

**Неразрушающий контроль в промышленности.
Визуальный и измерительный контроль
сварных соединений**
*Nondestructive testing in industry.
Visual and measuring testing of welded joints*

Горбаш В.Г., Делендик М.Н., Павленко П.Н., Стрелюхин А.В.
Gorbash V.G., Delendick M.N., Pavlenko P.N., Streliukhin A.V.

В статье приводится информация об использовании визуально-измерительного метода для решения различных задач контроля качества сварных соединений.

The article provides information on the application of visual and measuring testing for solving various problems of quality control of welded joints.

Одной из основных задач диагностики и неразрушающего контроля является определение пригодности объекта контроля к использованию по назначению. Для этого необходимо оценить его состояние, т.е. выявить дефекты (если они есть) и оценить их параметры (опираясь на соответствующие требования ТНПА, классифицировать как допустимые или недопустимые дефекты). Отметим, что при контроле сварных соединений следует решить две задачи: определение наружных (поверхностных) дефектов и определение внутренних дефектов. Для решения этих задач используют различные виды неразрушающего контроля изделий, и среди них важное место занимает визуальный и измерительный контроль (ВИК) для обнаружения поверхностных и ультразвуковой или радиографический для внутренних дефектов.

При контроле сварных швов готовых изделий выявление поверхностных и внутренних дефектов является обязательным. В то же время при диагностике, в большинстве случаев, можно ограничиться выявлением только наружных дефектов. Обусловлено это тем, что разрушение изделий и зарождение трещин, как правило, происходит с поверхности.

Наиболее простым, доступным и дешевым из неразрушающих методов контроля поверхностных дефектов является визуальный. И хотя последовательность контроля отдельными методами должна со-

ответствовать требованиям ТНПА, визуальный и измерительный контроль должны предшествовать контролю другими методами.

Этот вид контроля отличается от других видов неразрушающего контроля границами спектральной области электромагнитного излучения, используемого для получения информации об объекте. Видимое излучение (свет) – электромагнитное излучение, которое может непосредственно вызывать зрительное ощущение (с длиной волн от 360 до 780 нм).

При визуальном контроле сварных соединений протекают следующие физические процессы: световое излучение, отражённое от поверхности объекта контроля (ВИК, согласно [1], проводят в отраженном свете), воздействует непосредственно на глаз или первичный преобразователь, преобразующий световой сигнал в электрический, передающийся по каналу связи, а затем во вторичном преобразователе эти сигналы преобразуются в световые изображения, воспринимаемые глазом человека. Разрешающая способность человеческого глаза 0,1 мм (два объекта, например, две точки воспринимаются глазом как отдельные, если они видны под углом 1 дуговая минута, что на расстоянии наилучшего зрения 250 мм соответствует расстоянию между ними 0,076 мм). При этом следует иметь в виду, что, согласно [1], наименьший размер выявляемых дефектов должен не менее чем в 3 раза превышать величины микронеровностей рельефа поверхности контролируемого объекта. Для выявления поверхностных микротрещин, которые нельзя выявить глазом непосредственно, применяется обычно капиллярный или магнитный методы.

Измерительный контроль – вторая часть ВИК. Измерением называют нахождение значения физической величины опытным путём с помощью средств измерения. На выбор измерительных средств оказывают влияние метрологические показатели: цена деления шкалы, диапазон измерений, предел допустимой погрешности средств измерений (основная абсолютная погрешность измерений при измерительном контроле регламентируется [2] и [3]), пределы измерений и условия контроля. Следует обратить внимание на то, что величины основной абсолютной погрешности измерения при измерительном контроле изложенные в [2] и [3] не совпадают между собой в некоторых диапазонах измеряемой величины (как ни странно, требования к точности проведения измерений в Беларуси и России не всегда совпадают).

Выявленные при ВИК дефекты сварных соединений классифицируют по группам согласно [4, 5], а также на допустимые и недопу-

стимые дефекты в соответствии с [6] и с ТНПА на конкретные объекты контроля, например [7, 8]. Размеры сварных соединений и их конструктивных элементов при ВИК оцениваются в соответствии с требованиями ГОСТов на тип сварки и вид сварного соединения, например, [9 - 11].

Для эффективного выявления дефектов специалисты по любому виду НК должны разработать методику проведения испытания и создать необходимые приспособления. Кроме того, эти специалисты должны соответствующим образом подготовить технический персонал для проведения требуемого испытания и обработки его результатов. В настоящее время визуально-измерительный метод является одним из основных методов неразрушающего контроля и технической диагностики. Это – органолептический контроль, осуществляемый органами зрения с применением средств измерений.

Возможности человеческого зрения ограничены и существенно зависят от условий контроля (скорости перемещения контролируемого объекта, расстояния до него, освещённости, и т.д.). Даже при контроле покоящихся объектов, находящихся на расстоянии наилучшего зрения (250 мм) в условиях нормальной освещённости (500 лк), человек может испытывать трудности из-за ограниченной разрешающей способности контрастной чувствительности зрения. Следует отметить, что согласно [1] выделяют три степени контраста (низкий, средний и высокий). Под контрастом понимается отношение разности яркости фона и дефекта к яркости фона. Если это отношение меньше 0,2 контраст считается малым, от 0,2 до 0,5 средним и выше 0,5 большим. Условия контроля надо подбирать таким образом, чтобы контраст был как можно больше. Лучшее всего человеческий глаз различает желто-зеленый цвет на темном фоне и красный на белом.

Согласно [2], внешнему осмотру должны подвергаться сварные соединения всех классов. Внешним осмотром выявляются наружные дефекты: отклонения швов от заданной формы, наружные трещины в швах, подрезы, прожоги, кратеры, наплывы, пористость в швах и др. Для расширения возможностей глаза используют оптические приборы. Оптический прибор увеличивает угловой размер объекта, при этом острота зрения и разрешающая способность глаза увеличиваются примерно во столько же раз, во сколько увеличивает оптический прибор. Это позволяет увидеть мелкие дефекты, невидимые невооружённым взглядом, или их детали. Однако при этом существенно сокращается поле зрения и глубина резкости, поэтому обычно при визу-

альном контроле разрешается использовать оптические приборы (лупы) с увеличением до 10-кратного увеличения.

Оптические приборы: эндоскопы, бороскопы, видеоэндоскопы, микроскопы позволяют осматривать детали и поверхности элементов конструкции, недоступные прямому наблюдению. Визуальный контроль с использованием оптических приборов называют визуально-оптическим. Визуально-оптический контроль – наиболее доступный и простой метод обнаружения поверхностных дефектов деталей. Следует отметить, что чувствительность визуально-оптического метода зависит от длины волны монохроматического света и оптических характеристик системы. Внешний осмотр исследуемого объекта на наличие дефектов производится как с применением оптических средств, так и без них. Особенность визуального контроля заключается в том, что он позволяет исследовать только видимые (внешние) дефекты. Тем не менее, визуальный контроль – необходимое звено комплексной дефектоскопии. Его в обязательном порядке используют при технической диагностике потенциально опасных производственных объектов.

Визуальный и измерительный контроль проводится практически на всех этапах жизненного цикла отдельных деталей, узлов и агрегатов. Выполняется периодический входной контроль материала, подготовки деталей перед сборкой, контроль качества сборки, контроль качества сварных соединений, контроль в процессе эксплуатации с целью выявления изменений формы и обнаружения поверхностных дефектов в основном материале и сварных швах, образовавшихся в процессе работы данного элемента. Основные виды дефектов, обнаруживаемых при визуальном контроле, – это трещины всех видов, коррозия, эрозионный износ, деформации, сколы покрытий, отложения сырья на стенках, сужение каналов, повреждения элементов автоматики.

Визуальный и измерительный контроль материала (полуфабрикатов, заготовок, деталей) и сварных соединений проводят на следующих стадиях:

- входного контроля;
- изготовления деталей, сборочных единиц и изделий;
- подготовки деталей и сборочных единиц к сборке;
- подготовки деталей и сборочных единиц к сварке;
- сборки деталей и сборочных единиц под сварку;
- процесса сварки;
- контроля готовых сварных соединений и наплавов;

- исправления дефектных участков в материале и сварных соединениях (наплавках);

- оценки состояния материала и сварных соединений в процессе эксплуатации технических устройств и сооружений, в том числе по истечении установленного срока их эксплуатации.

При визуальном контроле заготовок и сборки внешнему осмотру подвергают детали для выявления вмятин, заусенцев, окалины, ржавчины и т. п., проверяют качество подготовки и сборки заготовок под сварку, качество выполнения швов в процессе сварки и качество готовых сварных соединений. Внешним осмотром контролируют все сварные изделия независимо от применения других видов контроля. К основным контролируемым размерам собранных под сварку деталей относят зазор между кромками и притупление кромок – для стыковых соединений без разделки кромок; зазор между кромками, притупление кромок и угол их разделки – для соединений с разделкой кромок; ширину нахлестки и зазор между листами – для нахлесточных соединений; зазор между листом и кромкой, угол между свариваемыми элементами, а также притупление и угол скоса кромок – для тавровых соединений; зазор между свариваемыми элементами и угол между ними – для угловых соединений. Детали, узлы или изделия, собранные под сварку с отклонением от технических условий или установленного технологического процесса, бракуют. Средства, порядок и методика визуального контроля предусматриваются технологическим процессом производства или нормативной документацией.

На этапе наблюдения за процессом сварки сварщик, помимо контроля режимов сварки (тока, напряжения, скорости сварки и т. п.) и стабильности горения дуги, следит за правильностью выполнения валиков в многослойных швах. Особенно важным при этом является тщательный осмотр первого слоя при любом количестве слоев. Качество сварки первого слоя оценивают при необходимости с помощью лупы, а для оценки качества конструкций ответственного назначения иногда применяют также капиллярную дефектоскопию.

При внешнем осмотре готовых изделий невооруженным глазом или с помощью лупы выявляют дефекты швов в виде трещин, подрезов, пор, свищей, прожогов, наплывов, непроваров в нижней части швов. Многие из этих дефектов, как правило, недопустимы и подлежат исправлению. На этом этапе выявляют также дефекты формы швов, распределение чешуек и общий характер распределения металла в усилении шва. Согласно требованиям руководящих документов, визуальный и измерительный контроль проводится как с наружной,

так и с их внутренней стороны изделий, что значительно осложняется ограниченным доступом во внутренние полости объектов.

Внешний вид поверхности шва характерен для каждого способа сварки, а также для пространственного положения, в котором выполнялась сварка. Равномерность чешуек характеризует работу сварщика, его умение поддерживать постоянную длину дуги и равномерную скорость сварки. Неравномерность чешуек, разная ширина и высота шва указывают на колебание мощности дуги, частые обрывы и неустойчивость горения дуги в процессе сварки. В таком шве возможны непровары, поры, шлаки и другие дефекты. При сварке в вертикальном и потолочном положениях сварные швы имеют резко выраженную неравномерность чешуек, бугры, седловины и наплывы. При сварке в защитных газах в вакууме внешняя поверхность швов гладкая, блестящая, без чешуек и имеет вид полоски расплавленного металла. В сварных швах, выполняемых из титана и других активных материалов, контролируют цвет и величину зоны цветов побежалости. Сварные швы часто сравнивают по внешнему виду со специальными эталонами. Геометрические параметры швов измеряют с помощью измерительных инструментов или шаблонов. Только после проведения визуального контроля и исправления недопустимых дефектов сварные соединения подвергают контролю другими физическими методами (рентгеновский контроль, ультразвуковой контроль и т.д.) для выявления внутренних дефектов.

Визуальный и измерительный контроль сварных соединений и зон ремонта, выполненного с применением сварки, и подлежащих термической обработке, следует производить как до, так и после указанной обработки.

Недопустимые дефекты, выявленные при визуальном и измерительном контроле, должны быть устранены до выполнения контроля другими методами НК.

К средствам визуального контроля можно отнести: микроскопы; эндоскопы; бороскопы; видеоэндоскопы; комплекты для визуального и измерительного контроля; лупы, в том числе измерительные; линейки измерительные металлические; угольники поверочные 90° лекальные; штангенциркули, штангенрейсмусы и штангенглубиномеры; щупы; угломеры с нониусом; стенкомеры и толщиномеры индикаторные; микрометры; нутромеры микрометрические и индикаторные; калибры; эндоскопы; шаблоны, в том числе специальные и универсальные (например, типа УШС), радиусные, резьбовые и др.; поверочные плиты; плоскопараллельные концевые меры длины с набором

специальных принадлежностей. Допускается применение других средств визуального и измерительного контроля при условии наличия соответствующих инструкций, методик их применения.

На конечный выбор конкретных моделей визуально-измерительных средств влияют следующие метрологические показатели: диапазон измерений, предел измерений, нормативные условия, цена деления шкалы, предел допустимой погрешности средств измерений и его допустимая погрешность.

Первый руководящий документ по визуальному и измерительному контролю, который распространялся на оборудование, подконтрольное Госгортехнадзору России, был разработан АНТЦ «Энергомонтаж» [12]. Несмотря на всю необходимость и своевременность выхода документа, он имел ряд существенных недостатков. Документ был ориентирован в основном на объекты котлонадзора и не учитывал конструктивных особенностей, например, грузоподъемных и горно-транспортных машин, в которых наряду со стыковыми широко применяются тавровые, угловые и нахлесточные сварные соединения. Отмеченные недостатки были учтены в [3], при разработке которого были использованы положения [13].

Контролируемая зона сварного соединения, должна включать сварной шов, а также примыкающие к нему участки основного металла, которые в обе стороны от шва должны быть не менее:

- 20 мм, но не менее толщины стенки свариваемых деталей, для НК при сооружении, реконструкции и капитальном ремонте трубопроводов;

- не менее четырех толщин стенок свариваемых деталей при НК в процессе выборочного ремонта и ДДК трубопроводов, находящихся в эксплуатации, режиме консервации или состоянии безопасного содержания.

Условия выполнения визуального и измерительного контроля изложены в [14]. Освещенность поверхности контролируемого изделия должна быть 500 лк, поверхность сварного соединения должна быть доступна для контроля и должна рассматриваться под углом не менее 30 градусов с расстояния не более 600 мм. Применение бороскопов, волоконных световодов и телекамер, используемых для обеспечения выявления дефектов при контроле на большом расстоянии, должно быть оговорено условиями контракта, в стандарте или технических условиях на продукцию. Для достижения хорошего контраста и отчетливой различимости дефектов и фона при необходимости должен быть использован дополнительный источник освещения. Визу-

альный контроль должен быть дополнен другими методами неразрушающего контроля, если для полной идентификации дефекта внешнего осмотра недостаточно.

Проверка уровня освещенности на рабочих местах при проведении ВИК производится люксметром не реже 1 раза в смену, а также при изменении уровня освещенности (замене источника света).

Перед проведением визуального и измерительного контроля поверхность объекта в зоне контроля подлежит зачистке до чистого металла от изоляции, продуктов коррозии, окалины, грязи, краски, масла, шлака, брызг расплавленного металла, и других загрязнений, препятствующих проведению контроля. Зона зачистки должна включать в себя поверхность свариваемых деталей и быть не менее величин, указанных выше.

Шероховатость поверхности зон, примыкающих к сварному шву, должна составлять не более Ra 12,5 (Rz 80), что обеспечивается зачисткой поверхностей свариваемых изделий и сварных швов перед контролем шаберами, напильниками, шлифмашинками с круглыми металлическими щетками. Допускается применять другие виды обработки поверхности, обеспечивающие шероховатость не хуже требуемой настоящим разделом (например – пескоструйная обработка). Если следующие после ВИК операции требуют более высокой степени очистки, следует выполнять очистку поверхности в соответствии с этими требованиями. Оценку шероховатости контролируемых поверхностей допускается проводить путем ее сравнения с поверхностью образцов шероховатости, аттестованных установленным порядком.

Визуальный и измерительный контроль проводят в соответствии с операционной технологической картой контроля. Операционные технологические карты устанавливают очередность выполнения отдельных операций контроля и их содержание. Операционные технологические карты должны содержать: наименование объекта контроля, перечень НТД, на основании которых осуществляется контроль сварного соединения этого объекта, сведения о конструкции контролируемого сварного соединения и его параметрах (диаметр, толщина стенки и др.), требования к подготовке объекта (сварного соединения) к контролю, схемы и параметры контроля, идентификационные признаки выявляемых дефектов и ложных индикаций, требования к оборудованию и материалам, перечень и очередность выполнения операций по подготовке и проведению контроля, а также операций по обеспечению требований безопасности, порядок обработки результа-

тов контроля и оценки качества проконтролированного объекта (сварного соединения).

Перед началом контроля специалист, осуществляющий контроль, должен:

- получить задание на контроль с указанием типа и номера сварного соединения и его расположения на контролируемом объекте, параметров соединения и его элементов;

- ознакомиться с технологической инструкцией и операционной технологической картой, конструкцией и особенностями технологии выполнения сварных соединений в части способа сварки, а также документацией, в которой указаны допущенные отклонения от установленной технологии.

Ввиду того, что основные технические средства визуального и измерительного контроля доступны каждому, а сама процедура контроля кажется достаточно простой, часто предполагают, что любое осуществление этого метода может быть простым и быстрым. Фактически же, визуальный и измерительный контроль является таким же современным сложным видом контроля, как другие виды неразрушающего контроля и требует тщательной квалификационной подготовки, тем более, что при этом виде контроля существенную роль играют субъективные оценки качества объекта контроля (особенно это проявляется при контроле сварных швов).

Персонал, осуществляющий визуальный контроль, согласно [15], должен:

- хорошо знать необходимые для контроля документы;
- обладать необходимой информацией о применяемых способах сварки;
- иметь хорошее зрение, которое должно проверяться один раз в год в соответствии с требованиями EN 473.

Специалисты, осуществляющие визуальный и измерительный контроль, должны быть аттестованы в соответствии с правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля. Согласно этому стандарту, сертифицированному специалисту присваивается один из трех уровней в зависимости от его квалификации. Право давать заключение по результатам контроля имеет специалист второго уровня квалификации. В соответствии с областью компетентности, определенной сертификатом, персонал второго уровня может осуществлять:

- выбор технических приемов неразрушающего контроля для применяемого метода;

- определение ограничений применяемого метода;
- переработку стандартов по неразрушающему контролю и технических условий в инструкции;
- настройку и проверку настройки оборудования;
- контроль и надзор за контролем;
- расшифровку и оценку результатов в соответствии с применяемыми стандартами, нормами и техническими условиями;
- разработку письменных инструкций по НК;
- организацию отчетов по неразрушающему контролю.

Для получения второго уровня по визуально-измерительному методу контроля необходимо пройти обучение по специальной программе в объеме не менее 40 часов и получить соответствующее свидетельство, которое позволяет сдать общий, специальный и практические экзамены в центре сертификации. Кроме того, у кандидата должен быть производственный стаж 4 месяца по визуально-измерительному методу контроля, а также он должен представить справку об удовлетворительном состоянии своего зрения.

Результаты визуального и измерительного контроля на стадиях входного контроля материала и производства работ по изготовлению, монтажу, ремонту (подготовка деталей, сборка деталей под сварку, сварные соединения (наплавки), исправлению дефектов технических устройств и сооружений, а также в процессе эксплуатации технических устройств и сооружений фиксируются в учетной (журнал учета работ по визуальному и измерительному контролю) и отчетной (акты, заключения, протоколы) документации.

Литература

1. ГОСТ 23479-79. «Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования».
2. СТБ 1133-98. «Соединения сварные. Метод контроля внешним осмотром и измерениями. Общие требования».
3. РД 03-606-03. «Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003.
4. ГОСТ 30242. «Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация и определения».
5. СТБ EN ISO 6520-1-2009. «Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах».
6. СТБ 1016-96. «Соединения сварные. Общие технические условия».
7. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Утверждены постановлением МЧС Республики Беларусь 27 декабря 2005 г. № 56.

8. РД 24.090.97-98. «Оборудование подъемно-транспортное. Требования к изготовлению, ремонту и реконструкции металлоконструкций грузоподъемных кранов».
9. ГОСТ 5264-80. «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
10. ГОСТ 8713-79. «Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
11. ГОСТ 11533-75. «Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами».
12. РД 34.10.130-96. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М.: АНТЦ «Энергомонтаж», 1996.
13. EN 970:1997. Европейский стандарт. Неразрушающий контроль сварных швов, выполненных сваркой плавлением. Визуальный контроль.
14. СТБ EN 970-2003. «Контроль неразрушающий сварных соединений. Визуальный метод».
15. СТБ EN 473-2011. «Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля. Общие требования».

Статья поступила в редакцию 03.12.13