

Новые средства НК

Ultrasonic Frequency Analysis Based Immersion Technique of the Wall Thickness Measurements

A. M. Sleadnev, A. A. Pocladov, V. M. Bobrenko, S. V. Veremeenco, V. N. Sirbu, A. V. Mozgovoy

The new frequency analysis based immersion technique of the wall thickness measurements for the tubular objects uses the digital frequency filtering and Fast Fourier Transform (FFT) applied to the echo pulses. The time domain is presented then as a superposition of the finite number of the sinusoids characterized by the frequencies even with the harmonics of the ultrasonic signals reflected from the walls of the tubular objects. The technique was evaluated through the lab and field tests.

Ультразвуковой частотный иммерсионный способ измерения толщины

56

Об авторах

Сотрудники АО «Votum»,
г. Кишинев:



Слядиев Анатолий Михайлович
Генеральный директор

Покладов Александр Алексеевич
Технический директор. Область научных интересов: разработка аппаратуры НК.

Бобренко Вячеслав Михайлович
Главный специалист, к. т. н. Научные интересы: акустическая тензометрия и толщинометрия.

Веремеенко Станислав Владимирович
Ведущий специалист, к. т. н. Научные интересы: акустические методы НК и медицинской диагностики.

Сырбу Василий Николаевич
Инженер-программист, к. т. н. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов.

Мозговой Александр Всеволодович
Руководитель НПП «Машиностроение», г. Днепропетровск. Область научных интересов: оборудование и технология НК.

Недостатками известных способов [1] измерения толщины являются низкая точность и помехоустойчивость, ограниченный диапазон контроля малых толщин стенок трубных изделий, влияние на результат контроля биения изделия в динамических условиях.

Предлагаемый частотный способ [2] обеспечивает повышение точности и помехоустойчивости при измерении толщины стенки труб, а также расширение диапазона измерений (от 0,2 мм) и уменьшение влияния на результат контроля биения трубного изделия в процессе его прокатки.

Сущность способа состоит в том, что при анализе отраженных ультразвуковых колебаний проводится цифровая частотная фильтрация и обработка импульсных эхо-сигналов методом быстрого преобразования Фурье с представлением временной импульсной функции в виде суперпозиции конечного числа синусоид. При этом фиксируются их частоты, которые кратны частотам колебаний, отраженных от стенки трубного изделия, и связаны с толщиной S этой стенки соотношением:

$$\begin{aligned} S &= C_M / 2F_0 = nC_M / 2F_n = \\ &= (m - n)C_M / 2\Delta F_{mn} = \\ &= (m - n)C_M / 2(F_m - F_n), \end{aligned} \quad (1)$$

где:

C_M – скорость распространения ультразвука в материале трубы, мм/мкс;
 F_0 – основная резонансная частота, МГц;

F_n – частота собственных колебаний или частота следования многократно отраженных от стенки n -ой гармоники импульсных колебаний, МГц;
 $\Delta F_{mn} = (F_m - F_n)$ – частотный интервал между гармониками m, n спектра, МГц;
 m, n – номера гармоник (1, 2, 3, ...), при этом $n \neq m$.

Принятие в качестве информативных параметров основной резонансной частоты F_0 , частоты гармоники F_n или частотного промежутка между гармониками ΔF_{mn} позволяет более точно связать их с толщиной стенки контролируемого трубного изделия и получить наиболее достоверные данные по результатам контроля, не зависящие от формы и амплитуды ультразвуковых сигналов.

Способ реализуется с помощью прибора УСМ-8 [3] и акустического блока (АБ). Прибор состоит из 8 идентичных каналов, каждый из которых содержит генератор ультразвуковых колебаний, приемник и другие необходимые электронные устройства для цифровой обработки, объединенные каналными процессором. В свою очередь каналные процессоры связаны с мощным центральным процессором, который осуществляет общую программную обработку. Аналогичные функции реализуются универсальным ультразвуковым акустическим трактом «ТРАК» [4].

В основу работы толщиномера положены два метода: иммерсионный метод свободных колебаний и эхо-импульсный

метод с разрешением по частоте колебаний, многократно отраженных от стенки трубного изделия.

При подготовке к измерениям толщины стенки трубного изделия сначала проводится калибровка по известным величинам толщины или скорости распространения ультразвуковых колеба-

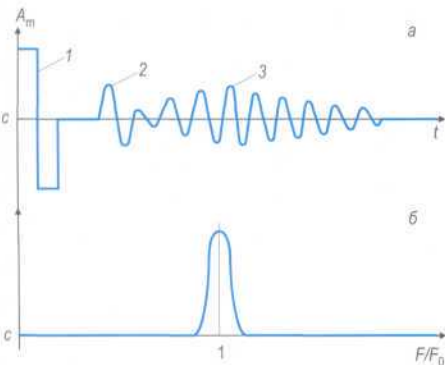


Рис. 1. Осциллограмма (а) и спектрограмма (б), полученные после обработки текущей информации по методу свободных колебаний: 1 – зондирующий импульс; 2 – отражение от передней грани; 3 – свободные затухающие колебания; A_m – амплитуда; t – время; F – текущая частота; F_0 – частота, соответствующая основной гармонике свободных затухающих колебаний от стенки трубного изделия

ний простым вводом этих значений с клавиатуры. Также вводятся верхний и нижний допуски в пределах, указанных в соответствующей НТД.

Информация о текущих значениях толщины, необходимая для функционирования системы, получают в реальном масштабе времени от частотного иммерсионного толщиномера. Выходная информация представляет собой сигналы управления в виде совета оператору, входные данные, а также распечатку паспорта дефектности трубного изделия, содержащую сведения о внешних выявленных контролируемых параметрах (текущее значение и отклонение толщины от заданных допусков, координаты, протяженность и др.).

Информативные параметры (F_0 , F_n , $\Delta F_{m,n}$) поступают с калибровкой диапазона рабочих частот на аттестованных по толщине стенки стандартных образцах, соответствующих номинальной, максимально и минимально допустимым значениям толщины стенки трубного изделия. Имеется возможность подавления спектральных составляющих вне предела диапазона рабочих частот. Результаты обработки текущей информации о толщине стенки трубного изделия на

основе метода быстрого преобразования Фурье схематично представлены в виде осциллограмм и спектрограмм на рис. 1 для метода свободных затухающих колебаний, применяемого для измерения малых (от 0,2 мм) толщин стенки трубного изделия, и на рис. 2 – для метода многократно отраженных импульсных колебаний по

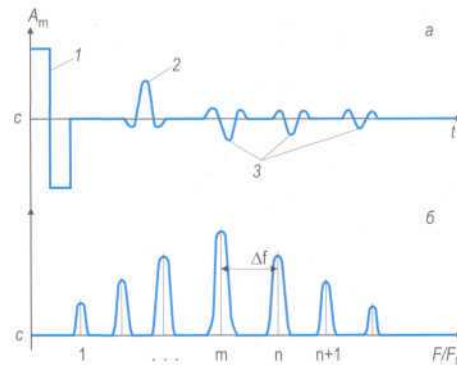


Рис. 2. То же, что на рис. 1 для эхо-импульсного метода: 3 – многократно отраженные от стенки трубного изделия импульсные колебания; F – текущая частота; F_0 – частота, соответствующая основной гармонике частоты следования многократно отраженных от стенки трубного изделия импульсных колебаний; $1, \dots, m, n, n+1, n+2$ – гармоника спектра; ΔF_m – частотный промежуток между гармониками спектра

толщине стенки трубы, применяемого в области средних и больших толщин (более 1,0 мм).

Для иммерсионного толщиномера (вариант с вращательно-поступательным перемещением труб) используется от 2-х и более каналов, а для варианта без вращения труб только при их поступательном перемещении от 8 и более (до 128) каналов. В случае перемещения труб без вращения обеспечивается более высокая точность измерений толщины за счет измерений вдоль образующей трубы, где толщина изменяется плавно, что важно для технологов. При вращении труб идет усреднение по сечению трубы за оборот, где толщина изменяется скачками, что существенно влияет на точность измерения.

В большинстве случаев профиль поверхности бесшовных труб по толщине изменяется в продольном и поперечном направлениях по сложному закону в виде случайных функций с ограниченным спектром колебаний. При этом частота колебаний толщины в продольном направлении существенно ниже, чем в поперечном [5].

Предлагаемый способ был опробован в производственных условиях ЗАО «НЗНТ» г. Никополь для УЗК толщин особо

тонкостенных труб диаметром 5 – 25 мм без вращения трубы на установке (в трехканальном исполнении).

Результаты контроля в виде осциллограмм и спектрограмм для труб $\varnothing 5 \times 0,2$, $\varnothing 6 \times 0,3$, $\varnothing 50 \times 0,16$ (толщина 0,16 мм получена проточкой трубы $\varnothing 50 \times 1,0$ мм) и $\varnothing 73 \times 4,95$ мм представлены на рис. 3.

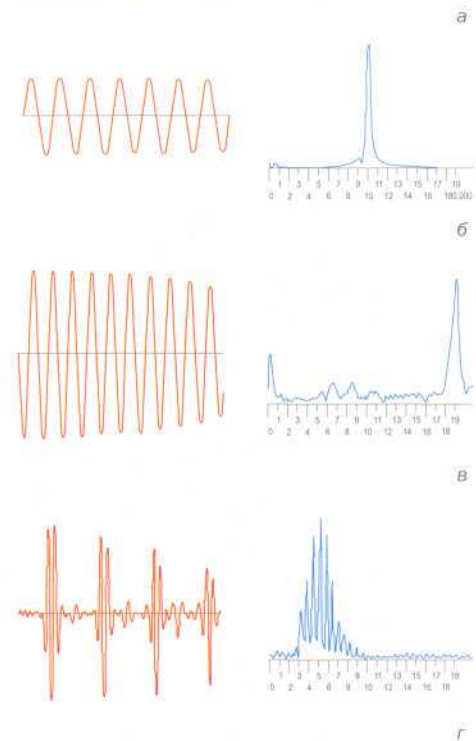
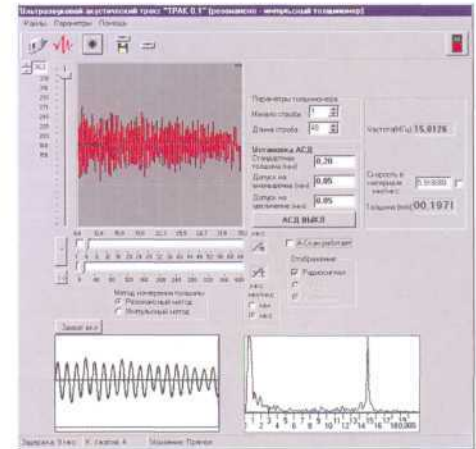


Рис. 3. Осциллограммы и спектрограммы для трубы $\varnothing 5 \times 0,2$ мм, $F_0 = 15,0126$ МГц (а); $\varnothing 6 \times 0,3$ мм, $F_0 = 10,0704$ МГц (б) и $\varnothing 50 \times 0,16$ мм, $F_0 = 18,2357$ МГц (в) при реализации метода свободных колебаний (экспериментальная установка на базе «Трак») и для трубы $\varnothing 73 \times 4,95$ мм при реализации эхо-импульсного метода, $F_0 = 5,4648$ МГц, $\Delta F_{m,n} = 0,6072$ МГц (г)



а результаты записи измерений толщин для труб $\varnothing 5 \times 0,3$ мм при их поступательном перемещении без вращения и с вращением – на рис. 4.

Результаты опробования подтвердили эффективность предлагаемого способа, который может быть рекомендован для ультразвуковой толщинометрии особо-тонкостенных и тонкостенных труб.

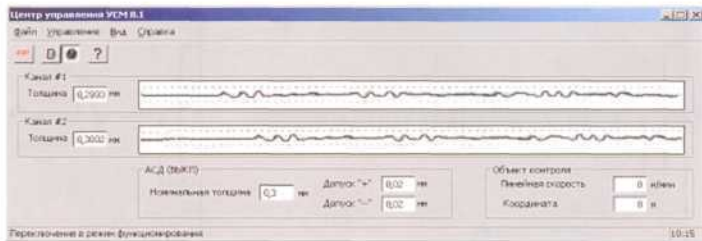
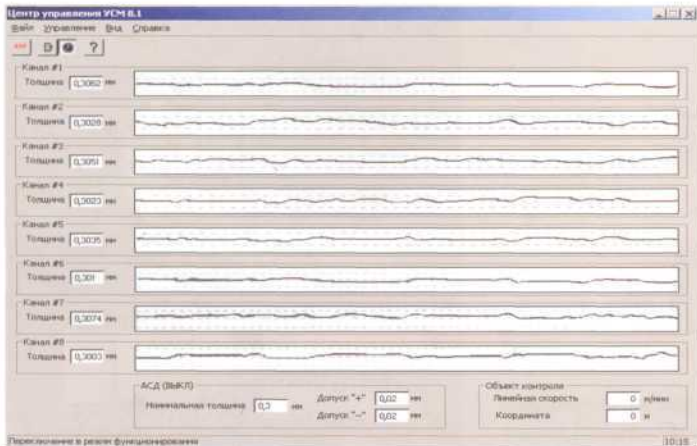
Литература

1. Стукельман Л. Л., Калинин В. А. Ультразвуковой прибор «Металл-6» для непрерывного контроля толщины. – Дефектоскопия. 1977. № 3. С. 47–52.
2. Сляднев А. М., Покладов А. А., Бобренко В. М. и др. Ультразвуковой частотный иммерсионный способ измерения толщины стенки трубных изделий. Patent Moldova, MD2367 F1 2004.01.31.

3. Прибор электронный многоканальный УСМ-8 / Руководство по эксплуатации, VTM03-1012PЭ.

4. Универсальный ультразвуковой акустический тракт «ТРАК» / Руководство по эксплуатации, VTM030722PЭ.

5. Кузнецов Е. Д. О достоверности размерного неразрушающего контроля бесшовных труб. – Дефектоскопия. 1987. № 5. С. 56–60.



а

б

Рис. 4. Записи результатов измерения толщины для трубы $\varnothing 5 \times 0,3$ мм при ее поступательном перемещении без вращения для 8 каналов контроля (а) и для трубы $\varnothing 5 \times 0,3$ мм при вращательно-поступательном перемещении для 2-х каналов контроля (б).

Статья получена 7 сентября 2004 г.