

Контроль сварных соединений

Заключительным этапом работ по сварке в обязательном порядке является контроль сварных соединений. Проверяется их качество, соответствие требованиям нормативов и наличие дефектов, как видимых, так и скрытых. Сварка и контроль являются неразделимыми понятиями.

Имеется много способов, как проверить качество сварного шва. Выбор осуществляется с учетом возможностей предприятия, на котором происходит сварка, и важности конструкции, для которой она производится. Для проведения контроля качества сварных соединений и швов можно привлекать сторонние лаборатории и организации, специализирующиеся именно на этом виде деятельности.

Контроль качества сварных соединений и швов использует разнообразные способы контроля. Имеются различные виды контроля сварных соединений, применяемых на практике.

Визуальный осмотр

Это самый простой и примитивный метод контроля, с которого необходимо начинать контроль качества сварных швов. Не все дефекты являются глубоко запрятанными. Значительная их часть находится снаружи. Визуальный осмотр позволит их увидеть и при необходимости сразу отбраковать, что приводит к экономии времени и сил. Понятно, что этот вид контроля является неразрушающим. При визуальном осмотре легко увидеть основные геометрические параметры сварного шва и дать им оценку.

Визуальный осмотр не является выборочным. Ему подлежат все выполненные сварные соединения. Для более точной оценки можно использовать лупу с большим увеличением. Больше никаких приспособлений не понадобится, кроме штангенциркуля и шаблонов для производства измерений найденных отклонений.

Хотя визуальный осмотр определяет в основном геометрические параметры сварного шва и внешние недостатки, частично внешний осмотр может сигнализировать и о наличии внутренних изъянов. Так, например, неравномерность поверхности валиков может быть следствием непроваров, находящихся внутри. Такие подсказки следует учитывать при более тщательных способах исследования.

Чтобы дефекты были лучше видны, перед началом осмотра с поверхности удаляют все загрязнения и остатки шлака. Швы можно обработать азотной кислотой, после чего быстро убрать ее остатки с помощью спирта.

Капиллярный способ

Методы контроля сварных соединений включают и такой популярный как капиллярный, называемый также контроль сварных соединений ПВК. Метод является контролем проникающими веществами. Для него разработан

специальный нормативный документ - ГОСТ 18442, в котором изложены основные требования к применению капиллярного метода.

Методы контроля сварных соединений включают и такой популярный как капиллярный, называемый также контроль сварных соединений ПВК. Метод является контролем проникающими веществами. Для него разработан специальный нормативный документ - ГОСТ 18442, в котором изложены основные требования к применению капиллярного метода.

Сущность метода состоит в окраске дефектов, заполненных пенетратом (рис. 1).



Рис. 1 Окраска пенетратом

Одно из основных преимуществ капиллярного способа состоит в том, что он является неразрушающим методом контроля качества сварных соединений. При этом способе используется свойство, присущее жидкости, - проникать в капилляры, имеющие микроскопический размер. Для его применения необходимо наличие специальных жидкостей, которые называются индикаторами или иначе пенетрантами.

Именно такие жидкости обладают особым свойством проникать в мельчайшие трещинки. Поскольку они обладают ярким цветом, чаще всего красным, то его следы становятся заметными даже невооруженным глазом без особого напряжения. Если дефект имеет слишком маленький размер, то можно использовать лупу.

Капиллярный метод контроля сварных швов универсален. Он позволяет обнаруживать различные дефекты - трещины, поры, непровары, прожоги. К достоинствам способа относится его дешевизна - наличие дорогого оборудования не требуется, а пенетраты стоят относительно недорого. Метод позволяет определять точные параметры дефектов и их местоположение.

Капиллярный контроль можно использовать как для черных, так и цветных металлов. Это позволяет находить ему применение в различных областях.

Имеется следующие разновидности капиллярного контроля:

- основной;

- комбинированный.

Основной метод основан на том, что находит применение использование проникающих жидкостей, имеющих яркую окраску. Под комбинированным способом понимается применение сразу нескольких методов контроля качества сварки. Обязательное условие - в их число входит капиллярный метод. Кроме него могут применяться такие способы как: индукционный, магнитный, радиографический. А также другие методы контроля сварных швов.

Каждый из них имеет свои разновидности. При основном способе они подразделяются в зависимости от типа выбранного проникающего вещества и от варианта, с помощью которого происходит считывание информации.

Разновидности основного способа в зависимости от проникающего вещества:

- специальные растворы;
- фильтрующие суспензии.

Разновидности основного способа в зависимости от того, какой применяется способ считывания информации:

- хроматический;
- ахроматический;
- люминесцентный;
- люминесцентно-хроматический.

Хроматический способ называют цветным. А ахроматический - яркостным. Поэтому можно встретить название люминесцентно-цветной способ.

Подразделения комбинированного метода зависят от варианта, с помощью которого осуществляется воздействие на проверяемую поверхность. В их названии первое слово является "капиллярно", а продолжениями служат:

- электростатический;
- электроиндукционный;
- магнитный;
- радиационный метод поглощения;
- радиационный метод излучения.

Кроме индикаторов при комбинированном способе находит применение и специальное оборудование. Пример такого сочетания - сначала осуществляют контроль капиллярным методом, а затем уточняют результаты с помощью радиографического, используя рентгеновский аппарат.

Технология дефектоскопии заключается в следующем (рис. 2):

1. Очистка проверяемой поверхности.
2. Сушка поверхности.
3. Нанесение на исследуемую поверхность пенетранта.
4. Промежуточная очистка.
5. Нанесение проявителя.
6. Осмотр результатов и вынесение заключения.



Рис. 2 Технология дефектоскопии

Очищение можно сделать с помощью любого растворителя. Необходимо проследить, чтобы на поверхности не осталось грязи, пятен краски и масла. Для очищения поверхности также можно применить наждачную бумагу или металлическую щетку. Но для контроля точных и ответственных соединений, имеющих ровную поверхность, к этому лучше не прибегать.

Химическая очистка осуществляется различными химическими средствами, позволяющими удалять все виды загрязнений и пятен. Если химические вещества останутся на поверхности, то может произойти реакция с индикаторами. Для избежания этого они должны быть смыты с поверхности водой или подобными средствами.

Осушение должно происходить естественным путем на воздухе. Применение салфеток или полотенец может привести к тому, что на поверхности останутся ворсинки, которые сделают дальнейший контроль менее достоверным.

Нанесение на исследуемую поверхность индикаторов может производиться различными способами. При капиллярном методе жидкость наносят путем смачивания, струей из баллончика, погружением соединений в ванну с индикатором при условии их небольшого размера.

Вакуумный способ предполагает всасывание индикаторной жидкости внутрь, когда в полости дефекта образовалась пустота, давление воздуха в которой стало меньше атмосферного.

Компрессионный способ является противоположностью предыдущему. Жидкость проникает внутрь дефекта под действием давления выше атмосферного. Воздух при этом вытесняется.

Ультразвуковой метод состоит в заполнении полостей при помощи ультразвука. Деформационный способ состоит в воздействии на проникающую жидкость колебаний звуковой волны.

Промежуточную очистку следует осуществлять таким образом, чтобы не вызвать удаления индикатора из полости, образованной дефектом. Очистка посредством воды производится или обрызгиванием или протиркой влажным кусочком ткани. При этом сильно нажимать на поверхность не следует, чтобы не повредить ее. Температура воды должна быть не более 50°C.

При очистке растворителями предварительно убирают излишек влаги салфеткой без ворса. Затем производят очищение смоченной в растворителе тканью.

Для очищения могут применяться эмульгаторы. Они бывают водочувствительными или на основе масел. Эмульгатор наносят на поверхность после ее очищения водой. Затем поверхность снова промывают водой. Можно использовать комбинированную очистку - сначала водой, а затем растворителем.

После промежуточной очистки должно быть обеспечено высушивание контролируемой поверхности. Его можно обеспечить простым вытиранием безворсовой сухой тканью. Излишняя влага может испариться при температуре окружающей среды или при повышенной температуре. Можно направить на проверяемую поверхность струю воздуха. Допускается комбинация этих способов.

Сушку необходимо производить с крайней осторожностью, чтобы ненароком не высушить индикатор в дефектной полости шва. Это обеспечивает ограничение по температуре в 50°C.

Затем наступает ответственный момент - нанесение проявителя. Его наносят ровным слоем небольшой толщины. Приступать к этому этапу надо сразу после промежуточной очистки, чтобы не появилась новая грязь.

Сухой проявитель можно использовать не во всех случаях, а только с флуоресцентными индикаторами. Наносить его с помощью напыления или электростатического распыления. Покрытие должно быть однородным и равномерным. Локальное нанесение недопустимо.

При использовании жидкого проявителя, изготовленного на основе водной суспензии, его или разбрызгивают специальным аппаратом по поверхности, или наливают в емкость и погружают в нее контролируемое соединение. Длительность погружения не должна быть слишком большой. Затем изделие необходимо высушить обдувом или в печи.

Если жидкий растворитель изготовлен на основе растворителя, то его равномерно распыляют по поверхности до образования тонкой пленки. Жидкий проявитель может представлять собой водный раствор. При погружении в него исследуемого изделия достигается равномерность нанесения. Допустимо распыление специальными аппаратами. После окончания процесса необходимо высушивание.

В зависимости от выбранного способа и размера соединения длительность проявления может составлять от 10 до 30 минут.

Оценку качества сварных соединений следует начинать сразу после того, как высохнет проявитель (рис. 3). Осмотр можно проводить в очках с увеличительными стеклами или с помощью лупы. Если были использованы флуоресцентные индикаторы, испытание проводится в кабине после того, как глаза контролера привыкнут к темноте. Если были применены цветные индикаторы, то поверхности могут быть осмотрены как при дневном, так и при искусственном свете. Необходимо следить, чтобы на поверхность не попадали блики отраженного света.



Рис. 3 Последовательность операций при капиллярном контроле

Иногда возникает необходимость в уточнении результата. Тогда проводят повторный контроль соединения. Важным условием при этом является использование тех же средств и методов, что и в первый раз.

Контроль герметичности

Гидравлический способ. Методы контроля качества сварных швов включают в себя проверку с помощью обычной воды. Контролируемое соединение заполняют водой и, применяя насос или гидравлический пресс, создают давление в полтора или два раза превышающее рабочее. При этом наблюдают за сварными швами. Утечка жидкости означает наличие сквозного дефекта.

Пневматический контроль. При проверке используется сжатый воздух, азот или инертный газ, который подают на испытываемую конструкцию. Если она имеет небольшие габариты, то можно поместить ее в воду и обнаружить дефект и его местоположение по выходящим наружу пузырькам.

Если проверке подлежат крупногабаритные соединения, то контроль можно осуществить с помощью пенного индикатора, который представляет собой раствор мыла в воде. При низкой температуре часть воды можно заменить спиртом или добавить глицерин.

В целях безопасности подключают предохранительный клапан и манометр. Наблюдая за показаниями манометра можно осуществлять контроль давления. При наличии сквозных дефектов давление будет уменьшаться. Если давление превысит допустимый уровень, то предохранительный клапан снизит его.

Испытание керосином. Используется свойство керосина, заключающееся в том, что он может подниматься по трубкам, имеющим небольшое поперечное сечение. При испытании роль такой трубки выполняет сквозная трещина или подобный дефект.

На одну из сторон соединения наносят раствор мела в воде и дают ему высохнуть. Затем противоположную сторону смачивают керосином. Время, за которое он может проявить себя, зависит от толщины соединения. При наличии сквозного дефекта на стороне, покрытой меловым раствором, можно будет четко увидеть пятна керосина.

Испытание аммиаком. Предварительно подлежащие контролю швы покрывают бинтом, пропитанным фенолфталеином. Вместо бинта можно использовать бумажную ленту. Затем подается аммиак, находящийся под давлением. После прохождения аммиака на ленте или бинте остаются характерные следы.

Проверка течеискателем. Такой метод, называемый ПВТ-контролем сварных соединений, является высокочувствительным и используется для контроля ответственных конструкций.

Пузырьковый метод контроля герметичности с использованием вакуумных рамок – один из основных в течеискании. Согласно ГОСТ Р 56542-2015 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов», течеискание – это вид неразрушающего контроля (НК) проникающими веществами для обнаружения сквозных дефектов (течей жидкостей или газа). То есть течеискание (ПВТ) относится к контролю проникающими веществами вместе с капиллярным методом (цветной дефектоскопией, ПВК). Разница между ними в том, что ПВК предназначен для выявления поверхностных дефектов (трещин, раковин, пор, заусенцев и иных несплошностей), в то время как ПВТ направлен на обнаружение дефектов сквозных (свищей, прожогов, сквозных трещин). При этом – в том же ГОСТ Р 56542-2015 говорится о том, что вид НК – это «группа методов, объединённых общностью физических явлений, положенных в его основу». Так и течеискание – это целое направление в неразрушающем контроле, которое объединяет огромное количество технологий и способов.



Просто для понимания масштабов

В ГОСТ Р 56542-2015 перечислены разновидности контроля проникающими веществами. В общей сложности там насчитывается 15 методов, из которых:

– к капиллярному контролю относится пять: яркостный, цветной, люминесцентный, люминесцентно-цветной, метод фильтрующихся частиц.

– к течеисканию относятся остальные десять: пузырьковый, масс-спектрометрический, акустический, галогенный, манометрический, радиоактивный, катарометрический, метод высокочастотного разряда, химический метод и метод остаточных устойчивых деформаций.

В основе всех этих методов лежит общий принцип: дефекты обнаруживаются в результате проникновения в их полость каких-либо веществ – жидкостей или газов, которые взаимодействуют с объектом контроля на молекулярном уровне.

Согласно п. 27 в ГОСТ Р 59286-2020 «Контроль неразрушающий. Течеискание. Термины и определения», к такому контролю могут относиться также процедуры по локализации течей (а не только по их выявлению). Плюс у каждого метода есть всевозможные способы реализации: у одного только масс-спектрометрического их, как минимум, восемь. Чтобы хоть как-то помочь сориентироваться во всём этом многообразии технологий – в начале «нулевых» в России даже приняли ГОСТ Р 51780-2001 «Контроль неразрушающий. Методы и средства испытаний на герметичность. Порядок и критерии выбора». В качестве основных критериев там приведены «выполнение обязательных и дополнительных требований», «стоимость – качество», «культура производства» и «согласование с заказчиком».

Словом, обозреть все методики и подходы в одной статье – не реально. Да и едва ли в этом есть смысл. На сегодняшний день чаще всего применяются:

- пузырьковый метод течеискания. О физических основах, средствах и порядках проведения такого контроля мы поговорим ниже;

- масс-спектрометрический метод течеискания. Один из самых сложных. Заключается в том, чтобы при помощи гелиевого течеискателя зарегистрировать пробное вещество (чаще всего это инертный газ – гелий или аргон), проникающее через течи, предварительно выделив его из смеси сопутствующих газов по отношению их массы к заряду в электрическом и магнитном полях после ионизации. Метод регламентируется положениями ГОСТ 28517-90 «Контроль неразрушающий. Масс-спектрометрический метод течеискания. Общие требования». Гелиевые течеискатели представлены огромным разнообразием моделей, от бюджетных портативных приборов с выносным щупом (типа X1) до дорогостоящих стационарных комплексов (типа PNOENIXL 300);

- акустический метод течеискания. По принципу действия схож с акустико-эмиссионным контролем. Акустический метод ПВТ предполагает

использование специального прибора – течеискателя, который регистрирует упругие колебания, возбуждаемые при перетекании жидкости или газа через течь с частотой примерно 40 кГц. За приём акустических отвечает встроенный в течеискатель пьезоэлектрический микрофон или, чаще, выносной щуп с микрофоном и усилителем. Фиксируя упругие колебания, датчик преобразует их в электрический сигнал, который обрабатывается электронным блоком и выводится на экран прибора. Чем выше давление газа или жидкости в исследуемом объекте – тем выше чувствительность контроля. Акустические течеискатели широко используются для контроля герметичности инженерных коммуникаций – тепло-, газо-, водоснабжения. В зависимости от типа щупа течеискатели реализуют звукорезонансный либо акустический метод. Некоторые приборы могут работать с преобразователями обоих типов (как пример – ТИ1-ЗОНД+ производства компании «АКА-Скан»);

- галогенный метод течеискания. Одно из главных его преимуществ – способность выявлять утечки фреона. Именно поэтому галогенный метод так активно используют для контроля герметичности холодильного оборудования, но не только. Он очень востребован для контроля герметичности ёмкостей больших объёмов, а также сложных разветвлённых коммуникаций (газонаполненных трасс, трубопроводов, кабельных магистралей), не доступных для вакуумирования. Реализуется метод при помощи галогенных течеискателей;

- цветной (хроматический) метод. Одна из распространённых его разновидностей – поиск течей нефтепродуктов и органических жидкостей с применением сольватных индикаторов. Это негорючий раствор, который при помощи кисти либо распылителя наносят на зону контроля. В тех местах, где имеются течи, жидкость вступает в химическую реакцию с нефтесодержащим продуктом, вследствие чего проступают ярко-красные пятна. В зависимости от толщины стенки время реакции может достигать 30 минут;

- проба «мел-керосин». Активно применяется для течеискания всевозможных резервуаров и ёмкостей, в том числе – авиаремонтными службами для инспекции топливных баков. Одну сторону сварного соединения (либо основного металла) 3–4 раза смачивают индикаторной жидкостью – осветительным керосином. На другую сторону наносят проявитель – суспензию мела в спирте или воде. Время контроля достигает 12 часов при положительной температуре или 24 часа – при температуре 0 °С и ниже. Если шов перед контролем подогрели до 60–70 °С, то время выдержки сокращают до 1,5–2 часов. Но чаще всего наиболее интенсивное образование индикаторных пятен наблюдается в течение первых 15 минут. Поэтому зону контроля осматривают сразу после нанесения индикаторной жидкости. В тех местах, где имеются течи, мел будет темнеть. Обнаруженные таким способом участки обводят краской (маркером). Проба «мел-керосин» хороша низкой стоимостью расходников, высокой чувствительностью и наглядностью результатов, но, во-первых, требует двустороннего доступа к зоне контролю (сварному соединению), а во-вторых, создаёт большие трудности при последующих малярных и изоляционных работах. Удалить остатки мела и

керосина бывает очень тяжело (особенно в условиях цеха, если не предусмотрено камеры для высоконапорной мойки или пескоструйной обработки), из-за чего сильно ухудшается адгезия покрытия. Тем не менее, смачивание керосином – по сей день очень востребованный способ контроля герметичности.

Если же говорить про реальную практику течеискания в контексте НК при проведении технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности в полевых условиях, то здесь безоговорочным лидером надо признать пузырьковый метод. Он же вакуумно-пузырьковый контроль герметичности, он же вакуумирование, он же контроль непроницаемости. Особенно широко применяется при строительстве и ремонте РВС и изготовлении ёмкостного оборудования (рис. 4). Широко используется также для контроля герметичности сварных соединений баллонов, реже – для трубопроводов.



Рис. 4 Проверка емкости на герметичность

Преимущества вакуумно-пузырькового метода течеискания. Контроль может проводиться при одностороннем доступе к сварному соединению. Для работы используются «копеечные» расходники (вода, мыло, средства для мытья посуды типа Fairy). Контроль даёт быстрый наглядный результат – имеющиеся течи легко обнаруживаются по характерным пузырям и вздутиям в пенном растворе. На проверку 0,5 погонных метров может потребоваться всего 1–2 минуты (с учётом нанесения пенной эмульсии, установки вакуум-камеры, откачки воздуха, визуального наблюдения за образованием пузырей и сброса давления).

В зависимости от типа индикаторного раствора вакуумирование может выполняться даже при отрицательных температурах, до -30°C . Хотя, конечно, подобных крайностей лучше избегать – даже если пенообразующий состав ещё сохранит свои рабочие свойства на морозе, то подвергать такому

«стрессу» резиновый уплотнитель на вакуумной рамке вряд ли разумно. Не говоря уже об условиях труда самого дефектоскописта.

В отличие от цветной дефектоскопии, ПВТ не предполагает работы с вредными для здоровья химическими веществами. С последующим нанесением лакокрасочных или иных защитных покрытий проблем не возникает – опять же потому, что здесь нет агрессивной химии, которую было бы сложно удалить с поверхности и которая мешала бы нормальной адгезии.

Тем не менее, представление о вакуумировании как о некой «лёгкой прогулке» – в корне неверное. Такой контроль очень изматывает физически и психологически. Вот лишь некоторые объективные трудности, с которыми сталкиваются при проведении ПВТ:

- срочность. Особенно – если говорить о вакуумировании при строительстве или ремонте (реконструкции) резервуаров вертикальных стальных. Всем работникам в «каре» – слесарям, сварщикам, дефектоскопистам – зачастую приходится трудиться одновременно, в условиях жёсткого цейтнота. Поэтому на практике течеискание часто предпочитают проводить вдвоём: один работник наносит мыльный раствор и подметает его по завершении контроля, второй – устанавливает рамку, откачивает воздух и смотрит на индикации течей;

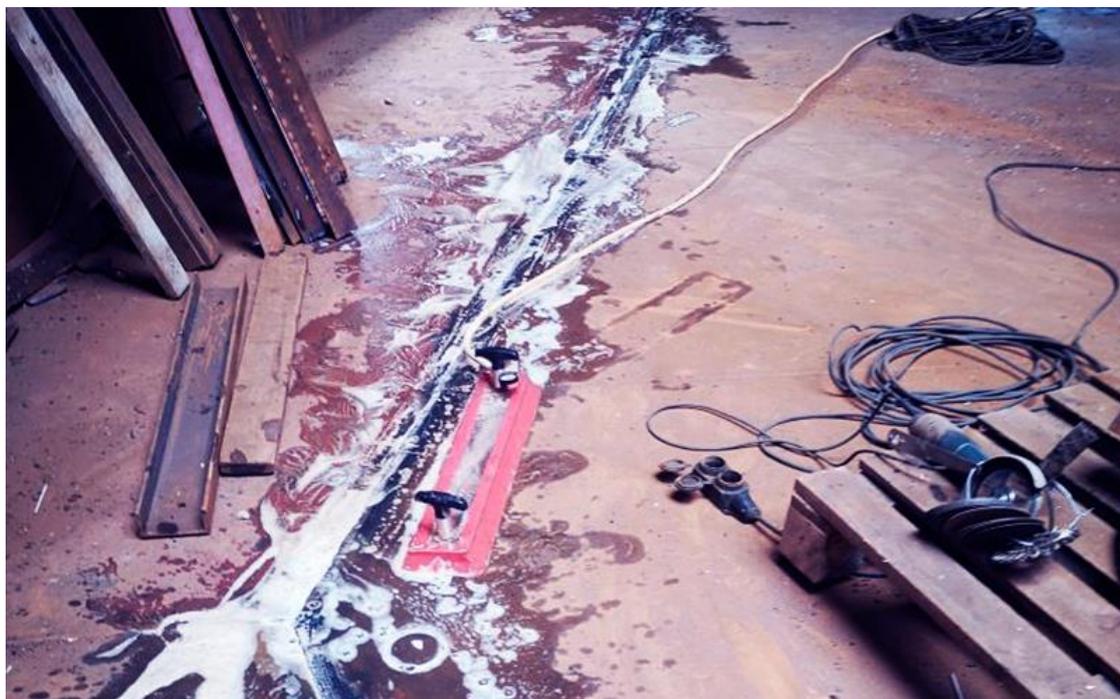
- проблемы с вакуумным шлангом. Кто-то об него запнулся, где-то он зацепился о какую-нибудь железяку, кто-то наступил... Если к этому добавляется общая спешка, то вероятность обрыва шланга только возрастает;

- негерметичное прилегание вакуумной рамки к поверхности сварного соединения – особенно на переходах (нахлесточных швах). Где-то неаккуратно удалили усиление сварного соединения, где-то имеется волнистость, где-то нарушена шероховатость (а она далеко не всегда соответствует рекомендуемому Rz 40 мкм). Плюс может отклеиться уплотняющий профиль по периметру вакуумной рамки, а сама резина задубеть. Поэтому иногда, чтобы хотя бы доработать смену, при каждом прикладывании рамки кромку профиля приходится дополнительно обрабатывать клеем или герметиком.

При этом – стоимость пузырькового метода течеискания сравнительно невысокая. В среднем расценки в российских лабораториях неразрушающего контроля по состоянию на апрель 2021 года варьируются от 170 до 350 рублей за 1 м сварного шва в нижнем положении и от 300 до 500 рублей – за 1 м шва в потолочном положении.

Ну и раз уж речь зашла об «экономике» метода, то, забегаая вперёд, отметим, что средняя стоимость вакуумных рамок без подсветки по состоянию на апрель 2021 года составляет 5 000–10 000 рублей. С подсветкой – от 18 000 рублей. Вакуумный насос обойдётся в среднем в 25 000–50 000 рублей. Ряд производителей предлагает мобильные установки контроля герметичности – готовые комплекты для ПВТ с несколькими вакуум-рамками, насосом, иногда – с тележкой и дополнительным освещением. Такие комплексы стоят от 50 000 рублей. Плюс от 400 до 2 000 рублей придётся заплатить за вакуумный шланг.

Такие вот цифры. Давайте теперь разбираться, что собой представляет данное оборудование и как с ним работают.



Технология проведения вакуумно-пузырькового контроля

Согласно ГОСТ Р 56542-2015 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов», пузырьковый метод течеискания состоит в том, чтобы зарегистрировать пузырьки пробного газа, проникающие через сквозные дефекты (свищи, сквозные трещины, непровары) объекта контроля. Пузырьковый вакуумный метод получил наиболее широкое применение в неразрушающем контроле сварных соединений трубопроводов, ёмкостного оборудования, котлов, баллонов, днищ РВС, соединений их окраек в местах примыкания к ним стенок резервуара, пересечений вертикальных и горизонтальных швов и пр. Технология контроля проста – порядок его проведения состоит из следующих основных этапов.

1. Подготовка индикаторного состава

Приложение Д в ГОСТ Р 50.05.01-2018 рекомендует на 1 л тёплой чистой воды нужно добавить 50 г хозяйственного или туалетного мыла (65%) или 15 г пенообразователя на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ). Для контроля при отрицательных температурах рекомендуется добавить хлористый кальций (100–365 г в зависимости от температуры) или хлористый натрий (от 83 до 290 г, но только для температур не ниже -20°C). Если же говорить о более «народных» средствах – средстве для мытья посуды или жидком мыле, то опытные дефектоскописты ПВТ часто добавляют их «на глаз» и получают вполне годные растворы.

В случае с пеноплёночным индикатором всё проще – он поставляется уже готовым к использованию. Средняя цена за 1 л такой жидкости по состоянию на апрель 2021 года – 300–400 рублей (за морозостойкий вариант – до 600 рублей).

2. Очистка и сушка поверхности

Контроль герметичности по понятным причинам лучше проводить до нанесения защитного либо изоляционного покрытия (если таковое предусмотрено). Поверхность, кроме того, следует очистить от грязи, масла, ржавчины. Лучше делать это проволочной щёткой. Рекомендуемая ширина зоны зачистки – не менее 150 мм в каждую сторону от сварного соединения. Для более эффективного удаления загрязнений хорошо подходят органические растворители – ацетон, уайт-спирит, спирт, бензин и др. После такой обработки поверхность нужно высушить (продуть сухим воздухом) и протереть чистой ветошью. Если на ней не останется загрязнений – значит, зачистка выполнена качественно и можно переходить к следующему этапу. Лучше делать это сразу, так как уберечь подготовленную зону контроля от последующего загрязнения, конденсации влаги атмосферного воздуха и прочих неприятных вещей – весьма затруднительно.

3. Нанесение индикаторного состава на сварной шов (либо исследуемый участок основного металла)

Это может быть мыльная эмульсия или специализированный пеноплёночный индикатор. Первый вариант дешевле и доступнее – для приготовления контрольной среды нужна лишь вода и пенообразующее вещество – для этого подойдёт хозяйственное или жидкое мыло, средство для мытья посуды или иная бытовая «химия», плюс в продаже есть пенообразователи (ПАВ). В пользу полимерных пеноплёночных индикаторов говорит их повышенная чувствительность к мелким течам. В ГОСТ Р 50.05.01-2018 «Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Контроль герметичности газовыми и жидкостными методами» таких ограничений нет. Главное – чтобы пенообразующий состав подтвердил свою эффективность на контрольной течи (об этом мы обязательно позже расскажем), был безопасен для персонала и не оказывал коррозионного или иного вредного воздействия на объект контроля. РД-25.160.10-КТН-015-15 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Сварка при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. Часть 2. Методы контроля качества сварных соединений» прямо указывает на то, чтобы для приготовления пенного индикатора использовалось туалетное либо хозяйственное мыло или экстракт лакричного солодкового корня (в зимнее время – с добавлением хлористого натрия). При этом – тот же документ рекомендует вместо мыльного раствора отдавать предпочтение пеноповерхностным индикаторам на основе синтетических поверхностно-активных веществ. Зарубежные стандарты ASTM и ASME не допускают

использования мыльных эмульсий в качестве испытательных растворов.

Пеноплёночный индикатор наносят из тюбиков, бутылок или канистр, в которых он поставляется. Мыльный раствор – часто разводят в ведре непосредственно на объекте и наносят на сварной шов при помощи мягкой волосистой кисти, краскораспылителя или губки. В обоих случаях можно использовать пульверизатор (помповый распылитель).



4. Установка вакуумной рамки

Она же – вакуум-камера («присоска»). Представляет собой прямоугольный, треугольный, круглый или квадратный металлический каркас. С верхней стороны предусмотрен прозрачный смотровой экран из поликарбоната (плексигласа). С нижней, по периметру рамки приклеен эластичный профиль из пористой резины, задача которого – обеспечить плотное и герметичное прилегание к поверхности ОК. Вообще, уплотнитель – это одно из самых проблем мест вакуумной рамки. Контактная поверхность постоянно подвержена механическим, температурным и химическим воздействиям. Из-за этого профиль со временем дубеет, рвётся, отслаивается от корпуса, не держит вакуум. В поисках решения некоторые производители перешли на уплотнители из силикона и полиуретана.

За напуск атмосферы (откачку воздуха) отвечает механизм впуска-выпуска – вакуумные кран-ручки (клапаны) либо трёхпроходной шаровый кран. Следить за давлением можно по встроенному манометру. Ручки должны быть достаточно прочными – в процессе вакуумирования рамку приходится прижимать к поверхности.

Вакуумные рамки бывают для плоских поверхностей, а также для контроля угловых (уторных) сварных соединений, изогнутых объектов

(трубопроводов, сосудов) и даже для нахлесточных швов. Ширина варьируется от 65 до 80 мм, длина – до 630 мм. Диаметр круглых вакуум-рамок – от 240 до 260 мм. В случае с угловыми рамками для уторных швов – они могут быть выполнены для установки на наружных или на внутренних углах. При перестановке камеры с одного участка на другой – важно следить за тем, чтобы вакуум-камера не менее чем на 50–100 мм перекрывала ранее проверенный участок.



5. Создание вакуума внутри рамки

Задача – сделать так, чтобы давление воздуха с обратной стороны сварного шва оказалось больше, чем под вакуумной рамкой. Для пузырькового контроля герметичности достаточно даже небольшого перепада. Тогда воздух будет проникать через сквозные дефекты, «надувая» пузыри в пенном индикаторе и указывая тем самым на имеющиеся течи. Отменённая ныне методика ПНАЭ Г-7-019-89 требовала, чтобы давление в

вакуумной камере для этого составляло $2,5-30 \times 10^4$ Па. Регламент РД-25.160.10-КТН-015-15 требует создания вакуума не менее 0,08 МПа. Большинство современных установок для контроля герметичности пузырьковым методом соблюдают эту норму с запасом: рабочее разрежение у большинства варьируется от -0,6 атмосфер до -1,0 атмосфер. В некоторых НТД говорится о вакуумировании при перепаде давления 250 мм вод. ст. По старым «Правилам технической эксплуатации резервуаров и инструкциям по их ремонту» (1986 год), разрежение в вакуум-камере должно было составлять не менее 0,665 МПа для сварных соединений стальных листов толщиной 4 мм и не менее 0,079 МПа – для толщин больше 4 мм. За создание вакуума отвечает вакуумный насос, к которому через быстросъёмный вакуумный разъём подключается рамка при помощи шланга (у разных производителей его длина достигает 5–13 м). Вакуумные насосы обычно комплектуются фильтрами грубой очистки воздуха, блоком регулировки давления, а наиболее в наиболее продвинутых моделях реализована возможность дистанционного управления. Главные требования к вакуумным насосам – высокая скорость откачки воздуха, портативность (малый вес), желательно не слишком большой уровень шума и, что особенно важно, надёжность.

6. Регистрация течей

Непосредственно после нанесения индикаторной жидкости зону контроля тщательно осматривают. При работе с мыльной эмульсией рекомендовано смотреть до 2–3 минут (на практике зачастую ограничиваются 30–60 секундами). Большие дефекты чаще всего «выдают себя» сразу. При использовании полимерного состава для выявления малых течей нужно подождать до 10 минут. Наличие течей определяют по возникновению пузырей и разрывом мыльной плёнки (если в качестве индикаторной жидкости используется мыльная эмульсия) либо пенным коконам и всё те же разрывам плёнки (при работе с полимерным составом). Если же пузырьки и вздутия отсутствуют, значит, контролируемый участок обладает достаточной герметичностью (именно достаточной, не абсолютной – поскольку таковая попросту недостижима, дело лишь в допустимой величине натекания).



7. Удаление остатков индикаторной жидкости

Выявленные течи обозначают маркером по металлу либо мелом. Во избежание коррозионного воздействия на металл по завершении контроля с поверхности удаляют остатки мыльной эмульсии при помощи веника/щёток/ветоши.

По завершении смены смотровое окно и резиновый профиль вакуумной рамки также необходимо очищать от загрязнений и брызг. Для этого лучше использовать мягкие моющие средства (либо спирт) и влажные салфетки.



Магнитная дефектоскопия

Методы контроля качества сварных соединений включают в себя такой неразрушающий вид как магнитная дефектоскопия. Этот метод применяется для контроля изделий, имеющих ферромагнитный состав. Он поможет обнаружить неглубокие, но скрытые трещинки, а также инородные включения.

Когда нарушается целостность конструкции внутри нее, то появляется своеобразная "зона рассеяния". При этом на краях образуются полюса. На внешней поверхности сварного изделия напротив внутренней зоны рассеяния происходит ее фиксация. Магнитные линии начинают огибать эту зону, и происходит ее четкое выделение. В этом месте происходит изменение плотности магнитного поля.

Магнитный контроль сварных швов основан на образовании магнитного поля, которое при проверке пронизывает сварное соединение. Для этого

применяется особое оборудование. С помощью дефектоскопов имеется возможность обнаружения микроскопических трещин с размером их толщины до 0,001 мм. Суть метода состоит в том, что магнитный поток, путешествуя вдоль сварочного шва, при появлении на его пути дефекта обходит его. Это является следствием того, что магнитная проницаемость в этом месте гораздо меньше, чем магнитная проницаемость самого металла.

Для обнаружения продольных трещин применяется циркулярный вид намагничивания, для поперечных трещин - продольный. Также имеется комбинированный способ.

Контроль сварочных швов методом магнитной металлографии может осуществляться несколькими способами.

Магнитопорошковый

Проверка сварки производится с помощью магнитного порошка, который представляет собой совокупность мельчайших частичек намагниченного металла. В результате воздействия рассеяния магнитного поля эти частички меняют свое положение в пространстве.

Если у детали есть какой-либо дефект, то над ним обязательно образуется магнитное поле, которое будет искажаться. Деталь изначально намагничена и магнитные линии просто огибают дефекты, встречающиеся на пути. В результате происходит искажение магнитного поля (рис. 5).

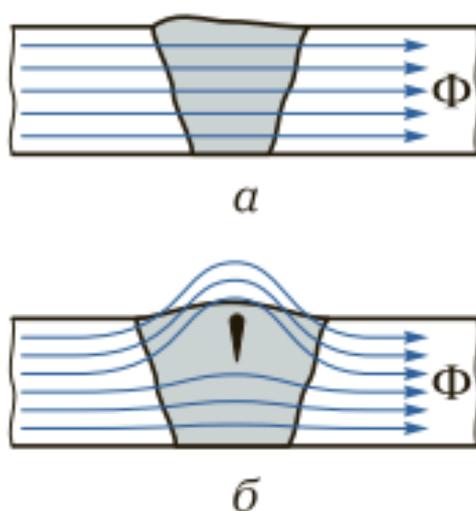


Рис. 5 Искажение магнитного поля. А – дефекта сварного шва нет; б – имеется внутренний дефект

К тому же, по краям заготовки могут образовываться магнитные полюсы, которые в свою очередь создают локальные магнитные поля. На рисунке ниже схематично изображено магнитное поле.

Как правило, ферромагнитный порошок представляет собой железо. Он может использоваться в следующих видах:

- сухой;
- водная эмульсия;
- маслянистая суспензия.

Теперь подробнее о том, как происходит магнитопорошковая дефектоскопия сварных швов. Чтобы обнаружить дефект недостаточно иметь правильное оборудование. Нужно также использовать специальное ферромагнитное вещество. Проще говоря, магнитный порошок. Его наносят на сварное соединение с помощью сухого или мокрого метода.

При сухом методе используется обычное порошкообразное магнитное вещество. А при мокром — специальная магнитная суспензия. В данном случае суспензия — это смесь магнитного порошка и жидкости. В качестве жидкости можно использовать трансформаторное масло, его смесь с керосином, а также смесь воды с веществами, препятствующими образованию коррозии.

Процесс проверки заключается в том, что частицы порошка, на которые оказывают действие электромагнитные поля, перемещаются равномерно по поверхности. Когда они встречают на своем пути дефект, частицы порошка начинают скапливаться, образуя в таких местах своеобразные валики или другие формы (рис. 6).



Рис. 6 Скопление порошка на дефектах шва

Их форма и размер позволяют судить о соответствующих параметрах найденного дефекта.

Технологические операции для выполнения магнитопорошкового метода:

1. Подготовка поверхности. Очищение ее от грязи, шлака, окалины, следов брызг, наплывов.
2. Нанесение на поверхность проверяемого соединения порошка, эмульсии или суспензии.
3. Осмотр и выявление участков, в которых имеются дефекты.
4. Размагничивание поверхности.

Наиболее достоверные результаты можно получить при использовании сухого порошка. Чтобы правильно оценить чувствительность порошка пользуются контрольными образцами. Допускается использование различных видов дефектоскопов: стационарных, мобильных, переносных, передвижных.

Магнитографический метод контроля

Фиксация рассеяния силовых линий создаваемого магнитного поля возможна по отпечаткам на чувствительной ленте с ферромагнитным напылением на триацетатной или лавсановой основе. Размагниченную ленту накладывают на анализируемый участок, поверхность предварительно очищают и обезжиривают. Прижатая резиновым уплотнителем пленка дефектоскопа фиксирует рассеяние поля, когда происходит намагничивание контролируемого соединения.

Магнитографический метод предусматривает плотное прилегание прибора к контролируемому участку шва, чтобы получился распознаваемый оттиск. Методика с низким порогом чувствительности, выявляет макродефекты на сварных соединениях толщиной 12–25 мм. Намагничивание происходит в соответствии с глубиной диффузного слоя, настраивается дефектоскоп по эталонным лентам, проверка проводится по тестовым образцам. Место локализации брака выявляется визуально, картинка выводится на экран-индикатор. Информация, записанная на ленту, расшифровывается считывающим устройством автоматически.

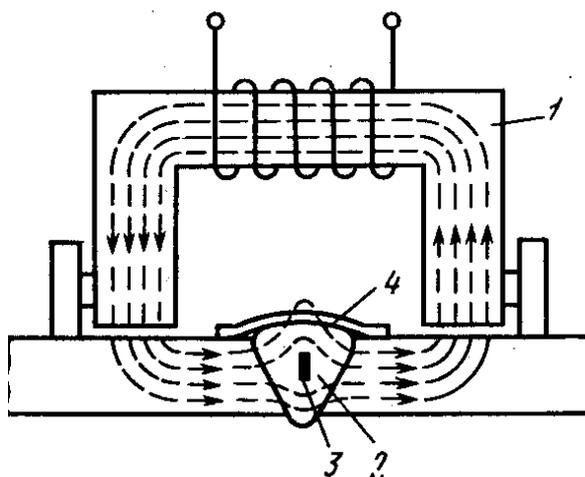


Рис. 7 Схема магнитографического контроля: 1. Намагничивающее устройство; 2. Сварной шов; 3. Дефект в сварном шве; 4. Магнитная пленка.
Схема магнитографического контроля: 1. Намагничивающее устройство; 2. Сварной шов; 3. Дефект в сварном шве; 4. Магнитная пленка.

Магнитографический метод применяется в основном при риске возникновения несплошностей плоскостного вида, расположенных перпендикулярно линиям генерируемого поля. Продольные непровары, шлаковые включения обнаружить сложнее, для этого требуется опытный инспектор. Сферические пузыри, раковины определяются дефектоскопом намного реже.

Точность показаний зависит от типа ленты, плотности напыления ферромагнитных частиц, их подвижности. Магнитоленты рассчитаны на

эксплуатацию в различном температурном диапазоне. Дефектоскопы оборудованы считывающими устройствами двух типов:

- импульсные (МД-9) выводят индикацию на экран электронно-лучевой трубки с разной амплитудой, частотой, по этим показателям судят о величине и залегании дефектных образований;
- телевизионные (МД-11) выводят на экран расплывчатое изображение дефекта, по ней проще определить рельеф несплошности.

Универсальными дефектоскопами считаются магнитные приборы контроля с двойной системой считывания показаний, это МДУ-2У, МГК-1, МД-10ИМ.

Индукционный метод контроля

Для индукционного магнитного контроля сварных швов на трубопровод или металлоконструкцию устанавливают электромагнит, работающий от переменного тока. Внутри металла формируется переменный магнитный поток, создающий переменные вихревые токи. Они рассеиваются неравномерно, если есть брак диффузного слоя. Искажение рассеяния исследуется искателем. Это небольшая индукционная катушка, оснащенная железным сердечником, встроенная в экранирующий корпус из меди или алюминия. По сути – это тот же гальванометр, соединенный с сигнальным индикатором.

Индукционный магнитный контроль используется для выявления внутренних видов брака, а наружные дефекты фиксирует хуже. Технология процесса поиска несплошностей заключается в перемещении индукционной катушки по поверхности. Двигать можно прибор и сварной шов. Индукционный дефектометр выявляет зоны брака по изменениям магнитных линий.

Индукционный ток усиливается, преобразуется в звуковой сигнал, поступающий в наушники оператора, одновременно загорается сигнальная лампа.

По громкости звука, силе свечения определяют размер дефекта. Для контроля применяют магнитные дефектоскопы серии ЭМНД с маркировкой 2, 3, 4, 6, 8, ДНМ-500, ЭДМ-66. Эффективность и чувствительность приборов подбирают по толщине исследуемых деталей. Химический состав сплава особой роли не играет. Результативность магнитных исследований внутренних участков брака высокая, пространственное положение несплошностей особой роли для контроля не играет. При отсутствии дефектов световых или звуковых сигналов дефектоскоп оператору не передает. Этот метод удобен при приемке сварочных работ.

Ультразвуковой контроль

Ультразвуковой контроль качества сварных соединений металлоконструкций относится к неразрушающим методам. Он подходит для проверки сварных швов различных металлов. Происходит поиск структур, у

которых физические и химические свойства отличаются от заданных. Отклонением также считается превышение допустимых размеров.

Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых волн с легкостью отражаться от краев трещин и сколов вследствие того, что их акустические особенности являются иными по сравнению с основной поверхностью. Когда на сварной шов подают ультразвук, то при столкновении с дефектом он претерпевает изменение и начинает отражаться в ином направлении. Искажение ультразвуковой волны происходит по-разному в зависимости от типа дефекта, что облегчает их идентификацию.

Проверка сварных швов ультразвуковым методом основана на проникновении диагностической волны вглубь металла и при столкновении с дефектами изменении направления своего движения. Это отклонение видит на экране прибора контролер сварочных работ (рис. 8).

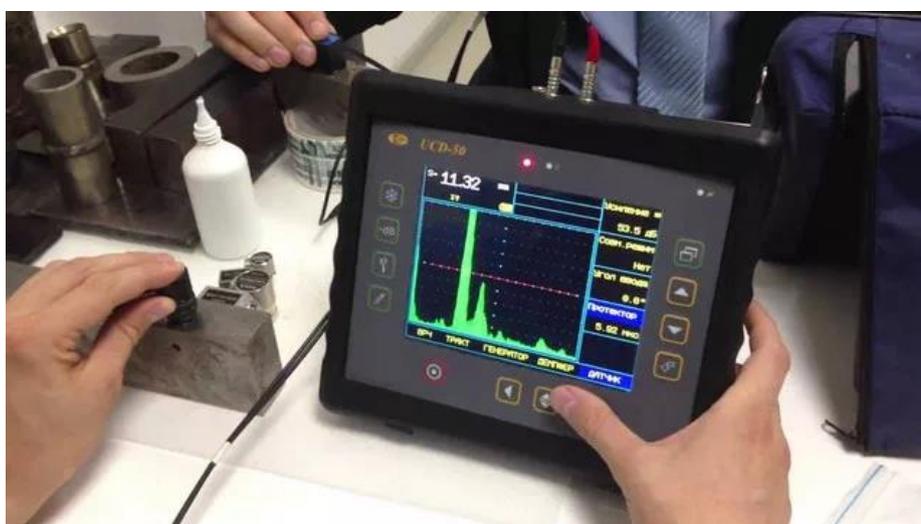


Рис. 8 Ультразвуковой дефектоскоп

Проверка сварных швов ультразвуковым методом основана на проникновении диагностической волны вглубь металла и при столкновении с дефектами изменении направления своего движения. Это отклонение видит на

Согласно показаниям диагностического прибора дается характеристика выявленному дефекту. По времени, в течение которого происходит распространение в металле ультразвуковой волны, можно судить о глубине расположения дефекта, а по амплитуде отраженного импульса - по размеру обнаруженного дефекта.

Проверка качества сварных швов ультразвуковым методом на основании ГОСТ-23829 осуществляется различными способами:

- тeneвым;
- зеркально-тeneвым;
- эхо-импульсным;
- эхо-зеркальным;
- дельта-методом.

Теневого способ предполагает использование двух приборов, расположенных по разные стороны исследуемой металлоконструкции. Их

устанавливают в плоскости, перпендикулярной сварному соединению. Назначение первого из них - излучение волн, а второго - их прием. Первый называется излучателем. Он генерирует акустические волны. Второй называется приемником. Его задача - регистрация акустических волн, прошедших через исследуемый объект.

Важным является взаимное расположение излучателя и приемника. Они должны находиться друг напротив друга. Если между излучателем и приемником находится "глухая зона", то ультразвуковые колебания могут исчезнуть или уменьшиться. Такой участок шва признается дефектным.

Зеркально-теневой способ представляет собой приблизительно такой же теневой с одним различием - излучатель и приемник располагают не на противоположных сторонах металлоконструкции, а на одной стороне. При таком расположении происходит регистрация не прямого потока волн, а отраженного от второй поверхности, являющейся как бы зеркалом. Дефект оценивается по тому, какое значение имеет коэффициент затухания колебания, являющегося отраженным.

При эхо-импульсном способе акустические волны направляются на сварное соединение и происходит регистрация волны, отраженной от находящегося в нем дефекта. В качестве источника и приемника используется один и тот же преобразователь.

Эхо-зеркальный метод исследования иначе называют «Тандем». Такое название объясняется тем, что при его использовании применяются сразу два аппарата. Оба преобразователя помещают на одной стороне соединения. Ультразвуковые колебания, сгенерированные излучателем, отражаются от дефектной области, и затем проходят регистрацию с помощью приемника. Такой метод находит широкое применение для обнаружения вертикально расположенных трещин.

Основой дельта-метода, относящегося к ультразвуковому контролю, является свойство дефектов осуществлять излучение внутрь сварного шва. Происходит контроль энергии, излученной от дефектных поверхностей. Для осуществления такого контроля необходимо оборудование и его настройка, а также длительная расшифровка результатов, поэтому особой популярностью этот способ не пользуется.

Пооперационный контроль качества сварных соединений ультразвуковым способом заключается в следующем:

1. Очистка проверяемой поверхности. Убираются следы ржавчины, остатков краски, лака, различных пятен.
2. Обработка проверяемых поверхностей машинным или трансформаторным маслом.
3. Проверка работоспособности и настройка используемого оборудования под необходимые параметры. Стандартные настройки могут применяться, если толщина сварного шва не превышает 2-х сантиметров. Иначе необходимо использование специальных диаграмм.
4. Проведение контроля качества сварных швов. При этом излучатель перемещают вдоль соединения зигзагообразно и разворачивая на

небольшой угол вдоль своей оси. Искатель перемещают до тех пор, пока он не начнет улавливать сигналы.

Все обнаруженные отклонения фиксируются в специальном журнале. Контроль и проверка должны соответствовать требованиям действующих нормативных материалов. Ультразвуковой метод требует высокой квалификации работников, выполняющих согласно нему контроль сварных соединений.

Контроль сварочных соединений при помощи ультразвукового способа предполагает нахождение следующих дефектов:

- наличие внутри шва пор;
- расслоенные участки наплавов металла;
- трещины;
- неровности;
- непровар;
- несплавление;
- свищи;
- коррозию;
- повреждения окислами;
- провисание;
- изменение химического состава;
- механические повреждения;
- изменение геометрических размеров.

Ультразвуковой диагностике можно подвергать различные виды соединений. Такой параметр как чувствительность ультразвукового метода можно определить самым маленьким размером дефекта, который он способен выявить. К преимуществам относится относительная безопасность проведения контрольных операций. Благодаря наличию мобильных дефектоскопов возможна проверка в полевых условиях.

Радиационный контроль

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с контролируемым изделием. Наиболее часто применяются методы контроля прошедшим излучением, основанные на различном поглощении ионизирующих излучений при прохождении через дефект и бездефектный участок сварного соединения (рис. 9). Интенсивность прошедшего излучения будет больше на участках меньшей толщины или меньшей плотности, в частности в местах дефектов - несплошностей или неметаллических включений. Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с контролируемым изделием. Наиболее часто применяются методы контроля прошедшим излучением, основанные на различном поглощении ионизирующих излучений при прохождении через дефект и бездефектный участок сварного соединения (рис. 9). Интенсивность прошедшего излучения будет больше на участках меньшей толщины или

меньшей плотности, в частности в местах дефектов - несплошностей или неметаллических включений.

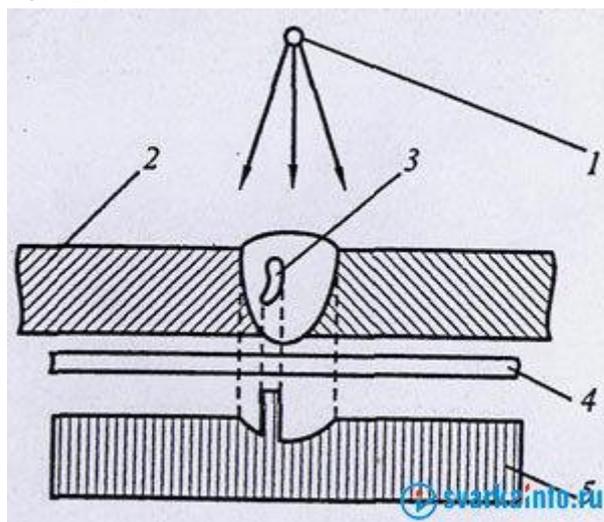


Рис. 9 Схема радиационного контроля прошедшим излучением:
1 - источник излучения; 2 - изделие; 3 - дефект; 4 - детектор (пленка); 5 - плотность излучения

Методы радиационного контроля классифицируются прежде всего по виду (и источнику) ионизирующего излучения и по виду детектора ионизирующего излучения.

Ионизирующим называют излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов. Так как ионизирующее излучение, состоящее из заряженных частиц, имеет малую проникающую способность, то для радиационного контроля сварных соединений обычно используют излучение фотонов или нейтронов. Наиболее широко используется рентгеновское излучение (X-лучи). Это фотонное излучение с длиной волны $6 \cdot 10^{-13} \dots 1 \cdot 10^{-9}$ м. Имея ту же природу, что и видимый свет, но меньшую длину волны (у видимого света $4 \dots 7 \cdot 10^{-7}$ м), рентгеновское излучение обладает высокой проникающей способностью и может проходить через достаточно большие толщины конструкционных материалов. При взаимодействии с материалом контролируемого изделия интенсивность рентгеновского излучения уменьшается, что и используется при контроле. Рентгеновское излучение обеспечивает наибольшую чувствительность контроля.

Рентгеновское излучение состоит из тормозного и характеристического. Тормозное — это фотонное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при изменении кинетической энергии заряженных частиц.

Методы радиационного контроля классифицируются прежде всего по виду (и источнику) ионизирующего излучения и по виду детектора ионизирующего излучения.

Кроме тормозного рентгеновского излучения с непрерывным спектром, при некоторой определенной для данного материала анода энергии электронов

возникает характеристическое рентгеновское излучение с дискретным спектром.

Характеристическое излучение — фотонное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атома. При выбивании электрона с внутренней оболочки атома освобождается место в оболочке, которое заполняется электроном с внешних слоев. При этом атом переходит в нормальное состояние и испускает квант характеристического излучения с энергией, равной разности энергии на соответствующих уровнях.

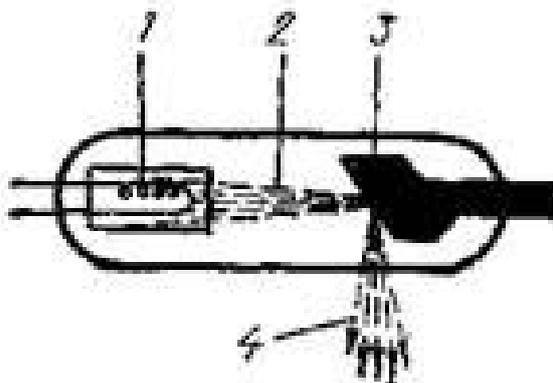


Рис.10 Схема рентгеновской трубки

Источником рентгеновского излучения является рентгеновская трубка (рис. 10), представляющая собой стеклянный баллон с высоким вакуумом внутри. В баллоне имеются два электрода - анод 3, соединенный с положительным полюсом высоковольтного генератора, и катод 1, соединенный с отрицательным полюсом. Катод рентгеновской трубки, представляющий собой спираль из вольфрамовой проволоки, является источником свободных электронов, необходимых для получения рентгеновского излучения. Ток, проходя через катод, нагревает его до температуры 2000-2400° С, при которой возникает эмиссия электронов с поверхности катода. Поток отрицательно заряженных электронов 2 притягивается положительно заряженным анодом. Зона анода, о которую ударяются электроны, называется фокусным пятном. Анод трубки, представляющий собой охлаждаемую вольфрамовую пластину, является источником рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение 4 возникает в трубке при столкновении быстролетающих электронов катода с атомами анода.

Другим распространенным видом ионизирующего излучения, используемым при контроле сварных соединений, является γ -излучение. Это фотонное излучение с длиной волны $1 \cdot 10^{-13} \dots 4 \cdot 10^{-12} \text{ м}$, возникающее при распаде радиоактивных изотопов, ядерных превращениях или при аннигиляции частиц. В результате ядерных превращений радиоактивные ядра становятся ядрами стабильных изотопов. Число таких превращений в единицу времени называют активностью радиоизотопного источника. Источником γ -излучения при радиационном контроле обычно являются радиоактивные изотопы тулия, иридия, цезия, кобальта: ^{170}Tl , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co и др.

Источники γ -излучения компактны и не требуют больших затрат электроэнергии (только на освещение и, возможно, на перемещение радиоактивного изотопа в рабочее положение и обратно). Однако γ -излучение более опасно для человека и, в отличие от рентгеновского, не может быть выключено. Проникающая способность γ -излучения выше, чем рентгеновского, поэтому могут просвечиваться изделия большей толщины, но чувствительность контроля при этом ниже, различие между дефектными и бездефектными участками менее заметно. Поэтому область применения γ -дефектоскопии - контроль изделий большой толщины (малые дефекты в этом случае менее опасны), контроль в монтажных и полевых условиях, в частности - трубопроводов и крупногабаритных резервуаров, просвечивание изделий сложной формы, если разместить рентгеновский аппарат нельзя.

Рентгеновское и гамма-излучение способно проникать через металлические и другие непрозрачные тела значительной толщины и воздействовать на фотографические пластинки и пленки, которые находятся в закрытых кассетах за просвечиваемыми деталями. Только свинец не пропускает эти лучи. Поэтому радиоактивные вещества хранят в свинцовых ампулах, а при рентгеновских просвечиваниях пользуются свинцовыми пластинами в качестве защитных экранов.

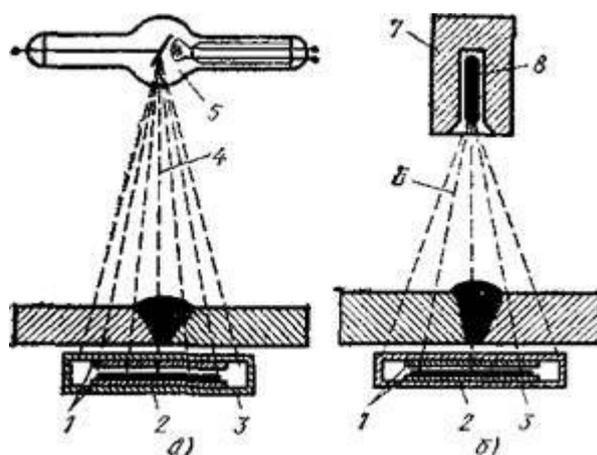


Рис.11 Схема просвечивания сварных швов: а - рентгеновским Излучением, б - гамма-излучением; 1-усиливающие экраны, г-пленка, 3 - кассета, 4 - рентгеновское излучение, 5 - рентгеновская трубка, 6 - гамма-излучение, 7 - свинцовый кожух, 8 - ампула радиоактивного вещества

Гораздо реже (при контроле изделий еще большей толщины) используется тормозное излучение высоких энергий (1...100 МэВ, в то время как энергия рентгеновских фотонов не превышает 0,5 МэВ) с длиной волны $1 \cdot 10^{-16} \dots 1 \cdot 10^{-12}$ м, обладающее еще большей проникающей способностью. Такое излучение получают при бомбардировке мишеней электронами, ускоренными в линейных или циклических ускорителях: микротронах, бетатронах. Поэтому контроль с использованием тормозного излучения высоких энергий называют бетатронной дефектоскопией. О возможностях этого метода можно судить по таким данным: излучение с энергией 35 МэВ

позволяет просвечивать сплавы на основе железа толщиной до 450 мм или сплавы на основе алюминия толщиной до 1800 мм.

В зависимости от методов детектирования (обнаружения и регистрации) ионизирующего излучения различают радиографию, при которой фиксирование изображения внутренней структуры изделия происходит на пленке или бумаге, радиоскопию (изображение наблюдается на экране) и радиометрию (регистрируются электрические сигналы).

Радиография получила наибольшее распространение в связи с простотой, наглядностью и документальным подтверждением результатов контроля. При радиографическом контроле для регистрации интенсивности прошедшего через металл излучения применяют радиографическую пленку или фотобумагу (метод прямой экспозиции), металлические активируемые экраны или заряженные полупроводниковые пластины (метод переноса изображения). Более распространен метод прямой экспозиции. При нем могут использоваться все рассмотренные виды ионизирующих излучений. Оптическая плотность почернения радиографической пленки или фотобумаги зависит от дозы ионизирующего излучения, она больше на местах, перекрытых менее плотными участками контролируемого объекта. Поэтому такие дефекты, как поры, трещины, непровары, а также шлаковые включения, будут выглядеть на радиографической пленке в виде темных пятен соответствующей формы. Включения более плотные, чем основной металл (например, вольфрамовые при сварке алюминия неплавящимся электродом), будут на радиограммах иметь вид светлых пятен. Для лучшего выявления дефекта направление излучения должно по возможности совпадать с направлением его максимального размера.

При радиографии радиоактивных изделий используют в качестве излучения нейтроны, а в качестве детектора - металлические активированные экраны, которые активируются в нейтронном потоке и не чувствительны к γ -излучению. Затем скрытое изображение переносят на радиографическую пленку, прикладывая ее к металлическому экрану.

Ксерорадиография позволяет исключить применение радиографической пленки. При этом достигается повышение производительности контроля за счет исключения трудоемкой фотообработки, а также уменьшение затрат в связи с исключением расхода серебра, входящего в состав пленки. В качестве детектора при ксерорадиографии используют специальные ксерорадиографические пластины, состоящие из проводящей подложки (алюминия, латуни, стекла или бумаги с проводящим покрытием), на которую нанесено полупроводниковое покрытие (чаще всего селеновое). В качестве источника излучения в основном используют рентгеновские аппараты, реже - радиоизотопные источники тормозного или γ -излучения. При ксерорадиографии заряжают ксерорадиографическую пластину с помощью коронного разряда и помещают в светонепроницаемую кассету. В процессе просвечивания селен становится проводником, происходит утечка заряда. Чем больше интенсивность прошедшего излучения, тем меньше остаточный заряд. Затем на пластинку наносят красящее вещество. Краситель переносят на

бумагу контактным, способом, закрепляют на ней ацетоном или другим растворителем. Время контроля по сравнению с обычной радиографией уменьшается в десятки раз. Одна ксерорадиографическая пластина может использоваться до 1000 раз.

Радиоскопия основана на просвечивании контролируемых объектов ионизирующим излучением, преобразовании прошедшего излучения в светотеневое или электронное изображение с последующим усилением, передачей и анализом изображения на экране оптического устройства или телевизионного приемника. Применение телевизионных систем обеспечивает радиационную безопасность персонала, позволяет усиливать яркость и контрастность и изменять масштаб изображения.

Радиоскопия позволяет рассмотреть внутреннюю структуру объекта непосредственно в момент просвечивания, при этом сохраняются достоинства радиографии: возможность определения типа, характера и формы дефекта. Малая инерционность преобразования радиационного изображения позволяет за короткое время исследовать объект под различными углами, что повышает вероятность выявления скрытых дефектов. Чувствительность радиоскопии ниже чувствительности радиографии, производительность - выше. В установках для радиоскопии может быть предусмотрена отметка и последующая радиография выявленных дефектных участков.

Радиометрия основана на просвечивании изделия ионизирующим излучением и преобразовании плотности потока или спектрального состава прошедшего излучения в электрический сигнал. В качестве источника излучения применяют в основном радиоизотопы (γ -излучение), ускорители, реже — рентгеновские аппараты и источники нейтронов. В качестве детекторов используют ионизационные камеры, газоразрядные счетчики (пропорциональные и счетчики Гейгера), фиксирующие ионизацию или газовый разряд под действием ионизирующего излучения, а также сцинтилляционные счетчики, основанные на измерении с помощью электронных умножителей интенсивности световых вспышек в люминофорах.

В отличие от радиографического и радиоскопического методов при радиометрии объект просвечивается узким пучком излучения. Если в просвечиваемом изделии будет дефект, то регистрационное устройство отметит изменение интенсивности излучения.

Преимущества радиометрии: высокая чувствительность (выше, чем у радиографического метода), высокая производительность, возможность бесконтактного контроля качества движущегося изделия, что особенно удобно при поточном производстве (возможно осуществление обратной связи с технологическим процессом). Основной недостаток радиометрии: интегрирующие свойства - одновременная регистрация сигнала от дефекта и от изменения толщины изделия. Это затрудняет возможность определения формы, размеров и глубины залегания дефекта - иногда оказывается необходимым снимать или зачищать усиление сварного шва.

Дальнейшим развитием радиографии является радиационная вычислительная томография. В отличие от обычной радиографии объект

просвечивается большим количеством источников излучения, прошедшее излучение фиксируется большим количеством детекторов, изделие перемещается по определенной программе, результаты контроля запоминаются и анализируются с помощью ЭВМ, а затем на основе созданной модели внутренней структуры объекта формируется ее изображение на экране, т.е. обеспечивается наглядность, отсутствующая при обычной радиографии.

С помощью радиационных методов контроля выявляются трещины, непровары, непропаи, включения, поры, подрезы и другие дефекты.

Достоинства: Результаты контроля наглядны (кроме обычной радиометрии), поэтому по сравнению с другими методами неразрушающего контроля при радиационном контроле легче определить вид дефекта. Как правило, не требуется высокая чистота поверхности сварных швов и изделий, можно контролировать сравнительно большие толщины.

К недостаткам радиационных методов необходимо прежде всего отнести вредность для человека, в связи с чем требуются специальные меры радиационной безопасности: экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне. Кроме того, радиационными методами плохо выявляются несплошности малого раскрытия (трещины, непровары), расположенные под углом более $7...12^\circ$ к направлению просвечивания, метод малоэффективен для угловых швов.

Применение. Рентгенографию применяют преимущественно в цеховых и реже в полевых условиях в случаях, когда к качеству сварных соединений предъявляются высокие требования, гаммаграфию — при контроле сварных соединений больших толщин, а также стыков, расположенных в труднодоступных местах, в полевых и монтажных условиях. Бета-тронная, микротронная радиография эффективна при дефектоскопии соединений большой толщины в основном в цеховых условиях. Нейтронная радиография применяется для контроля соединений тяжелых металлов, водородосодержащих материалов и радиоактивных изделий.

Подготовка к просвечиванию при радиографии заключается в предварительном внешнем осмотре сварного соединения и очистке его от шлака, масла и других загрязнений. Наружные дефекты удаляют. Участки шва маркируют с помощью свинцовых знаков, либо помечают пленку или флуоресцентные экраны. На поверхность изделия вблизи контролируемого шва устанавливаются эталоны чувствительности, чаще всего - канавочный: пластинка с канавками переменной глубины и ширины. При просвечивании рентгеновское или гамма-излучение направляют на сварной шов, оно проникает через металл шва и действует на рентгеновскую пленку, заключенную в кассете с противоположной стороны шва.

Разрушающий контроль

Все виды контроля сварных швов делятся на неразрушающие и разрушающие. Перед началом исследований необходимо определиться, какие

методы включает разрушающий контроль сварных соединений, и допустимо ли это в конкретном случае.

К разрушающим методам контроля сварных соединений относятся:

- механические испытания;
- химические;
- физические;
- металлографические.

Разрушающий контроль сварных соединений целесообразно проводить на контрольных образцах в качестве предварительной оценки состояния сварного соединения.

Металлографические исследования заключаются в засверливании поверхности и протравливании ее раствором, содержащим аммоний и хлорид меди. Просверливание производят сквозь сварной шов. Затем углубляются в основной металл. Потом место проверки осматривают невооруженным глазом или с помощью лупы.

При химическом анализе устанавливают соответствие состава металла и сварного шва на нем нормативным требованиям. В ГОСТ 122-75 указаны методы для отбора проб. Для механических исследований специально изготавливают образцы или вырезают их из сварного соединения, и проводят на них испытания.