

УДК 621.8

## Исследование формы дефектов сварного шва по методу коэффициента форм

Алексеева Л.Г., Баранов А.И.

В работе проведены исследования по определению формы дефекта в сварном шве по коэффициенту формы при ультразвуковом неразрушающем контроле. Исследования проводились на стандартном образце предприятия, представляющем собой отрезок трубы большого диаметра с искусственными плоскодонными и цилиндрическими отражателями. Полученные результаты показали возможность применения данного метода.

*Ключевые слова:* сварной шов, коэффициент формы, вид дефекта, преобразователь, неразрушающий контроль.

### Введение

Реальные дефекты сварных швов отличаются разнообразием, имеют неповторимую конфигурацию, различную ориентацию, шероховатость поверхности и отражательную способность даже в пределах одного морфологического типа и как отражатели ультразвука должны рассматриваться как случайные (стохастические).

Достоверность и воспроизводимость результатов ультразвукового контроля во многом зависит от правильного выбора параметров контроля, уровня настройки дефектоскопа, схемы сканирования, отстройки от помех и т.д. Одна из главных задач УЗ неразрушающего контроля — определение совокупности реальных параметров дефекта (тип, ориентация, размеры). В большинстве случаев оценка степени достоверности обнаружения дефектов проводится с учётом требований к сплошности контролируемого материала или изделия. Требования же к сплошности материала определяются типом, размерами и ориентацией дефектов, так как именно эти характеристики обуславливают влияние дефектов на качество изделия. Так, дефекты с острыми гранями, являющиеся концентраторами напряжений, как правило, не допустимы; дефекты с округлой поверхностью допускаются, но с учётом ограничений на их размеры. В связи с этим возникает задача распознавания

типа и определения размеров дефектов, обнаруживаемых при УЗ-контроле [1,2,5].

Целью данной работы является исследование формы дефекта по методу коэффициента форм для правильной классификации дефектов по форме.

### Сущность метода коэффициента форм

Для проведения исследований по коэффициенту формы необходимо соблюдать ряд основных условий.

1) Измерения проводят любым дефектоскопом, двумя однотипными наклонными преобразователями с углом ввода 40 или 50 градусов. Рекомендуется использовать тот тип преобразователей, которым проводился поиск несплошностей.

2) Преобразователи должны иметь одинаковую чувствительность. Их считают равночувствительными, если при прозвучивании каждым из них последовательно одного и того же отражателя СОП амплитуды эхосигналов отличаются не более чем на 1 дБ.

3) При измерениях следует учитывать наличие зоны непрозвучивания слоя металла, несплошность в котором не может быть достоверно оценена по  $K_f$ .

Измерения проводят любым дефектоскопом, двумя однотипными наклонными преобразователями с углом ввода 50 или 40° на частоту 1,8 или 2,5 МГц. Рекомендуется использовать тот тип преобразователей, кото-

рым проводился поиск несплошностей. Абсолютная разница в величине углов наклона ПЭП не должна превышать  $1^\circ$ .

Преобразователи должны иметь одинаковую чувствительность. Их считают равночувствительными, если при прозвучивании каждым из них последовательно одного и того же отражателя в СО-1 по ГОСТ 14782-86 амплитуды эхо-сигналов отличаются не более чем на 1 дБ. Если из преобразователей, имеющих в распоряжении дефектоскописта, не удастся подобрать два равных по чувствительности и однотипных, то для выравнивания чувствительности следует включить последовательно в цепь одного из ПЭП переменное сопротивление 0,5 ... 1,0 кОм.

При измерениях следует учитывать наличие зоны непрозвучивания слоя металла, несплошность в котором не может быть достоверно оценена по  $K_\phi$  из-за того, что преобразователи как бы "налезают" друг на друга. Величина  $h_K$  этой зоны может быть уменьшена использованием преобразователей меньших габаритных размеров (например, применение преобразователей с углом ввода  $50^\circ$  на частоту 2,5 МГц вместо ПЭП с углом ввода  $50^\circ$  на частоту 1,8 МГц уменьшает зону непрозвучивания на 8 мм) за счет изменения конструкций ПЭП (уменьшения стрелы заднего и габаритных размеров переднего преобразователя), применения системы тандем-дуют.

Если при контроле обеспечен доступ к сварному шву с обеих поверхностей сварных элементов, преобразователи устанавливают на той поверхности, к которой несплошность ближе. Если конструкция сварного соединения не позволяет установить два преобразователя, то  $K_\phi$  не измеряют. Преобразователи подключают к дефектоскопу по раздельно-совмещенной схеме.

Измерения проводят при скорости развертки, настроенной на контроль сварного соединения однократно отраженным лучом.

Оба преобразователя устанавливают друг за другом на поверхности сварного элемента в одной вертикальной плоскости и перемещают их в этой плоскости в поисках максимума сигнала  $A_3$ . При измерениях рекомендуется использовать направляющую линейку (шаблон), снабженную шкалами — указателями положения преобразователей, при котором обеспечивается получение максимального зеркального сигнала от дефекта. Положение сигнала  $A_3$  на линии развертки не зависит от глубины залегания несплошности и соответствует положению эхосигнала от нижнего угла образца толщиной, равной толщине контролируемого сварного соединения, при прозвучивании одним преобразователем.

Коэффициент формы измеряется при фиксированном положении преобразователей, соответствующем максимуму сигнала  $A_3$ . При этом чувствительность уменьшают так, чтобы на экране дефектоскопа стали видны вершины сигналов  $A_1$  и  $A_3$  или хотя бы одного из них.

Коэффициент формы считают: положительным (в дБ), если высота сигнала  $A_1$  на экране дефектоскопа больше высоты сигнала  $A_3$ ; равным нулю, если  $A_3$  отличается от  $A_1$  не более чем на 1 дБ; отрицательным, если  $A_3$  меньше  $A_1$ . Несплошность считают: объемной, если коэффициент формы имеет положительное или равное 0 дБ значение; плоскостной, если коэффициент формы отрицателен.

Каждую несплошность оценивают по  $K_\phi$  прозвучиванием с двух сторон шва. Измерение  $K_\phi$  несплошности с условной протяженностью  $> 30$  мм проводят не менее чем в трех сечениях несплошности. Тип несплошности оценивают по наименьшему из измеренных значений  $K_\phi$ .

Достоверность распознавания формы дефектов этим методом  $> 0,9$ ,

Анализ данных показывает, что коэффициент формы для шлаковых включений

> 3 дБ, а для трещин < 5 дБ. Здесь децибелы положительные. Коэффициент формы для непроваров изменяется от -13 до + 7 дБ. Таким образом, по этому признаку особенно хорошо различаются трещины и шлаковые включения [3].

Перечислим преимущества метода распознавания класса дефектов по  $K_{\phi}$  — высокие вероятность правильного распознавания типа дефекта и разрешающая способность; конкретность числового выражения  $K_{\phi}$ , что позволяет использовать его в качестве браковочного критерия; исключение измерений амплитуд сигналов  $A_1$  и  $A_3$  и, следовательно, возможность использования аппаратуры без аттенуаторов; независимость результатов распознавания от уровня чувствительности, на котором проводится сравнение сигналов, и от параметров аппаратуры, что исключает необходимость эталонирования чувствительности и обеспечивает надежную воспроизводимость результатов; возможность объективного наблюдения за выявлением и развитием дефектов в процессе эксплуатации, поскольку появление или развитие трещины всегда связано с существенным уменьшением  $K_{\phi}$  (увеличение  $2b$  на 2 мм изменяет  $K_{\phi}$  на 8 ... 10 дБ).

Методика измерения  $K_{\phi}$  сводится к следующему. Два преобразователя с одинаковой чувствительностью ( $\pm 1$  дБ) подключают параллельно к дефектоскопу (раздельно-совмещенная схема измерений по ГОСТ 12782-86) и устанавливают в околосшовной зоне в одной вертикальной плоскости друг за другом, например, с помощью направляющей линейки. Скорость развертки должна обеспечивать наблюдение на экране дефектоскопа одновременно сигналов  $A_1$  и  $A_3$ . Коэффициент  $K_{\phi}$  рекомендуется определять при положении преобразователей, зафиксированном в момент максимума  $A_3$ . Для более надежного

распознавания дефектов  $K_{\phi}$  следует измерять с двух сторон шва, а в случае протяженного дефекта — в нескольких его сечениях. Окончательно класс дефекта устанавливают по наименьшему значению  $K_{\phi}$ .

Все исследования сводятся к тому, что необходимо измерять амплитуду сигналов. В методе по коэффициенту форм вывод сделаем по разнице амплитуд прямого луча и отражённого. Настройка и проверка чувствительности УЗ-аппаратуры при контроле труб выполняется по стандартному образцу предприятия (СОП). Им служит отрезок бездефектной трубы, выполненный из того же типоразмера и имеющий то же качество поверхности, что и контролируемая труба, в котором выполнены искусственные отражатели: 3 плоскодонных отверстия диаметром  $3,0 \pm 0,2$  мм -F1-F3 и 3 боковых сверления диаметром  $3,2 \pm 0,2$  мм - P1-P3. Исследования проводятся на приборе УД2-12 с датчиками с различными углами ввода ( $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $74^\circ$ ).

Расчёт коэффициента формы производится по формуле:

$$K_{\phi} = A_1 - A_3,$$

где  $A_1$  — амплитуда прямого луча, дБ;

$A_3$  — амплитуда отражённого луча, дБ.

По каждому методу будем проводить по 5 измерений амплитуды на одном дефекте, поэтому необходимо рассчитать среднее значение и погрешности измерений.

$$A_{cp} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5,$$

$$A_{abc} = A_i - A_{cp},$$

где  $A_{abc}$  — абсолютная погрешность, дБ

$$A_{omn} = \frac{A_{abc}}{A_{cp}} * 100\%,$$

где  $A_{omn}$  — относительная погрешность, %

Результаты исследований формы дефекта по методу коэффициента форм (раздельная схема) с углом ввода датчика  $45^\circ$  приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Обозначение дефекта	$A_1$ , дБ	$A_{1ср}$ , дБ	$A_{1абс}$ , дБ	$A_{1отн}$ , %	$A_3$ , дБ	$A_{3ср}$ , дБ	$A_{3абс}$ , дБ	$A_{3отн}$ , %	$K_{\phi} = A_1 - A_3$ , дБ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P1	27	26,6	0,4	1,5	23	21,4	1,6	7,4	4
	28		1,4	5,3	22		0,6	2,8	6
	27		0,4	1,5	22		0,6	2,8	5
	26		-0,6	3,7	20		-1,4	6,5	6
	25		-1,6	6	20		-1,4	6,5	5
P2	28	28	0	0	22	22,2	-0,2	0,9	6
	28		0	0	23		0,8	3,6	5
	29		1	3,6	23		0,8	3,6	6
	27		-1	3,6	22		-0,2	0,9	5
	28		0	0	21		-1,2	5,4	7
P3	26	27	-1	3,7	20	21	-1	4,8	6
	27		0	0	21		0	0	6
	27		0	0	20		-1	4,8	7
	28		1	3,7	22		1	4,8	6
	27		0	0	22		1	4,8	5
F1	16	17,6	-1,6	9	40	39,6	0,4	1	-24
	18		0,4	2,2	39		-0,6	1,5	-21
	19		1,4	7,9	40		0,4	1	-21
	17		-0,6	3,4	40		0,4	1	-23
	18		0,4	2,2	39		-0,6	1,5	-21
F2	20	21	-1	4,8	42	41	1	2,4	-22
	20		-1	4,8	40		-1	2,4	-20
	22		1	4,8	41		0	0	-19
	21		0	0	41		0	0	-20
	22		1	4,8	41		0	0	-19
F3	18	19,8	-1,8	9	40	39,6	0,4	1	-22
	20		0,2	1	40		0,4	1	-20
	20		0,2	1	38		-1,6	4	-18
	21		1,2	6	41		1,4	3,5	-20
	20		0,2	1	39		-0,6	1,5	-19

### Заключение

Согласно полученных результатов исследований для датчиков с различными углами ввода ( $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $74^\circ$ ) коэффициент формы  $K_{\phi}$  для боковых сверлений получается положительным, а для плоскодонных отверстий отрицательным, что соответствует ожиданиям [4]. Точность измерений можно считать приемлемой, так как  $K_{\phi}$  для боковых сверлений много больше нуля, а для плоскодонных много меньше. Общая абсолютная погрешность

измерений по этому методу составила 0,67 дБ, а относительная — 2,6%

### Литература

1. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — М: Изд-во «Тиссо», 2005.
2. Ермолов И.Н. Контроль ультразвуком: краткий справочник. — М.: НПО ЦНИИТ-МАШ, 1992. — 86 с.

3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8т / Под общ. ред. Клюева В.В. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.

4. Щербинский В.Г. Ультразвуковая дефектоскопия. Вероятностный аспект. – М.: Машиностроение, 2006. – 152 с.

5. Алексеева Л.Г., Шугаева Т.Ю. Взаимосвязь акустических характеристик стали со

структурой – Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике [Электронный ресурс]: Всероссийские радиофизические научные чтения-конференции памяти Н.А. Арманда. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2010. – С. 47-48

**Статья поступила в редакцию 20 декабря 2011 г.**

The investigation of defect geometry in a welded joint in dependence of form-coefficient at ultrasonic non-destructive investigation was done in presented work. The investigations were performed on standard factories samples. The samples have a form of a large diameter tube with the artificial flat-bottomed and cylindrical reflectors. The obtained results demonstrate a possibility of application of the described method.

*Keywords:* welded joint, form-coefficient, type of a defect, converter unite, non-destructive investigation.

*Алексеева Лариса Генчевна* – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии в проектировании и управлении» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

*Баранов Антон Игоревич* – инженер ОАО «ВМЗ» г. Выкса