускается применение колотой стальной или чугунной дроби, а также абразивных порошков из шлаков, получаемых при плавлении меди (купершлак, N/Cu/G) или никеля (никельшлак, N/Ni/G), фракций от 0,5-1,5 мм до 0,5-2,5 мм.

4.2.5 Обеспыливание

Поверхность металлоконструкций после очистки должна быть обеспылена сжатым воздухом и соответствовать по запылённости степени не более 2 с размером частиц не более 2 класса по ISO 8502-3 [43]. Минимальное

давление воздуха – 0,2 МПа. Рекомендуется производить обеспыливание при помощи вакуумного пылесоса.

Сжатый воздух не должен содержать воду и масла и должен соответствовать требованиям ГОСТ 9.010 [12]. Качество очистки воздуха проверяют, направляя струю сжатого воздуха из сопла на зеркало (в течение 3 мин) или лист фильтровальной бумаги (в течение 10- 15 мин). Расстояние от торца шланга до поверхности зеркала устанавливают от 50 до 100 мм. Расход воздуха при диаметре шланга 9-12 мм должен быть 10-20 м³ /ч. На зеркальной поверхности не допускается матовый налет и пятна от капель влаги и масла. Чистоту воздуха считают достаточной, если на обдуваемой поверхности не остается следов масла и влаги. При неудовлетворительной очистке воздуха следует заменить набивку фильтра масловлагоотделителя.

4.2.6 Другие способы очистки

При невозможности выполнения абразивоструйной очистки (подготовка труднодоступных зон и полостей, когда затруднен доступ к поверхности), может применяться ручная или механизированная очистка. Очистка механизированными инструментами с использованием механических щеток с проволочной щетиной должна выполняться только в тех случаях, когда абразивоструйная очистка не представляется практически возможной. В этом случае очистка должна выполняться согласно ГОСТ Р ИСО 8501-1 [18]. Перед механической очисткой требуется удаление всех масел, консистентной смазки и т.п. соблюдать соответствующую осторожность. При использовании механических инструментов следует предотвращать получение чрезмерной шероховатости и образования гребней и заусенцев и, а также образования блестящих полированных участков на стальной поверхности.

4.3 Проверка грунтовочного покрытия и необходимые мероприятия перед покраской

4.3.1 Подготовка грунтовочного покрытия перед нанесением следующих слоев

Перед началом выполнения работ по подготовке поверхности и нанесению системы АКЗ выполняется входной контроль грунтовочного покрытия ИЗОЛЭП-primer, нанесённого на заводе-изготовителе металлоконструкций. В случае обнаружения повреждений заводское лакокрасочное покрытие должно быть восстановлено. Восстановление лакокрасочного покрытия должно выполняться теми же материалами и по той же схеме, что и покрытие, выполняемое на заводе-изготовителе. Входной контроль включает: визуальный контроль, контроль толщины покрытия, контроль адгезии покрытия. Толщина покрытия определяется в соответствии с ISO 19840 [39], ориентируясь на значения, указанные в таблице 7.

Срок службы заводского грунтовочного лакокрасочного покрытия, нанесенного на заводе-изготовителе металлоконструкций, без нанесения на него покрывных слоев эмали составляет не более одного года, поэтому монтажная окраска эмалями смонтированных пролетных строений должна быть закончена не позднее одного года со времени поступления конструкций на сборочную площадку.

Рекомендованное максимальное время до перекрытия заводского грунтовочного покрытия ИЗОЛЭП-primer эмалью ИЗОЛЭП-mio без дополнительных операций по подготовке поверхности – не более 6 месяцев. При превышении этого времени и хранении конструкций под воздействием солнечных лучей необходимо непосредственно перед нанесением последующих слоев проведение дополнительных мер по подготовке поверхности для улучшения адгезии:

- Обмыв покрытия ИЗОЛЭП-primer с применением моющего средства МС-01 (ТУ 2381-095-12288779-2013 [32]);

- Обезжиривание (при необходимости) поверхности заводского покрытия ИЗОЛЭП-primer до первой степени по ГОСТ 9.402 [15] уайт-спиритом (ГОСТ 3134 [7]) или другими составами;
- Для очистки заводского покрытия от слоев, разрушенных воздействием УФ излучения, при превышении максимального времени перекрытия, необходимо обработать поверхность раствором моющего средства МС-01 (ТУ 2381-095-12288779-2013 [32] с изм.2 от 15.05.2014) распылением аппаратом БВР при низком давлении. Для приготовления раствора перемешать моющее средство МС-01, разбавить чистой пресной водой в соотношении 10-15 частей воды на 1 часть средства (полученный состав имеет рН от 12,0 до 13,0). Ориентировочный расход на 1 м² поверхности – 1 л раствора (60 мл моющего средства при разбавлении 1:15);
- Обмыв большим количеством пресной воды под высоким давлением (не менее 15,0 МПа) до полного удаления остатков моющего средства и осушить (при применении МС-01 – через 5 минут после его нанесения);
- Обеспыливание при необходимости.

Результатом обмыва должна стать чистая поверхность, оставшиеся загрязнения принимаются в случае, если эти загрязнения не удаляются жёсткой нейлоновой щёткой с коротким ворсом (1-2 см). В случае, если данные загрязнения не могут быть удалены с помощью обмыва водой под высоким давлением, но удаляются щёткой, то для подготовки поверхности перед нанесением последующих слоёв защитной системы рекомендуется локально применить свипинг.

Свипинг – лёгкая абразивоструйная очистка. Для свипинга используется стандартное абразивоструйное оборудование, но с обязательным выполнением следующих требований:

- Давление воздуха на выходе из сопла не более 3 бар (обычно 2-3 бар);

- Использование остроугольного абразива (пека или шлака) фракцией до 0,5 мм;
- Направление сопла к поверхности под острым углом (не более 40°).

В результате должна быть получена матовая поверхность с лёгкой равномерной шероховатостью на неповреждённом лакокрасочном покрытии, без заметного уменьшения толщины сухой плёнки (не более 10-20 мкм).

После подготовки поверхности при осмотре невооруженным глазом подготовленная поверхность должна быть свободна от видимых следов масла, смазки, грязи, от ржавчины, окалины и других неметаллических слоёв. При отпотевании поверхности необходимо осушить её нагретым очищенным воздухом до удаления влаги.

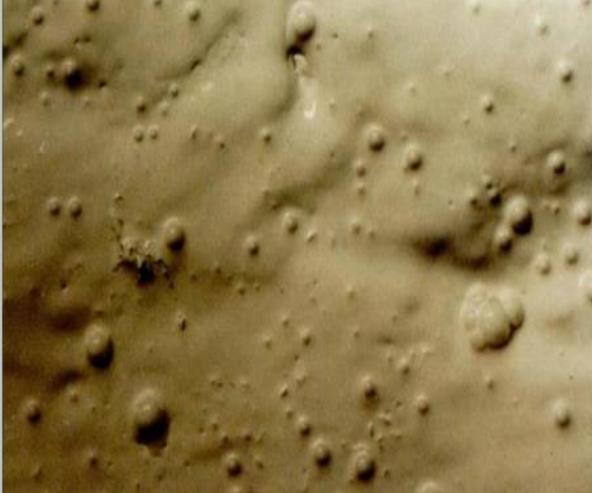
Интервал между очисткой поверхности и её окрашиванием в условиях строительной площадки должен составлять не более 6 ч. Допускается увеличение длительности перерыва до 24 ч при сохранении качества подготовленной поверхности. При превышении допустимого интервала между очисткой поверхности и её окрашиванием, а также, если состояние поверхности не соответствует описанию, необходимо повторить операцию очистки.

Качество подготовки поверхности необходимо контролировать не позднее чем через 2 часа после проведения операций по подготовке, а также непосредственно перед нанесением каждого слоя АКП.

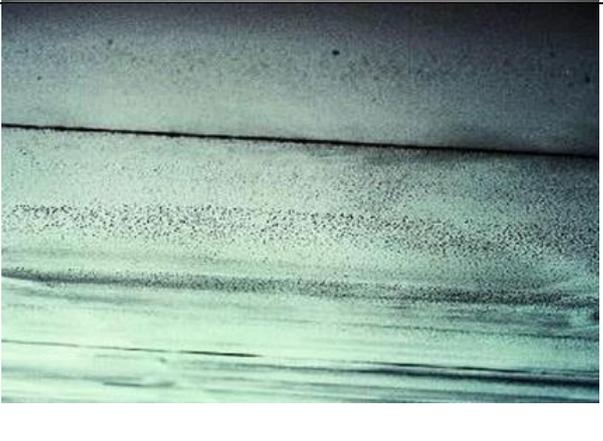
4.3.2 Визуальный контроль лакокрасочного грунтовочного покрытия

Производится 100%-ный визуальный контроль лакокрасочного грунтовочного покрытия ИЗОЛЭП-primer, оценивается внешний вид на наличие визуально различимых пропусков, наличие дефектов покрытия (по ISO 4628 [40]). Измеряется толщина сухой пленки инструментальным методом согласно ISO 19840 [39] и таблицы 7.

Таблица 7 – Недопустимые дефекты покрытия

Дефект	Описание	Фото
Поры	Точечные отверстия в пленке покрытия, видимые невооруженным глазом	
Пузыри	Вздутия на поверхности покрытия с образованием пустот в толще слоя покрытия с размером вздутий степени 2 (едва видимые невооруженным взглядом или с нормальной коррекцией) и более	
Растрескивание	Повреждения покрытия в виде хаотично расположенных разрывов, с размером трещин степени 2 (едва видимые невооруженным взглядом или с нормальной коррекцией) и более	
Отслаивание	Потеря адгезии покрытия с отделением его от подложки в виде хаотично расположенных или направленных участков, с размером области отслаивания степени 1 (до 1 мм) и более	

Продолжение таблицы 7

Потёки	Локальные неоднородности толщины покрытия	
Посторонние включения	Посторонние включения в виде частиц. Допускается не более 4 включений на 1 дм ² . На контролируемом участке площадью 1 м ² допускается не более 10 включений	
Сухой «напыл»	«Сухие» или «полусухие» капли краски из покрасочного пистолета образуют налет не приставших к поверхности частиц. Поверхность покрытия шероховатая, частицы легко можно отделить от покрытия жёсткой щёткой с синтетическим ворсом при обдуже сжатым воздухом	
Шагрень («апельсиновая корка»)	Однородный внешний рябой вид, при котором поверхность плёнки краски напоминает кожуру апельсина	

Обнаруженные при визуальном контроле недостаточные толщины или превышения толщины покрытия, повреждения покрытия и недопустимые

дефекты, приведённые в таблице 7, подлежат устранению в соответствии с п. 3.3.3.

4.3.3 Результаты контроля толщины грунтовочного покрытия, наличие недопустимых дефектов и их устранение

В рамках данного исследования проведен контроль толщины грунтовочного покрытия и выявлены дефекты покрытия на 28 блоков пролетного строения 22-23. Пример исследуемых блоков предоставлен на рисунках 65, 66.



Рисунок 65 – Фото исследуемых блоков



Рисунок 66 – Фото исследуемых блоков

В процессе данного исследования появилась гипотеза зависимости толщины сухой пленки от расположения нанесенного слоя по высоте согласно ISO 19840 [39]. По результатам измерений ТСП наклонной стенки 28 блоков, указанных в таблице Б2 приложения Б было выявлено что толщина сухой пленки не зависит от высоты её нанесения.

Также при проведении визуального контроля 28 блоков было выявлено:

- Наличие сухого напыла в количестве ~ 276,01 м²;
- Наличие посторонних включений в количестве ~ 67,1 м²;
- Наличие потеков в количестве ~ 21,92 м²;
- Просветы металла в количестве ~ 1 м²;
- Наличие постороннего ЛКМ в количестве ~ 21,7 м²;
- Неокрашенные болт, гайка, шайба на 2 конструкциях;
- Наличие коррозии на оцинкованном люке на 3 конструкциях;
- Превышение ТСП на 15 конструкциях;
- Недостаточная ТСП на 9 конструкциях;
- Просветы металла в болтовых отверстиях на 7 конструкциях;
- Некачественный ремонт ТСП на 6 конструкциях;
- Наличие напыла (шагрени) в количестве ~ 0,5 м².

Все выявленные дефекты и измерения толщины ТСП необходимо отражать в актах о выявленном несоответствии.

Таким образом, перед последующим нанесением АКЗ необходимо устранить выявленные дефекты согласно следующим рекомендациям:

Дефектные участки и механические повреждения окрашенной поверхности должны быть отбракованы и отремонтированы так, чтобы восстановить защитные свойства системы АКЗ. Фото недопустимых дефектов представлены в таблице 7. Порядок ремонта включает операции по подготовке поверхности и восстановлению лакокрасочного покрытия в зависимости от характера и размера дефектов.

В случае повреждения покрытия до металла производится локальная абразивоструйная очистка до степени P Sa 2 1 /2 по ISO 8501-2 [41] (очень

тщательная локальная струйная очистка), стараясь сделать плавный переход от покрытия к очищенному металлу.

Для небольших участков с повреждениями покрытия (сколы, задиры и прочее размерами не более 5 мм), составляющих не более 0,5 % от общей площади дефектного участка, допускается локальная механизированная или ручная очистка до степени P St 3 – P St 2 по ISO 8501-2 [41]. Механизированную очистку рекомендуется проводить проволочными вращающимися щётками (дисковыми, концевыми, торцевыми), иглофрезами, шлифовальными кругами и т.д. Ручную очистку – при помощи металлических щёток, шабера, шлифовальной шкурки и т.д.

Размер ремонтного участка должен превышать размер дефекта минимум на 30 мм, прочно пристающее (без повреждения адгезии) покрытие должно оставаться неповреждённым. Нанесенное покрытие, которое прилегает к поверхности, подвергнутой локальной очистке, должно быть обработано так, чтобы получить тонкие сглаженные кромки (без ступеньки), образующие плавный переход к окрашенной поверхности и обеспечивающие надежное сцепление. Оставшееся покрытие не должно подцепляться тупым шпателем.

После очистки поверхность следует обеспылить и восстановить покрытие до требуемой толщины с перекрытием неповрежденного покрытия на ширину факела, но не менее 30 мм.

В случае обнаружения участков с недостаточной ТСП допускается произвести нанесение соответствующего слоя покрытия до восстановления допустимой ТСП, указанной в Таблице 7. Нижележащее покрытие перед нанесением дополнительного слоя должно быть сухим, чистым, при необходимости выполнить следующие операции:

- обезжиривание поверхности покрытия до первой степени по ГОСТ 9.402 [15];
- обмыв пресной водой под высоким давлением (не менее 15 МПа) для удаления загрязнений с последующей осушкой;
- обеспыливание до степени не более 2 по ISO 8502-3 [43].

В случае обнаружения участков с превышением ТСП выше значений, указанных в таблице 8, выполнить локально механизированную зачистку этих участков с восстановлением покрытия до проектной толщины с учетом допустимого трехкратного превышения.

Таблица 8 – Диапазон при измерении ТСП

№ ЛКП по табл.6	Наименование ЛКМ	НТСП слоя, мкм	НТСП слоя с учётом поправки на шероховатость, мкм	Минимально допустимое индивидуальное показание прибора не более чем в 20 % случаев, мкм	Макс ТСП (по ГОСТ 34667.5 [10]), мкм	Макс ТСП при отсутствии дефектов, мкм
1	ИЗОЛЭП-primer	100	125	100	300	325
	ИЗОЛЭП-mio	80	205	164	540	565
	ПОЛИТОН-УР (УФ)	60	265	212	720	745
2	ИЗОЛЭП-primer	100	125	100	300	325
	ИЗОЛЭП-mio	200	325	260	900	925
	ПОЛИТОН-УР (УФ)	60	385	308	1080	1105
3	ИЗОЛЭП-primer	100	125	100	300	325
	ИЗОЛЭП-mio	80	205	164	540	565

В случае обнаружения точек или участков с превышением ТСП выше значений, указанных в таблице 8, необходимо оценить размер участка с превышением толщины и ТСП элемента в целом. При условии, что средняя ТСП элемента находится в пределах допустимого трехкратного превышения, допускается наличие точек или участков величиной до 0,3 м² (общей площадью до 5 % площади поверхности элемента) с четырехкратным превышением ТСП.

Дефект «сухой напыл» – сухие или полусухие капли краски из покрасочного пистолета, не приставшие к поверхности и образующие на ней налёт. Поверхность шероховатая, частицы можно удалить жёсткой щёткой с синтетическим ворсом высотой не более 1 см при обдуве сжатым воздухом. Участки с дефектом «сухой напыл» обработать жёсткой щёткой с синтетическим ворсом при одновременном обдуве сжатым воздухом.

4.4 Математический анализ результатов измерения толщины

Всем известный факт, что качество ЛКП судят по его толщине – расстояние между слоем (слоями) краски и окрашенной поверхностью. Но локальная толщина является изменчивой величиной. Так защитная поверхность, изготовленная из одного состава, может меняться в значительных пределах в зависимости от многих факторов, включая вид лакокрасочного материала и его свойства, предварительная обработка поверхности (соблюдение технологии подготовки к нанесению), способ нанесения ЛКП, время и условия сушки (соблюдение температурному режиму) также, условия и температура при измерении толщины и погрешность самого прибора.

Поэтому для того, чтобы обеспечить достаточную надежность защитного покрытия, необходимо назначить такую толщину ЛКП, которая в подавляющем большинстве случаев была бы больше фактических значений. Изменчивость толщины ЛКП имеет, в целом, случайный характер и подчиняется вероятностно – нормальному закону распределения, поскольку случайная величина зависит от суммы других случайных величин (факторов). Поэтому для оценки локальных толщин ЛКП можно использовать вероятностные методы расчета.

Для подтверждения вышеуказанного предположения, необходимо провести математический анализ на предмет того, подвергается ли толщина ЛКП закону нормального распределения.

Закон распределения случайной величины является функцией распределения случайной величины – это вероятность того, что случайная величина примет значение меньше определенного числа, считается по формуле (4):

$$F(x) = P(\chi < x) \quad (4)$$

Также есть понятие функции плотности распределения – закон распределения случайной величины, считается по формуле (5):

$$F'(x) = f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

где σ - Среднее-квадратичное отклонение;

\bar{x} – Математическое ожидание.

Следовательно, зная функцию плотности распределения можем получить формулу распределения случайной величины (6), проинтегрировав функцию плотности:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (6)$$

С помощью плотности случайной величины удобно находить вероятность попадания случайной величины в заданный диапазон по формуле (7):

$$P = (\alpha < \chi < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx \quad (7)$$

Изменчивость толщины ЛКП характеризуется кривыми распределения, построенными в координатах: по оси абсцисс величина толщины ЛКП,

получаемая из измерений, а на оси ординат – частота случаев появления указанной толщины. Нормальная функция плотности обладает параметрами:

- Среднее значение, определяется по формуле (8):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i f_i}{n} \quad (8)$$

- Дисперсия, характеризующая рассеивание величины толщины относительного среднего значения, считается по формуле (9):

$$D = \frac{\sum x_i^2 \cdot f_i}{n} - (\bar{x})^2 \quad (9)$$

- Среднее-квадратичное отклонение или стандарт, считается по формуле (10):

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (10)$$

Для того, чтобы проще работать с функцией распределения необходимо в формуле (6) сделать замену переменной:

$$\frac{(x-\bar{x})}{\sigma} = t, \quad (11)$$

$$d\left(\frac{(x-\bar{x})}{\sigma}\right) = dt, \quad (12)$$

$$\frac{1}{\sigma} dx = dt, \quad (13)$$

$$dx = \sigma \cdot dt. \quad (14)$$

Далее подставляем получившееся преобразование в формулу (6) и получаем формулу (15), которая называется функция Лапласа, значения которой определяются по таблице Лапласа:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\frac{(x-\bar{x})}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot \sigma \cdot dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\frac{(x-\bar{x})}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (15)$$

Чтобы пользоваться таблицей Лапласа необходимо преобразовать функцию Лапласа в нормированную функцию. График такой функции, представленная на рисунке 67:

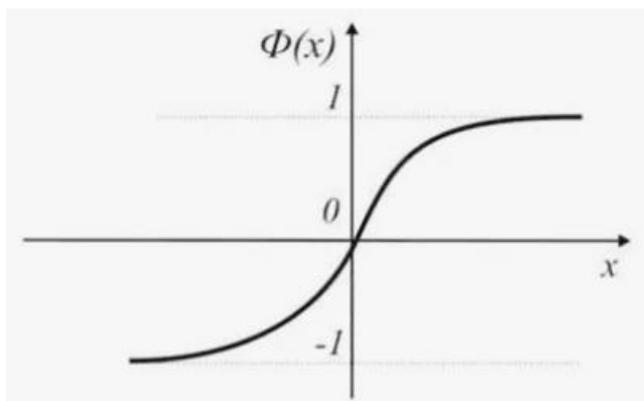


Рисунок 67- Нормированный график функции Лапласа

Формула (16) нормированной функции Лапласа имеет вид:

$$\Phi^* = \Phi(x) - 0,5 \quad (16)$$

Таким образом, глядя на график имеет место формула (17), которой необходимо руководствоваться при пользовании таблицей Лапласа:

$$\Phi^*(-1) = -\Phi^*(1) \quad (17)$$

Поскольку количество исследуемых объектов много (генеральная совокупность), для обследования было принято решение измерить толщину ЛКП по 20 измерений на полосы блока низ, середина и верх на 7 панелях, в каждом из которых по 4 блока итого получили выборку из 1680 измерений,

представленные в приложении Б в таблице Б2. По результатам этой выборке можно сделать выводы подчиняется ли вся генеральная совокупность закону нормального распределения.

Первым что необходимо сделать – это составить вариационный ряд из выборки 1680 измерений от меньшего к большему.

Размах варьирования вариационного ряда определяется по формуле (18):

$$\omega = X_{max} - X_{min} , \quad (18)$$

$$\omega = 574 - 84,3 = 489,7.$$

Число интервалов l принимаем 22.

Длина частичного интервала определяется по формуле (19):

$$h = \frac{\omega}{l} \quad (19)$$
$$h = \frac{489,7}{22} = 22,259.$$

С помощью количества и длины частичного интервала составляется интервальный вариационный ряд, представленный в таблице 9.

Таблица 9 - Интервальный вариационный ряд

Интервальный вариационный ряд									
№ интервала	Границы интервала		Средины интервалов X_i^*	Частоты интервала f_i	Статистический вес $\omega_i = f_i / \sum f_i$	Плотность ω_i ω_i/h	$f_i * X_i^*$	$(X_i^*)^2$	$f_i * (X_i^*)^2$
	$(X_i$	$X_{i+1}]$							
1	84,30	106,56	95,43	75,00	0,04464	0,00156	7157,215909	9106,798	683009,8609
2	106,56	128,82	117,69	78,00	0,04643	0,00163	9179,713636	13850,62	1080347,98
3	128,82	151,08	139,95	95,00	0,05655	0,00198	13295,03409	19585,37	1860609,805
4	151,08	173,34	162,21	120,00	0,07143	0,00250	19464,81818	26311,05	3157326,224
5	173,34	195,60	184,47	154,00	0,09167	0,00321	28407,75	34027,67	5240261,429
6	195,60	217,85	206,73	178,00	0,10595	0,00371	36797,05	42735,23	7606870,161
7	217,85	240,11	228,98	180,00	0,10714	0,00376	41217,13636	52433,71	9438068,5
8	240,11	262,37	251,24	172,00	0,10238	0,00359	43213,82727	63123,14	10857179,46
9	262,37	284,63	273,50	156,00	0,09286	0,00325	42666,35455	74803,49	11669344,94
10	284,63	306,89	295,76	134,00	0,07976	0,00280	39632,02273	87474,78	11721621,09
11	306,89	329,15	318,02	99,00	0,05893	0,00207	31484,025	101137	10012563,94
12	329,15	351,41	340,28	79,00	0,04702	0,00165	26882,08409	115790,2	9147423,355
13	351,41	373,67	362,54	52,00	0,03095	0,00108	18852,00909	131434,3	6834581,669
14	373,67	395,93	384,80	43,00	0,02560	0,00090	16546,30227	148069,3	6366979,509
15	395,93	418,19	407,06	28,00	0,01667	0,00058	11397,59091	165695,3	4639467,09
16	418,19	440,45	429,32	13,00	0,00774	0,00027	5581,106818	184312,1	2396057,947
17	440,45	462,70	451,58	9,00	0,00536	0,00019	4064,175	203920	1835279,826
18	462,70	484,96	473,83	5,00	0,00298	0,00010	2369,170455	224518,7	1122593,729
19	484,96	507,22	496,09	5,00	0,00298	0,00010	2480,465909	246108,4	1230542,225
20	507,22	529,48	518,35	1,00	0,00060	0,00002	518,3522727	268689,1	268689,0786
21	529,48	551,74	540,61	2,00	0,00119	0,00004	1081,222727	292260,6	584521,293
22	551,74	574,00	562,87	2,00	0,00119	0,00004	1125,740909	316823,1	633646,2972
Σ	-	-	-	1680,00	1,00	-	403413,1682	-	108386985,4

В таблице 9 середины интервалов X_i^* считается по формуле (20):

$$X_i^* = \frac{X_i + X_{i+1}}{2} \quad (20)$$

Частоты интервала f_i - это количество значений из вариационного ряда, попадающих в i -ый интервал. Их сумма должна быть равна количеству значений в выборке.

Статистический вес ω_i показывает с какой вероятностью значения в i -ом интервале попадутся при измерении толщины ЛКП и определяется по формуле (21):

$$\omega_i = f_i / \sum f_i \quad (21)$$

Плотность статистического веса считается как частное статистического веса на длину частичного интервала.

По результатам интервального вариационного ряда строится кривая, которая называется полигон частот, по оси абсцисс отмечены средние значения интервалов, по оси ординат – частоты интервалов. По ней можно наглядно определить какое значение толщины встречается чаще всего. Полигон частот указан на рисунке 68.

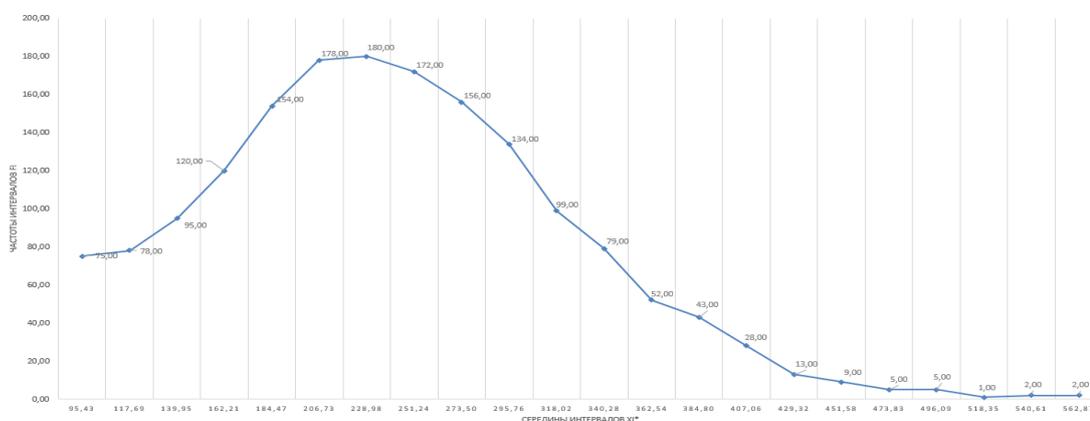


Рисунок 68 - Полигон частот

Судя по графику, значения в интервале 217-240 встречаются чаще всего.

Также по результатам интервального вариационного ряда строится гистограмма относительных частот, в котором по оси ординат отложены значения плотности статистического веса, по оси абсцисс – интервалы. Гистограмма является дискретным аналогом функции плотности распределения т.е. приближением к теоретической функции плотности распределения. По ней мы можем определить с какой вероятностью случайная величина попадает в i -ый интервал. Для этого нужно найти площадь прямоугольника в определенном интервале. Гистограмма указана на рисунке 69.

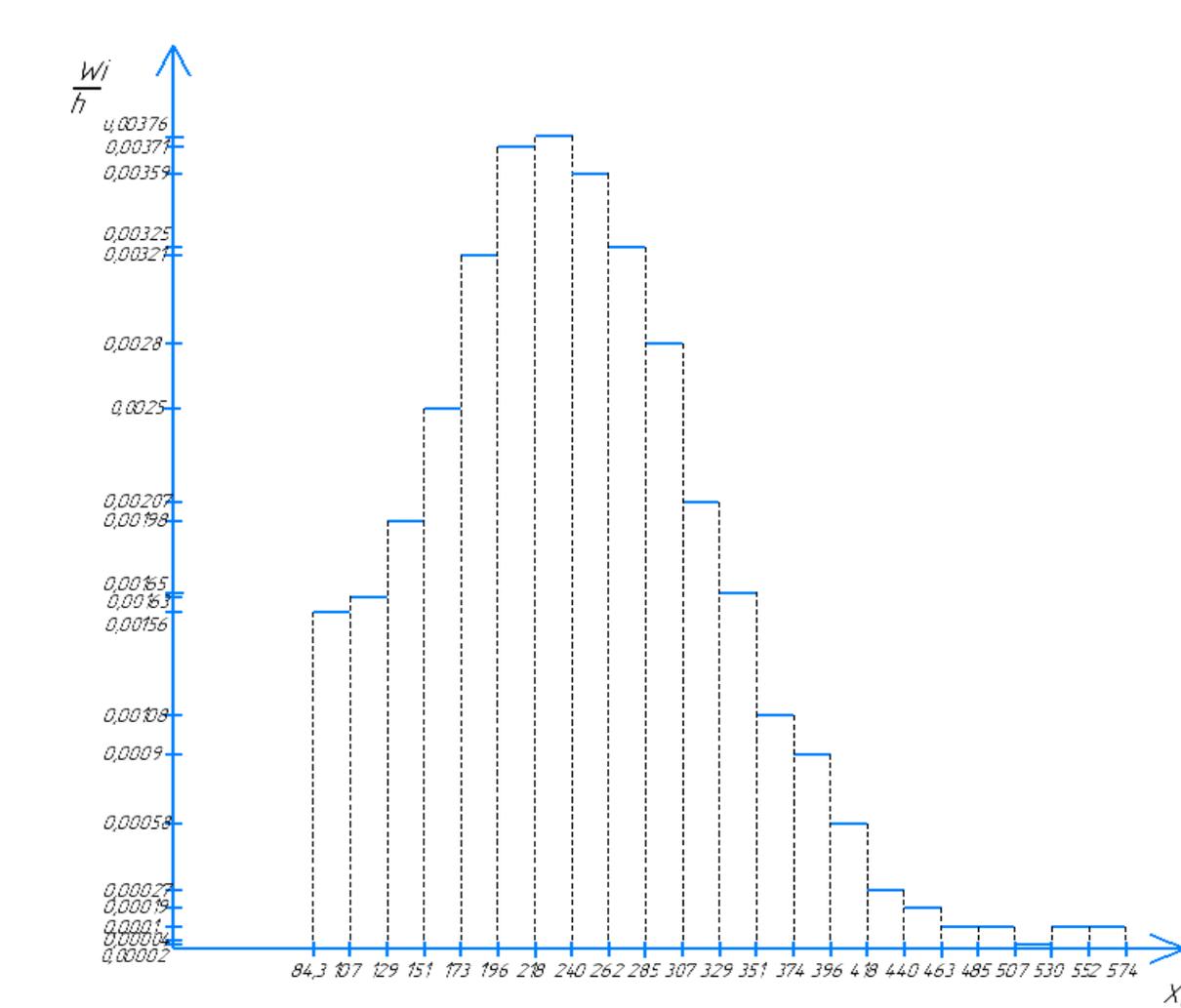


Рисунок 69 – Гистограмма относительных частот

Следующим этапом будет построение графика эмпирической функции распределения $F^*(x)$. Она отличается от теоретической функции распределения $F(x)$ тем, что это лишь приближение к ней, потому что график построен по данным выборки: по оси абсцисс отложены значения границ интервалов, по оси ординат – вероятность получения толщины меньше указанной. Значения эмпирической функции указаны в таблице №10. График эмпирической функции указан на рисунке 70.

Таблица 10 - Значения эмпирической функции нормального распределения

$F^*(x_i) = \omega_i$									
X_i	ω_i	X_i	ω_i	X_i	ω_i	X_i	ω_i	X_i	ω_i
106,56	0,04464	217,85	0,41667	329,15	0,85774	440,4	0,9857	551,7	0,9988
128,82	0,09107	240,11	0,52381	351,41	0,90476	462,7	0,9910	574,0	1,0000
151,08	0,14762	262,37	0,62619	373,67	0,93571	484,9	0,9940	-	-
173,34	0,21905	284,63	0,71905	395,93	0,96131	507,2	0,9970	-	-
195,60	0,31071	306,89	0,79881	418,19	0,97798	529,4	0,9976	-	-

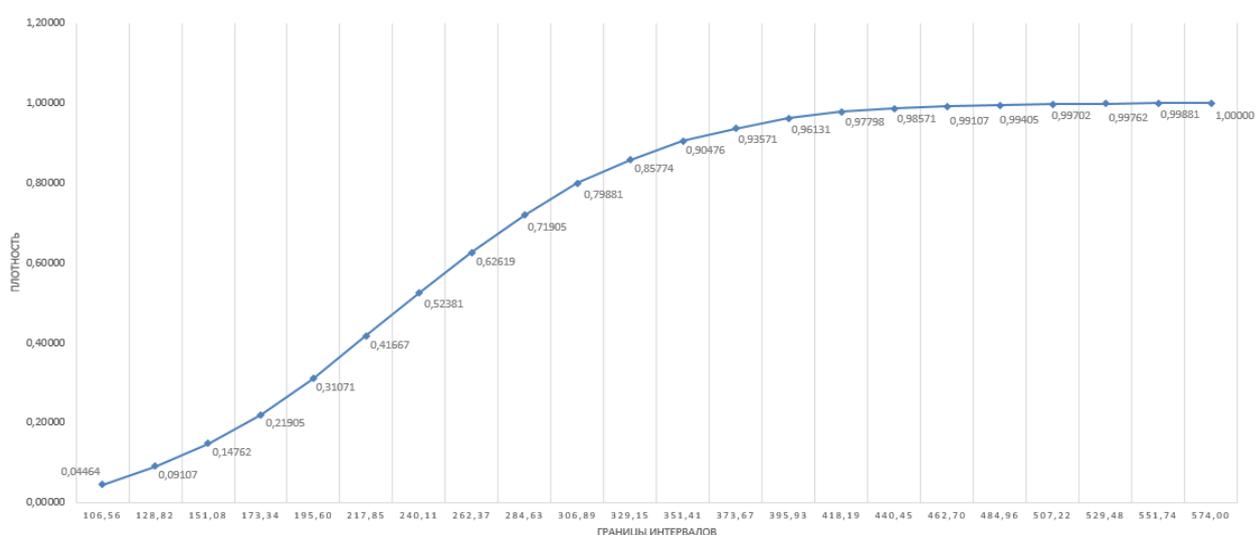


Рисунок 70 - График эмпирической функции

С помощью таблицы 9 и формул (8), (9), (10) вычисляем выборочные среднее значение, дисперсию и среднее-квадратичное отклонение:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{403413,168}{1680} = 240,127, \\ D &= \frac{108386985,4}{1680} - (240,127)^2 = 6855,14, \\ \sigma &= \sqrt{6855,14} = 82,8.\end{aligned}$$

Следующим этапом будет составление таблицы 11 интервального вариационного ряда с объединенными интервалами у которых частота интервала $f_i < 5$. В ней необходимо вычислить замену переменной t по формуле (19), с помощью этой переменной и ЭВМ с формулой =НОРМ.СТ.РАСП(t ;1)-0,5 вычисляются значения функции Лапласа.

После этого разность значений функций Лапласа границ интервала дает вероятность P_i того, что случайная величина примет значение в данном интервале $t_i - t_{i+1}$, учитывая правило, указанное в формуле (17).

Теоретические частоты вычисляются по формуле (22):

$$\tilde{f} = P_i \cdot \sum f_i \quad (22)$$

Таблица 11 - Интервальный вариационный ряд с объединенными интервалами

№ интервала	(X_i	X_{i+1}]	$X_i - X_{cp}$	$X_{i+1} - X_{cp}$	t_i	t_{i+1}	$\Phi^*(t_i)$	$\Phi^*(t_{i+1})$	P_i	\tilde{f}	f_i	$(f_i - \tilde{f})^2 / f_i$
1	84,30	106,56	-	-133,57	-	-1,61	-0,5000	-0,4467	0,0533	89,63	75	2,85
2	106,56	128,82	-133,57	-111,31	-1,61	-1,34	-0,4467	-0,4106	0,0361	60,59	78	3,89
3	128,82	151,08	-111,31	-89,05	-1,34	-1,08	-0,4106	-0,3589	0,0517	86,78	95	0,71
4	151,08	173,34	-89,05	-66,79	-1,08	-0,81	-0,3589	-0,2901	0,0689	115,68	120	0,16
5	173,34	195,60	-66,79	-44,53	-0,81	-0,54	-0,2901	-0,2047	0,0854	143,50	154	0,72
6	195,60	217,85	-44,53	-22,27	-0,54	-0,27	-0,2047	-0,1060	0,0986	165,69	178	0,85
7	217,85	240,11	-22,27	-0,01	-0,27	0,00	-0,1060	-0,0001	0,1060	178,03	180	0,02
8	240,11	262,37	-0,01	22,25	0,00	0,27	-0,0001	0,1059	0,1060	178,04	172	0,21
9	262,37	284,63	22,25	44,50	0,27	0,54	0,1059	0,2045	0,0986	165,71	156	0,60
10	284,63	306,89	44,50	66,76	0,54	0,81	0,2045	0,2900	0,0854	143,53	134	0,68
11	306,89	329,15	66,76	89,02	0,81	1,08	0,2900	0,3589	0,0689	115,71	99	2,82
12	329,15	351,41	89,02	111,28	1,08	1,34	0,3589	0,4105	0,0517	86,81	79	0,77
13	351,41	373,67	111,28	133,54	1,34	1,61	0,4105	0,4466	0,0361	60,62	52	1,43
14	373,67	395,93	133,54	155,80	1,61	1,88	0,4466	0,4701	0,0234	39,39	43	0,30
15	395,93	418,19	155,80	178,06	1,88	2,15	0,4701	0,4842	0,0142	23,82	28	0,62
16	418,19	440,45	178,06	200,32	2,15	2,42	0,4842	0,4922	0,0080	13,41	13	0,01
17	440,45	462,70	200,32	222,58	2,42	2,69	0,4922	0,4964	0,0042	7,02	9	0,43
18	462,70	484,96	222,58	244,84	2,69	2,96	0,4964	0,4984	0,0020	3,42	5	0,50
19	484,96	507,22	244,84	267,10	2,96	3,23	0,4984	0,4994	0,0009	1,55	5	2,38
20	507,22	574,00	267,10	-	3,23	-	0,4994	0,5000	0,0006	1,05	5	3,11
Σ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,1

Прочерки в таблице обозначают плюс бесконечность и минус бесконечность.

Подтвердить подчинение закону нормального распределения поможет критерий χ^2 Пирсона, он основан на сравнении теоретической частоты и фактической и вычисляется по формуле (23):

$$\chi^2_{\text{ф}} = \frac{\sum(f_i - \tilde{f}_i)^2}{f_i}, \quad (23)$$

$$\chi^2_{\text{ф}} = 23,1.$$

Чтобы найти критическое значения критерия $\chi^2_{\text{кр}}$ Пирсона необходимо знать количество степеней свободы, которое определяется по формуле (24):

$$k = l - m - 1, \quad (24)$$

где l – количество интервалов в таблице 11;

m – количество параметров распределения (среднее значение и среднее-квадратичное отклонение).

$$k = 20 - 2 - 1 = 17.$$

Согласно таблице критических точек распределения критерия Пирсона с уровнем значимости 0,025 и 17 степеней свободы $\chi^2_{\text{кр}} = 30,2$.

$\chi^2_{\text{ф}} = 23,1 < \chi^2_{\text{кр}} = 30,2$, следовательно, условие выполняется.

Таким образом, можно сделать вывод, что генеральная совокупность толщин ЛКП подчиняется нормальному закону распределения с вероятностью 97,5%.

Вывод к четвертой главе

В четвертой главе усвоено, что кроме некачественных сварных швов и сплавов, применение для окрашивания лакокрасочных материалов низкого качества, некачественная подготовка поверхности, использование неправильной системы лакокрасочного покрытия, несоблюдение технологических режимов окрашивания и отверждения могут привести к образованию дефектов лакокрасочных покрытий также к дальнейшему увеличению трудозатрат и себестоимости при окрашивании.

Также было проведено обследование лакокрасочного покрытия с измерением толщины, результаты которого на первый взгляд показались неудовлетворительными, поскольку некоторые значения оказались меньше допустимого. Но, проведя математический анализ значений локальной толщины, было определено, что она с вероятностью 97,5% подчиняется закону нормального распределения, так как зависит от ряда случайных факторов и такое явление вполне допустимо. Гипотеза подтверждена.

А для образовавшихся дефектов разработаны мероприятия по их устранению согласно нормативным документам.

Заключение

Результатом данной квалификационной работы является проведение анализа обследований параметров, влияющих на надежность металлических конструкций мостовых сооружений, а именно:

- В результате контроля качества сварных соединений на 28 блоках пролетного строения 22-23 были выявлены основные дефекты в данных конструкциях - непровары, трещины и поры, требующие устранения, поскольку по приведенному расчету дефектности они снижают несущую способность шва до 80%.
- При испытании на адгезию 10 блоков пролетного строения 21-22 было выявлено, что сила отрыва превышает минимальный порог значения и при этом лакокрасочное покрытие не было повреждено. Это показывает достаточную адгезию между грунтовкой и основным металлом, а также обеспечивает надежность сцепления при окрашивании следующими слоями и при дальнейшей эксплуатации.
- Приведены характеристики для исследуемого объекта, учитываемые при выборе лакокрасочной системы, а также мероприятия подготовки поверхности перед окрашиванием. В результате обследования 28 блоков пролета 22-23 были выявлены дефекты защитного слоя, измерена толщина, составлены мероприятия по устранению несоответствий.
- Итог математического анализа выборки локальной толщины лакокрасочного покрытия заключается в подтверждении гипотезы о том, что генеральная совокупность подчиняется закону нормального распределения с обеспеченностью 0,975.

Благодаря построенным графикам данное исследование дает возможность в прогнозировании получения определенного значения толщины ЛКП в конкретном диапазоне, а также дает понимания, что отклонения, выявленные в обследовании, несут нормальный характер.

Таким образом, результаты обследования позволили получить информацию о состоянии объекта, что в свою очередь позволило составить своевременные профилактические мероприятия по восстановлению участков, которые повышают дальнейшую надежность металлических конструкций мостовых сооружений.

Поскольку в работе изложены теоретические сведения о методах визуального и измерительного контроля, его инструментах, типах сварных соединений и его элементах, какие бывают типы кромок, усиления шва, структура металла и деформации при сварке, то данная магистерская диссертация может быть использована для усовершенствования методов визуального и измерительного контроля с применением математических обработок результатов, а также для обучения новых специалистов в сфере контроля качества.

Список используемой литературы и используемых источников

1. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. [Электронный ресурс]: Утвержден постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 28.07.76 № 1826 дата введения установлена 01.07.77. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004932> (дата обращения: 01.11.2023).
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. [Электронный ресурс]: Утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 29.12.69 № 1394. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320> (дата обращения: 06.08.2023).
3. ГОСТ 18188-2020. Растворители марок 645, 646, 647, 648 для лакокрасочных материалов. Технические условия. [Электронный ресурс]: Утвержден приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 января 2021 г. № 23-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177723> (дата обращения: 06.08.2023).
4. ГОСТ 23118-2012. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия. [Электронный ресурс]: Утвержден приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. № 1850-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097390> (дата обращения: 05.08.2023).
5. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. [Электронный ресурс]: Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 февраля 1982 г. № 730 срок действия установлен с 1 января 1983 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008348> (дата обращения: 13.11.2022).

6. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. [Электронный ресурс]: Утвержден постановлением государственного комитета стандартов совета министров СССР от 23.04.73 № 995 дата введения установлена 01.01.75. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003160> (дата обращения: 20.11.2023).

7. ГОСТ 3134-78. Уайт-спирит. Технические условия. [Электронный ресурс]: Утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета стандартов совета министров СССР от 29.03.78 № 856. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003654> (дата обращения: 20.11.2023).

8. ГОСТ 34667.1-2020 (ISO 12944-1:2017). Материалы лакокрасочные. Защита стальных конструкций от коррозии при помощи лакокрасочных систем. Часть 1. Общие положения. [Электронный ресурс]: Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2020 г. № 775-ст межгосударственный стандарт гост 34667.1-2020 (ISO 12944-1:2017) введен в действие с 1 марта 2022 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566277836> (дата обращения: 21.11.2023).

9. ГОСТ 34667.2-2020 (ISO 12944-2:2017). Материалы лакокрасочные. Защита стальных конструкций от коррозии при помощи лакокрасочных систем. Часть 2. Классификация условий окружающей среды. [Электронный ресурс]: Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2020 г. № 776-ст межгосударственный стандарт гост 34667.2-2020 (ISO 12944-2:2017) введен в действие в качестве национального стандарта российской федерации с 1 марта 2022 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566393982> (дата обращения: 21.11.2023).

10. ГОСТ 34667.5-2021. Материалы лакокрасочные. Защита стальных конструкций от коррозии при помощи лакокрасочных систем. Часть 5. Защитные лакокрасочные системы. [Электронный ресурс]: Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 октября 2021 г. № 1365-ст межгосударственный стандарт гост 34667.5-2021

(ISO 12944-5:2019) введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2022 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181408> (дата обращения: 21.11.2023).

11. ГОСТ 57351-2016. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия. [Электронный ресурс]: Утвержден и введен в действие приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2016 г. N 2021-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/doc> (дата обращения: 26.11.2023).

12. ГОСТ 9.010-80. Единая система защиты от коррозии и старения. Сжатый воздух для распыления лакокрасочных материалов. Технические требования и методы контроля. [Электронный ресурс]: Введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 19 марта 1980 г. № 1220. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200014780> (дата обращения: 26.11.2023).

13. ГОСТ 9.032-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения. [Электронный ресурс]: Утвержден постановлением государственного комитета стандартов совета министров СССР от 3 сентября 1974 г. № 2089 дата введения установлена 01.07.75. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012970> (дата обращения: 25.11.2023).

14. ГОСТ 9.104-2018. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации. [Электронный ресурс]: Введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2019 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160588> (дата обращения: 25.11.2023).

15. ГОСТ 9.402-2004. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. [Электронный ресурс]: Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июня 2005 г. № 149-ст межгосударственный стандарт введен в действие в качестве национального

стандарта российской федерации с 1 января 2006 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040460> (дата обращения: 25.11.2023).

16. ГОСТ Р 55374-2012. Прокат из стали конструкционной легированной для мостостроения. Общие технические условия. [Электронный ресурс]: Утвержден и введен в действие приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200098578> (дата обращения: 10.09.2023).

17. ГОСТ Р ИСО 5817-2021. Сварка. Сварные соединения из стали, никеля, титана и их сплавов, полученные сваркой плавлением (исключая лучевые способы сварки). Уровни качества. [Электронный ресурс]: Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 июня 2021 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179985> (дата обращения: 27.10.2023).

18. ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014. Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Визуальная оценка чистоты поверхности. Часть 1. Степень окисления и степени подготовки непокрытой стальной поверхности и стальной поверхности после полного удаления прежних покрытий. [Электронный ресурс]: Утвержден и введен в действие приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 июля 2014 г. № 697-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111625> (дата обращения: 07.03.2024).

19. Калиниченко Н.П., Калиниченко А.Н. Визуальный и измерительный контроль. М. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. 300 с.

20. Лащенко М. Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений // Стройиздат, 1969. 184 с.

21. Мальков О.В., Литвиненко А.В. Измерение параметров шероховатости поверхности детали. М. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. 22 с.

22. Мельников И.В. Жестяницкие работы. Фальцовка, отбортовка, посадка и выколотка металла. М. Издательство: Мельников И.В, 2013. 25 с.
23. Овчинников В.В. Контроль качества сварных соединений. М. Издательский центр «Академия», 2016. 208 с.
24. Прохоров Н.Н. Неразрушающий контроль сварных соединений в машиностроении. М. Издательский центр: «ЮРАЙТ», 2018. 301 с.
25. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 11.06.03, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 20.06.03 г. Введена в действие приказом Госгортехнадзора России от 17.07.03.
26. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Утвержден приказом министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства российской федерации от 28 ноября 2018 г. № 763/пр и введен в действие с 29 мая 2019 г.
27. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Утвержден приказом министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства российской федерации (Минстрой России) от 27 февраля 2017 г. № 127/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г.
28. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы утвержден приказом министерства регионального развития российской федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 822 и введен в действие с 20 мая 2011 г.
29. СП 46.13330.2012. Мосты и трубы утвержден приказом министерства регионального развития российской федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 635 и введен в действие с 01 января 2013 г.
30. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий утвержден приказом министерства регионального развития российской федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 265 и введен в действие с 1 июля 2013 г.
31. СТО-01393674-007-2022. Защита металлических конструкций мостов от коррозии методом окрашивания. Утвержден и введен в действие

«центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства» (АО ЦНИИТС) 23.05.2022г.

32. ТУ 2381-095-12288779-2013. Мс-01 моющее средство.

33. Усольцева А. Б. Шероховатость и волнистость поверхности // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярск [Электронный ресурс]: Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section047.html> (дата обращения 15.10.2023).

34. Черняев А. И. Оценка надежности и долговечности металлоконструкций// Молодой ученый, 2013. 225-228 с.

35. Язневич А. М., Василевич Ю. В., Якимович А. М., Неумержицкая Е. Ю., Кардович Н. Б. Визуально-оптический контроль качества изделий. М. Минск: БНТУ, 2013. 47 с.

36. ISO 11124-1:2018. Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Технические условия на металлические абразивные материалы для струйной очистки. Часть 1. Общее введение и классификация. Дата опубликования 23.08.2018.

37. ISO 11126-1:2018. Подготовка стальной поверхности перед нанесением красок и относящихся к ним продуктов. Технические требования к неметаллическим абразивам для струйной очистки. Часть 1. Общее введение и классификация. Дата введения в действие: 24.08.2018.

38. ISO 16276-1. Материалы лакокрасочные. Защита стальных конструкций от коррозии при помощи лакокрасочных систем. Оценка адгезии/когезии покрытия (прочность при отрыве) и критерии приемки. Часть 1. Метод отрыва.

39. ISO 19840:2004. Лаки и краски. Противокоррозионная защита стальных конструкций защитными окрасочными системами. Измерение толщины сухой плёнки на шероховатой поверхности и критерии приёмки.

40. ISO 4628-1:2016. Материалы лакокрасочные. Оценка степени разрушения покрытий. Обозначение количества и размера дефектов и интенсивности однородных изменений внешнего вида. Часть 1. Общее введение и система обозначения.

41. ISO 8501-2-2013. Подготовка стальных поверхностей под окраску и другие виды покрытий. Визуальная оценка чистоты поверхности. Часть 2. Степени подготовки ранее покрытой стальной поверхности после локального удаления прежних покрытий.

42. ISO 8501-3:2006. Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Часть 3. Степень подготовки сварных швов, кромок и других участков с дефектами поверхности. Дата введения в действие: 03.03.2006.

43. ISO 8502-3:2017. Подготовка стальных поверхностей перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Испытания для оценки чистоты поверхности. Часть 3. Оценка запыленности стальных поверхностей, подготовленных к окрашиванию (метод липкой ленты). Дата введения в действие: 10.01.2017.

44. ISO 8502-9:2020. Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Испытания для оценки чистоты поверхности. Часть 9. Полевой метод кондуктометрического определения водорастворимых солей.

45. ISO 8503-1. Лаки и краски. Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. Характеристики шероховатости поверхности стальной основы после струйной очистки. Часть 1. Технические условия и определения эталонов сравнения профилей поверхности для оценки поверхностей после абразивоструйной обработки.

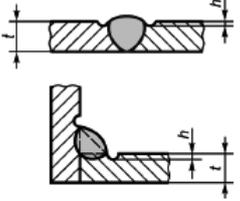
46. Scheer, Joachim, Failed bridges: case studies, causes and consequences, Berlin: Ernst & Sohn, 2010, 321 p.
47. Azmat Hussain and Sumaira Jan, Bridges Failures in Extreme Flood Events by Taking a Case Study. International Journal of Civil Engineering and Technology, 7(5), 2016, pp. 222-231.
48. Ghali A., and Tadros, G. Bridge progressive collapse vulnerability // Journal of Structural Engineering, 1997. 123(2), p. 227-231.
49. Starossek U. (1999). Progressive collapse study of a multi-span bridge // IABSE, Structural Engineering International. 1999. 9(2), p. 121-125.
50. Starossek U. Progressive Collapse of Bridges-Aspects of Analysis and Design // Invited Lecture, International Symposium on Sea-Crossing Long-Span Bridges, Mokpo, Korea, Feb. 15-17, 2006. p. 1-22.

Приложение А

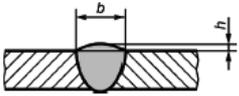
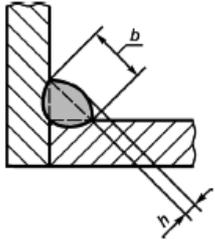
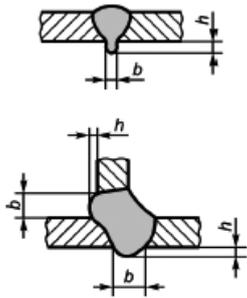
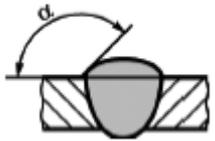
Таблица А1 – Ограничения по дефектам

Вид дефекта	Примечания	t , мм	Ограничения по дефектам для уровней качества		
			D	C	B
Трещина	-	0,5	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
Кратерная трещина	-	0,5	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
Поверхностная пора	Максимальный размер одиночной поры:	0,5-3	-	Не допускаются	Не допускаются
	«- для стыковых швов;		$d_{0,3 s}$		
	- угловых швов» [17]		$d_{0,3 a}$		
	Максимальный размер одиночной поры:	>3	-	-	Не допускаются
	«- для стыковых швов;		$d_{0,3 s}$, но не более 3 мм;	$d_{0,2 s}$, но не более 2 мм;	
	- угловых швов» [17]		$d_{0,3 a}$, но не более 3 мм	$d_{0,2 a}$, но не более 2 мм	
Незаваренный кратер		0,5-3	$h_{0,2 t}$;	Не допускаются	Не допускаются
		>3	$h_{0,2 t}$, но не более 2 мм	$h_{0,1 t}$, но не более 1 мм	Не допускаются
Несплавление	-	0,5	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
Микроскопическое несплавление	Определяется только при микроскопическом исследовании	0,5	Допускаются	Допускаются	Не допускаются

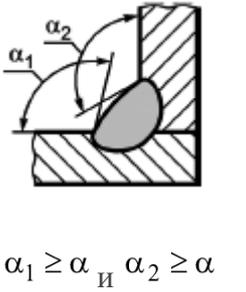
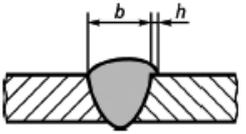
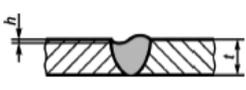
Продолжение таблицы А1

Непровар в корне сварного шва	Только для одной стороны стыкового сварного шва	0,5	Короткие дефекты: $h \leq 0,2 t$, но не более 2 мм	Не допускаются	Не допускаются
Непрерывный подрез	Требуется плавный переход. Не рассматривается как систематический дефект	0,5-3	Короткие дефекты: $h \leq 0,2 t$;	Короткие дефекты: $h \leq 0,1 t$;	Не допускаются
Прерывистый подрез		>3	$h \leq 0,2 t$, но не более 1 мм	$h \leq 0,1 t$, но не более 0,5 мм	$h \leq 0,05 t$, но не более 0,5 мм
«Усадка в корне шва» [17]	«Требуется плавный переход» [17] 	0,5-3	«Короткие дефекты: $h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,1 t$ »	«Короткие дефекты: $h \leq 0,1 t$ »	«Не допускаются»
		>3	Короткие дефекты: $h \leq 0,2 t$, но не более 2 мм» [17]	Короткие дефекты: $h \leq 0,1 t$, но не более 1 мм» [17]	Короткие дефекты: $h \leq 0,05 t$, но не более 0,5 мм» [17]

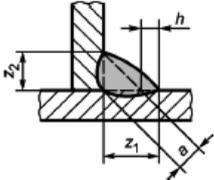
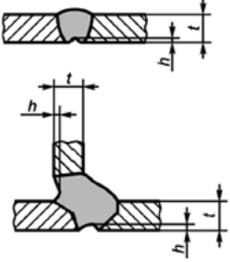
Продолжение таблицы А1

«Превышение выпуклости (стыковой шов)» [17]	«Требуется плавный переход» [17] 	0,5	$h1$ мм + $0,25 b$, но не более 10 мм	$h1$ мм + $0,15 b$, но не более 7 мм	$h1$ мм + $0,1 b$, но не более 5 мм
Превышение выпуклости (угловой шов)		0,5	$h1$ мм + $0,25 b$, но не более 5 мм	$h1$ мм + $0,15 b$, но не более 4 мм	$h1$ мм + $0,1 b$, но не более 3 мм
Превышение проплава		0,5-3	$h1$ мм + $0,6 b$;	$h1$ мм + $0,3 b$;	$h1$ мм + $0,1 b$;
		>3	$h1$ мм + $1,0 b$, но не более 5 мм	$h1$ мм + $0,6 b$, но не более 4 мм	$h1$ мм + $0,2 b$, но не более 3 мм
«Неправильный профиль сварного шва» [17]	«Стыковые швы» [17] 	0,5	90°	110°	150°

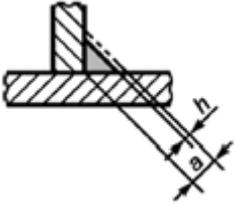
Продолжение таблицы А1

<p>«Неправильный профиль сварного шва» [17]</p>	<p>Угловые швы</p>  <p>$\alpha_1 \geq \alpha$ и $\alpha_2 \geq \alpha$</p>	0,5	90°	100°	110°
<p>«Натек» [17]</p>		0,5	$h0,2 b$	«Не допускаются» [17]	«Не допускаются» [17]
<p>«Протек» [17]</p>	<p>«Требуется плавный переход» [17]</p> 	0,5-3	«Короткие дефекты: $h0,25 t$ » [17]	«Короткие дефекты: $h0,1 t$ » [17]	«Не допускаются»
<p>«Незаполненная разделка кромок» [17]</p>	-	>3	«Короткие дефекты: $h0,25 t$, но не более 2 мм» [17]	«Короткие дефекты: $h0,1 t$, но не более 1 мм» [17]	Короткие дефекты: $h0,05 t$, но не более 0,5 мм» [17]
<p>«Прожег» [17]</p>	-	0,5	«Не допускаются» [17]	«Не допускаются» [17]	«Не допускаются» [17]

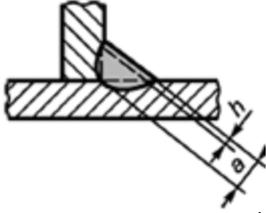
Продолжение таблицы А1

<p>Асимметрия углового шва (существенное неравенство катетов шва)</p>	<p>Для случаев, когда асимметрия углового шва не оговорена</p> 	<p>0,5</p>	<p>«$h \geq 2 \text{ мм} + 0,2 a$» [17]</p>	<p>«$h \geq 2 \text{ мм} + 0,15 a$» [17]</p>	<p>«$h \geq 1,5 \text{ мм} + 0,15 a$» [17]</p>
<p>«Вогнутость корня шва» [17]</p>	<p>«Требуется плавный переход» [17]</p> 	<p>0,5-3</p>	<p>«$h \geq 0,2 \text{ мм} + 0,1 t$» [17]</p>	<p>«Короткие дефекты: $h \geq 0,1 t$» [17]</p>	<p>«Не допускаются » [17]</p>
		<p>>3</p>	<p>«Короткие дефекты: $h \geq 0,2 t$, но не более 2 мм» [17]</p>	<p>«Короткие дефекты: $h \geq 0,1 t$, но не более 1 мм» [17]</p>	<p>«Короткие дефекты: $h \geq 0,05 t$, но не более 0,5 мм» [17]</p>

Продолжение таблицы А1

«Корневая пористость» [17]	«Пористая структура в корне сварного шва из-за выделения газа из металла шва в момент кристаллизации (например, недостаточная газовая защита нижней части шва)» [17]	0,5	«Допускаются локально» [17]	«Не допускаются» [17]	«Не допускаются» [17]
Плохое повторное возбуждение дуги	-	0,5	Допускаются. Ограничения зависят от типа дефекта, возникшего из-за плохого повторного возбуждения дуги	Не допускаются	Не допускаются
Занижение толщины углового шва	Не применимо к процессам, обеспечивающим большую глубину проплавления	0,5-3	Короткие дефекты: $h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,1 a$	«Короткие дефекты: $h \leq 0,2 \text{ мм}$ » [17]	Не допускаются
		>3	Короткие дефекты: $h \leq 0,3 \text{ мм} + 0,1 a$, но не более 2 мм	Короткие дефекты: $h \leq 0,3 \text{ мм} + 0,1 a$, но не более 1 мм	Не допускаются

Продолжение таблицы А1

<p>«Превышение толщины углового шва» [17]</p>	<p>«Фактическая толщина углового шва слишком велика» [17]</p> 	<p>0,5</p>	<p>«Допускаются» [17]</p>	<p>«$h1$ мм + $0,2 a$, но не более 4 мм» [17]</p>	<p>«$h1$ мм + $0,15 a$, но не более 3 мм» [17]</p>
<p>Ожог дугой</p>	<p>-</p>	<p>0,5</p>	<p>Допускаются, если это не влияет на свойства основного металла</p>	<p>Не допускаются</p>	<p>Не допускаются</p>
<p>Брызги металла</p>	<p>-</p>	<p>0,5</p>	<p>Допустимость зависит от применения, например материал, защита от коррозии</p>	<p>Допустимость зависит от применения, например материал, защита от коррозии</p>	<p>Допустимость зависит от применения, например материал, защита от коррозии</p>
<p>Цвета побежалости (видимая оксидная пленка)</p>	<p>-</p>	<p>0,5</p>	<p>Допустимость зависит от применения, например материал, защита от коррозии</p>	<p>Допустимость зависит от применения, например материал, защита от коррозии</p>	<p>Допустимость зависит от применения, например материал, защита от коррозии</p>

Приложение Б

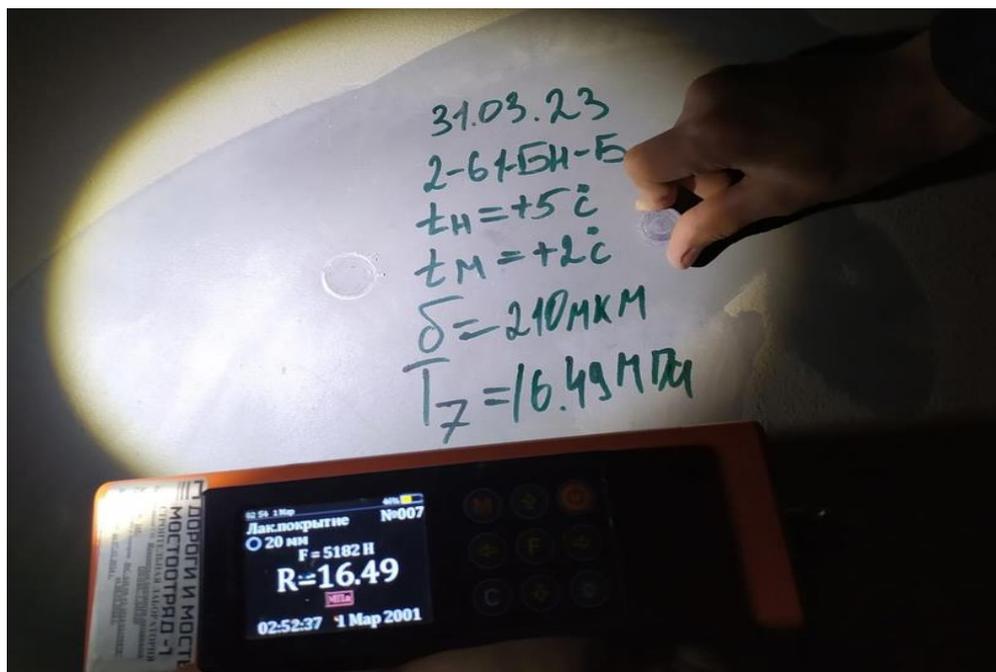


Рисунок Б1 – Испытание на адгезию блока 2-61-БН-Б

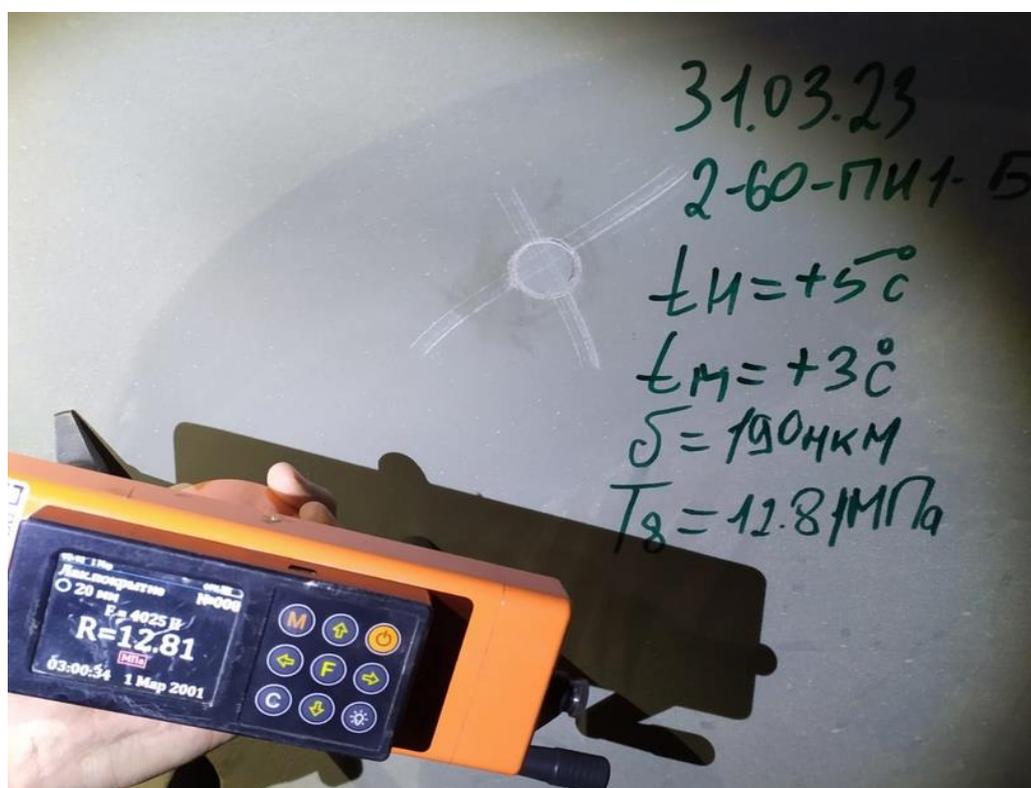


Рисунок Б2 – Испытание на адгезию плиты 2-60-ПН1-Б

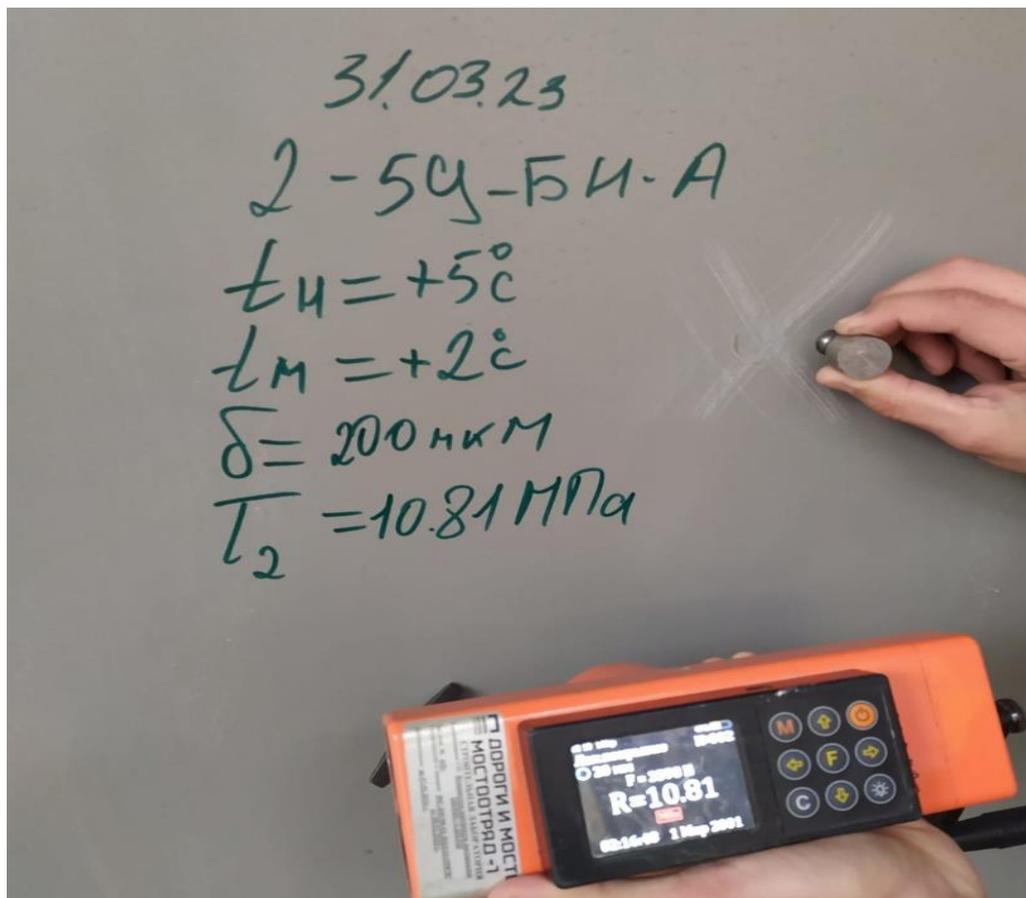


Рисунок Б3 – Испытание на адгезию блока 2-59-БН-А

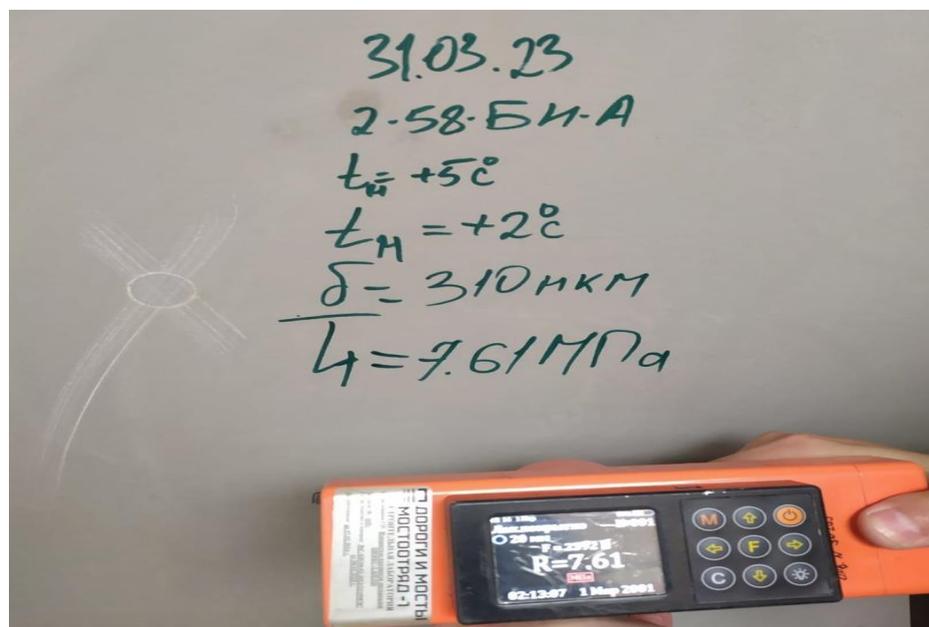


Рисунок Б4 – Испытание на адгезию блока 2-58-БН-А

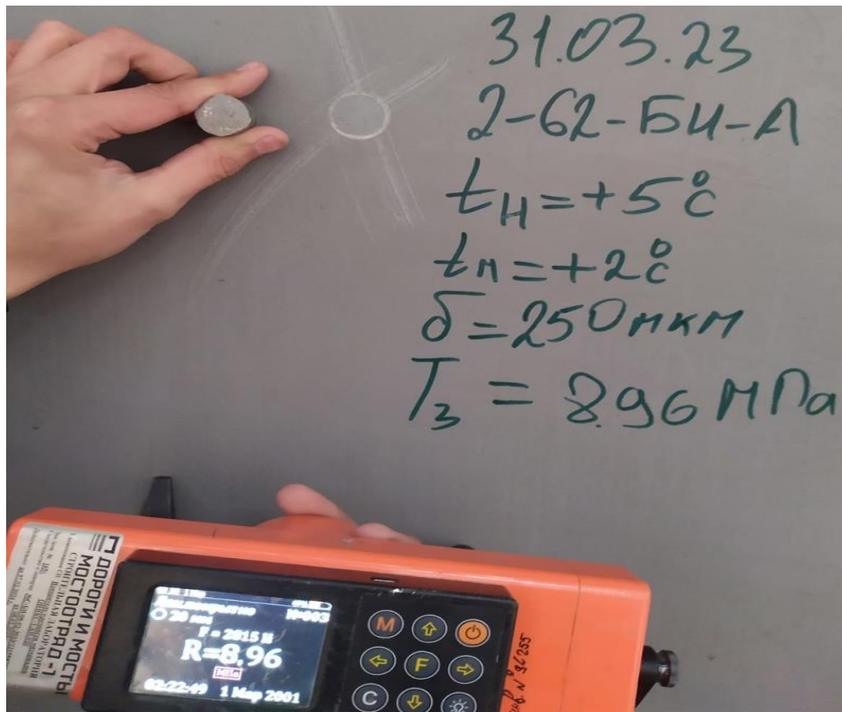


Рисунок Б5 – Испытание на адгезию блока 2-62-БН-Б

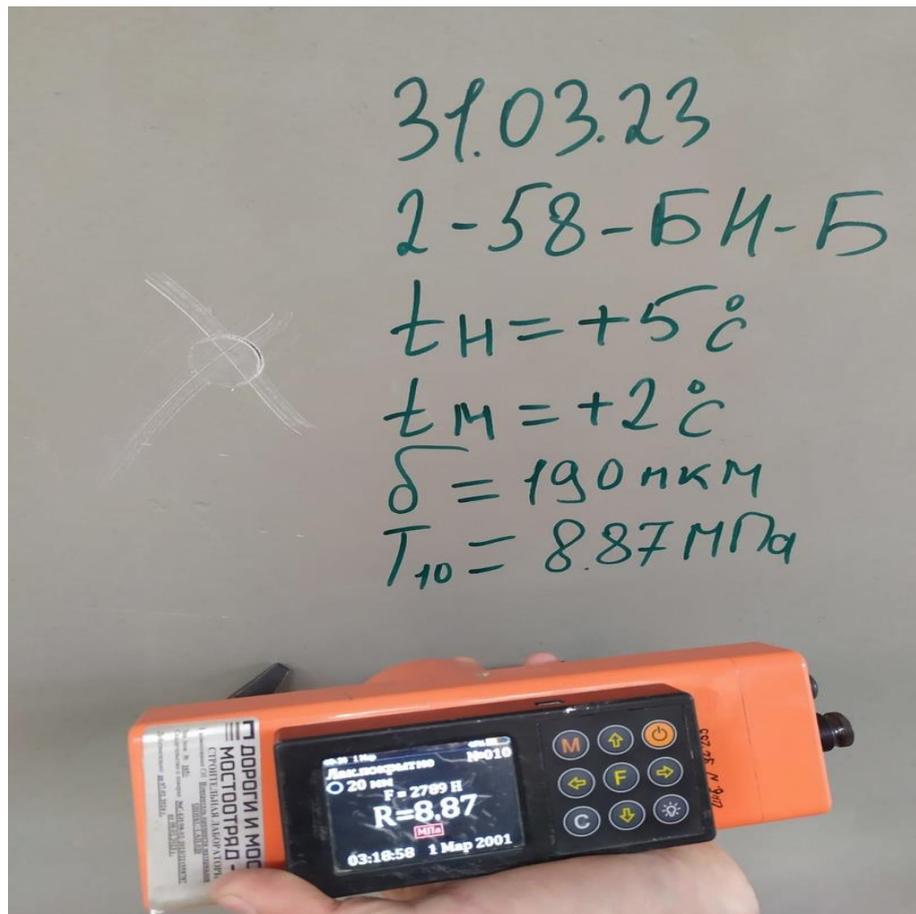


Рисунок Б6 – Испытание на адгезию блока 2-58-БН-Б

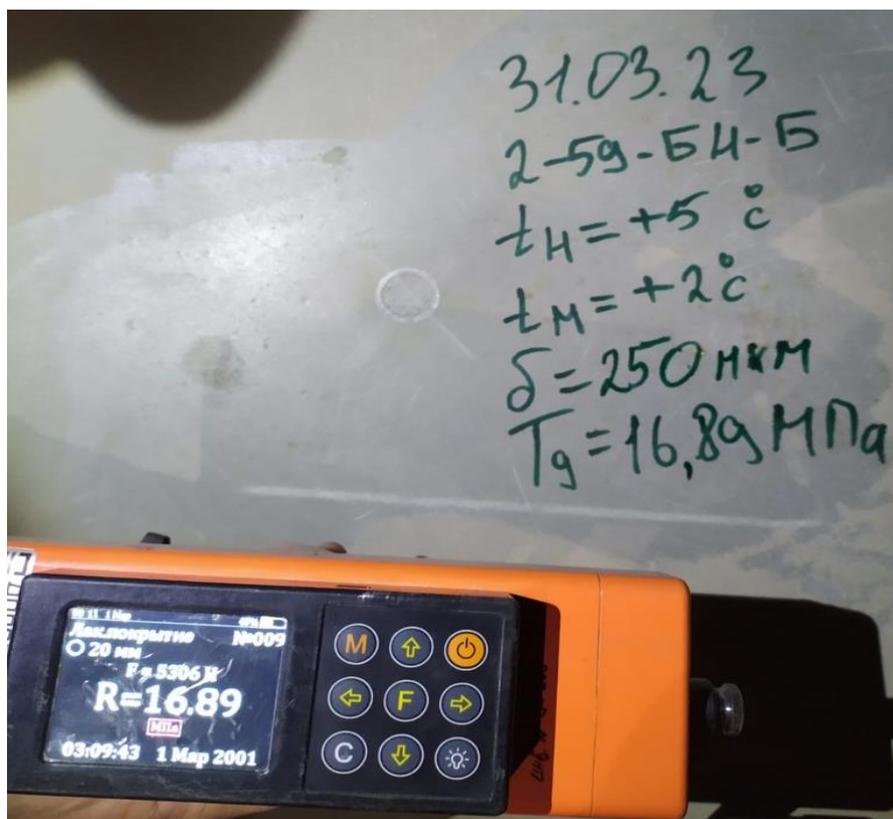


Рисунок Б7 – Испытание на адгезию блока 2-59-БН-Б

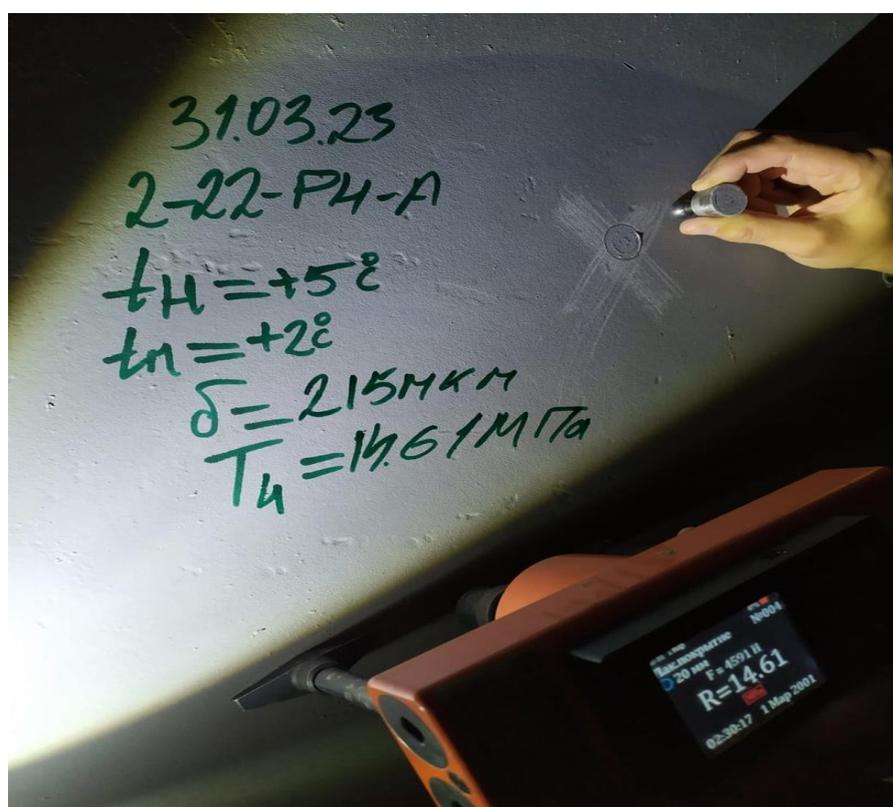


Рисунок Б8 – Испытание на адгезию ригеля 2-22-РН-А

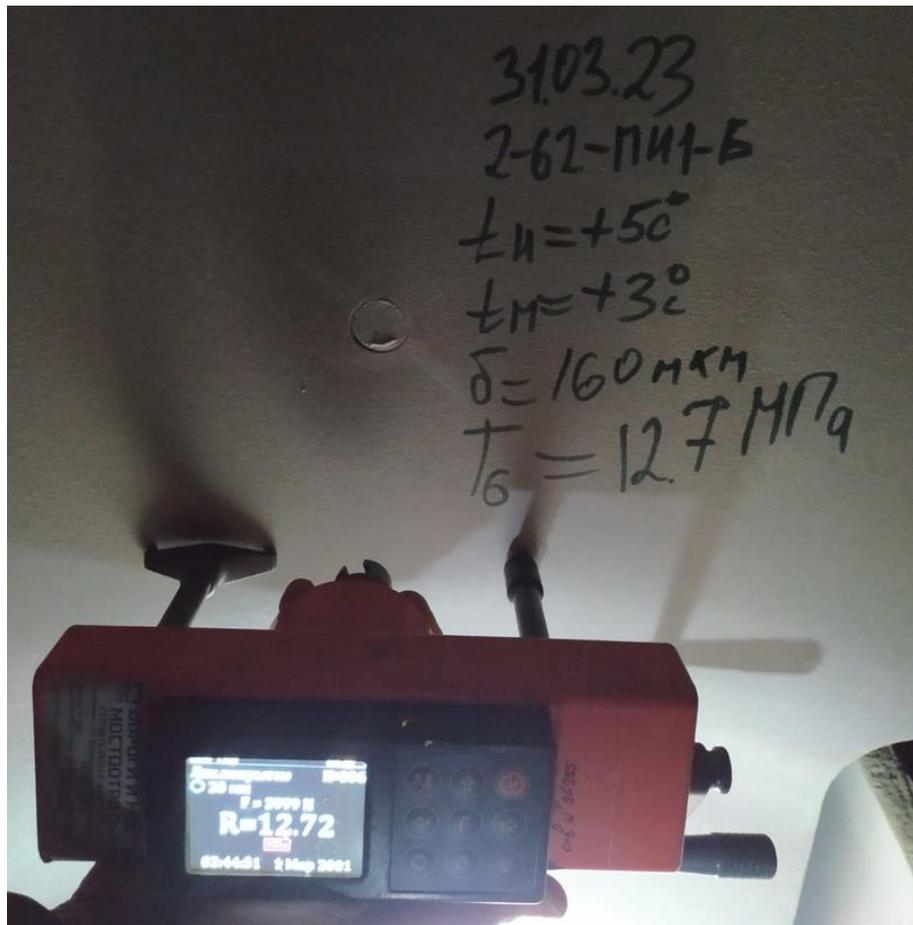


Рисунок Б9 – Испытание на адгезию плиты 2-62-ПН1-Б

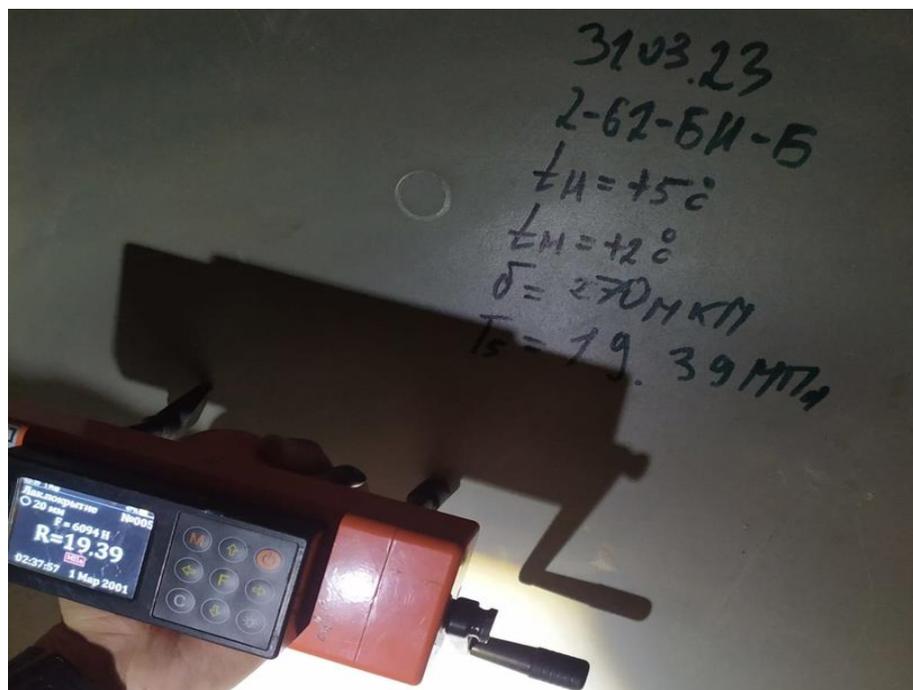
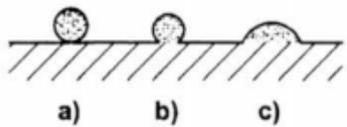
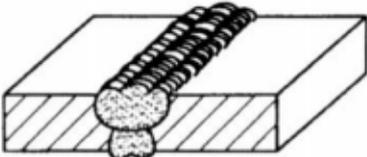
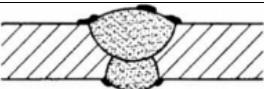
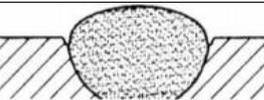
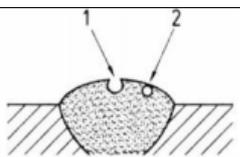
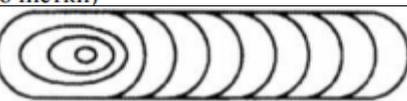


Рисунок Б10 – Испытание на адгезию блока 2-62-БН-Б

Таблица Б1 – Дефекты и степени подготовки

Дефект		Степень обработки	
Описание	Иллюстрация		
Сварка		Заводские сварные швы Р2	Монтажные сварные швы Р3
Сварочные брызги		На поверхности не должно быть приваренных брызг металла и незначительных налипаний [a) и b)]. Брызги металла при сварке, [c)], могут остаться	На поверхности не должно быть никаких сварочных брызг
Чешуйчатость / профиль сварного шва		Поверхность должна быть обработана (например, зачищена) для удаления неправильного или с острыми кромками профиля	Поверхность должна быть полностью обработана, то есть быть ровной
Сварочный шлак		На поверхности не должно быть сварочного шлака	На поверхности не должно быть сварочного шлака
Подрезы		На поверхности не должно быть острых или глубоких подрезов	На поверхности не должно быть подрезов
Поры в сварных швах	 1 – видимые поры 2 – невидимые поры (могут открыться после абразивоструйной очистки)	Поверхность должна быть достаточно открыта для проникновения краски или обработана	На поверхности не должно быть видимых пор
Концевые кратеры		Концевые кратеры не должны иметь острых кромок	На поверхности не должно быть видимых концевых кратеров

Продолжение таблицы Б1

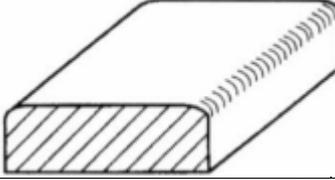
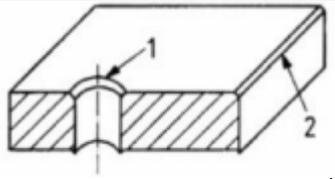
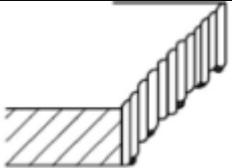
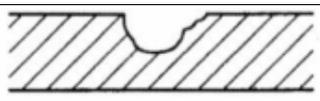
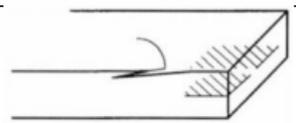
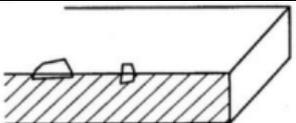
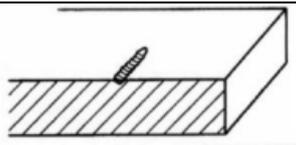
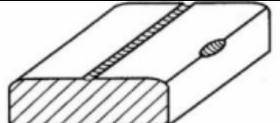
Кромки		Степень обработки Р3	
Кромки на катаном металле		Кромки должны быть скруглены радиусом не менее 2 мм	
Кромки, полученные пробивкой, штамповкой, резанием или сверлением		Кромки должны быть скруглены радиусом не менее 2 мм	
Кромки после термической резки		Следы резки должны быть удалены. Кромки должны быть скруглены радиусом не менее 2 мм	
Поверхности в целом		Подготовка на ЗМК Р2	Подготовка на строительной площадке Р3
Впадины и кратеры		Впадины и кратеры должны быть достаточно раскрыты для заполнения краской	Поверхность не должна иметь впадин и кратеров
Отслаивание		На поверхности не должно быть видимых отслоений	На поверхности не должно быть видимых отслоений
Прокатные плены / закаты / расслоение		На поверхности не должно быть видимых прокатных пленов, закатов, расслоений	На поверхности не должно быть видимых прокатных пленов, закатов, расслоений
Вкатанные включения		На поверхности не должно быть вкатанных включений	На поверхности не должно быть вкатанных включений
Канавки и вмятины, образованные механическим способом		Радиус канавок и вмятин должен быть не менее 2 мм	На поверхности не должно быть канавок, а радиус вмятин должен быть более 4 мм
Выбоины и следы от валков		Выбоины и следы от валков должны быть гладкими	На поверхности не должно быть выбоин и следов от валков

Таблица Б2 – Результаты измерения ТСП на наклонных стенках блоков

Конструкция	2-63-БВ-Б			2-63-БВ-А			2-63-БН-А			2-63-БН-Б		
	верх	середина	низ									
Измерения	103,0	137,0	164,0	186,0	206,0	221,0	241,0	259,0	276,0	301,0	329,0	378,0
	104,0	138,0	165,0	188,0	208,0	226,0	242,0	260,0	278,0	303,0	332,0	382,0
	105,0	139,0	166,0	188,0	209,0	226,0	243,0	261,0	280,0	304,0	335,0	387,0
	89,0	127,0	159,0	183,0	202,0	218,0	237,0	254,0	273,0	295,0	322,0	363,0
	93,4	132,0	161,0	183,0	204,0	219,0	239,0	256,0	274,0	299,0	325,0	370,0
	112,0	152,0	179,0	198,0	216,0	232,0	250,0	268,0	290,0	315,0	350,0	438,0
	125,0	155,0	181,0	201,0	217,0	234,0	252,0	269,0	293,0	319,0	354,0	489,0
	125,0	155,0	181,0	200,0	217,0	234,0	252,0	269,0	291,0	318,0	354,0	477,0
	127,0	157,0	182,0	201,0	217,0	236,0	253,0	270,0	294,0	321,0	358,0	565,0
	89,0	128,0	160,0	183,0	203,0	219,0	237,0	254,0	273,0	297,0	323,0	365,0
	101,0	136,0	164,0	186,0	205,0	221,0	240,0	259,0	276,0	301,0	329,0	378,0
	106,0	140,0	169,0	189,0	211,0	227,0	244,0	262,0	282,0	305,0	338,0	394,0
	105,0	139,0	166,0	188,0	209,0	226,0	243,0	261,0	280,0	304,0	335,0	387,0
	96,0	132,0	162,0	184,0	204,0	220,0	239,0	256,0	275,0	299,0	325,0	370,0
	110,0	147,0	175,0	191,0	213,0	229,0	247,0	264,0	285,0	308,0	343,0	410,0
	110,0	147,0	175,0	193,0	213,0	229,0	247,0	264,0	285,0	309,0	344,0	410,0
	100,0	134,0	163,0	184,0	205,0	220,0	240,0	258,0	275,0	299,0	327,0	373,0
	104,0	138,0	165,0	187,0	208,0	225,0	242,0	260,0	278,0	303,0	331,0	382,0
	125,0	155,0	181,0	201,0	217,0	234,0	252,0	269,0	292,0	319,0	354,0	482,0
	85,0	127,0	158,0	182,0	202,0	218,0	236,0	253,0	271,0	294,0	321,0	361,0

Продолжение таблицы Б2

Конструкция	2-64-БВ-Б			2-64-БВ-А			2-64-БН-А			2-64-БН-Б		
	верх	середина	низ									
Измерения	112,0	150,0	178,0	196,0	215,0	231,0	249,0	267,0	287,0	312,0	347,0	418,0
	127,0	158,0	182,0	202,0	217,0	236,0	253,0	270,0	294,0	321,0	360,0	574,0
	112,0	151,0	178,0	197,0	215,0	232,0	249,0	267,0	287,0	314,0	348,0	425,0
	125,0	156,0	181,0	201,0	217,0	235,0	252,0	270,0	293,0	319,0	355,0	490,0
	106,0	140,0	169,0	189,0	211,0	227,0	244,0	262,0	281,0	305,0	337,0	392,0
	105,0	139,0	166,0	188,0	209,0	226,0	243,0	261,0	279,0	304,0	334,0	386,0
	110,0	147,0	175,0	193,0	213,0	229,0	247,0	265,0	285,0	309,0	344,0	410,0
	106,0	141,0	170,0	189,0	212,0	228,0	245,0	263,0	282,0	305,0	339,0	395,0
	100,0	134,0	163,0	185,0	205,0	220,0	240,0	258,0	275,0	299,0	327,0	374,0
	89,0	127,0	159,0	183,0	202,0	218,0	237,0	254,0	272,0	295,0	322,0	363,0
	104,0	139,0	166,0	188,0	209,0	226,0	243,0	261,0	279,0	304,0	334,0	386,0
	110,0	149,0	177,0	194,0	214,0	230,0	248,0	266,0	286,0	310,0	345,0	415,0
	126,0	156,0	182,0	201,0	217,0	235,0	253,0	270,0	293,0	320,0	356,0	527,0
	105,0	140,0	169,0	189,0	211,0	226,0	244,0	262,0	280,0	304,0	337,0	389,0
	104,0	138,0	165,0	188,0	208,0	226,0	243,0	260,0	278,0	303,0	333,0	382,0
	112,0	151,0	178,0	196,0	215,0	232,0	249,0	267,0	287,0	313,0	348,0	425,0
	126,0	156,0	182,0	201,0	217,0	235,0	253,0	270,0	294,0	320,0	357,0	538,0
	125,0	155,0	180,0	200,0	216,0	234,0	251,0	269,0	291,0	318,0	353,0	463,0
	89,0	131,0	161,0	183,0	203,0	219,0	238,0	255,0	274,0	298,0	324,0	367,0
	106,0	140,0	169,0	189,0	211,0	227,0	244,0	262,0	281,0	305,0	338,0	394,0

Продолжение таблицы Б2

Конструкция	2-65-БВ-Б			2-65-БВ-А			2-65-БН-А			2-65-БН-Б		
	верх	середина	низ									
Измерения	110,0	149,0	176,0	194,0	214,0	230,0	248,0	266,0	286,0	310,0	344,0	414,0
	108,0	143,0	172,0	191,0	213,0	229,0	247,0	264,0	284,0	308,0	343,0	408,0
	101,0	136,0	163,0	186,0	205,0	221,0	240,0	259,0	276,0	300,0	329,0	377,0
	108,0	142,0	171,0	191,0	213,0	229,0	247,0	264,0	284,0	307,0	343,0	407,0
	108,0	141,0	171,0	190,0	213,0	229,0	246,0	263,0	284,0	306,0	341,0	404,0
	112,0	152,0	179,0	198,0	215,0	232,0	250,0	268,0	289,0	315,0	350,0	434,0
	108,0	141,0	171,0	190,0	213,0	229,0	246,0	264,0	284,0	307,0	342,0	404,0
	90,1	132,0	161,0	183,0	203,0	219,0	239,0	256,0	274,0	298,0	325,0	368,0
	107,0	141,0	170,0	189,0	212,0	228,0	245,0	263,0	282,0	305,0	340,0	396,0
	100,0	133,0	163,0	184,0	204,0	220,0	239,0	257,0	275,0	299,0	326,0	372,0
	104,0	138,0	165,0	188,0	209,0	226,0	243,0	261,0	278,0	303,0	333,0	386,0
	110,0	149,0	176,0	194,0	214,0	230,0	248,0	265,0	285,0	310,0	344,0	414,0
	107,0	141,0	171,0	190,0	213,0	228,0	246,0	263,0	283,0	306,0	340,0	402,0
	101,0	135,0	163,0	185,0	205,0	221,0	240,0	258,0	275,0	300,0	328,0	375,0
	105,0	140,0	166,0	189,0	210,0	226,0	243,0	262,0	280,0	304,0	335,0	388,0
	89,5	131,0	161,0	183,0	203,0	219,0	238,0	255,0	274,0	298,0	325,0	367,0
	106,0	140,0	169,0	189,0	212,0	227,0	245,0	262,0	282,0	305,0	339,0	394,0
	89,0	127,0	160,0	183,0	202,0	218,0	237,0	254,0	273,0	295,0	322,0	363,0
	89,0	129,0	161,0	183,0	203,0	219,0	238,0	255,0	274,0	298,0	324,0	367,0
	125,0	155,0	181,0	200,0	217,0	234,0	252,0	269,0	292,0	319,0	354,0	478,0

Продолжение таблицы Б2

Конструкция	2-66-БВ-Б			2-66-БВ-А			2-66-БН-А			2-66-БН-Б		
	верх	середина	низ									
Измерения	125,0	155,0	180,0	200,0	216,0	234,0	251,0	269,0	291,0	318,0	353,0	463,0
	124,0	154,0	180,0	200,0	216,0	234,0	251,0	269,0	291,0	317,0	352,0	452,0
	94,6	132,0	162,0	183,0	204,0	219,0	239,0	256,0	275,0	299,0	325,0	370,0
	108,0	141,0	171,0	190,0	213,0	229,0	246,0	264,0	284,0	307,0	342,0	405,0
	84,3	127,0	158,0	182,0	202,0	218,0	236,0	253,0	271,0	294,0	321,0	360,0
	89,0	127,0	159,0	182,0	202,0	218,0	236,0	253,0	272,0	295,0	321,0	362,0
	117,0	154,0	179,0	198,0	216,0	233,0	250,0	269,0	290,0	316,0	351,0	444,0
	105,0	140,0	169,0	189,0	211,0	226,0	244,0	262,0	280,0	304,0	336,0	389,0
	106,0	140,0	169,0	189,0	211,0	227,0	244,0	262,0	281,0	304,0	337,0	389,0
	103,0	138,0	164,0	187,0	208,0	225,0	241,0	260,0	278,0	303,0	331,0	380,0
	109,0	143,0	172,0	191,0	213,0	229,0	247,0	264,0	284,0	308,0	343,0	409,0
	117,0	154,0	179,0	199,0	216,0	233,0	251,0	269,0	290,0	316,0	351,0	446,0
	107,0	141,0	170,0	190,0	213,0	228,0	245,0	263,0	283,0	305,0	340,0	397,0
	112,0	152,0	179,0	198,0	216,0	232,0	250,0	268,0	289,0	315,0	350,0	436,0
	112,0	152,0	178,0	197,0	215,0	232,0	249,0	267,0	289,0	315,0	348,0	430,0
	111,0	150,0	177,0	194,0	215,0	231,0	249,0	267,0	286,0	311,0	346,0	416,0
	106,0	140,0	169,0	189,0	211,0	227,0	244,0	262,0	281,0	305,0	338,0	393,0
	106,0	141,0	170,0	189,0	212,0	228,0	245,0	263,0	282,0	305,0	339,0	395,0
	89,0	129,0	160,0	183,0	203,0	219,0	237,0	255,0	274,0	297,0	323,0	367,0
100,0	133,0	162,0	184,0	204,0	220,0	239,0	257,0	275,0	299,0	326,0	371,0	

Продолжение таблицы Б2

Конструкция	2-67-БВ-Б			2-67-БВ-А			2-67-БН-А			2-67-БН-Б		
	верх	середина	низ									
Измерения	106,0	141,0	170,0	189,0	212,0	228,0	245,0	263,0	282,0	305,0	339,0	395,0
	123,0	154,0	180,0	199,0	216,0	233,0	251,0	269,0	291,0	317,0	352,0	450,0
	89,0	127,0	160,0	183,0	203,0	219,0	237,0	254,0	273,0	296,0	322,0	365,0
	112,0	150,0	178,0	194,0	215,0	231,0	249,0	267,0	286,0	312,0	347,0	416,0
	112,0	150,0	178,0	195,0	215,0	231,0	249,0	267,0	287,0	312,0	347,0	417,0
	111,0	149,0	177,0	194,0	214,0	230,0	248,0	266,0	286,0	311,0	346,0	415,0
	103,0	138,0	164,0	187,0	207,0	225,0	241,0	260,0	278,0	302,0	331,0	380,0
	116,0	153,0	179,0	198,0	216,0	233,0	250,0	268,0	290,0	316,0	350,0	440,0
	89,0	127,0	160,0	183,0	202,0	218,0	237,0	254,0	273,0	296,0	322,0	363,0
	101,0	135,0	163,0	185,0	205,0	221,0	240,0	258,0	275,0	300,0	328,0	376,0
	112,0	151,0	178,0	197,0	215,0	232,0	249,0	267,0	287,0	313,0	348,0	425,0
	104,0	139,0	165,0	188,0	209,0	226,0	243,0	261,0	279,0	303,0	333,0	386,0
	103,0	138,0	164,0	187,0	207,0	225,0	241,0	259,0	277,0	302,0	330,0	380,0
	100,0	134,0	163,0	184,0	204,0	220,0	240,0	258,0	275,0	299,0	327,0	373,0
	89,0	129,0	160,0	183,0	203,0	219,0	237,0	255,0	274,0	297,0	323,0	366,0
	103,0	138,0	164,0	187,0	207,0	225,0	241,0	260,0	277,0	302,0	331,0	380,0
	101,0	135,0	163,0	185,0	205,0	221,0	240,0	258,0	276,0	300,0	329,0	377,0
	112,0	152,0	178,0	197,0	215,0	232,0	249,0	267,0	289,0	315,0	348,0	431,0
107,0	141,0	171,0	190,0	213,0	228,0	246,0	263,0	283,0	305,0	340,0	402,0	
125,0	155,0	180,0	200,0	216,0	234,0	251,0	269,0	291,0	318,0	352,0	460,0	

Продолжение таблицы Б2

Конструкция	2-68-БВ-Б			2-68-БВ-А			2-68-БН-А			2-68-БН-Б		
	верх	середина	низ									
Измерения	106,0	140,0	169,0	189,0	211,0	227,0	244,0	262,0	281,0	304,0	337,0	390,0
	89,0	127,0	159,0	182,0	202,0	218,0	236,0	253,0	272,0	294,0	321,0	361,0
	100,0	134,0	163,0	184,0	204,0	220,0	239,0	257,0	275,0	299,0	326,0	372,0
	105,0	140,0	166,0	189,0	210,0	226,0	244,0	262,0	280,0	304,0	336,0	389,0
	117,0	153,0	179,0	198,0	216,0	233,0	250,0	268,0	290,0	316,0	351,0	443,0
	110,0	149,0	176,0	194,0	214,0	230,0	247,0	265,0	285,0	310,0	344,0	413,0
	103,0	137,0	164,0	186,0	207,0	225,0	241,0	259,0	276,0	301,0	330,0	379,0
	90,0	132,0	161,0	183,0	203,0	219,0	238,0	256,0	274,0	298,0	325,0	368,0
	119,0	154,0	180,0	199,0	216,0	233,0	251,0	269,0	291,0	317,0	352,0	448,0
	103,0	138,0	164,0	187,0	207,0	225,0	241,0	259,0	277,0	302,0	331,0	380,0
	110,0	148,0	176,0	194,0	214,0	229,0	247,0	265,0	285,0	309,0	344,0	412,0
	104,0	138,0	164,0	187,0	208,0	225,0	242,0	260,0	278,0	303,0	331,0	380,0
	100,0	133,0	162,0	184,0	204,0	220,0	239,0	257,0	275,0	299,0	326,0	371,0
	89,0	127,0	159,0	182,0	202,0	218,0	236,0	253,0	272,0	295,0	321,0	362,0
	126,0	156,0	182,0	201,0	217,0	235,0	253,0	270,0	293,0	320,0	355,0	498,0
	118,0	154,0	180,0	199,0	216,0	233,0	251,0	269,0	290,0	316,0	351,0	448,0
	89,0	127,0	160,0	183,0	203,0	219,0	237,0	254,0	273,0	296,0	322,0	364,0
	101,0	135,0	163,0	185,0	205,0	221,0	240,0	258,0	275,0	300,0	327,0	375,0
	89,0	130,0	161,0	183,0	203,0	219,0	238,0	255,0	274,0	298,0	324,0	367,0
	125,0	154,0	180,0	200,0	216,0	234,0	251,0	269,0	291,0	317,0	352,0	452,0

Продолжение таблицы Б2

Конструкция	2-69-БВ-Б			2-69-БВ-А			2-69-БН-А			2-69-БН-Б		
	верх	середина	низ									
Измерения	86,9	127,0	158,0	182,0	202,0	218,0	236,0	253,0	271,0	294,0	321,0	361,0
	127,0	157,0	182,0	201,0	217,0	235,0	253,0	270,0	294,0	320,0	358,0	539,0
	108,0	142,0	171,0	191,0	213,0	229,0	247,0	264,0	284,0	307,0	342,0	405,0
	112,0	150,0	178,0	196,0	215,0	231,0	249,0	267,0	287,0	312,0	347,0	419,0
	110,0	148,0	176,0	194,0	214,0	229,0	247,0	265,0	285,0	309,0	344,0	411,0
	105,0	139,0	166,0	188,0	209,0	226,0	243,0	261,0	279,0	304,0	335,0	387,0
	104,0	138,0	165,0	187,0	208,0	225,0	242,0	260,0	278,0	303,0	331,0	381,0
	126,0	156,0	182,0	201,0	217,0	235,0	253,0	270,0	293,0	320,0	355,0	499,0
	100,0	134,0	163,0	184,0	204,0	220,0	239,0	257,0	275,0	299,0	326,0	373,0
	99,1	133,0	162,0	184,0	204,0	220,0	239,0	256,0	275,0	299,0	326,0	371,0
	105,0	140,0	166,0	189,0	210,0	226,0	243,0	262,0	280,0	304,0	336,0	388,0
	104,0	138,0	165,0	187,0	208,0	226,0	242,0	260,0	278,0	303,0	332,0	382,0
	108,0	141,0	171,0	190,0	213,0	229,0	246,0	263,0	283,0	306,0	341,0	403,0
	111,0	149,0	177,0	194,0	214,0	231,0	248,0	267,0	286,0	311,0	346,0	415,0
	126,0	156,0	181,0	201,0	217,0	235,0	253,0	270,0	293,0	320,0	355,0	496,0
	108,0	141,0	171,0	190,0	213,0	229,0	246,0	263,0	283,0	306,0	340,0	403,0
	101,0	135,0	163,0	186,0	205,0	221,0	240,0	258,0	276,0	300,0	329,0	377,0
	112,0	152,0	179,0	197,0	215,0	232,0	250,0	267,0	289,0	315,0	349,0	432,0
	112,0	150,0	178,0	196,0	215,0	231,0	249,0	267,0	287,0	313,0	347,0	422,0
	112,0	153,0	179,0	198,0	216,0	232,0	250,0	268,0	290,0	315,0	350,0	439,0