

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ВНУТРЕННЕГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПАТРУБКА И ОБЕЧАЙКИ ТРОЙНИКА С УСИЛИВАЮЩИМИ НАКЛАДКАМИ

Алёшин Н.П., Базулин Е.Г., Вopilкин А.Х., Ромашкин С.В., Стадников Н.А., Тихонов Д.С.

Приведено описание метода ультразвукового контроля внутреннего сварного соединения приварки патрубка (ответвления) к обечайке (магистралу) тройника сварного с усиливающими накладками с наружной поверхности патрубка. Метод основан на трёхмерной когерентной обработке данных автоматизированного ультразвукового контроля, полученных при сканировании преобразователями на значительном удалении от контролируемого сварного соединения, по поверхности патрубка, где отсутствуют накладки.

Приведены результаты контроля тройников с искусственными и реальными дефектами, демонстрирующие возможности метода. Показана возможность проведения контроля на уровне чувствительности, регламентированном нормативными документами ОАО «Газпром».

Введение

Тройники, устанавливаемые в газопроводы для ответвления магистрального газа, являются наиболее напряжёнными элементами трубопроводных обвязок, подвергающиеся огромным статическим и динамическим нагрузкам при эксплуатации. При этом наиболее напряжённым местом тройника является область пересечения трубы патрубка и трубы магистрального газопровода. И именно в этой области в сварных тройниках проходит сварной шов сложной конфигурации, даже небольшие дефекты которого, заложенные в процессе изготовления тройника, как концентраторы напряжений способствуют образованию и развитию усталостных трещин. Накладки и воротник, устанавливаемые на такие тройники не способны существенно снизить вероятность аварийного развития событий. Современные технологии позволяют изготовить штампованные (без шва) тройники большого диаметра, исключая опасность такого рода. Однако большая часть тройников, находящихся в эксплуатации в настоящее время, являются сварными и их замена на штампованные - долгий процесс. Следовательно, среди прочих мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации газопроводов, необходима регулярная диагностика состояния сварных тройников.

Контроль качества швов тройника лучше проводить с его наружной поверхности, т.к. контроль изнутри возможен только при полной вырезке тройника, что связано с большими материальными затратами. При такой постановке задачи наиболее эффективным методом контроля внутреннего состояния швов является ультразвуковой контроль (УЗК), для

которого не представляет трудностей диагностирование качества нахлесточных, стыковых, угловых сварных соединений, к которым имеется непосредственный доступ. Однако доступ к наиболее ответственному шву - внутреннему шву «обечайка-патрубок» - скрыт усиливающими накладками тройника, и традиционные методы УЗК в этих областях внутреннего шва приварки патрубка к обечайке не применимы. Для обеспечения контроля на требуемом уровне чувствительности внутреннего сварного соединения «обечайка-патрубок» нами предложено использовать метод математической фокусировки ультразвукового (УЗ) поля, зарегистрированного на поверхности патрубка по большой двухмерной апертуре.

Метод УЗК поднакладочного сварного соединения тройника

Необходимость фокусировки при удалённом сканировании преобразователями при контроле сварного соединения (далее - СС) «обечайка-патрубок» тройников сварных с усиливающими накладками (далее - ТСН), обусловлена тем, что расстояние от точки ввода ультразвука до контролируемой области может достигать 400 мм. Традиционный контроль в эхо-режиме в таких условиях практически невозможен из-за наличия множественных переотражений, а также существенного расхождения и затухания УЗ волн, ведущих к радикальному снижению разрешающей способности и отношения сигнал/шум.

Для контроля поднакладочного СС ТСН предложено использовать возможности системы автоматизированного УЗК АВГУР-Т. Системы АВГУР-Т обладают возможностью фокусировки УЗ поля в области контроля даже при большом удалении этой области от области сканирования за счёт использования алгоритма трёхмерной когерентной обработки методом проекции в спектральном пространстве. В системе АВГУР-Т реализована возможность за счёт точного механического перемещения преобразователей синтезировать большую апертуру и, тем самым, значительно увеличить дальность области фокусировки по сравнению с современными системами на базе фазированных антенных решёток, что позволяет эффективно использовать ультразвук в области контролируемого СС. Сущность алгоритма трёхмерной обработки состоит в следующем (или дать ссылку):



Когерентная обработка обеспечивает увеличение амплитуды дефекта и снижение уровня случайных пространственно не коррелированных шумовых сигналов, а также компенсирует расхождение луча на большом расстоянии за счёт пространственной фокусировки, повышая разрешающую способность получаемых изображений.

В системе АВГУР-Т используются сканирующие устройства, обеспечивающие перемещение ПЭП по двум взаимно перпендикулярным осям, что обеспечивает точную коор-

динатную привязку полученных изображений к системе координат объекта контроля, обеспечивая также хорошую повторяемость результатов контроля.

Основные методические параметры контроля

Определение режимов контроля, выбор основных методических параметров проводился на множестве образцов тавровых и угловых СС, в которые вносились искусственные отражатели в виде пропилов, боковых и плоскодонных сверлений. При контроле этих образцов исследовались возможности выявления и определения размеров дефектов при использовании различных типов преобразователей, режимов контроля и методов обработки данных, реализованных в системе АВГУР-Т.

В качестве примера ниже приведены результаты исследования возможностей выявления и определения размеров дефектов системой АВГУР-Т с использованием различных типов преобразователей и двух видов когерентной обработки на одном из образцов углового СС, когда сканирование проводится на расстоянии более 270 мм от шва. Схема проведения контроля приведена на рис. 2. СС данного образца изготовлено по аналогии с угловой частью СС «патрубок-обечайка» по ТУ 51-29-81 [2]. В образец внесены искусственные отражатели в виде пропилов, боковых и плоскодонных сверлений и непровара корня шва. Схема расположения отражателей и их нумерация приведены на рис. 2.

Контроль этого образца производился в измерительном режиме с последующей двумерной обработкой данных методом проекции в спектральном пространстве (ПСП) для определения размеров несплошностей, находящихся в угловом СС. Также для получения изображения более высокого качества, применялась трёхмерный алгоритм ПСП.

В таблице 1 приведены основные методические параметры, которые использовались для контроля углового СС системой АВГУР-Т.

Таблица. 1. Основные параметры УЗК углового СС системой АВГУР-Т.

Вид контроля	Тип ПЭП**	ПЭП*			Временная апертура		Зона сканирования				Шаги сканирования	
		Тип УЗ волны***	Угол ввода град	Частота МГц	Начало, мкс	Конец, мкс	По оси Y (вдоль шва)		По оси X (перпендикулярно оси шва)		по оси Y, мм	По оси X, мм
							Начало, мм	Конец, мм	Начало, мм	Конец, мм		
Измерительный контроль	С	S	70±2	2.5±0,2	150	250	5	305	245	355	2	0,2
	С	S	70±2	5.0±0,2								
	Р/С	S	65±2	5.0±0,2								
	С	S	65±2	2.5±0,2								
	С	S	55±2	2.5±0,2								

*) ПЭП - пьезоэлектрический преобразователь.

***) С - совмещенный ПЭП, Р/С - раздельно-совмещенный ПЭП.

****) S - поперечная УЗ волна.

В таблице 2 приведены результаты контроля образца углового СС для набора основных методических параметров приведенных в таблице 1. Высота дефектов по изображениям не определялась.

Таблица. 2. Результаты контроля образца углового СС.

№ дефекта	Параметры дефектов	Значения параметров дефектов	ПЭП 70°, 5 МГц	ПЭП 70°, 2,5 МГц	ПЭП 65°, 5 МГц	ПЭП 65°, 2,5 МГц	ПЭП 55°, 2,5 МГц
1	Протяженность, мм	40	58	58	54	56	56
	Высота, мм	3	-	-	-	-	-
2	Протяженность, мм	10	11	12	15	16	14
	Высота, мм	4	-	-	-	-	-
3	Протяженность, мм	3	4	4	-	-	-
	Высота, мм	2	-	-	-	-	-
4	Протяженность, мм	10	14	11	15	13	12
	Высота, мм	4	-	-	-	-	-
5	Протяженность, мм	25	23	24	30	28	28
	Высота, мм	3	-	-	-	-	-
6	Протяженность, мм	7	5	5	-	10	-
	Высота, мм	3	-	-	-	-	-
7	Протяженность, мм	60	57	59	48	41	45
	Высота, мм	2	-	-	-	-	-
Количество выявленных дефектов			7	7	5	6	5

Несплошность № 3 представляет собой естественный дефект в виде незаплавленного кратера в корне шва.

Лучшие результаты по соотношению сигнал/шум и по погрешности определения размеров дефектов получены для ПЭП с углом ввода 70° и рабочей частотой 2,5 МГц. Существенно выше качество получаемых трёхмерным алгоритмом обработки эхо-сигналов. На рис. 3 приведено суммарное С-сечение изображения дефектов, полученное с использованием «оптимального» ПЭП и трёхмерного восстановления. С запасом чувствительности, превышающим 12 дБ, выявляются все дефекты.

В результате многочисленных экспериментов на модельных образцах такого типа были выбраны преобразователи, обеспечивающие наилучшие результаты, и определены оптимальные параметры сканирования, уровень привязки чувствительности и другие методические параметры контроля. Экспериментально показано, что использование трёхмерной когерентной обработки данных вместо двухмерной позволяет повысить чувствительность контроля более, чем на 4-8 дБ и уменьшает погрешность определения протяжённости дефектов на 2-4 мм.

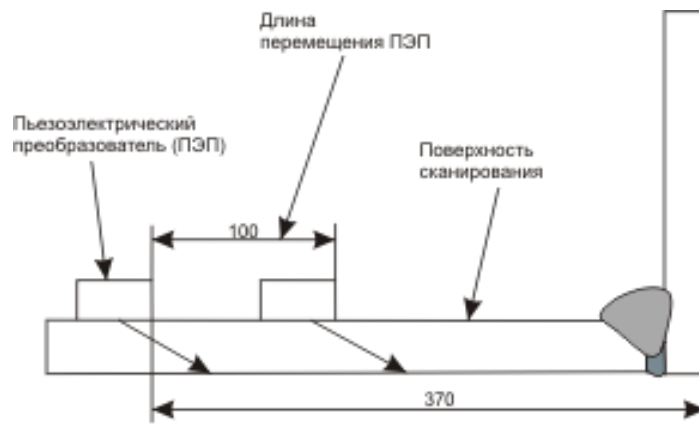


Рис. 1. Схема контроля углового СС.

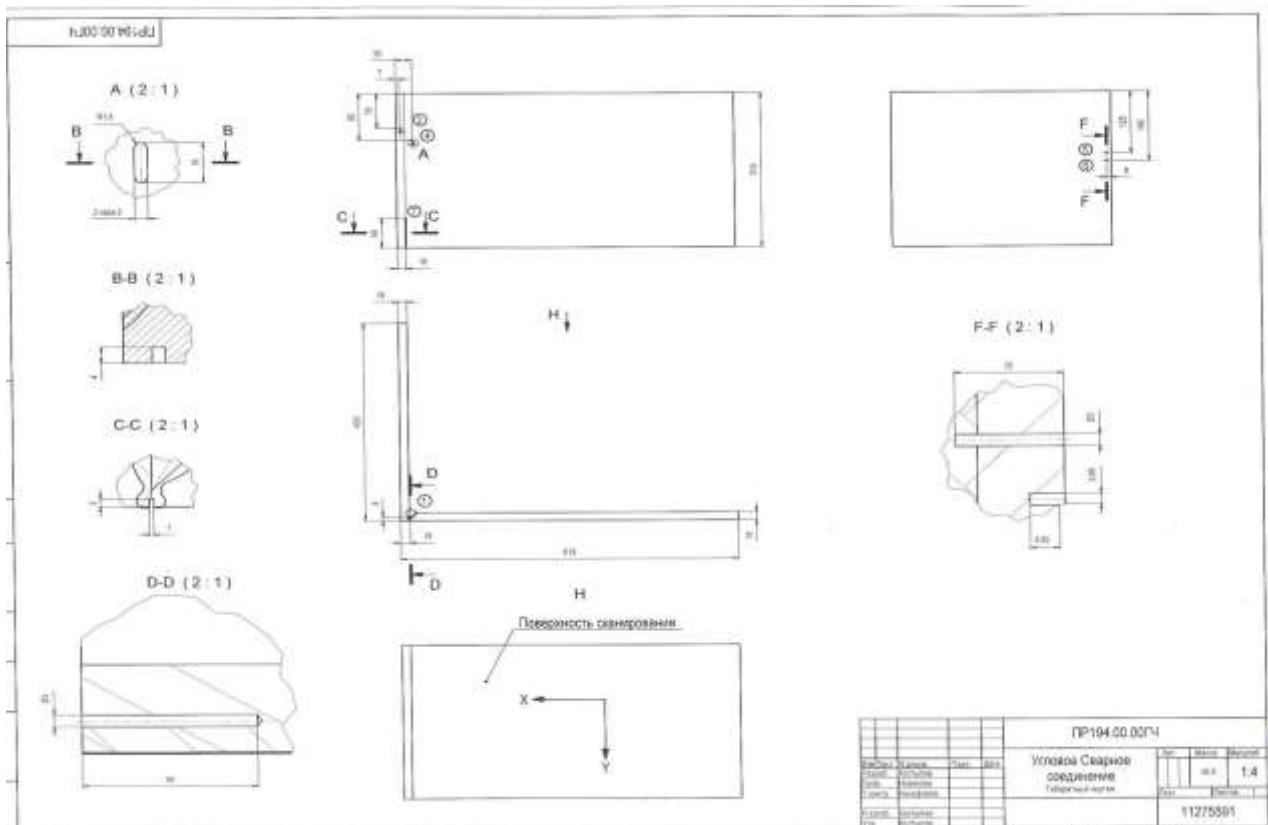


Рис. 2. Схема расположения отражателей в СОП с угловым СС. Номера в кружочках обозначают номер дефекта в таблице 2.

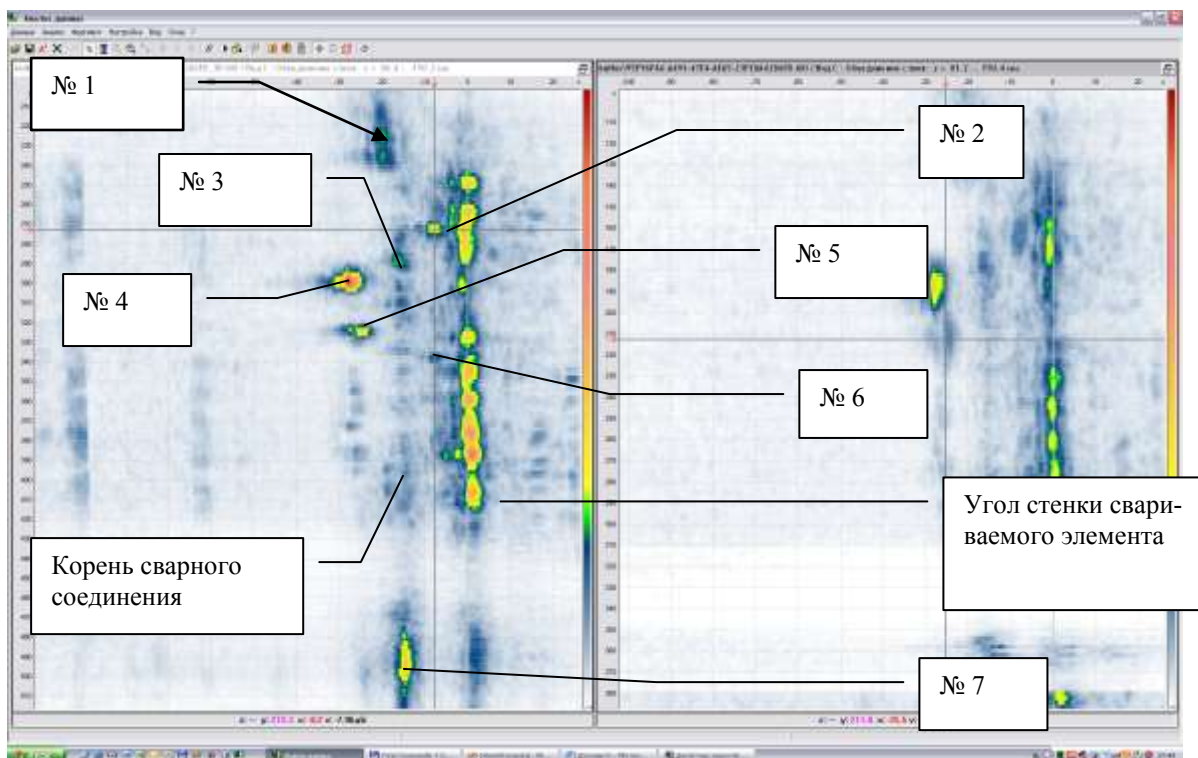


Рис. 3. С-изображения (суммарная проекция) несплошностей №№ 1-7:

Выводы

Разработанная система диагностики позволяет:

- осуществлять выявление дефектов на ранней стадии развития;
- по восстановленным акустическим изображениям определять местоположение и размеры дефектов;
-

Литература

1. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г. Цифровое восстановление изображения рассеивателей методом проекции в спектральном пространстве. - Акустический журнал, 1988, XXXIV, № 2, с. 222-231.
2. ТУ 51-29-81 [2] «Тройники и отводы сварные из стальных труб на Рр от 5,5 до 100 МПа».
3. СТО Газпром 2-2.4-083-2006. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов.
4. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.