

# **ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2024**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

# **ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Методические указания  
для студентов, обучающихся по направлениям  
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
и 15.03.01 «Машиностроение», дневного и заочного отделений

*Учебное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2024

УДК 621.791.019  
ББК К641-18я73-5  
Д44

Рекомендовано Методическим советом университета

Рецензент

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
*В. Г. Мокрозуб*

Д44      **Диагностика** и контроль качества сварных соединений  
[Электронный ресурс] : метод. указания / сост. Д. М. Мордасов. –  
Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. –  
1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК  
не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 2,0 Mb ; RAM ;  
Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Содержат задания для самостоятельной работы, а также теоретический материал, который позволит студенту более эффективно решить поставленные задачи.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» и 15.03.01 «Машиностроение», дневного и заочного отделений, также могут быть полезны студентам бакалавриата при изучении ими дисциплин «Технология конструкционных материалов», «Оборудование и технологии сварочного производства» и «Технологии неразъемного соединения компонентов сложных систем».

УДК 621.791.019  
ББК К641-18я73-5

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.  
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический  
университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2024

## ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении широко применяются различные технологические процессы неразъемного соединения деталей и конструкций, среди которых особое место занимает сварка. Сварка является самым сложным технологическим процессом в машиностроительном производстве. На рисунке 1 показаны факторы, влияющие на качество сварных соединений.

Применение новых технологий получения сварных соединений или совершенствование известных позволяют лишь частично решить проблему повышения качества изготавливаемых конструкций. В связи с существованием большого количества влияющих факторов (рис. 1) применение новых технологий не означает, что будет получено



Рис. 1. Факторы, влияющие на качество сварных соединений

качественное соединение. В связи с этим важное значение приобретает контроль качества сварных конструкций.

В соответствии с ГОСТ 15467–79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» термин «качество продукции» определяется как совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Под дефектом понимается каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Дефектное изделие (продукция) – это изделие (продукция), имеющее хотя бы один дефект, т.е. хотя бы один из показателей качества вышел за предельные значения, установленные нормативно-технической документацией.

Наличие любых дефектов в сварных соединениях еще не определяет потерю их работоспособности. Для оценки годности сварных конструкций к эксплуатации необходимо определить степень влияния дефектов на механические свойства и эксплуатационные характеристики соединения. В связи с тем, что различные дефекты по-разному влияют на работоспособность конструкций, степень их влияния, как правило, устанавливают экспериментально по результатам испытаний образцов с дефектами и без них.

Годность к эксплуатации и надежность сварных соединений определяется выполнением требований, предъявляемых к их качеству. Качество сварных соединений представляет собой комплексную характеристику, состоящую из измеряемых показателей, таких как прочность соединения, его пластичность, износостойкость, шероховатость, геометрические параметры шва, коррозионная стойкость и др. Значения этих показателей, установленные в нормативно-технической документации, определяют требования к сварным соединениям, которые обеспечиваются за счет определенных технологических и конструктивных приемов.

Проверка соответствия показателей качества установленным требованиям называется контролем качества. В зависимости от требований, предъявляемых к сварным соединениям, и категории их ответственности на предприятии устанавливается определенная система контроля продукции. В основу этой системы положена классификация видов технического контроля по отдельным признакам.

В зависимости от того, на какой стадии технологического процесса осуществляется контроль качества, различают следующие виды контроля:

- входной (предварительный);
- операционный (текущий);
- приемо-сдаточный.

При входном контроле проводится проверка качества материала свариваемых деталей и сварочных материалов. Кроме того, при входном контроле осуществляется проверка сварочного оборудования на соответствие решаемым технологическим задачам и работоспособность, а также квалификация сварщиков.

Операционный контроль проводится в процессе выполнения или после завершения определенной технологической операции.

При таком контроле может осуществляться:

- контроль качества продукции;
- контроль параметров технологического процесса;
- контроль работы оборудования.

Целями операционного контроля являются:

- своевременное выявление дефектов;
- предупреждение и устранение брака;
- повышение качества продукции;
- оптимизация технологического процесса.

Операционный контроль может проводиться как независимыми экспертами (внешний контроль), так и персоналом предприятия (внутренний контроль). В зависимости от объекта операционного контроля различают:

- контроль качества продукции;
- контроль технологического процесса;
- контроль оборудования и оснастки.

Для выявления возможных дефектов и установления соответствия качества готовых изделий требованиям нормативно-технической документации проводится приемо-сдаточный контроль.

Контроль качества сварных конструкций производят после всех предусмотренных видов их механической обработки.

В первую очередь проводится контроль сварных швов в месте их пересечения. Для узлов повышенной жесткости, в которых повышена вероятность образования трещин, в проектной документации должны быть дополнительно прописаны методы, объемы и периодичность контроля.

В случае, если существует вероятность возникновения холодных трещин, контроль швов проводят через 48 ч после сварки.

Качество сварных соединений контролируют как разрушающими, так и неразрушающими методами. Выбор того или иного метода зависит от параметра, подлежащего контролю, назначения изделия, степени его сложности и материала, из которого оно изготовлено.

Грамотно организованный контроль качества сварных соединений на всех этапах технологического процесса является гарантом высокой надежности конструкций.

## 1. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Под *дефектом сварного соединения* понимают несплошность в сварном соединении или отклонение от требуемой геометрии. Дефект является недопустимым, если его размер, форма, количество превышают значения, установленные в нормативно-технической документации.

Дефекты сварных соединений (в том числе и в основном металле) классифицируются в зависимости от природы их возникновения, а также расположения и ориентации. Большинство дефектов оказывают негативное влияние на физико-механические свойства сварных конструкций.

По природе возникновения дефекты сварных соединений подразделяются на металлургические и технологические.

Металлургические дефекты возникают на этапе выплавки стали и дальнейшей обработке отливок давлением на металлургических предприятиях.

К металлургическим относятся следующие дефекты:

- несоответствующий химический состав;
- наличие неметаллических включений;
- пористость;
- обезуглероживание (при горячей прокатке);
- горячие и холодные трещины;
- ликвация;
- несплавления.

При обработке металлов давлением возникают следующие дефекты:

- поверхностные и внутренние трещины (вследствие повышенных напряжений в процессе штамповки или прокатки);
- риски, в виде мелких царапин глубиной до 0,5 мм (вследствие попадания мелких частиц на валки или износа матрицы при прессовании);
- волосовины, возникающие в результате деформации газовых пузырей или неметаллических включений и имеющие вид тонких прямых линий длиной от долей до десятков миллиметров;

- закаты, вызванные избытком металла в валках, вследствие чего формируются закатанные заусенцы глубиной более миллиметра;
- плены, представляющие собой отслаивающиеся с поверхности пленки толщиной до 1,5 мм, сформировавшиеся при раскатке застывших на поверхности слитка брызг жидкого металла;
- расслоения, появляющиеся при прокатке слитка с усадочными раковинами либо с крупными неметаллическими включениями или газовыми пузырями;
- шлаковые включения;
- рванины, представляющие собой разрывы металла по краям слитка (одной из причин является крупнозернистая структура стали);
- флокены, представляющие собой внутренние трещины, образовавшиеся в результате превращения водорода, содержащегося в стали, из атомарного в молекулярный, что приводит к значительному росту внутренних напряжений и формированию трещин;
- торцовые трещины, появляющиеся при резке профилированного проката, когда происходит изменение формы его сечения в результате воздействия инструмента;
- зажимы, формирующиеся при неправильном заполнении штампа металлом, в результате чего происходит заштамповка складок или закатывание заусенцев после первых переходов штамповки;
- утонения и разрывы.

*Технологическими* являются дефекты, возникающие на этапе формообразования свариваемых деталей путем их гибки, штамповки, обработки резанием, при термической обработке, а также сварочные дефекты, которые могут возникнуть как на этапе подготовки деталей под сварку, так и в процессе сварки.

При термообработке из-за несоблюдения температурно-временных режимов возможно возникновение следующих дефектов:

- пережог;
- термические трещины;
- обезуглероживание металла;
- окисление поверхности детали;
- мягкие пятна;
- коробление и деформация;
- выделение химических соединений по границам зерен.

На этапе подготовки под сварку могут быть допущены следующие ошибки:

- неправильное выполнение разделки;



- несоответствующее притупление в корне шва;
- несоответствие зазора между свариваемыми кромками;
- несовпадение плоскостей свариваемых кромок.

В Российской Федерации действует ГОСТ Р ИСО 6520-1–2012 «Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением», устанавливающий виды дефектов, которые могут образоваться при сварке плавлением. При определении степени влияния дефекта важно учитывать не только их размер, но и форму.

Наиболее опасными дефектами являются трещины, непровары и подрезы, менее опасны поры, промежуточное положение занимают включения. Перечисленные выше дефекты являются концентраторами напряжений. В процессе эксплуатации в их окрестностях накапливаются дислокации, зарождаются микротрещины, перерастающие в дальнейшем в макротрещины, приводящие к разрушению соединения.

Наименьшую опасность представляют дефекты, при наличии которых действие растягивающих напряжений параллельно основному направлению дефекта. Влияние дефектов на качество сварных соединений возрастает с увеличением остаточных напряжений, что необходимо учитывать при разработке технологии сварки.

Дефекты сварных соединений в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6520-1–2012 «Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением» подразделяются на шесть групп:

- 1) трещины;
- 2) поры;
- 3) твердые включения;
- 4) несплавление и непровар;
- 5) нарушение формы шва;
- 6) прочие дефекты (не включенные в группы 1 – 5).

Согласно ГОСТ 7512–82 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод» в зависимости от местонахождения различают наружные и внутренние дефекты. К наружным относятся дефекты формы сварного шва и вышедшие на поверхность швов поры, свищи, трещины и подрезы, а к внутренним – поры, твердые включения шлака или инородного металла, непровары и внутренние трещины разного рода.

В таблице 1 представлены обозначения и наименования дефектов сварных соединений.

## 1. Обозначения и наименования дефектов сварных соединений

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта
цифровое	International Institute of Welding		
<b>Группа 1. Трещины</b>			
100	Е	Трещины	Несплошность, вызванная местным разрывом шва, который может возникнуть в результате охлаждения или действия нагрузок
1001		Микротрещина	Трещина, имеющая микроскопические размеры, которую обнаруживают физическими методами не менее чем при пятидесятикратном увеличении
101 1011 1012 1013 1014	Еа	Продольная трещина	Трещина, ориентированная параллельно оси сварного шва. Она может располагаться: в металле сварного шва; на границе сплавления; в зоне термического влияния; в основном металле
102 1021 1023 1024	Еб	Поперечная трещина	Трещина, ориентированная поперек оси сварного шва. Она может располагаться: в металле сварного шва; в зоне термического влияния; в основном металле
103 1031 1033 1034	Е	Радиальные трещины	Трещины, радиально расходящиеся из одной точки. Они могут быть: в металле сварного шва; в зоне термического влияния; в основном металле  Примечание - Трещины этого типа, расходящиеся в разные стороны, известны как звездоподобные трещины

Продолжение табл. 1

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта
цифровое	International Institute of Welding		
104 1045 1046 1047	Ec	Трещина в кратере	Трещина в кратере сварного шва, которая может быть: продольной; поперечной; звездообразной
105 1051 1053 1054	E	Раздельные трещины	Группа трещин, которые могут располагаться: в металле сварного шва; в зоне термического влияния; в основном металле
106 1061 1063 1064	E	Разветвленные трещины	Группа трещин, возникших из одной трещины. Они могут располагаться: в металле сварного шва; в зоне термического влияния; в основном металле
<b>Группа 2. Поры</b>			
200	A	Газовая полость	Полость произвольной формы, образованная газами, задержанными в расплавленном металле, которая не имеет углов
2011	Aa	Газовая пора	Газовая полость обычно сферической формы
2012		Равномерно распределенная пористость	Группа газовых пор, распределенных равномерно в металле сварного шва. Следует отличать от цепочки пор (2014)
2013		Скопление пор	Группа газовых полостей (три или более), расположенных кучно с расстоянием между ними менее трех максимальных размеров большей из полостей
2014		Цепочка пор	Ряд газовых пор, расположенных в линию, обычно параллельно оси сварного шва, с расстоянием между ними менее трех максимальных размеров большей из пор
2015	Ab	Продолговатая полость	Несплошность, вытянутая вдоль оси сварного шва. Длина

Продолжение табл. 1

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта
цифровое	International Institute of Welding		
			несплошности не менее чем в два раза превышает высоту
2016	Ab	Свищ	Трубчатая полость в металле сварного шва, вызванная выделением газа. Форма и положение свища определяются режимом затвердевания и источником газа. Обычно свищи группируются в скопления и распределяются елочкой
2017		Поверхностная пора	Газовая пора, которая нарушает сплошность поверхности сварного шва
202	R	Усадочная раковина	Полость, образующаяся вследствие усадки во время затвердевания
2024	K	Кратер	Усадочная раковина в конце валика сварного шва, не заваренная до или во время выполнения последующих проходов
<b>Группа 3. Твердые включения</b>			
300		Твердое включение	Твердые инородные вещества металлического или неметаллического происхождения в металле сварного шва. Включения, имеющие хотя бы один острый угол, называются остроугольными включениями
301 3011 3012 3013	Вa	Шлаковое включение	Шлак, попавший в металл сварного шва. В зависимости от условий образования такие включения могут быть: линейными; разобщенными; прочими
302	G	Флюсовое включение	Флюс, попавший в металл сварного шва. В зависимости от условий образования такие включения могут быть:

Продолжение табл. 1

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта
цифровое	International Institute of Welding		
3021 3022 3023			линейными; разобщенными; прочими
303	J	Оксидное включение	Оксид металла, попавший в металл сварного шва во время затвердевания
304  3041 3042 3043	H	Металлическое включение	Частица инородного металла, попавшая в металл сварного шва. Различают частицы из: вольфрама; меди; другого металла
<b>Группа 4. Несплавление и непровар</b>			
401  4011 4012 4013		Несплавление	Отсутствие соединения между металлом сварного шва и основным металлом или между отдельными валиками сварного шва. Различают несплавления: по боковой стороне; между валиками; в корне сварного шва
402	D	Непровар (неполный провар)	Несплавление основного металла по всей длине шва или на участке, возникающее вследствие неспособности расплавленного металла проникнуть в корень соединения
<b>Группа 5. Нарушение формы шва</b>			
500		Нарушение формы	Отклонение формы наружных поверхностей сварного шва или геометрии соединения от установленного значения
5011 5012	F	Подрез непрерывный	Углубление продольное на наружной поверхности валика сварного шва, образовавшееся при сварке
5013		Усадочная канавка	Подрез со стороны корня одностороннего сварного шва, вызванный усадкой по границе сплавления (см. также 512)
502		Превышение	Избыток наплавленного

Продолжение табл. 1

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта
цифровое	International Institute of Welding		
		выпуклости стыкового шва	металла на лицевой стороне стыкового шва сверх установленного значения
503		Превышение выпуклости углового шва	Избыток наплавленного металла на лицевой стороне углового шва (на всей длине или на участке) сверх установленного значения
504		Превышение проплава	Избыток наплавленного металла на обратной стороне стыкового шва сверх установленного значения
5041		Местное превышение проплава	Местный избыточный проплав сверх установленного значения
505		Неправильный профиль сварного шва	Угол $\alpha$ между поверхностью основного металла и плоскостью, касательной к поверхности сварного шва, менее установленного значения
506		Наплав	Избыток наплавленного металла сварного шва, натекший на поверхность основного металла, но не сплавленный с ним
507		Линейное смещение	Смещение между двумя свариваемыми элементами, при котором их поверхности располагаются параллельно, но не на требуемом уровне
508		Угловое смещение	Смещение между двумя свариваемыми элементами, при котором их поверхности располагаются под углом, отличающимся от требуемого
509		Натек	Металл сварного шва, осевший вследствие действия силы тяжести и не имеющий сплавления с соединяемой поверхностью.

Продолжение табл. 1

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта
цифровое	International Institute of Welding		
5091			В зависимости от условий это может быть: натек при горизонтальном положении сварки; натек в нижнем или потолочном положении сварки; натек в угловом сварном шве; натекание в шве нахлесточного соединения
5092			
5093			
5094			
510		Прожог	Вытекание металла сварочной ванны, в результате которого образуется сквозное отверстие в сварном шве
511		Неполностью заполненная разделка кромок	Продольная непрерывная или прерывистая канавка на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного металла при сварке
512		Чрезмерная асимметрия углового шва	Чрезмерное превышение размеров одного катета над другим
513		Неравномерная ширина шва	Отклонение ширины от установленного значения вдоль сварного шва
514		Неровная поверхность	Грубая неравномерность формы поверхности усиления шва по длине
515		Вогнутость корня шва	Неглубокая канавка со стороны корня одностороннего сварного шва, образовавшаяся вследствие усадки (см. также 5013)
516		Пористость в корне сварного шва	Наличие пор в корне сварного шва вследствие возникновения пузырьков во время затвердевания металла
517		Возобновление	Местная неровность поверхности в месте возобновления сварки
<b>Группа 6. Прочие дефекты</b>			
600		Прочие дефекты	Все дефекты, которые не могут

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта
цифровое	International Institute of Welding		
			быть включены в группы 1-5
601		Случайная дуга	Местное повреждение поверхности основного металла, примыкающего к сварному шву, возникшее в результате случайного горения дуги
602		Брызги металла	Капли наплавленного или присадочного металла, образовавшиеся во время сварки и прилипшие к поверхности затвердевшего металла сварного шва или околшовной зоны основного металла
6021		Вольфрамовые брызги	Частицы вольфрама, выброшенные из расплавленной зоны электрода на поверхность основного металла или затвердевшего металла сварного шва
603		Поверхностные задиры	Повреждение поверхности, вызванное удалением временно приваренного приспособления
606		Утонение металла	Уменьшение толщины металла до значения менее допустимого при механической обработке

В зависимости от расположения дефекта различают:

- внутренние и наружные дефекты;
- сквозные и несквозные дефекты.

Наружные дефекты могут быть определены по результатам визуального и измерительного контроля, а также неразрушающими методами, внутренние дефекты определяются только неразрушающими методами контроля.

**К наружным дефектам** относятся дефекты, которые расположены на поверхности и могут быть обнаружены визуально. К ним относятся геометрические несоответствия в сварном соединении:

- вогнутость корня шва;
- смещение между свариваемыми элементами;
- асимметрия углового шва;
- наплывы;



а также дефекты, вызванные несоблюдением технологических режимов сварки:

- прожоги;
- свищи;
- кратеры;
- подрезы;
- непровары в корне шва;
- поверхностные поры;
- поверхностные трещины.

**К внутренним дефектам** сварного соединения относятся дефекты, которые невозможно обнаружить при его внешнем осмотре:

- внутренние трещины;
- внутренние поры;
- включения (шлаковые, флюсовые, оксидные, металлические);
- непровары.

## **2. ВИДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

К техническому контролю качества относятся все виды контроля производимой предприятием продукции – входной контроль, технологический, операционный и приемочный.

Обеспечение качества сварных изделий возможно только в том случае, если качество свариваемых и сварочных материалов соответствует предъявляемым к ним требованиям.

Полуфабрикаты (листовой прокат, трубы, поковки и т.п.), поступающие на предприятие, должны иметь сертификат, в котором указывается марка сплава, химический состав, номер партии и плавки, масса и показатели механических свойств (пределы прочности и текучести, относительное удлинение, поперечное сужение, угол загиба, ударная вязкость). Эти показатели должны соответствовать техническим условиям на поставку полуфабрикатов. После проверки соответствия документов полуфабрикаты проходят внешний осмотр в целях выявления наружных дефектов – вмятин, расслоений, трещин, закатов и т.д.

При отсутствии сертификата должен быть установлен химический состав металла, определены его механические свойства и проведены испытания на свариваемость.

Свариваемость сталей определяется путем расчета углеродного эквивалента. Стали, у которых углеродный эквивалент  $C_e \geq 0,45\%$ , потенциально склонны к образованию закалочных структур при остывании после сварки, что соответственно приводит к образованию холодных трещин.

Углеродный эквивалент рассчитывают по экспериментально установленным зависимостям, которые учитывают влияние содержания легирующих элементов в стали на кинетику распада аустенита.

Для углеродистых и марганцовистых сталей Международным институтом сварки (International Institute of Welding) рекомендована зависимость

$$C_3 = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15;$$

для конструкционных сталей Американским обществом сварщиков (American Welding Society) рекомендована зависимость

$$C_3 = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15;$$

Японское общество сварки (The Japanese Welding Engineering Society) применяет зависимость

$$C_3 = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B;$$

Британским институтом сварки рекомендована зависимость

$$C_3 = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V)/10;$$

для микролегированных сплавов с пониженным содержанием углерода может быть использована формула Дюрена

$$C_3 = C + Si/25 + (Mn + Cu)/16 + Cr/20 + Ni/20 + Mo/40 + V/15;$$

согласно ГОСТ 19281–2014 и ГОСТ 27772–2015 для проката повышенной прочности и проката для строительных стальных конструкций пользуются зависимостью

$$C_3 = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Cu/13 + V/14 + P/2.$$

К сварочным материалам относятся покрытые электроды, сварочные проволоки, присадочные прутки, вольфрамовые электроды, угольные (графитовые) электроды, сварочные флюсы, защитные и горючие газы.

При входном контроле электродов проверяется наличие сертификата и соответствие указанных в нем сведений требованиям поставки. Сертификат содержит сведения о заводе-изготовителе, дате изготовления электродов, номере партии и массе; в нем также указывается номер ГОСТа или ТУ, в соответствии с которым изготавливаются электроды, диаметр, тип и марка электрода, механические свойства наплавленного ими металла, рекомендуемые режимы прокатки и сварки. На некачественные электроды составляется браковочный акт. При отсутствии сертификата необходимо определить все свойства электродов, после чего решать вопрос об их применении.

Входной контроль проволоки для механизированной сварки и прутков для ручной аргонодуговой сварки осуществляется путем проверки наличия сертификата и металлических бирок с указанием заво-

да-изготовителя, обозначения проволоки по ГОСТу, номера плавки, клейма ОТК завода. После этого визуально проверяют поверхность проволоки. На поверхности проволоки не допускается присутствие ржавчины, загрязнений, краски, следов масла, графитовой или мыльной смазки. При отсутствии сертификата проводят контроль проволоки с определением всех свойств, после чего решается вопрос о ее допуске в производство. Особое внимание при входном контроле уделяется порошковой проволоке, флюс которой поглощает влагу. Через каждые 6 месяцев хранения такой проволоки ее необходимо прокалить и проводить испытание ее технологических свойств.

*При приемке флюса* также осуществляют проверку сведений сертификата. Перед использованием флюс обязательно прокаливают. После всех проверок производят сварку под флюсом таврового соединения и исследуют наплавленный металл на содержание серы и углерода.

*Газы*, поступающие на завод-производитель, должны иметь сертификат завода-поставщика с указанием стандарта или технических условий, названия газа, процентного содержания примесей, точки росы (влажности) и даты выпуска. Качество газа при наличии сертификата перепроверяется только при появлении недопустимых дефектов при сварке.

*Контроль сварочного оборудования* осуществляется в два этапа. На первом этапе контролируется выбор номенклатуры необходимого оборудования при сварке. На втором этапе устанавливается периодический контроль качества выбранного оборудования. Контроль сварочного оборудования осуществляется соответствующими службами, электрические и газовые приборы периодически проходят проверку в метрологической службе предприятия. Проверку и профилактический ремонт автоматов, полуавтоматов и источников питания выполняют службы главного энергетика.

*Контроль технологии сварки* начинается с контроля конструкции, собранной под сварку. Проверяется угол разделки, толщина притупления, ширина зазора между деталями, правильность постановки прихваток, механическая зачистка кромок и основного металла на ширине не менее 20 мм от кромки. Проверяется вся конструкция на чистоту – отсутствие грязи, масла, краски, воды, ржавчины.

*При производстве сварочных работ* контролируются режимы сварки (ток, напряжение, скорость сварки). Этот контроль в процессе сварки выполняется сварщиками-операторами. Сварщик внешним осмотром контролирует также качество сварочных материалов, выданных ему, на предмет отсутствия грязи, масла и ржавчины.

*Внешний осмотр* сварных соединений проводится для выявления таких дефектов, как наплывы, подрезы, поверхностные поры и трещины, шлаковые включения, грубая чешуйчатость, свищи и геометрические отклонения от заданной формы шва. Внешний осмотр проводится после тщательной зачистки поверхности швов от шлака, брызг и т.п. Контроль производится невооруженным глазом или с помощью лупы 5- или 7-кратного увеличения. Осмотру подвергается шов и прилегающая к нему справа и слева 20-миллиметровая зона основного металла. Осмотр проводится с двух сторон (если это возможно) по всей их поверхности. Измерения проводятся с помощью линейек, штангенциркулей, универсальных и специальных шаблонов. Операции контроля фиксируются в специальных документах если это предусмотрено требованиями руководящей документации.

**Операционный контроль** выполняется при производстве работ или непосредственно после их завершения. Применяемые при этом методы контроля (операционные) подразделяют на *разрушающие* и *неразрушающие*.

*К разрушающим методам* относятся методы, предусматривающие специальную подготовку образцов для определения каких-либо параметров. К разрушающим методам контроля относятся:

- испытания образцов на растяжение, изгиб, удар;
- коррозионные испытания;
- испытания на циклические нагрузки;
- определение микро- и макроструктуры;
- определение твердости;
- определение химического состава.

*К неразрушающим методам* контроля относятся:

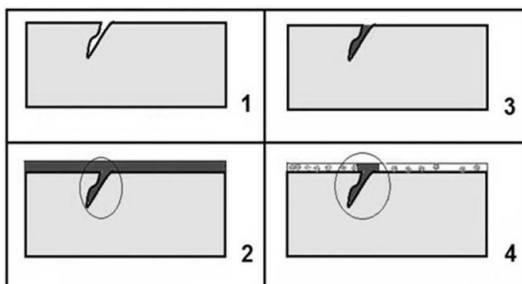
- визуальный осмотр и измерительный контроль (ВИК);
- контроль течением;
- магнитный контроль;
- ультразвуковой контроль;
- радиационный контроль.

На рисунке 1 показан комплект инструментов для проведения ВИК, включающий в себя линейку стальную 150 мм, рулетку 3 м, штангенциркуль ШЦ I-125-0,1, угольник поверочный УП 160×100, шаблоны радиусные № 1 и 3, штангенрейсмас ШР-250, УШС-2, УШС-3, УШС-4, набор щупов № 4, лупу измерительную 10х, шаблон Красовского УШК-1, образцы шероховатости, катетомер КМС-3-16, маркер по металлу, лупы просмотровые 2х и 7х, люксметр, зеркало с телескопической ручкой, светодиодный фонарик, мел термостойкий.



**Рис. 1. Комплект инструментов для проведения ВИК**

Контроль течеисканием позволяет обнаруживать сквозные дефекты в сварных швах: трещины, непровары, поры, свищи, прожоги и др. Физической основой методов является способность жидкостей или газов проникать через сквозные дефекты, а обнаружение их осуществляется визуально или с помощью приборов (течеискателей). Среди методов контроля течеисканием различают капиллярные, компрессионные и вакуумные методы. На рисунке 2 показана схема капиллярного контроля сварных соединений с помощью пенетранта. На очищенную поверхность с дефектом (рис. 2, поз. 1) наносится пенетрант, который заполняет трещину (рис. 2, поз. 2), далее поверхность шва очищается от пенетранта, при этом в трещине пенетрант остается (рис. 2, поз. 3). Для обнаружения оставшегося в дефекте пенетранта на поверхность наносится проявитель (рис. 2, поз. 4).



**Рис. 2. Капиллярный контроль с помощью пенетрантов**

Выбор жидкости-пенетранта основан на ее проникающей способности (табл. 2), которая определяется поверхностным натяжением. Высота подъема жидкости в капилляре  $h$  определяется по формуле

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{d_k(\rho_{ж} - \rho_{г})g},$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $\theta$  – угол смачивания;  $d_k$  – диаметр капилляра;  $\rho_{ж}$ ,  $\rho_{г}$  – плотность жидкости и газа над ее поверхностью;  $g$  – ускорение свободного падения.

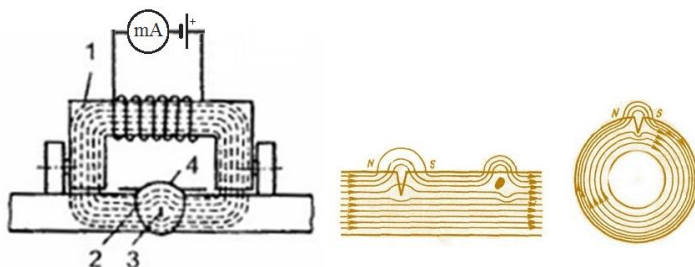
Методы магнитного, ультразвукового и радиационного контроля основаны на эффектах изменения свойств магнитного, ультразвукового и рентгеновского излучений при их взаимодействии с дефектами сварного соединения.

На рисунке 3 показана схема проверки качества сварных швов магнитной дефектоскопией.

Ферромагнитный порошок помогает зафиксировать поле рассеяния, сформированный осадок имеет форму жилки, во много раз превосходящей дефект в размере. Изменение индуктивности магнитной системы может быть также зафиксировано с помощью миллиметра.

## 2. Проникающая способность жидкостей

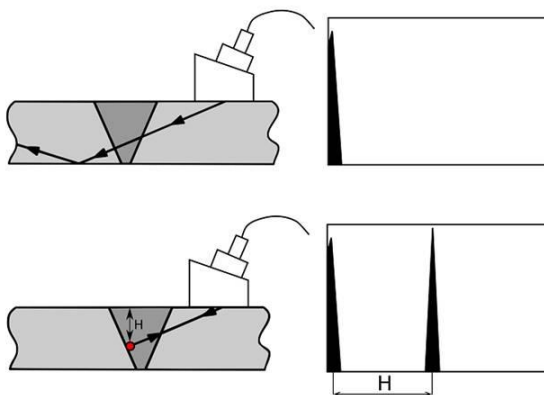
Жидкость	$\sigma$ , мН/м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Наибольший диаметр пор (мкм) при толщине пластины		
			1 мм	3 мм	9 мм
Эфир этиловый	17	710	10	3	1
Спирт	22	800	11	4	1
Керосин	24	800	12	4	1
Бензин	21	710	12	4	1
Ацетон	24	784	12	4	1
Ртуть	472	13 600	14	5	2
Нефть	30	800	15	5	2
Мыльный раствор	40	970	17	6	2
Молоко	46	1030	18	6	2
Вода	73	1000	30	10	3



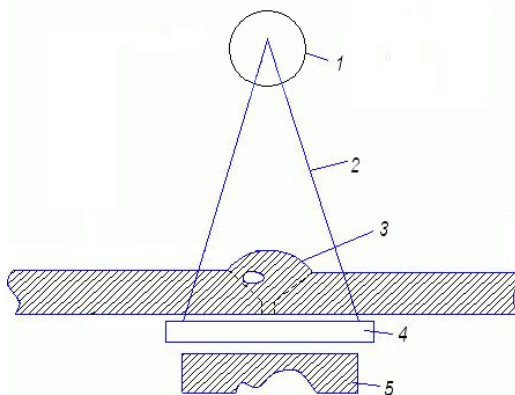
**Рис. 3. Реализация магнитных методов неразрушающего контроля:**  
 1 – магнит; 2 – сварной шов; 3 – дефект; 4 – пленка из магнитного порошка

На рисунке 4 показана реализация ультразвукового метода контроля сварных швов. Метод основан на эффектах, возникающих при прохождении ультразвуковых волн через контролируемый шов. При отсутствии внутренних дефектов происходит отражение колебаний от границы раздела упругих сред с разными акустическими свойствами (деталь–стол, деталь–воздух) и отраженный сигнал не попадает в приемник колебаний. При отражении волны ультразвуковых колебаний от дефекта отраженный сигнал попадает в приемник и на экране прибора появляется импульс, по амплитуде которого судят о величине и глубине залегания дефекта.

На рисунке 5 показана схема контроля с применением рентгеновского или гамма-излучения, которые способны проникать через металлы и фиксировать на фотопленке или детекторе дефекты, встречающиеся на его пути.



**Рис. 4. Ультразвуковой метод контроля сварных швов**



**Рис. 5. Радиационная дефектоскопия:**

1 – источник излучения; 2 – прямой пучок; 3 – сварной шов;  
4 – кассета с детектором и экранами; 5 – эпюра интенсивности

### 3. СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ

Исправление дефектов в сварных швах производят по технологии, разрабатываемой применительно к конкретной конструкции.

Исправление большинства дефектных швов осуществляется механическим способом удаления дефектов (разделка) с последующей подваркой. Допускается выплавлять дефекты воздушно-дуговым способом с последующей механической обработкой поверхности.

Поверхностные дефекты (проплавы, кратеры, наплывы, подрезы) следует полностью удалить механическим способом и наплавить металл, если такая наплавка требуется для обеспечения проектных размеров шва.

Исправление внутренних дефектов швов (трещин, непроваров, включений и раковин) должно производиться путем удаления дефекта механическим или огневым способом и последующей сварки.

В сварных конструкциях, изготовленных из углеродистых сталей, применяют как выплавку, так и вырубку швов.

В конструкциях же из легированных сталей швы можно только вырубать, так как при выплавке происходит изменение структуры и свойств основного металла.

Удаление дефектных швов с трещинами должно производиться только механическим способом.

При исправлении швов с дефектами допускается двукратная подварка.



Контроль качества исправленных сварных швов должен проводиться в полном объеме методами, предусмотренными техническими условиями. Контроль качества исправленных сварных швов с поверхностными дефектами должен проводиться путем внешнего осмотра и измерений размеров шва. Все подвергавшиеся исправлению швы с внутренними дефектами должны быть подвергнуты повторному контролю в соответствии с правилами и требованиями.

Деформированные элементы сварных конструкций, в случае когда величина деформаций выходит за пределы допустимой, необходимо выправлять механическим, термическим или термомеханическим способами.

Внутренние напряжения в сварных швах снижают послойной проковкой швов, предварительным или сопутствующим подогревом изделий, термической обработкой после сварки.

#### **4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА**

Задания для самостоятельной работы выдаются каждому студенту согласно его порядковому номеру в списке группы.

Результаты выполнения задания оформляются в печатном виде на листах формата А4, размер шрифта Times New Roman 14 pt, поля: левое 30 мм, верхнее и нижнее – 20 мм, правое 15 мм.

Индивидуальное задание состоит из двух задач. Первая задача посвящена изучению теоретических основ методов контроля сварных соединений; вторая задача (практическая) связана с анализом заданного сварного шва, определением вида дефектов сварных швов и способов устранения этих дефектов.

##### **Задание № 1**

1. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Физические основы радиационной дефектоскопии. Виды. Методика контроля.

2. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Физические основы магнитной дефектоскопии. Виды. Методика контроля.

3. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Физические основы ультразвуковой дефектоскопии. Виды. Методика контроля.

4. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Физические основы капиллярной дефектоскопии. Виды. Методика контроля.

5. Разрушающие методы контроля сварных соединений. Механические испытания сварных соединений. Сущность процесса. Виды. Цель испытаний.

6. Разрушающие методы контроля сварных соединений. Металлографический и химический анализы. Виды. Цель контроля. Методика проведения.

7. Внешний и измерительный контроль сварных соединений. Цель контроля. Контролируемые геометрические параметры сварного шва. Применяемый инструмент.

8. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Контроль течей. Цель контроля. Виды. Вакуумный и капиллярные методы. Сущность методов.

9. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Контроль течей. Цель контроля. Компрессионные методы. Виды. Сущность методов.

10. Напряжения и деформация деталей при сварке. Основные мероприятия по уменьшению деформаций и напряжений при сварке.

11. Контроль основных материалов, применяемых для сварных конструкций. Методика проведения контроля.

12. Контроль сварочных материалов (электродов, электродной проволоки, флюсов и газов). Методика контроля.

13. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Физические основы радиационной дефектоскопии. Виды. Методика контроля.

14. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Контроль течей. Цель контроля. Виды. Компрессионный и вакуумный методы. Сущность методов.

15. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Контроль течей. Цель процесса. Виды. Капиллярный и компрессионный методы. Сущность методов.

16. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Физические основы магнитной дефектоскопии. Виды. Методика контроля.

17. Разрушающие методы контроля сварных соединений. Фрактографический анализ. Цель контроля. Методика проведения.

18. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. Физические основы ультразвуковой дефектоскопии. Виды. Методика контроля.

19. Разрушающие методы контроля сварных соединений. Механические испытания сварных соединений. Сущность методов. Виды. Цель испытаний.

20. Разрушающие методы контроля сварных соединений. Металлографический и химический анализы. Виды. Цель контроля. Методика проведения.

### Задание № 2

Выполнить анализ сварного шва (табл. 2):

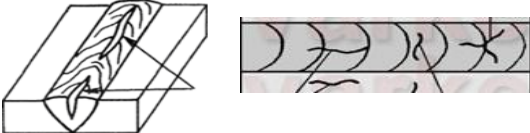





1. Указать вид дефекта, его цифровое обозначение в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6520-1–2012; дать определение данному дефекту.

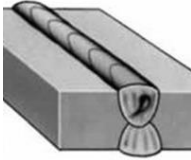

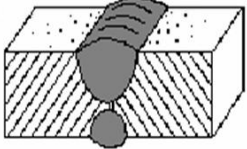
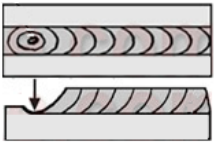
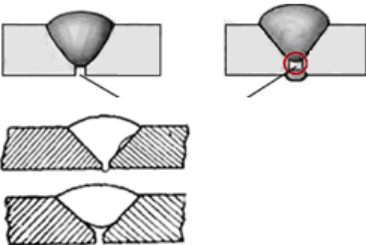
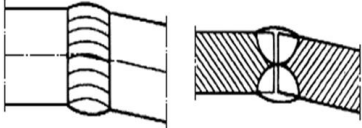
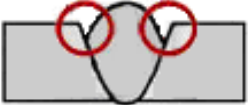
2. Выбрать метод выявления дефекта; описать физические основы выбранного метода и записать методику проведения контроля.

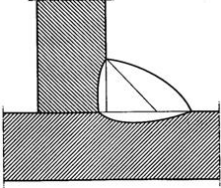
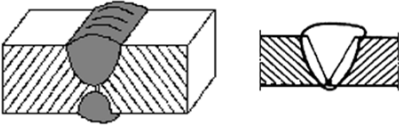

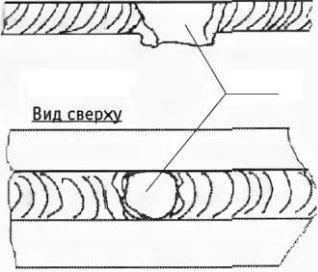


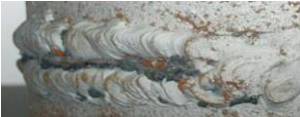
3. Указать возможные причины образования дефекта.

4. Выбрать метод исправления дефекта сварного шва, подробно указать методику (операции) выполнения ремонта сварного соединения.

### 2. Исходные данные к заданию № 2

№ варианта	Вид сварного шва
1	
2	
3	
4	
5	
6	

№ варианта	Вид сварного шва
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

№ варианта	Вид сварного шва
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

## СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Визуальный и визуально-оптический контроль, характеристика метода и применяемое оборудование.
2. Механические испытания металлов и неразъемных соединений.
3. Исследование структуры металла и неразъемных соединений.
4. Оценка технологичности. Оценка свариваемости.
5. Капиллярные методы контроля, общая характеристика способов и применяемые дефектоскопические материалы.
6. Цветной метод капиллярного контроля, характеристика и применяемые дефектоскопические материалы.
7. Магнитные методы контроля материалов, полуфабрикатов, деталей и изделий, физические основы методов контроля.
8. Люминесцентный метод капиллярного контроля, характеристика способа и применяемые дефектоскопические материалы.
9. Методы и средства намагничивания и размагничивания деталей, основные способы, схемы и их характеристика.
10. Контроль течеисканием (контроль герметичности изделий), общая характеристика способов и применяемые дефектоскопические материалы.
11. Магнитопорошковый контроль, характеристика способа и его возможности.
12. Гидравлический метод контроля герметичности, характеристика способов и применяемые дефектоскопические материалы.
13. Метод испытания на герметичность керосином, характеристика способа и применяемые дефектоскопические материалы.
14. Теневой акустический метод контроля и его разновидности, характеристика способов и их возможности.
15. Эхометод акустического контроля и его разновидности, характеристика способов и их возможности.
16. Пузырьковый метод контроля герметичности, характеристика способов и применяемые дефектоскопические материалы.
17. Акустические методы контроля, их характеристика и возможности.
18. Радиационные методы контроля материалов, полуфабрикатов, деталей и изделий (контроль просвечиванием), общая характеристика способов и их классификация.
19. Пассивные методы акустического контроля, их характеристика и возможности.

20. Источники ионизирующего излучения для радиационного контроля, классификация и краткая характеристика.

21. Основные дефекты сварных соединений. Дефекты термической обработки.

22. Основные дефекты сварных соединений. Дефекты подготовки и сборки под сварку.

23. Основные дефекты сварных соединений. Дефекты сварки плавлением.

24. Основные дефекты сварных соединений. Дефекты контактной сварки.

25. Дефекты пайки. Контроль качества пайки и клеевых соединений просвечиванием.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Овчинников, В. В.** Контроль качества сварных соединений / В. В. Овчинников. – М. : ИЦ «Академия», 2016. – 208 с.

2. **Основы** стандартизации, метрологии и сертификации : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям стандартизации, сертификации и метрологии (200400), направлениям экономики (080100) и управления (080500) / А. В. Архипов, Ю. Н. Берновский, А. Г. Зекунов [и др.] ; под ред. В. М. Мишина. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 447 с. – URL : – <https://www.iprbookshop.ru/74900.html>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.

3. **Денисов, Л. С.** Контроль и управление качеством сварочных работ : учебное пособие / Л. С. Денисов. – Минск : Вышэйшая школа, 2016. – 624 с. – URL : <https://www.iprbookshop.ru/90782.html>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.

4. **Золотоносов, Я. Д.** Сварочное производство. Современные методы сварки : учебное пособие / Я. Д. Золотоносов, И. А. Крутова. – Казань : Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 216 с. – URL : <https://www.iprbookshop.ru/73320.html>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.



Учебное электронное издание

# ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Методические указания

Составитель

МОРДАСОВ Денис Михайлович

Редактор Л. В. Комбарова

Графический и мультимедийный дизайнер Н. И. Кужильная

Обложка, упаковка, тиражирование Л. В. Комбарово й

Подписано к использованию 15.09.2024.

Тираж 50 шт. Заказ № 97

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»

392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Тел./факс (4752) 63-81-08.

E-mail: izdatelstvo@tstu.ru