

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТРУБ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

В. А. ТРОИЦКИЙ, И. Я. ШЕВЧЕНКО, П. В. ФЕДОРЯКА, А. В. БОРОВИКОВ, В. Н. НЕГЛЯД

Рассмотрены методы, применяемые для НК электросварных труб большого диаметра в процессе их производства. Предложены пути совершенствования аппаратуры и методов НК для обнаружения и идентификации дефектов шва и зоны термического влияния.

The paper considers the methods, applied for NDT of electrically welded large-diameter pipes during their manufacture. Methods to improve NDT equipment and hardware for detection and identification of defects in the weld and HAZ are proposed.

При анализе причин аварий на газонефтепроводах установлено, что они связаны прежде всего с развитием коррозионных и усталостных повреждений, очагами которых являются различные производственные дефекты, допущенные при изготовлении труб, проведении строительно-монтажных работ и, в частности, при выполнении сварных швов.

По данным Российской акционерной компании «Транснефть» в 1996 г. причинами аварий (0,19 аварий/1000 км) послужили: брак кольцевых сварочно-монтажных стыков (44 %); коррозионные повреждения (22 %); брак продольных заводских швов (11 %, в том числе 5,5 % по дефектам прикромочной зоны); повреждения газонефтепроводов сторонними лицами и строительной техникой (23 %). Эти данные относятся к трубам разных производителей, в том числе и ОАО «Харьковский трубный завод» (ОАО «ХТЗ»).

Учитывая количество аварий по заводскому браку — до 11 %, в том числе 5,5 % по дефектам в околошовной зоне (ОШЗ), актуальной задачей является совершенствование методов и оборудования для НК труб при их производстве.

Для контроля сварных швов труб при их производстве применяют, как правило, комплексные методы НК — 100 %-ный автоматизированный УЗ контроль (АУЗК) по всей длине шва и выборочный рентгенотелевизионный контроль (РТК) труб, забракованных при АУЗК [1, 2]. Однако не всегда удается достаточно точно идентифицировать вид дефекта, так как при РТК не всегда выявляются тонкие непровары и трещины, расположенные под углом. Если результаты АУЗК и РТК противоречивы, то решение принимают по результатам ручного УЗК (РУЗК).

Возникновение различного вида дефектов в сварных швах прямошовных труб, а также их количественные соотношения зависят от многих факторов: степени отработки технологического процесса, марок применяемых сталей, качества применяемых флюса и присадочных проволок, толщины стенки трубы, формы разделки кромок под сварку и др.

Обнаружение дефекта, а также измерение его с минимальной погрешностью, оценка характера и степени допустимости относятся к основным зада-

чам НК. Они решаются в каждом конкретном случае путем разработки определенных методик и средств НК.

Неодинаковая информативность УЗК и РТК при большом разнообразии дефектов в сварных соединениях трубопроводов, различной их ориентации и отражательных свойствах не обеспечивает надежной идентификации дефектов, поэтому процесс обнаружения дефектов и измерение их размеров носит вероятностный характер.

Изучение статистических данных при обнаружении дефектов способствует разработке более эффективной технологии УЗК. Так, при анализе количественного распределения дефектов по сечению шва можно выделить зоны, которые необходимо контролировать наиболее тщательно.

Анализ количественных соотношений дефектов различного вида и размеров в изделии определяет уровень дефектности, позволяет оценить динамику изменения качества в технологическом процессе, определить правомерность использования выбранной методики АУЗК и дать априорную оценку эффективности всей системы НК.

Анализ количественного соотношения дефектов различного вида в сварных соединениях труб большого диаметра, проведенный на ОАО «ХТЗ», показал, что более 80 % дефектов — объемные (поры и шлаковые включения), и только 10 % — потенциально опасные (непровары и трещины).

Исследованиями установлено, что раскрытие плоскостных дефектов типа трещин и непроваров увеличивается после экспандирования, так как растягивающие усилия при этом достигают 0,9 предела текучести. А так как трубы после экспандирования и гидроиспытаний проходят повторный НК, то плоскостные дефекты, не обнаруженные на технологическом участке РТК, после экспандирования «раскрываются» и выявляются на даточном участке РТК. Что касается трещин, то на даточном участке дополнительно обнаруживаются поперечных трещин столько же, сколько и на технологическом, а продольных трещин даже в 2–10 раз больше, т. е. трещины после экспандирования «раскрываются» сильнее непроваров.

Исследованиями установлено, что «перебраковка» при АУЗК связана также с наличием на кром-



Рис. 1. Макрошлиф с дефектами в прикромочной зоне сварного соединения труб (неметаллические строчные включения)

как исходного листа дефектов типа расслоений и раскатанных строчечных включений металлургического характера. Дефекты типа строчечных включений, хорошо отражая ультразвук, приводят к повышенному проценту браковки труб, но, располагаясь на пути УЗ волны и рассеивая ее, строчечные включения могут «маскировать» дефект, ухудшая его выявляемость.

Известно [2], что качество прикромочной зоны основного металла исходного листа влияет на качество сварных соединений трубопроводов при их производстве. Сопоставление количества дефектов металлургического происхождения в прикромочных зонах листов, определенных по результатам входного УЗК, с количеством дефектов сварных соединений труб по результатам технологического и сдаточного контроля показало прямую связь между ними.

Увеличение количества дефектов в результате трубного передела связано как с развитием (трансформацией) дефектов в металле зоны термического влияния (ЗТВ), так и с образованием дефектов сварного соединения, часть которых вызвана дефектами металла в прикромочной зоне листа. Особую опасность представляют расслоения, расположенные в приповерхностных областях металла ЗТВ, поскольку они могут приводить к разрушению поверхностного слоя трубы или металла шва.

Обнаружение дефектов в ОШЗ возможно с помощью УЗ методов НК (рис. 1), для чего применяют специальные методики идентификации такого вида дефектов. Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ИЭС) вместе с ОАО «ХТЗ» проведены научно-исследовательские работы по раздельной идентификации дефектов шва и ОШЗ.

В установках, разработанных и изготовленных ИЭС для ОАО «ХТЗ», предусмотрены технические возможности реализации раздельной идентификации дефектов.

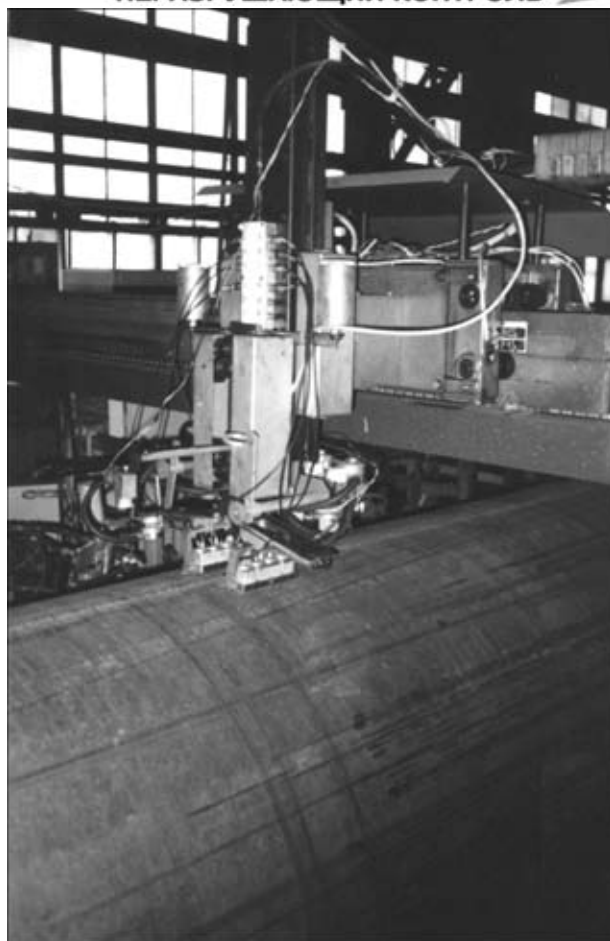


Рис. 2. Установка НК-205 для контроля швов толстостенных труб

ИЭС разработаны, изготовлены и внедрены в производство на ОАО «ХТЗ» установки для АУЗК — НК-204 и НК-205. Установка НК-205 (рис. 2) представляет собой многоканальную систему УЗК и позволяет обнаруживать дефекты шва и ОШЗ, а также контролировать трубы с толщиной стенки до 25 мм и выявлять дефекты продольной и поперечной ориентации.

В установке НК-205 использована схема прозвучивания швов, приведенная на рис. 3.

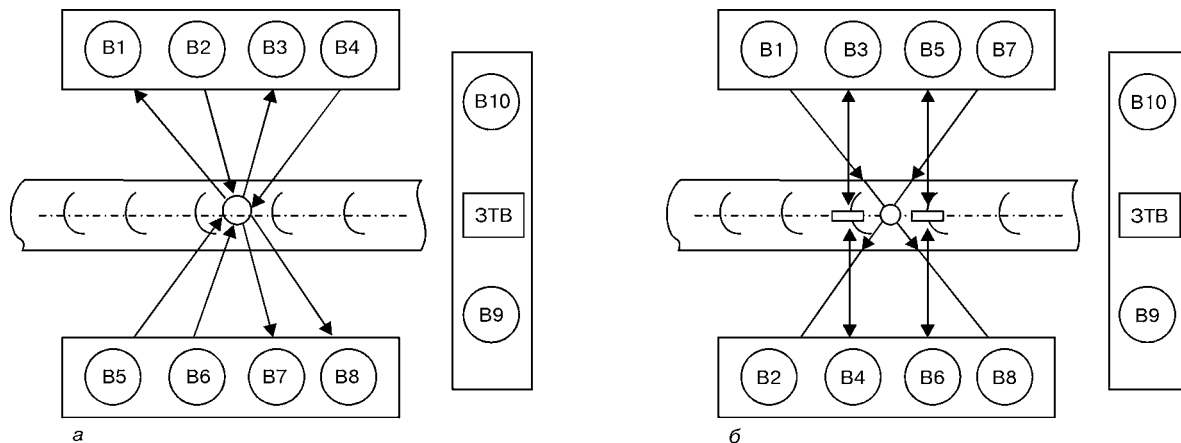


Рис. 3. Схема прозвучивания швов труб магистральных трубопроводов с толщиной стенки 7... 13 (а) и 14... 25 мм (б): В1... В8 — наклонные пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) для контроля дефектов шва; В9, В10 — прямые ПЭП для контроля дефектов ЗТВ



Поскольку АУЗК в настоящее время не позволяет однозначно определять характер дефекта, а РТК не всегда обнаруживает тонкие и наклонные трещины (это даже оговорено ГОСТ 7512–82 [3]), а также стянутые непровары, необходимо продолжить работы по совершенствованию АУЗК.

При современном УЗ оборудовании, имеющем выход на компьютер, запись сигналов с экрана УЗ дефектоскопа не составляет большого труда. Проблема при УЗК заключается в методике идентификации дефектов по их расположению в шве, форме и размерам, а также разделению дефектов шва и ОШЗ с учетом ложных сигналов (акустические и электрические шумы, сигналы от валика усиления и т. п.).

В настоящее время на ОАО «ХТЗ» для уточнения характера дефекта при несовпадении результатов АУЗК и РТК применяется РУЗК. Если АУЗК будет совершенствоваться в части повышения достоверности обнаружения наиболее опасных дефектов с учетом дефектов прикромочной зоны, то технологии арбитражного РУЗК будут насыщаться элементами компьютерной техники, применением более совершенных методов типа дифрагированных волн (TOFD) или синтезированной акустической апертуры (SAFT) и др. Эти технологии позволяют с большей точностью (до долей миллиметра) определять размеры и расположение плоскостных дефектов и реализуются с помощью современных компьютеризированных УЗ дефектоскопов.

Есть все основания предполагать, что в ближайшие годы с развитием цифровой радиографии [4, 5] просвечивать рентгеновскими лучами будут не только торцы труб, а и все сварное соединение. Следует отметить, что в общие затраты времени и средств по цифровой радиографической технологии почти не отличаются от таковых при традиционных вариантах контроля, а надежность НК повышается существенно. При этом будет полностью просвечено все сварное соединение, включая концы труб, а результаты контроля зафиксированы документально.

В последнее время для задач НК трубопроводов наблюдается возобновление работ по бесконтактному УЗК, использующему электромагнитно-акустический метод (ЭМА). Опыты, проведенные ИЭС на Кременчугской насосно-перекачивающей станции, показали перспективность ЭМА-метода для УЗК труб магистральных трубопроводов. Бесконтактный ЭМА-метод УЗК имеет ряд преимуществ перед традиционным УЗК [6].

В последние годы для механизации магнитопорошкового контроля (МПК) используются магнитные линзы, применение которых значительно улучшает условия гигиены МПК и уменьшает стоимость используемых материалов. В ИЭС имеется опыт их изготовления [7].

Настало время автоматизации контроля качества изоляционных покрытий труб, в том числе и послойных. Для этих целей используются ультразвуковые, электропотенциальные и емкостные методы НК [8].

Невостребованными остались известные положительные результаты, полученные в ИЭС по применению метода акустической эмиссии (АЭ) при производстве труб [9]. Такие эксперименты в свое время были проведены на ОАО «ХТЗ» на участке охлаждения труб после сварки. При охлаждении металла в его структуре происходит перераспределение внутренних напряжений. Кроме того, внутри всего тела трубы (а не только сварного соединения) могут быть сформировавшиеся дефекты, являющиеся концентраторами напряжений. Поэтому записи сканограмм АЭ и последующие исследования соответствующих дефектов методами УЗК, рентгено- и металлографии показали, что излучения наблюдаются от наиболее опасных дефектов с острыми краями или мелкими трещинами. По результатам записи и анализа сигналов АЭ все трубы можно разделить на три категории:

1) «спокойные» — без дефектов с острыми краями, которые могут перерасти в трещины и далее разрушиться;

2) трубы с умеренным излучением сигналов АЭ (их большинство), которые должны проверяться по ныне действующей технологии НК;

3) «опасные» с повышенным уровнем сигналов АЭ, которые должны подвергаться НК по особой технологии.

Установлено, что соотношение количества труб указанных категорий зависит от общего состояния сварочного процесса. Так, трубы третьей категории наблюдаются в большом количестве в период каких-либо нарушений в технологии сварки или при применении новых сварочных материалов.

Такая технология НК может быть использована на первом этапе в период передела или освоения каких-либо изменений при сварке. Более тщательный НК для труб третьей категории может выполняться по прежней схеме АУЗК–РТК–РУЗК, но с более высокой чувствительностью каждого из методов.

Каждый из используемых методов НК имеет свои пути совершенствования. При этом первоочередными задачами являются:

1) документирование результатов АУЗК и РУЗК — для этого имеются все предпосылки. Запись информации АУЗК может быть реализована в разных вариантах (например, многоканальные дефектоскопы установок НК-205 подключаются к ПК, который запоминает, анализирует и сопоставляет, при необходимости, с результатами РУЗК и других видов НК);

2) освоение информации, получаемой при АУЗК прикромочной зоны, что можно сделать только после выполнения определенных исследований и накопления статистических данных, выработки нормативной базы по разбраковке дефектов шва и ЗТВ;

3) освоение контроля концов труб методом цифровой радиографии с переходом впоследствии на радиографическую запись всего сварного соединения, что по времени и средствам выгоднее, чем выполнение радиографии концов сварного соединения на пленку. При этом информация от радиографического контроля сохраняется в памяти ПК;



4) для четкого разрешения противоречий между АУЗК и РТК при РУЗК, кроме традиционных эхо-методов, следует применять современные методы типа TOFD, SAFT и др.;

5) независимо от освоения метода МПК для обнаружения мелких трещин на поверхности и торце трубы желательно применять вихретоковый метод, легко поддающийся автоматизации;

6) желательно проводить измерение толщины каждого из наносимых на трубы изоляционных покрытий и документирование результатов контроля, что повысит качество изготовления этих труб;

7) о качестве трубы можно судить и по сведениям о состоянии сварочного процесса, которые в сочетании с информацией по п. п. 1–8 должны архивироваться в едином компьютере, выдающем впоследствии подробный сертификат на изделие.

Такое развитие технологии НК будет способствовать повышению качества, а следовательно, и конкурентоспособности отечественных труб для магистральных газопроводов.

1. Шевченко И. Я. Неразрушающие методы контроля сварных соединений труб большого диаметра. — Киев: Об-во «Знание», 1982. — 20 с.

2. Троицкий В. А., Шевченко И. Я., Федоряка П. В., Боровиков А. В., Негляд В. Н. Совершенствование методов и оборудования неразрушающего контроля электросварных труб в процессе их производства // Тр. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Магистральным газонефтепроводам — трубы нового поколения», Ялта–Харьцызск, 2002. — С. 64–68.

3. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. — М: Изд-во госстандартов, 1982.

4. Троицкий В. А., Белый Н. Г. Методы цифрового радиационного контроля сварных соединений // Матер. конф. «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики», Ялта, 2002. — С. 106–107.

5. Pedersen T. K., Larsen B., Jeppesen L. Experiences with a Digital Radiographic System and phosphor screens // Тр. 15-го Всемир. конгр. WCNDT, Рим, 2000.

6. Троицкий В. А., Радько В. П., Шевченко И. Я., Федоряка П. В., Дзыганский А. И. Электромагнитоакустические приборы для неразрушающего контроля металлоконструкций и элементов изделий, эксплуатируемых в космосе // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2002. — № 3. — С. 26–30.

7. Троицкий В. А. Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. — Киев: Феникс. — 2002. — 300 с.

8. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник / Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1995.

9. Троицкий В. А., Дониш А. Р. Применение акустоэмиссионного контроля // Автомат. сварка. — 1989. — № 6. — С. 64–72.

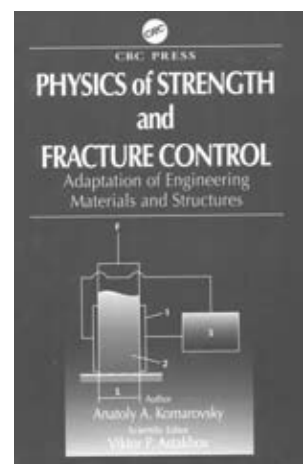
Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев;
ОАО «Харьцыз. трубный з-д»

Поступила в редакцию
05. 04. 2002

НОВАЯ КНИГА

В издательстве CRC Press вышла новая книга А. А. Комаровского «Физика прочности и управление разрушением» (адаптация материалов и конструкций к условиям эксплуатации).

В ней описана новая физическая концепция сопротивления материалов внешним полям (силовым, радиационным, электрическим, электромагнитным и др.). Предлагаемая концепция открывает новое направление в обеспечении прочности и надежности инженерных объектов. Основанный на термодинамическом уравнении состояния, полученном автором, подход предлагает общую методологию связи физических и механических свойств материалов, раскрывает их физическую природу и степень влияния на физическое состояние. Показано, что такой подход позволяет управлять напряженно-деформированным состоянием, предотвращать разрушение и предсказывать поведение материалов. Обсуждаемый подход позволяет решать актуальные практические задачи нетрадиционными методами.



По вопросу приобретения книги или получения дополнительной информации
обращаться по адресу:

CRC Press LLS, 2000 N.W. Corporate Blvd, Boca Raton,
Florida 33431; USA, www.crcpress.com