



Технологии НК

Application of Low-Frequency Ultrasonic Flaw Detector UD2N-PM for Quality Evaluation of Fire Clay Glass Bars ShSU-33

V. P. Migal, B. P. Aleksandrov, V. V. Borisenko

Big sizes of glass bars used for glass furnace laying caused a new method of nondestructive quality testing to be developed and applied. Amplitude and transmission time joint evaluation of low-frequency ultrasonic signal enables to disclose overpress cracks and looseness in tested objects and reject defective ones. This approach not only makes it possible to reveal defects but also determine slight structure changes, – what is especially important for product improvement and new product development.

Применение низкочастотного ультразвукового дефектоскопа УД2Н-ПМ для контроля шамотного стеклобруса ШСУ-33

Об авторах



Мигаль Виктор Павлович.

Главный инженер ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров», к. т. н.



Александров Борис Петрович

Генеральный директор Ассоциации производителей и потребителей огнеупоров «Санкт-Петербургский научно-технический центр», к. т. н.



Борисенко Вячеслав Владимирович

Генеральный директор НПЦ «Кропус», г. Ногинск, III уровень по акустическому виду НК.

Во «Всесоюзном институте огнеупоров», начиная с середины 1950-х гг., проводились работы по поиску методов выявления скрытых дефектов без разрушения изделий. Наиболее приемлемыми оказались методы УЗК для шамотных, корундовых и периклазовых изделий [1, 2]. Радиоволновой способ подошел для кварцевой керамики и других огнеупорных изделий [3 – 6], а акустический метод вынужденных колебаний – для шамотных огнеупоров [7, 8]. Неразрушающие методы испытания и контроля огнеупоров приведены в [9]. Опробование и внедрение этих методов проводилось совместно с работниками предприятий огнеупорной отрасли, в частности, на Боровичском комбинате огнеупоров, комбинате «Магнезит», Подольском огнеупорном заводе и др.

Одновременно аналогичные работы проводились во ВНИИ абразивов и шлифования. Для абразивных кругов наиболее приемлемыми оказались методы измерения частот собственных колебаний при вынужденном резонансе и свободных колебаниях. Эти методы постоянно совершенствовались, введены в несколько ГОСТ, и для их реализации выпускаются приборы «Звук 107, 110М и 130» и «Звук 202 и 203М» соответственно. Акустический метод контроля нашел применение и для огнеупорных изделий [10 – 13].

Наибольшее развитие УЗК нашел для бетона и строительных конструкций [14 – 17]. По аналогии с бетонами был разработан ГОСТ для УЗК качества огнеупорных изделий, изготавливаемых по технологии, аналогичной технологии изготовления бетонов [18].

Однако широкого распространения в огнеупорной промышленности методы НК

не нашли. Со временем интерес к ним снизился из-за несовершенства приборов, их громоздкости, трудоемкости измерений, длительности обработки результатов. Современный уровень приборостроения позволяет избавиться от указанных недостатков и одновременно предоставляет новые технические возможности для проведения исследований в области НК огнеупоров. Так по заданию Комбината «Магнезит» фирмой «Акустические контрольные системы» была разработана и изготовлена установка «Магнезит Контроль». Она представляет собой томографическую систему для контроля огнеупорных изделий толщиной до 100 мм методом сквозного прозвучивания на частоте 100 кГц с помощью двух фазированных антенных решеток, состоящих из 36 элементов с сухим точечным контактом. Установка решает следующие задачи: определение плотности/рыхлости контролируемого объекта; выявление трещин, пустот, инородных включений. В конце 2004 г. установка прошла апробирование в цехах комбината «Магнезит». Уровень чувствительности прибора к дефектам – трещинам и разнотолщинам – устроил и технологов, и контролеров. Установка крайне необходима технологом при отладке режимов прессования [19].

Несмотря на огромные преимущества, эта установка имеет ряд недостатков: толщина огнеупорных изделий ограничена 100 мм, большое количество элементов в антенной решетке и, как следствие, высокая стоимость установки.

Более доступной и массовой альтернативой этой разработке могут служить современные модели ультразвуковых низкочастотных дефектоскопов, позво-

ляющие измерять с высокой точностью время прихода сигнала, его амплитуду и вычислять скорость распространения ультразвуковых колебаний.

В качестве такого прибора на ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» был использован низкочастотный ультразвуковой дефектоскоп УД2Н-ПМ. Он имеет полностью цифровой тракт, который позволяет работать в расширенном ча-

мени его прохождения, частотного спектра или фазовых составляющих [20].

Приступая к освоению производства крупноблочных шамотных изделий для стекловарения ШСУ-33, № 1 (300 × 400 × 1000 мм) по ГОСТ 7151-74, специалисты Комбината понимали, что большой прессовочный размер до 300 мм может приводить к повышенному браку при производстве, а высокая стои-

В таком материале происходит сильное затухание и рассеяние ультразвуковой волны. В процессе прессования из-за неравномерного распределения материала по форме и наличия воздуха в шихте возможно образование «перепрессовочных трещин» которые представляют собой овальные зоны с расслоением материала на расстояние 0,1 – 3 мм в направлении прессования. Кроме этого возможно образование «рыхлых зон», плотность материала в которых существенно ниже, чем в самом изделии. Эти дефекты видны на срезе (изломе) изделия.

Они легко обнаруживаются прибором за счет снижения относительной амплитуды сигнала и увеличения времени его прохождения между датчиками. Если на ранней стадии применения УЗК дискутировался вопрос о методе определения дефекта по амплитуде или времени [1], то с данным прибором это можно делать сразу двумя методами: и по амплитуде и по времени. Эти два показателя также позволяют добиться качественного контакта преобразователей с поверхностью стеклобруса – преобразователи прижимают к поверхности до установления минимального времени прохождения сигнала и получения максимальной амплитуды сигнала. Такой подход позволяет исключить ошибку контакта датчиков с поверхностью огнеупора и повысить достоверность измерения.

Предварительное опробование дефектоскопа показало, что на частоте 60 кГц при сквозном прохождении ультразвука (теневой метод) и использовании смазки (типа солидол) в месте контакта можно получить данные относительной амплитуды сигнала и времени его прохождения через образец на расстояние до 1000 мм как в плоскости прессования, так и поперек. Большое количество измерений шамотного стеклобруса показало, что практически достаточно проводить измерение в пяти зонах по сечению стеклобруса для оценки его внутренней структуры и обнаружения дефектов. В отличие от ГОСТ на ультразвуковой метод контроля качества огнеупорных бетонов [18] зоны контроля должны быть расположены по большей осевой линии стеклобруса на равном расстоянии между собой. Зоны контроля, расположенные по углам изделия, где оно наиболее плотное, всегда показывали хорошие результаты независимо от показателей в центре изделия и поэтому не могут быть представительными. Однако по ним настраивали прибор таким образом, чтобы максимальная амплитуда проходящего ультразвукового сигнала на экране дефектоскопа составляла 100 % высоты экрана.

Тогда в центре годного изделия показания будут на уровне 65 – 100 %, а при явных грубых нарушениях структуры внутри

КОВОГО качества



Рис. 1. Дефектоскоп УД2Н-ПМ

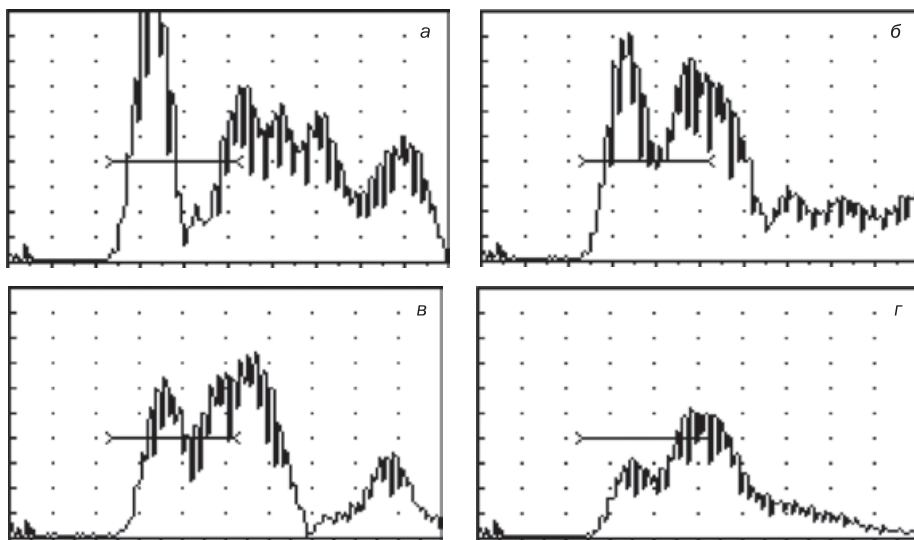


Рис. 2. Зависимость формы сигнала от наличия дефекта и его диаметра: а – бездефектный образец; б – дефект диаметром 10 мм; в – дефект диаметром 40 мм; г – дефект диаметром 60 мм

стотном диапазоне от 20 кГц до 2,5 МГц с усилением до 90 дБ и импульсом возбуждения с амплитудой 200 В в форме радиопульса с регулируемым числом периодов.

Дефектоскоп предназначен для обнаружения дефектов, измерения глубины и координат их залегания, измерения толщины, скорости распространения и затухания ультразвуковых колебаний в композитных материалах, пластмассах, бетонах, огнеупорах и других материалах с большим затуханием. Полностью цифровой тракт с обработкой радиосигнала и интерфейс для подключения ПК позволяют визуально представлять сигнал на экране и реализовать различные методики контроля изделий – с обработкой не только амплитуды сигнала, но и вре-

мось самого изделия не позволит часто проводить контроль качества традиционными методами. Поэтому, одновременно с освоением технологии изготовления шамотного стеклобруса, были начаты работы по УЗК внутренней структуры шамотных изделий с применением низкочастотного дефектоскопа УД2Н-ПМ.

Специфика огнеупорных изделий заключается в том, что они получены методом прессования массы, состоящей из зерен трех различных фракций: 3 – 1; 1 – 0,5 и менее 0,5 мм приблизительно в равных соотношениях, и последующего обжига в туннельной печи, в результате которого зерна спекаются между собой, образуя сплошную матрицу, в которой равномерно распределены мелкие поры общим количеством до 20 % от всего объема изделия.

изделия ультразвуковой сигнал на экране прибора будет ниже 15 % высоты экрана. Показания прибора между 15 и 65 % говорили о наличии каких-то изменений в структуре изделия. Однако установить более точную границу между бракованным и годным изделием по относительной амплитуде не удалось. Таким образом, было выяснено, что прибор позволяет вполне однозначно определить незначительные

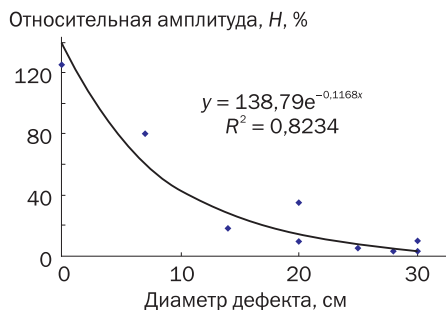


Рис. 3. Зависимость относительной амплитуды сигнала от диаметра дефекта

изменения структуры огнеупора, которые не видны глазом и не могут быть определены каким-либо другим способом.

Измерения стеклобруса с дефектами типа «перепрессовочных трещин» разного диаметра показали явную зависимость относительной амплитуды от диаметра дефекта. Одновременно менялась форма принятого сигнала. В случае отсутствия дефекта сигнал проходит прямо с минимальным снижением амплитуды и минимальным временем. При этом принятый сигнал имеет почти правильную форму. При дефекте небольшого диаметра форма сигнала характеризуется плоским верхом (размытым максимумом), а при большом диаметре дефекта в принятом сигнале имеются два максимума, причем первый меньше второго (рис. 2).

Как показали исследования структуры бетона ультразвуком [16], возможно значительное увеличение чувствительности ультразвука к дефектам и изменению структуры при использовании сочетания различных параметров сигнала. Наиболее доступным комплексным информационным параметром можно считать отношение скорости распространения ультразвукового сигнала к длительности его фронта.

В нашем случае дополнительным комплексным параметром оценки дефекта может служить форма сигнала: присутствие одного максимума либо появление второго максимума с запозданием по времени.

По аналогии с определением глубины поверхностной трещины [21] для нашего случая можно записать: $T_{зап} = T_0 [1 + (D/L)^2]^{1/2}$, где $T_{зап}$ – время прихода второго пика сигнала, T_0 – время прихода первого пика сигнала, D – диа-

метр дефекта, L – расстояние между датчиками (прессовой размер).

Ослабление первого пика сигнала в зависимости от диаметра дефекта было получено экспериментально (рис. 3). Диаметр дефекта имитировался специальными методами изменения степени контакта между двумя блоками.

В технических требованиях на изделия [22] на их поверхности допускается наличие посечек (трещин) шириной до 0,5 мм и длиной до 100 мм. Исходя из этих требований и предположения, что раскрытие трещины относится к диаметру дефекта как 0,5/100, и используя график зависимости относительной амплитуды от диаметра дефекта, можно перейти к критерию качества стеклобруса, а именно: трещина внутри изделия раскрытием 0,5 мм соответствует диаметру дефекта 100 мм, что соответствует относительной амплитуде 36 % высоты экрана. Таким образом, годными изделиями можно считать те, для которых относительная амплитуда в проверочных зонах выше 40 % высоты экрана прибора.

На гладкой поверхности изделий посечки (трещины) хорошо видны, и их раскрытие можно измерить с помощью измерительной лупы, а на изломе изделия визуально они практически не определимы из-за рельефа поверхности, обусловленного размером крупной фракции шамотных зерен (до 3 мм). Кроме этого, степени спекания зерен в матрицу практически не видно, если не считать выпадения зерен. Поэтому контроль с помощью данного прибора более достоверный и точный, чем визуальный осмотр излома изделия.

Выводы

Современный уровень приборостроения позволяет создать приборы УЗК с принципиально новыми возможностями по чувствительности и обработке сигнала.

Совместная оценка ультразвукового сигнала по амплитуде и времени прохождения позволяет выявлять перепрессовочные трещины и рыхлости в изделиях и отбраковывать негодные.

Комплексный подход к оценке ультразвукового сигнала позволяет не только выявить дефекты, но и определить незначительные изменения в структуре изделия, что особенно важно при совершенствовании выпускаемой и разработке новой продукции.

Литература

1. Раппопорт Ю. М. Ультразвуковая дефектоскопия строительных деталей и конструкций. – М.: Стройиздат, 1975. – 129 с.
2. Дмитриченко Н. С., Завражный А. И., Раппопорт Ю. М. Автоматизация контроля перепрессовки сырца огнеупорных изделий. – Огнеупоры. 1972. № 7. С. 22–27.
3. Слоущ В. Г., Полонский Ю. А., Соловухова Г. Э. и др. Контроль пористости и стойкость квар-

цевых сталеразливочных стаканов. – Огнеупоры. 1978. № 1. С. 21–24.

4. Слоущ В. Г. Диэлектрическая проницаемость огнеупорных изделий. – Огнеупоры. 1985. № 6. С. 15–17.

5. Слоущ В. Г. Неразрушающий радиоволновой метод контроля и его роль в повышении качества продукции. – Огнеупоры. 1987. № 3. С. 36–39.

6. Данилин А. А., Малышев В. Н. Контроль свойств огнеупоров методом радиоволнового просвечивания. – В мире НК. 2005. № 2(28). С. 15–17.

7. Боричева В. Н., Сенявин Н. Н., Певзнер М. и др. Проверка в службе муллитокорундовых пробок СП-11 после звукового контроля их качества. – Огнеупоры. 1977. № 4. С. 11–12.

8. ГОСТ 25714-83. Контроль неразрушающий. Акустический звуковой метод определения открытой пористости, кажущейся плотности и предела прочности при сжатии огнеупорных изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1983.

9. Кашеев И. Д., Стрелов К. К. Испытание и контроль огнеупоров. – М: Интермет Инжиниринг, 2003. – 286 с.

10. ГОСТ 25961-83. Инструмент абразивный. Акустический метод контроля физико-механических свойств. – М.: Изд-во стандартов, 1983.

11. Раппопорт Ю. М., Московенко И. Б., Славина Л. Я. Применение прибора «Звук-202» для контроля свойств огнеупорных изделий. – Огнеупоры. 1984. № 5. С. 34–37.

12. Московенко И. Б. Низкочастотный акустический контроль физико-механических свойств строительных и огнеупорных изделий. – В мире НК. 2002. № 2(16). С. 26–28.

13. Московенко И. Б. Низкочастотный акустический контроль физико-механических свойств огнеупорных изделий. – Новые огнеупоры. 2003. № 1. С. 50–55.

14. Козлов В. Н., Шевалдыкин В. Г., Самокрутов А. А. Ультразвуковая дефектоскопия бетона эхо-методом: состояние и перспективы. – В мире НК. 2002. № 2. С. 6–10.

15. Шевалдыкин В. Г. Бетон, ультразвук, эхо метод: главное верить. – Контроль. Диагностика. 2004. № 2. С. 30–39.

16. Штенгель В. Г. Ультразвуковой контроль структуры бетона. – В мире НК. 2004. № 1(23). С. 4–7.

17. Шевалдыкин В. Г. Диагностические возможности аппаратуры для УЗК бетона. – В мире НК. 2004. № 1(23). С. 8–12.

18. ГОСТ 24830-81. Изделия огнеупорные бетонные. Ультразвуковой метод контроля качества. – М.: Изд-во стандартов, 1981.

19. Акустические контрольные системы. Приборы для НК металлов, пластмасс и бетона // Каталог продукции. М.: 2006. – 37 с.

20. Приборы и системы неразрушающего контроля / НПЦ КРОПУС // www.kropus.ru.

21. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Ультразвуковой контроль. – В кн.: Неразрушающий контроль / Справочник / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 3. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.

22. ГОСТ 7151-74. Изделия огнеупорные алюмосиликатные крупноблочные для стекловаренных печей. – М.: Изд-во стандартов, 1974.

Статья получена 2 июня 2009 г., в окончательной редакции – 15 июля