ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 23, 2009

УДК 620.691

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

А.Ю. Шепель

Национальный авиационный университет просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, e-mail: shepelua@rambler.ru

Приведений аналіз методів оцінки технічного стану та визначення термінів безпечної експлуатації трубопроводів. Для підвищення надійності системи магістральних газопроводів виконується комплекс заходів, що включають діагностичні обстеження для виявлення потенційно небезпечних ділянок. Одним із визначальних чинників ризику є наявність корозійних дефектів металу.
Ключові слова: магістральний газопровід, дефект, технічний стан, напружено-деформований стан, ультразвуковий контроль, радіографічний контроль, частота сигналу.

Приведен анализ методов оценки технического состояния и определения сроков безопасной эксплуатации трубопроводов. Для повышения надежности системы магистральных газопроводов выполняется комплекс мероприятий, включающих диагностические обследования для выявления потенциально опасных участков. Одним из определяющих факторов риска является наличие коррозионных дефектов металла.
Ключевые слова: магистральный газопровод, дефект, техническое состояние, напряженно деформированное состояние, ультразвуковой контроль, радиографический контроль, частота сигнала.

The analysis of methods of estimation of the technical state and determination of terms of safety exploitation of pipelines is conducted. For the increase of reliability of the system of main gas pipelines the complex of measures, including diagnostic inspections for an exposure potentially of dangerous areas is executed. One of determinatives of risk is a presence of corrosive defects of metal.
Keywords: main gas pipeline, defect, technical state, tensely deformed state, ultrasonic control, radiographic control, frequency of signal.

Актуальность диагностики технического состояния конструкций магистральных газопроводов (МГ) связана с длительными сроками их эксплуатации. При сроках эксплуатации более 30 лет трубопроводные системы находятся под воздействием нагрузок, сложно поддающихся учету при проектировании [1]. К таким воздействиям следует отнести воздействия со стороны просадки грунтов на оползневых участках. Дополнительный вклад вносят нагрузки, возникающие за счет несоответствий, допущенных при проектировании и строительстве объекта (недостаточная компенсация температурного расширения, отступление от проектов при строительстве, монтажные деформации и т.д.).

Влияние всех вышеуказанных факторов приводит к изменению напряженно-деформированного состояния трубопроводов относительно расчетных значений. Таким образом, высокий уровень переменных нагрузок может привести к деформациям трубопроводов, развитию дефектов и в конечном итоге к их разрушению [2].

Одной из важнейших проблем трубопроводного транспорта является сохранение нормального состояния линейной части магистральных трубопроводов. Подземные трубопроводы, работающие при нормальных режимах, сохраняются несколько десятков лет. Этому способствует то большое внимание, которое уделяется систематическому контролю состояния подземных и надземных трубопроводов, а также своевременная ликвидация появляющихся дефектов [3]. Как правило, большинство дефектов на трубопроводах появляются в результате коррозионных и механических повреждений, определение места и характера которых связаны с рядом трудностей и большими материальными затратами. Совершенно очевидно, что вскрытие трубопровода для его непосредственного визуального обследования экономически

неоправданно. К тому же обследовать можно только внешнюю поверхность трубопровода. Поэтому в течение последних лет в нашей стране и за рубежом усилия специализированных научно-исследовательских и проектных организаций направлены на решение проблемы определения состояния магистральных газопроводов без их вскрытия. Эта проблема связана с большими техническими трудностями, однако при использовании современных методов и средств измерительной техники она успешно решается [4].

Анализ последних исследований показал, что среди методов неразрушающего контроля наиболее востребован и распространен ультразвуковой метод. Ультразвуковое исследование не разрушает и не повреждает исследуемый образец, что является его главным преимуществом.

При выборе методов неразрушающего контроля конкретных элементов конструкций МГ необходимо учитывать следующие основные факторы: характер (вид) возможных дефектов и их расположение; возможности методов контроля; виды деятельности, при которых применяется неразрушающий контроль (изготовление, ремонт, техническое диагностирование); формы и размеры контролируемых элементов конструкций; материалы, из которых изготовлены контролируемые элементы; состояние и шероховатость контролируемых поверхностей конструкций [5].

Важной характеристикой всех методов неразрушающего контроля является их чувствительность, которая дает возможность выявлять дефекты размером до 0,1 мм. В зависимости от методов неразрушающего контроля чувствительность для выявления одних дефектов может быть совершенно непригодной для выявления дефектов другого характера [6].

Известно, что чувствительность методов неразрушающего контроля к выявлению одного и того же по характеру дефекта различна. При определении предельно допустимой погрешности выбранного метода неразрушающего контроля необходимо учитывать дополнительные погрешности, возникающие от влияющих факторов:

- минимального радиуса кривизны вогнутой и выпуклой поверхностей;
- шероховатости контролируемой поверхности;
- структуры материала;
- геометрических размеров зоны контроля;
- других влияющих факторов указанных в инструкциях для конкретных приборов.

Постановка задачи комплексной диагностики (КД) усложняется рядом условий, которые необходимо учесть при определении технического состояния участков МГ. К таким условиям относятся:

- определение характеристик дефектности изоляционного покрытия (ИП), степени катодной защищенности участка по длине и времени эксплуатации;
- определение трассы, глубины заложения, особенностей пространственного положения и геометрических форм МГ:
- определение зон потери металла, расслоений, включений, рисок, гофров в стенке элементов;
- определение поперечных трещин и трещиноподобных дефектов в основном металле и в кольцевых сварных соединениях, коррозионных повреждений и трещин произвольной ориентации на внутренней поверхности МГ;
- определение продольных трещин и трещиноподобных дефектов в основном металле и в продольных сварных соединениях МГ;
- поиск утечек по трассе МГ.

Для эффективного анализа результатов КД технического состояния МГ необходимо ориентироваться на оценку степени опасности дефектов с учетом остаточной долговечности дефектных конструктивных элементов (КЭ), определение объема ремонтных работ или изменения режимов эксплуатации участка, выбор метода проведения ремонтных работ, расчет остаточной работоспособности участка, определение срока последующего обследования участка.

Перечисленные особенности диагностики МГ позволяют повысить информативность контроля и точность регулирования этого процесса [7].

На практике наиболее широкое распространение для диагностики МГ нашли ультразвуковой, радиографический, магнитный и вихретоковый методы неразрушающего контроля.

Экспериментальным путем установлено, что производительность ультразвукового контроля в среднем в 3-10 раз выше радиографического. Кроме того, себестоимость ультразвукового контроля в 4-8 раз ниже, радиографического контроля.

На рис. 1 представлена диаграмма статистической выявляемости η дефектов МГ ультразвуковим и радиографическим методами:

$$\eta = K_B / K, \qquad (1)$$

где K – общее количество дефектов, K_B – количество выявленных дефектов.

Наиболее же существенным достоинством этого ультразвукового метода является то, что при этом не требуется двухсторонний доступ к сварным швам, что особенно важно при контроле конструкций во время эксплуатации МГ, что в свою очередь позволяет контролировать практически все встречающиеся сварные соединения (более 95 % общей протяженности швов). При этом чаще всего используют диапазон частот от 0,5 кГц до 30 МГц [8].

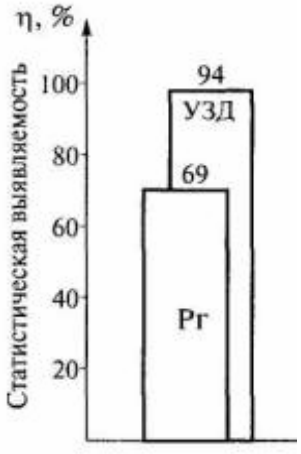


Рисунок 1 - Статистическая выявляемость дефектов МГ ультразвуковой дефектоскопией (УЗД) и радиографией (Рг)

Среди методов ультразвуковой дефектоскопии одним из наиболее распространённых методов является эхо-импульстный метод ультразвукового неразрушающего контроля. Рассматриваемый метод является универсальным при одностороннем доступе к исследуемому объекту, позволяет определить размеры дефекта, его координаты и характер, имеет прогрессирующую тенденцию, основанную на излучении в контролируемое изделие коротких импульсов упругих колебаний длительностью 0,5 – 10 мкс, регистрацией интенсивности, а также времени прихода эхо-сигналов, отраженных от дефектов отражателей.

Для обеспечения надежного выявления дефектов необходимо выполнение двух условий:

1) сигнал от дефекта должен превосходить минимальный сигнал, регистрируемый регистратором прибора:

$$V_Д > V_{\min}, \qquad (2)$$

где $V_Д$ – сигнал от дефекта, $V_{\min}$ - минимальный сигнал;

2) сигнал от дефекта должен быть больше сигнала помех, т.е.

$$V_Д > V_{пом}, \qquad (3)$$

где $V_{пом}$ – сигнал помех.

Для оптимального выполнения первого условия выявления дефекта величина $V_Д / V_0$ должна иметь максимальное значение, где V_0 – сигнал, посылаемый преобразователем.

Известно, что от правильного выбора частоты ультразвуковых колебаний зависит мощность получения сигнала от дефекта и, как следствие, точность определения дефекта. Для большинства материалов в диапазоне частот, применяемых в дефектоскопии, эта зависимость приближенно выражается формулой [8]:

$$\delta = C_1 f + C_2 f^4, \qquad (4)$$

где C_1 и C_2 – коэффициенты, не зависящие от частоты.

Первый член (4) связан с поглощением, второй – с рассеянием ультразвука мелкими зернами (кристаллитами) металла.

При малых расстояниях от преобразователя до дефекта влияние затухания ультразвука невелико, поэтому в ближней зоне целесообразно применение высоких частот. В дальней зоне затухание имеет важное значение при рациональном выборе частоты.

Оптимальная частота ультразвуковых колебаний определяется формулой:

$$f_{opt} \approx \frac{2}{C_1 r}, \qquad (5)$$

где C_1 – коэффициент, связанный с поглощением ультразвука; r – расстояние от преобразователя ультразвуковых волн до дефекта для мелкозернистых материалов.

Для крупнозернистых оптимальная частота f_{opt} находится по формуле:

$$f_{opt} = \sqrt{\frac{1}{2C_2 r}}, \qquad (6)$$

где C_2 – коэфициент, зависящий от соотношения λ и $\overline{D}$ ($C_2 = 0{,}25\ \overline{D}^3$ или $C_2 = 0{,}12\ \overline{D}$);

$\overline{D}$ – средний диаметр кристаллита; r – расстояние от преобразователя ультразвуковых волн до дефекта.

Таким образом, в обоих случаях с увеличением толщины изделия следует понижать частоту.

Решить задачу технической диагностики МГ позволяет также магнитный метод неразрушающего контроля, который основан на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом.

Среди магнитных методов неразрушающего контроля наиболее востребован и распространен метод рассеяния магнитного потока MFL (Magnetic Flux Leakeage). Принцип инспекции MFL заключается в локальном определении однородного статистического магнитного поля, которое прикладывается изнутри к магнитопроницаемой стенке трубы. Магнитное поле связано в теле трубы. Наличие коррозии или других потерь металла уменьшает эффективную толщину стенки трубы. Это обусловливает возмущения магнитного поля, которые называются полями рассеяния, поскольку поле вытекает из трубы. В таких местах величина магнитного потока, регистрируемая датчиками Холла, уменьшается [9].

При оценке дефектов в газотранспортных системах целесообразно использовать, также, вихретоковый метод неразрушающего контроля [10], который позволяет анализировать взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объекте контроля этим полем. С точки зрения вихретокового метода все дефекты сварного шва делятся на два основных класса: линейные (непровары и трещины) и локальные (поры, неметаллические и металлические (вольфрамовые) включения, включения оксидных плен). Линейные дефекты расположены преимущественно вдоль сварного шва и их длина намного больше глубины и раскрытия (ширины). В локальных дефектах их геометрические параметры практически одинаковы.

При сварке изделий из алюминиевых термоупрочняемых сплавов образуются два участка: переплавленный металл и зона термического влияния, в которой наблюдаются участки полной или частичной перекристаллизации. При этом нарушаются условия оптимальной для данного материала термической обработки, что приводит к изменениям структуры и ухудшению механических свойств. Известно, что электронно-лучевая сварка позволяет сваривать алюминиевые сплавы без существенного разупрочнения. Тем не менее, расширение зоны термического влияния (ЗТВ) и, соответственно, зоны разупрочнения возможно при нарушениях оптимального режима сварки, особенно при необходимости повторной подварки в местах выявленных дефектов.

Традиционным способом контроля ЗТВ является анализ распределения твердости материала в околошовной области. В данном случае более эффективным и практичным является контроль размеров ЗТВ на основе удельно-электрической проводимости (УЭП) вихретоковым методом. Контроль основан на взаимосвязи изменений прочностных свойств алюминиевых сплавов. Подобный подход используется для определения зон разупрочнения трубопроводных конструкций.

При оценке экспериментальных исследований соединений из термоупрочняемого алюминиевого сплава 1201 выявили наличие взаимосвязи между распределением твердости и УЭП в зоне сварного шва. Анализ зависимостей показывает на полное соответствие точек, в которых происходит изменение УЭП и твердости, поэтому размеры зоны разупрочнения можно контролировать путем измерения распределения УЭП с регистрацией границ участка, где наблюдаются ее изменения. Точное определение ЗТВ и соответственного разупрочнения материала при сварке и подварке позволяет обосновать выбор ширины зоны утолщения конструкции в различных участках сварного шва и уменьшить общий вес конструкции без снижения ее надежности. Подобные методики применяются для диагностики сварных швов и за рубежом.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного анализа методов неразрушающего контроля были установлены вероятностные подходы, в которых отсутствуют строгие методы оптимальности.

Метода, который бы мог обнаружить одновременно самые разнообразные по характеру дефекты нет. Каждый отдельно взятый метод НК решает ограниченный круг задач технического контроля МГ.

Показано, что применение технической диагностики в газотранспортных системах позволяет обнаружить дефекты различного происхождения, определять их характер и размеры, а, следовательно, появляется возможность классифицировать их по степени опасности и устанавливать очередность ремонта МГ.

1. Рекомендации по оценке безопасности и долговечности газопроводов при проектировании. – М.: ИРЦ Газпром, 2002. – 160 с. 2. Методика оценки сроков службы газопроводов. – М. ИРЦ Газпром, 1997. – 84 с. 3. Завойчинский Б.И. Прогнозирование долговечности конструкций магистральных газопроводов с учетом диагностики их технического состояния и условий безопасности / Б.И. Завойчинский, Э.Б. Завойчинская // Газовая промышленность. – 2008. – №9. – С. 84– 87. 4. Карпаш О.М. Розвиток засобів неруйнівного контролю і технічної діагностики в нафтогазовій галузі / О.М. Карпаш, М.О. Карпаш, І.В. Рибіцький, Н.Л. Тацакович // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2009. - №3. – С. 35 – 40. 5. Шумский П.Ю., Жуков Б.А. Диагностика и контроль состояния конструкций с помощью автоматизированной системы оценивания состояния технологического оборудования / П.Ю. Шумский, Б.А. Жуков // Контроль. Диагностика. – 2009. - №6. – С. 40-44. 6. Неразрушающий контроль и диагностика: справ.: в 2-х кн.: кн. 2. / [В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.];под общ. ред. В.В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1995. – 448 с. 7. Халлыев Н.Х. Концепция продления срока надежной и безопасной эксплуатации ЛЧМГ / [Н.Х. Халлыев, Б.Н. Антипов, Б.В. Будзуляк и др.] // Газовая промышленность. – 2009. - №6. – С. 52 – 54. 8. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т.: т. 3 Ультразвуковой контроль : 2-е изд., испр. [И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге]; под общ. ред. В.В. Клюева.– М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.: ил. 9. Повагин В.А. Метод распознавания образцов дефектов на магнитных сигналах в дефектоскопии газопроводов / В.А. Повагин // Газовая промышленность. – 2007. - №7. – С. 51-54. 10. Учанин В.Н. Вихретоковый контроль сварных соединений / В.Н Учанин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. - №4. – С. 71-78.

Поступила в редакцію 24.11.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Конін В.В.