



## ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ ТОЛЩИНОМЕТРАМИ С А-РАЗВЕРТКОЙ

А. Н. КОЗИН

*Показано, что на рынке приборов ультразвукового контроля появился и продолжает совершенствоваться новый класс приборов для измерения толщины УЗ толщинометры с А-разверткой, которые хорошо себя зарекомендовали в тех случаях, когда оператор не может надежно оценить корректность измерений. Эти приборы позволяют резко повысить производительность труда и решить ряд новых технологических задач.*

*It is shown, that a new class of thickness measurement instruments have been introduced in the market of UT instruments and they are being continuously improved. These are US thickness gauges with A-scan, which are very useful for those cases, when the operator cannot reliably evaluate the validity of measurements. These instruments allow a marked improvement of labour efficiency and addressing a number of process tasks.*

**Проблема.** Операторы ультразвукового (УЗ) контроля, выполняющие измерения остаточной толщины стенки УЗ толщинометрами с цифровой индикацией в целях диагностирования технического состояния оборудования, как показано в [1, 2], часто сталкиваются с проблемами определения толщины стенки, которые возникают из-за:

- неровностей противоположной поверхности, возникающих при неравномерной, местной, точечной, язвенной или питтинговой коррозии, и вызывающих существенное уменьшение амплитуды эхо-сигналов, что может привести к критическим ошибкам измерения;
- значительной геометрической непараллельности стенок оборудования, которая также приводит к существенному уменьшению амплитуды эхо-сигналов или невозможности проведения измерений;
- включений в металле и расслоения металла, вызывающих эхо-сигналы, которые могут быть приняты за эхо-сигналы от коррозионных поражений;
- неопределенности положения границы раздела биметаллических конструкций, что приводит к росту погрешности измерений;
- невозможности проводить измерения при высокой температуре контролируемой поверхности и др.

К тому же огромные затраты средств и времени уходят на подготовку поверхности под измерения (требуется удаление защитного покрытия), протоколирование результатов измерений и пр.

**Пути решения.** До недавнего времени эти проблемы обычно решались путем использования УЗ дефектоскопов общего назначения в качестве приборов для измерения толщины. Это создавало значительные трудности из-за громоздкости оборудования по сравнению с цифровыми толщинометрами и более высокой погрешности измерений.

В конце 90-х годов ряд ведущих производителей оборудования для ультразвукового контроля, таких как Panametrics (США), Krautkramer (Германия), StressTel (США), Staveley (США), Sonatest (Великобритания), выпустили в продажу новый тип приборов — толщинометры с А-разверткой. Создание нового типа приборов с новыми функциональными возможностями при обеспечении не-

больших малогабаритных характеристик было обусловлено развитием микроэлектроники.

В результате созданы приборы массой около одного килограмма, которые помимо традиционного для толщинометров цифрового индикатора имеют традиционный для УЗ дефектоскопов индикатор с разверткой типа А. Это позволило наблюдать на жидкокристаллическом экране эхо-сигналы от противоположной стенки изделия или от несплошностей, имеющихся в основном металле.

Этот «гибрид» толщинометра и дефектоскопа помимо резкого повышения производительности измерения толщины позволяет при соответствующем технологическом обеспечении решать целый комплекс задач, возникающих в процессе эксплуатационного УЗ контроля остаточной толщины металла, например:

- измерять остаточную толщину металла без удаления защитных покрытий, например, слоев краски или эпоксидного покрытия и т.п., что создает большую экономию материальных, финансовых и человеческих ресурсов;
- измерять остаточную толщину металла в сложных условиях — при наличии неравномерной, язвенной и других типов коррозии;
- обнаруживать и классифицировать дефекты металла типа включение, расслоение и коррозия;
- измерять остаточную толщину металла при значительной непараллельности стенок;
- обнаруживать питтинговую коррозию и измерять остаточную толщину при ее обнаружении;
- обнаруживать и определять размеры дефектов типа несплавление наплавки и основного металла.



Толщинометр T-Score III с А-разверткой

**Сравнительные характеристики толщиномеров с А-разверткой**

Технические характеристики	Название, производитель, страна			
	T-Scope III, StressTel, США	Alfagage, Sonatest, Великобритания	DMS2, Krautkramer, Германия	36DL PLUS, Panametrics, США
Диапазон толщин, мм	0,25...508	0,6...500	0,66...635	0,5...500
Скорость, м/с	1000...9999	2000...9999	1000...9999	762...13999
Разрешение, мм	0,01	0,01	0,01 или 0,1	0,01 или 0,1
Усиление, дБ	Ручное — 85 (шаг 1 дБ) и автоматическое	Автоматическое — 80 Скорость изменения — 0,5 дБ/мкс	Ручное (шаг 1 дБ) и автоматическое	Ручное (шаг 1 дБ) и автоматическое
Полоса частот, МГц	0,5...22	1...75	0,5...15	1...15
Преобразователи	Раздельно-совмещенные, совмещенные	Раздельно-совмещенные, совмещенные	Раздельно-совмещенные, совмещенные	Раздельно-совмещенные, совмещенные
Дисплей	ЖКИ с подсветкой и регулировкой контрастности, 320×240 пикселей, 96×71 мм	ЖКИ с регулировкой контрастности, 128×96 пикселей, 48×71 мм	ЖКИ с подсветкой, 240×320 пикселей, 71×95 мм	ЖКИ с подсветкой, 102×86 мм
Режимы индикации	А-скан, В-скан, миним. толщина	А-скан, миним. толщина	А-скан, В-скан, миним. толщина	А-скан, В-скан, миним. толщина
Режимы представления сигнала	Отрицательная, положительная полуволна	Отрицательная, положительная полуволна, недектированный сигнал	Отрицательная, положительная полуволна, недектированный и детектированный сигналы	Отрицательная, положительная полуволна, недектированный и детектированный сигналы
Стробы	2 регулируемых строба	2 регулируемых строба	2 регулируемых строба	2 регулируемых строба
Калибровка	По 1 и 2 точкам	По 1 и 2 точкам	По 1 и 2 точкам	По 1 и 2 точкам
Коррекция V-образного хода лучей	Да	Да	Да	Да
Режим замораживания	Да	Да	Да	Да
Память	40000 замеров толщины, 1000 А-сканов, 20 настроек	8000 замеров толщины, 2500 А-сканов, 100 настроек	150000 замеров толщины, 1100 А-сканов, 20 настроек	95000 замеров толщины, 1750 А-сканов
Сопряжение с внешними устройствами	RS 232	Инфракрасный порт	RS 232	RS 232
Время непрерывной работы, ч	60	9	40	Нет данных
Рабочая температура, °С	-10...+50	-10...+55	-10...+55	-10...+55
Габариты, мм	191×140×56	285×120	256×129×30	238×138×38
Масса (с батареями), кг	1,14	0,88	0,725	0,95
Гарантия, лет	2	Нет данных	2	2
Представительство в Украине	Да	Нет	Да	Нет

Также толщиномеры этого класса работают с УЗ преобразователями совмещенного типа, что позволяет:

- измерять толщину стенки металлов с высоким затуханием УЗ колебаний (нержавеющие стали, никелевые стали, цветные металлы и т.п.);
- измерять толщину стенки нагретых металлов при использовании преобразователей с высокотемпературной линией задержки;
- измерять толщину стенки металла от 0,25 мм при использовании высокочастотных совмещенных преобразователей с линией задержки.

**Нормативная база.** Большинство перечисленных технологических задач рассматриваются в проекте Европейского стандарта prEN 14127:2001 «Не разрушающий контроль — Ультразвуковые измерения толщины» [3]. В стандарте приведены конкретные рекомендации по применению толщиномеров с А-разверткой. Например, в пункте **6.4 Выбор прибора** указывается, что:

*Рекомендуется использовать приборы с отображением А-развертки, потому что:*

- *выбор и оценка эхо-сигналов возможна только при наличии графического дисплея;*
- *универсальные ультразвуковые приборы в большинстве случаев имеют более высокую мощность, чем малогабаритные толщиномеры;*
- *универсальные ультразвуковые приборы в большинстве случаев имеют высокую чувствительность, чем малогабаритные толщиномеры;*
- *универсальные ультразвуковые приборы в большинстве случаев имеют более широкий диапазон частот, чем малогабаритные толщиномеры;*
- *универсальные ультразвуковые приборы могут работать в различных модах (режимах) измерения толщины: с совмещенными и раздельно-совмещенными преобразователями, с непосредственным контактом или через линии задержки,*



с отображением недетектированного сигнала или различными режимами детектирования сигналов.

В **Приложении А** проекта стандарта «Механизмы коррозии в сосудах и трубопроводах» приведены рекомендации по измерению общей и питтинговой коррозии.

*Методика А.1. Измерение общей коррозии. При общей коррозии могут применяться приборы с цифровым дисплеем. Если цифровой прибор не дает реальных показаний из-за трудных условий поверхности, включений в материале или сильного поглощения покрытиями, должен использоваться прибор с А-разверткой.*

*Если измеряемые поверхности имеют покрытия и требуется вычитание толщины покрытия из общего результата, должны использоваться соответствующие цифровые толщиномеры или толщиномеры с А-разверткой.*

*Когда требуется найти точки с наименьшей толщиной внутри исследуемой зоны, применяется сканирование. Для этой цели используются приборы с А-разверткой.*

Естественно, для обнаружения и измерения питтинговой коррозии также рекомендуется применение толщиномера с А-разверткой. Этой проблеме посвящен параграф *Методика А.2. Измерение коррозии с питтингами.*

**Аппаратные возможности.** Аппаратные возможности толщиномеров с А-разверткой значительно отличаются от традиционных толщиномеров. Ручное регулирование усиления дает возможность повысить вероятность и точность измерения толщины в сложных случаях, к которым необходимо отнести большую неравномерность отражающей поверхности и шероховатость поверхности ввода УЗ колебаний, наличие отражателей и рассеяния внутри металла, непараллельность поверхности ввода и отражающей поверхности и т.п.

В режиме «Минимальная толщина» отображается минимальная толщина при сканировании участков поверхности объекта контроля, что особенно удобно при контроле коррозии: традиционная схема измерения толщины в случайно выбранных дискретных точках не гарантирует от пропуска участков с коррозионными поражениями между этими точками.

В толщиномерах, имеющих режим «В-сканирование», получают профиль контролируемого участка, который наглядно иллюстрирует состояние поверхности (а также наличие акустического контакта) и наличие дефектов на недоступной поверхности или внутренних дефектов.

Использование режима «Автокалибровка» позволяет снизить зависимость результатов измерений от субъективного воздействия оператора на результаты контроля. Также для этого и для существенного повышения производительности измерений направлена возможность вызова из памяти данных об ультразвуковом преобразователе или набора настроек толщиномера.

Возможность хранить и регистрировать большой объем результатов измерений и специализированное программное обеспечение, работающее в операционной среде Windows, позволяет автома-

тизировать процесс представления и анализа результатов контроля и подготовку протокола о выполненных измерениях. В протокол, обычно автоматически вносятся режимы контроля, дата, время, тип преобразователя и т.п., что существенно увеличивает производительность оператора при переносе данных в компьютер, анализе результатов контроля и составлении отчета о проведенных измерениях толщины.

Эти толщиномеры позволяют автоматически учитывать погрешность измерений, вызываемую разностью путей УЗ колебаний на малой толщине при работе с раздельно-совмещенным преобразователем, что существенно повышает точность измерений при толщине менее 5 мм.

Толщиномеры этого класса обычно имеют жидкокристаллический графический дисплей высокого разрешения с регулируемой контрастностью и подсветкой, что позволяет видеть результаты измерений и изображение экрана как при ярком солнечном свете, так и при плохом освещении.

В приведенной таблице представлены технические характеристики УЗ толщиномеров с А-разверткой некоторых наиболее известных фирм-производителей.

**Ситуация на рынке.** Большинство технических характеристик, представленных в таблице, имеет близкие параметры, что обеспечило толщиномерам с А-разверткой примерно равные с этой точки зрения стартовые позиции при выходе на рынок. При этом бесспорное преимущество имелось у хорошо известных в Украине торговых марок Panametrics и Krautkramer, которое почти полностью нивелировалось отсутствием необходимых для этого финансовых средств у желающих приобрести эти приборы.

Толщиномеры с А-разверткой фирм Panametrics и Krautkramer относятся к высшей ценовой категории, так как их цена у производителя достигает 4000 и более американских долларов за прибор без преобразователей. Толщиномер компании Sonatest занимает промежуточную позицию, а толщиномер T-Scope III компании StressTel является наиболее конкурентным по этому показателю: его цена почти вдвое меньше, чем цена толщиномеров фирм Panametrics и Krautkramer.

При этом следует особо отметить, что компания StressTel выпускает уже второе поколение этих приборов, что позволило разработчикам внести ряд изменений в конструкцию толщиномера на основании пожеланий непосредственных потребителей. Например, пришлось отказаться от конструкции корпуса типа «ракетка», поскольку при такой конструкции руки оператора постоянно заняты, что во многих случаях может быть недопустимо, а также был существенно увеличен размер экрана и увеличена его разрешающая способность. К достоинствам этого прибора следует отнести наличие русскоязычного интерфейса графического дисплея с подсказками для настройки, инструкцию по эксплуатации на русском языке и большой выбор УЗ преобразователей для различных применений, например, измерения толщины пластмасс от 0,125 мм, что необходимо при изготовлении различных емкостей, и сталей от 0,25 мм в случае

измерения турбинных лопаток, а также решения множество других задач, когда необходимо знать реальную толщину объекта контроля.

#### Выводы

Как показывает представленный краткий анализ, на рынке приборов УЗ контроля появился и продолжает совершенствоваться новый класс приборов для измерения толщины, которые хорошо себя зарекомендовали в тех случаях, когда оператор не может надежно оценить корректность измерений. Эти приборы позволяют резко повысить производительность труда и решить целый ряд новых технологических задач.

Быстрое развитие в секторе измерения толщины стимулировало разработку нового Европейского стандарта prEN 14127:2001 «Неразрушающий контроль — Ультразвуковые измерения толщины», в котором большое внимание уделено применению именно УЗ толщиномеров с А-разверткой.

ЧП «ДП-Тест»,  
Киев

При этом необходимо учитывать, что переход от цифровых толщиномеров к толщиномерам с А-разверткой потребует существенного повышения квалификации операторов, выполняющих измерения толщины.

*Дополнительную информацию по измерению толщины металлов и неметаллов с использованием толщиномеров с А-разверткой можно получить по следующему адресу: ДП-Тест, 04050, Киев, а/я 50. Тел./факс: (044) 247 6718, тел.: (044) 495 1145, E-mail: kozin@ndt-ua.com*

1. Крауткрамер Й., Крауткрамер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник. — М.: Металлургия, 1991.
2. Заплотинский И. А. О проведении технического диагностирования объектов котлонадзора в энергетике. — Мат. Десятой юбил. междунар. конф. и выставки «Современные методы и средства НК и ТД», г.Ялта. — 2002.
3. prEN 14127:2001 Non-destructive testing — Ultrasonic thickness measurement, 34 p.

Поступила в редакцию  
12.04.2003

**Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций:** Учеб. пособие для вузов / С. А. Куркин, В. М. Ховов, Ю. Н. Аксенов и др.; Под ред. С. А. Куркина, В. М. Ховой. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 464 с.



*Рассмотрены примеры эффективного использования компьютерных технологий на всех этапах подготовки производства сварных конструкций, начиная от расчета и проектирования самих конструкций до моделирования работы сварочных роботизированных технологических комплексов.*

*Содержание учебного пособия соответствует программам курсов лекций по компьютерным технологиям сварочного производства, которые авторы читают в МГТУ им. Н. Э. Баумана и других вузах.*

*Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Машиностроительные технологии и оборудование» по специальности «Оборудование и технология сварочного производства». Может быть полезно руководителям подразделений промышленных предприятий.*

*Более подробно с книгой можно ознакомиться в библиотеке ИЭС им. Е. О. Патона.*