

# СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

А. Н. КОЗИН, Е. А. ДАВЫДОВ

При определении типа дефекта и измерении его высоты в кольцевых сварных швах толщиной 10...18 мм возникает ряд трудностей, которые вызваны геометрией зоны контроля. Поэтому нормативный документ ВСН 012-88 «Строительство магистральных и промышленных трубопроводов. Контроль качества и приемка работ» не регламентирует определение типа и высоты дефектов. К тому же положения этого документа предназначены для использования при строительстве или ремонте магистральных трубопроводов, т.е. когда есть возможность при обнаружении дефектов произвести ремонт с выборкой дефектного участка сварного шва, возможно, и не представляющего особой опасности.

При эксплуатации часто такой возможности нет, так как остановка участка магистрального трубопровода несет большой экономический и экологический ущерб. Поэтому необходимы точные данные о характере дефекта, его длине и высоте, которые используются для расчета на прочность сварного шва и принятия решения о его ремонте.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины по заказу ЦТД «Диаскан» АК «Транснефть» проведены исследования возможности определения высоты трещиноподобных дефектов на модельных сварных швах с искусственными дефектами. Результаты исследований были использованы при УЗ контроле кольцевых сварных швов магистрального нефтепровода «Дружба», которые выбраны по данным прогнозов внутритрубного магнитного снаряда высокого разрешения фирмы РП (Великобритания), позволяющего проводить грубую оценку типа и высоты дефектов в кольцевых сварных швах.

**Объект исследований.** Для УЗ контроля выбрана обечайка, изготовленная из стали 17ГС1, с кольцевым сварным швом, выполненным ручной электродуговой сваркой. Диаметр обечайки 800 мм,

толщина 11,7 мм. Разделка сварного шва имела переменную по высоте V-образную геометрию, которая изменялась вдоль шва.

На обечайке реализована одно- и двухсторонняя сварка, что позволило создать модели плоскостных дефектов различной высоты в нижней и средней части сварного шва. Сварной шов в некоторых местах имел смещение кромок до 2,5–3 мм, что соответствует реальной практике изготовления трубопроводов.

**Результаты УЗ контроля эхо-методом.** УЗ контроль проводился системой P-scan (Дания) путем одновременного поперечно-продольного сканирования с обеих сторон сварного шва двумя наклонными УЗ преобразователями Krautkramer MWB 4 (частота 4 МГц) с углами ввода поперечных УЗ волн в металл 60° и 70°. Использовались схемы контроля прямым и однократно отраженным лучом с углом ввода 70° и одно- и двукратно отраженным лучом с углом ввода 60°.

Для оценки результатов УЗ контроля использовался документ «ВСН 012-88. Строительство магистральных и промышленных трубопроводов. Контроль качества и приемка работ». Для классификации отражателей по типу использовались положения «ГОСТ 14782–86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые».

На основании анализа результатов УЗ контроля сварного шва выбраны участки, на которых амплитуда отраженного сигнала от несплошностей превышала браковочный уровень, и тип этих несплошностей был определен как плоскостной. На этих участках для выбранных поперечных сечений измерялась высота дефектов по правилу «–6 дБ».

Для определения ошибок измерения выполнены металлографические исследования макрошлифов поперечных сечений кольцевого сварного шва, в которых проводилось измерение высоты дефектов

**Таблица 1. Сопоставление данных ультразвукового контроля (эхо-метод) и металлографических исследований**

Номер дефекта	Координата по длине, мм	Описание дефекта по данным УЗК			Описание дефекта по данным металлографии		Ошибка УЗ измерений			
		Тип дефекта	Высота, мм		Тип дефекта	Высота, мм	мм		%	
			70°	60°			70°	60°	70°	60°
1	905	Протяженный, плоскостной в корне	3,7	5,6	Непровар в корне	2,5	1,2	3,1	48	124
2	1360	«	5,7	3,9	«	5,9	–0,2	–2,0	3	34
3	1752	«	4,2	9,4	«	1,8	2,4	7,6	133	422
4	1980	«	4,7	4,3	«	3,1	1,6	1,2	51	39
5	2210	«	5,0	7,7	«	4,0	1,0	3,3	25	92
Средняя ошибка									43	118

Таблица 2. Сопоставление данных УЗ контроля волнами дифракции и металлографических исследований

Номер дефекта	Координата, мм	Описание дефекта по данным УЗК		Описание дефекта по данным металлографии		Ошибка УЗ измерений	
		Тип дефекта	Высота, мм	Тип дефекта	Высота, мм	мм	%
1	905	Протяженный, плоскостной в корне	2,7	Непровар в корне	2,5	0,2	8
2	1360	«	5,5	«	5,9	-0,4	7
3	1752	«	2,3	«	1,8	0,5	27
4	1980	«	3,7	«	3,1	0,6	19
5	2210	«	3,8	«	4,0	-0,2	5
Средняя ошибка						0,38	11

ультразвуковым методом. Высота дефектов измерялась инструментальным микроскопом с точностью  $\pm 0,1$  мм.

В табл. 1 приведены сравнительные результаты УЗ контроля эхо-методом и металлографических исследований.

Поскольку все дефекты расположены в прикорневой части сварного шва, то их высота определяется как разность между толщиной стенки обечайки и минимальной глубиной расположения отражателя. Из таблицы видно, что достигнута сопоставимая, по сравнению с другими литературными источниками, точность измерения высоты дефектов.

Данные об ошибках измерения высоты дефектов УЗ эхо-методом показывают, что их использование неприемлемо для прочностных методов расчета, кроме того, при контроле на реальных объектах ошибки измерения высоты могут достигать значительно больших величин.

**Результаты УЗ контроля волнами дифракции.**

Для определения высоты дефектов также использовался метод волн дифракции (ТОFD), реализованный на системе P-scan. Этот метод использовался в поперечных сечениях участков сварного шва, где на первом этапе эхо-методом были обнаружены дефекты. Поперечное сканирование проводилось двумя преобразователями, развернутыми навстречу друг другу и размещенными с обеих сторон сварного шва. Использовались УЗ преобразователи фирмы Panametrics (10 МГц) с углом ввода продольных УЗ волн 60°. Для определения точности измерения высоты дефектов проводили металлографию образцов (фактически металлографический анализ проводился один раз после проведения всех работ по УЗК). Результаты УЗ контроля и данные металлографии приведены в табл. 2.

Из данных таблицы видно, что ошибки измерения высоты дефектов методом волн дифракции значительно меньше, чем при использовании традиционных амплитудных измерений эхо-методом. Среднее абсолютное отклонение высоты дефектов для метода волн дифракции составило 11 % против 43 % и 118 % при использовании амплитудного метода «-6дБ».

Сравнение результатов УЗ контроля эхо-методом и методом волн дифракции с данными металлографических исследований приведено на рис. 1 в графической форме.

Проведенные исследования обнаружения и измерения размеров плоскостных дефектов позволили разработать методику УЗ контроля кольцевых швов магистральных трубопроводов, которая состоит из двухэтапного контроля — на первом этапе с помощью УЗ амплитудных эхо-методов проводится обнаружение несплошностей, определяются размеры по длине, затем проводится их первичная классификация. На втором этапе — с использованием временных методов, в частности метода волн дифракции проводится измерение высоты дефектов и их повторная классификация, которая позволяет уточнить тип дефекта.

**УЗ контроль магистрального трубопровода.**

Разработанная методика испытана при экспертном УЗ контроле отдельных участков линейной части нефтепровода «Дружба» диаметром 1020 и 1220 мм. Работа была направлена на перепроверку результатов НК, полученных при магнитном контроле внутритрубными приборами высокого разрешения английской фирмы РП. По результатам магнитного контроля отобрано 29 участков в 18 сварных швах, которые были классифицированы, как имеющие плоскостные дефекты высотой от 40 до 90% толщи-

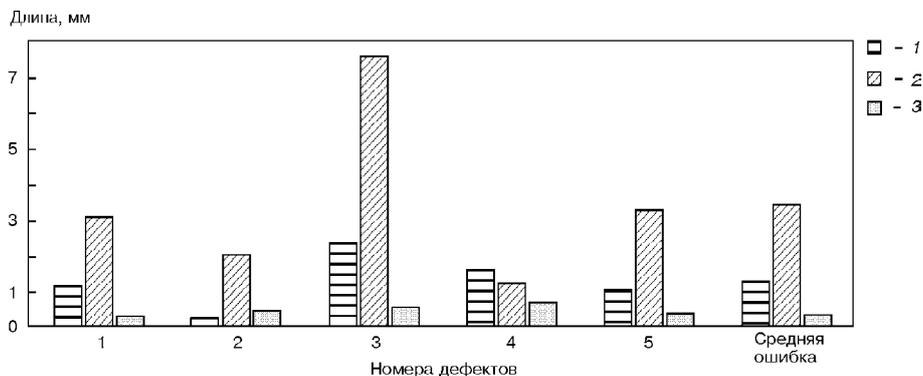


Рис. 1. Сравнение результатов измерений, выполненных амплитудным методом («-6 дБ») и методом волн дифракции с данными металлографии: 1 — ошибка УЗК (60); 2 — ошибка УЗК (70); 3 — ошибка УЗК (волны дифракции).

ны стенки трубопровода (номинальная толщина стенки 12 мм).

Экспертный контроль на ряде сварных швов, также проводили специалисты других организаций: «Оргтехдиагностика» (система «Скаруч», механизированный контроль по ВСН 012-88), ЦТД «ДИ-АСКАН» (дефектоскоп USN 50, ручной контроль по ВСН 012-88), фирма РП (дефектоскоп USL-38, ручной контроль по британскому стандарту).

Во многих случаях результаты магнитного контроля внутритрубным снарядом не были подтверждены при УЗ контроле, причем большинство оценок высоты дефектов по результатам УЗ контроля были существенно меньшими.

Для определения показателей достоверности магнитного и УЗ контроля и оценки точности определения высоты дефектов по результатам УЗ контроля некоторые сварные швы были вырезаны для проведения разрушающих испытаний, что дало возможность выполнить металлографические исследования в местах проведения НК.

На рис.2 приведена гистограмма результатов измерений в сравнении с данными металлографических исследований. Величины средней абсолютной ошибки измерений между данными НК и металлографии представлены на рис. 3. Как следует из таблицы, результаты, полученные специалистами ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины по разработанной методике хорошо совпадают с результатами металлографии. К сожалению, ограниченный объем металлографических исследований не позволяет корректно рассчитать показатели достоверности выполненных УЗ измерений.

Результаты измерений, выполненные различными способами, сильно отличаются. На основании приведенных данных следует отметить, что ошибки в измерении высоты дефектов амплитудными методами могут достигать сотни процентов. Точность измерений зависит не только от характера и осо-

бенностей несплошности, но и от критериев самой процедуры оценки высоты.

Средняя абсолютная ошибка измерения высоты трещиноподобных дефектов магнитным внутритрубным снарядом достигает 6,7 мм, что свидетельствует о необходимости перепроверки данных о высоте дефектов другими методами НК.

Средняя абсолютная ошибка измерения высоты дефектов амплитудными методами (по данным РП и Оргтехдиагностика) колебалась в пределах от 2 до 3,7 мм, что неприемлемо на толщине 10...12 мм.

Средняя ошибка измерения высоты обнаруженных дефектов методом волн дифракции составила 0,4 мм. Максимальная ошибка определения высоты дефектов методом TOFD по данным металлографии достигала 1 мм, что является вполне допустимым при проведении прочностных расчетов.

### ВЫВОДЫ

Экспериментально подтверждено, что УЗ контроль кольцевых сварных швов по ВСН 012-88 «Строительство магистральных и промышленных трубопроводов. Контроль качества и приемка работ» приводит к недопустимым ошибкам при определении типа и высоты дефектов.

Проведена экспериментальная проверка классификации и определения высоты дефектов методом волн дифракции, которая подтвердила эффективность применения систем типа P-scan для этих целей.

Разработана методика двухэтапного УЗ контроля кольцевых сварных швов магистральных трубопроводов, которая позволяет существенно повысить вероятность определения типа дефектов и уменьшить погрешность измерения его высоты.

Показано, что НК с определением размеров дефектов магнитными внутритрубными снарядами, в большинстве случаев имеет существенную перебраковку как по обнаружению дефектов, так и по измерению их высоты. В большинстве случаев переб-

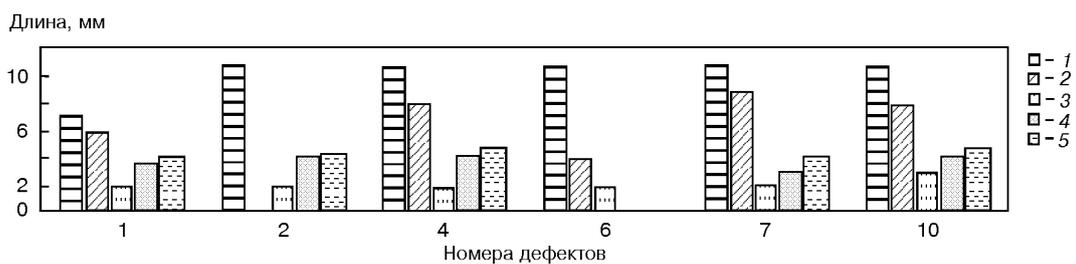


Рис. 2. Сравнение результатов измерений высоты плоскостных дефектов магнитным и УЗ методами с данными металлографии: 1 — МК; 2 — УЗК I; 3 — УЗК II; 4 — УЗК III; 5 — металлография.

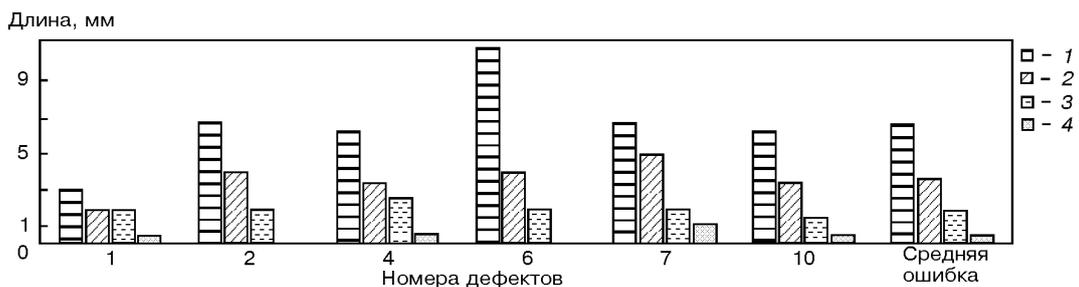


Рис. 3. Абсолютная ошибка измерений высоты плоскостных дефектов магнитным и УЗ методами: 1 — МК; 2 — УЗК I; 3 — УЗК II; 4 — УЗК III.

раковка вызвана нарушениями формы сварного шва за счет смещения кромок, овальности и разнотолщинности труб, превышения норм высоты облицовочного валика и др.

Во всех случаях проведения металлографических исследований сварных швов магистрального трубопровода было подтверждено наличие или отсутствие дефектов, обнаруженных и образмеренных методом волн дифракции, что свидетельствует о высокой достоверности этого метода.

Показана высокая эффективность применения метода волн дифракции для измерения высоты трещиноподных дефектов в сварных швах в диапазоне

толщины 10...18 мм, что дает возможность использовать эти данные для расчетов на прочность и прогнозирования остаточного ресурса.

Таким образом, появляется возможность объективно определить риск дальнейшей эксплуатации кольцевых сварных швов с дефектами и обоснованно разработать программу ремонтных работ.

Более подробную информацию по контролю сварных швов трубопроводов можно получить по адресу:

03680, г.Киев-150, ул.Боженко, 11,  
Институт электросварки им. Е. О. Патона.  
Тел.: (044) 261-51-96, факс: (044) 220-94-82.

*Ин-т электросварки им.Е.О.Патона НАН Украины,  
Киев*

*Поступила в редакцию  
15.03.2001*

**УКРАИНСКАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
МОНТАЖНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ  
«УКРМОНТАЖСПЕЦСТРОЙ»**

**Открытое Акционерное Общество  
«ДОНБАССАНТЕХМОНТАЖ»**

Открытое Акционерное Общество «Донбассантехмонтаж» располагает современным оборудованием с энергосберегающими технологиями, которые с успехом применяются специалистами предприятия при монтаже, ремонте и наладке санитарно-технических систем жилых и промышленных зданий, тепловых сетей, котельных, тепловых пунктов, насосных и др. энергетического оборудования.

**Предприятие осуществляет:**

- ✓ разработку проектно-технической документации по строительству и реконструкции: котельных с паровыми котлами (рабочее давление до 4,0 МПа) и водогрейными котлами (температура теплоносителя до 150 °С); инженерных сетей и систем, ГРП (ГРУ), систем газоснабжения до 1,2 МПа, систем газоснабжения промпредприятий, КБО, ж/а с установкой счетчиков расхода газа;
- ✓ пуско-наладочные работы, наладочные работы тепловых режимов, КИП и А, водохимических режимов паровых котлов с рабочим давлением до 4,0 МПа и водогрейных котлов с температурой нагрева воды до 150 °С;
- ✓ изготовление котельного оборудования, тепловых и водогрейных узлов, циклонов, скрубберов, грязевиков, расширительных баков, емкостей любого объема и др. изделий;
- ✓ ремонт водогрейных котлов с температурой нагрева до 150 °С и элементов трубных поверхностей нагрева паровых котлов давлением до 1,3 МПа;
- ✓ инвентаризацию вредных выбросов и проведение эколого-теплотехнических испытаний топливоиспользующих установок;
- ✓ монтаж наружных и внутренних систем газоснабжения, водоснабжения, отопления и канализации;
- ✓ проектирование, изготовление и монтаж систем вентиляции, аспирации, кондиционирования, пневмотранспорта;
- ✓ контроль качества сварных соединений трубопроводов;
- ✓ изготовление стальных оцинкованных труб со спирально-замковым швом, применяемых в качестве оболочки изолированных пенополиуретаном труб систем теплоснабжения;
- ✓ изоляцию трубопроводов полуцилиндрами из пенополиуретана, зарекомендовавших себя как ремонтно-пригодные при ремонте трубопроводов;
- ✓ изоляцию пенополиуретаном наружных поверхностей сосудов, емкостей, стен зданий и внутренней поверхности кровель любой конфигурации;
- ✓ изготовление и монтаж всех видов металлических конструкций;
- ✓ обмуровку и футеровку котлов и печей;
- ✓ все виды общестроительных работ;
- ✓ автотранспортные услуги (автоперевозки грузов, представление стоянки для всех видов автотранспорта, мелкий ремонт).

**340086, УКРАИНА, г.Донецк, ул. Артема, 27, тел.: (0622) 92-64-42  
87532, УКРАИНА, г.Мариуполь, пр.Ленина, 5/7, тел./факс: (0629) 33-13-94, 33-75-00**