



К. Т. Н. А. Д. Буравов¹, К. Т. Н. С. В. Вихман², Е. З. Коварская³,
Д. Т. Н. И. Б. Московенко³, О. К. Некрасова¹, М. А. Смирнова³

¹ ООО НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия

² СПбГТУ(ТИ), Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Звук», Санкт-Петербург, Россия

УДК 666.76.017:620.179.1

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩИХ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА ОГНЕУПОРОВ*

Представлены некоторые возможные области и результаты применения акустических низкочастотных методов неразрушающего контроля физико-механических свойств и качества различных видов огнеупоров. Приведено описание аппаратуры и стандартов, регламентирующих использование неразрушающих акустических методов применительно к контролю огнеупорных изделий и абразивных инструментов в процессе их производства и эксплуатации.

Ключевые слова: огнеупоры, абразивы, неразрушающий контроль, акустические низкочастотные методы, физико-механические свойства, мониторинг.

Современный уровень технологии изготовления огнеупорных изделий обуславливает необходимость контроля их физико-механических свойств. Контроль, как правило, осуществляется разрушающими методами на образцах, которые вырезают из изделий, отобранных случайным образом из технологических партий, подлежащих проверке. Прилагаются большие усилия к применению методов (процедур) неразрушающего контроля (НК) материала для оценки свойств формованных изделий, в частности с использованием измерения скорости распространения звука (ультразвука), резонансной частоты, характеристик рентгеновского излучения. С одной стороны, это позволяет обнаружить скрытые внутренние дефекты, такие как трещины, поры, раковины, скопления крупных зерен, обожженная или пропитанная сердцевина. С другой стороны, существует хорошая корреляция между результатами, полученными неразрушающими и традиционными методами испытания и контроля (определение кажущейся плотности, открытой пористости, прочности). Оборудование для контроля огнеупоров неразрушающими методами зачастую очень дорого, однако оно исключает потери изделий и необходимость подготовки образцов. Методом НК можно быстро проверить большое количество изделий (вплоть до сплошного 100 %-ного контро-

ля). Таким испытаниям обычно подвергают изделия высшего сорта или ответственного назначения. Для каждой марки изделия необходимо проверять информативную точность неразрушающего контроля и испытаний, так как эти испытания и контроль имеют некоторые пределы обнаружения [1].

В свое время был накоплен достаточно большой опыт в области разработки НК огнеупорных изделий с использованием радиоволновых [2, с. 80–82] и акустических [2, с. 95–99] методов контроля, однако до настоящего времени эти методы не нашли широкого применения в промышленности по причинам в основном организационного характера. В то же время неразрушающие акустические методы контроля нашли достаточно широкое применение в производстве различного рода абразивных изделий, технология изготовления которых аналогична технологии изготовления огнеупоров (исходное сырье, смешивание, формование, сушка, обжиг). В 1983 г. был разработан и введен в действие ГОСТ 25961–83 «Инструмент абразивный. Акустический метод контроля физико-механических свойств», и за прошедшее с тех пор время были внедрены в производство несколько поколений приборов типа «Звук» различных модификаций, обеспечивших контроль физико-механических свойств всех основных типоразмеров абразивных инструментов, выпускаемых промышленностью как в нашей стране, так и за рубежом.

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (31 марта – 1 апреля 2011 г., Москва).

В настоящее время эти приборы достаточно широко используются в отечественной промышленности, поставляются на экспорт и применяются рядом зарубежных фирм. Существенным фактором, способствующим освоению акустического метода, по нашему мнению, является использование вместо традиционного перевода результатов акустического контроля в значения общепринятых показателей физико-механических свойств (прочность, абсолютная и кажущаяся плотность, пористость, твердость и др.) обобщенного показателя физико-механических свойств — скорости распространения акустических волн Cl , связанной с плотностью ρ и модулем нормальной упругости E (модуль Юнга) соотношением

$$Cl = \sqrt{E/\rho}.$$

При необходимости показателем Cl можно маркировать изделия в виде звуковых индексов — градаций скорости звука Cl с шагом 200 м/с. Звуковой индекс обозначается нечетным двузначным числом, умножение которого на 100 дает среднее для данной градации значение скорости звука Cl в метрах в секунду.

Звуковые индексы (ЗИ), указанные в приведенной в ГОСТ 25961–83 табл. 1, охватывают широкий диапазон физико-механических свойств различного рода абразивных изделий, изготовленных на вулканитовых, бакелитовых и керамических связках, и могут быть использованы также для оценки свойств основных видов огнеупорных изделий. Значения ЗИ таких изделий находятся в пределах ЗИ 21 – ЗИ 71, причем наиболее высокие значения ЗИ соответствуют периклазовым огнеупорным изделиям, например плитам шиберных затворов. При необходимости табл. 1 может быть продолжена как в сторону высоких, так и в сторону низких значений ЗИ. Например, изделия из силицированного графита могут иметь значения ЗИ в пределах ЗИ 71 – ЗИ 111.

С учетом накопленного опыта эксплуатации приборов «Звук» в промышленности взамен ГОСТ 25961–83 был разработан и введен в действие с 01.01.08 ГОСТ Р 5210–2007 «Инструмент абразивный. Акустический метод определения твердости и звуковых индексов по скорости распространения акустических волн», в соответствии с которым в настоящее время ведется контроль в промышленности абразивных инструментов с использованием сертифицированных приборов типа «Звук» различных модификаций (рис. 1). Измеритель частот собственных колебаний «Звук-130» реализует на современном приборном уровне метод вынужденных колебаний (резонансный метод) аналогично выпускаемой ранее установке для определения резонансной частоты изгибных

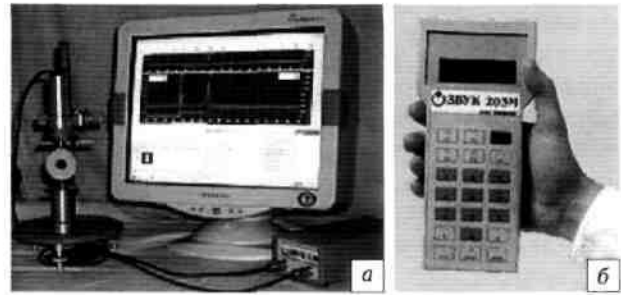


Рис. 1. Измерители частот собственных колебаний «Звук 130» (а) и «Звук 203М» (б)

и продольных колебаний огнеупорных изделий [2, с. 96, 97]. Прибор «Звук-203М» позволяет осуществлять оперативный контроль изделий со значительно меньшими трудозатратами. В этом приборе реализован метод свободных колебаний, возбуждаемых в изделии ударом, прибор представляет собой новое поколение ранее применявшихся измерителей частот собственных колебаний типа «Звук-202», «Звук-202-02» и «Звук-203».

Принимая во внимание схожесть технологий изготовления огнеупорных и абразивных изделий, можно сделать вывод о возможности использования акустического метода контроля также и при производстве огнеупоров. Такие работы проводились в Институте огнеупоров (Санкт-Петербург), и одновременно с ГОСТ 25961–83 был разработан и введен в действие ГОСТ 25714–83 «Контроль неразрушающий. Акустический звуковой метод определения открытой пористости, кажущейся плотности, плотности и предела прочности при сжатии огнеупорных изделий», в соответст-

Таблица 1. Звуковые индексы

Звуковой индекс	Интервал Cl , м/с	Звуковой индекс	Интервал Cl , м/с
19	1800–2000	49	4800–5000
21	2000–2200	51	5000–5200
23	2200–2400	53	5200–5400
25	2400–2600	55	5400–5600
27	2600–2800	57	5600–5800
29	2800–3000	59	5800–6000
31	3000–3200	61	6000–6200
33	3200–3400	63	6200–6400
35	3400–3600	65	6400–6600
37	3600–3800	67	6600–6800
39	3800–4000	69	6800–7000
41	4000–4200	71	7000–7200
43	4200–4400	73	7200–7400
45	4400–4600	75	7400–7600
47	4600–4800		

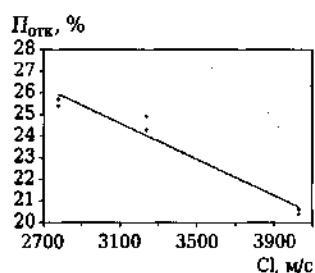


Рис. 2. Открытая пористость $P_{отк}$ огнеупорных изделий в зависимости от результатов акустического контроля ($R^2 = 0,955$)



Рис. 3. Распределение огнеупорных изделий в партии по звуковым индексам: 1 — изделия из одной упаковки (52 шт.); 2–4 — изделия из партий, изготовленных в различное время (2 — 8 шт., 3 — 3 шт., 4 — 1 шт.)

вии с которым в промышленности производился контроль сталеразливочных пробок и других видов огнеупорных изделий. По имеющимся у нас сведениям в настоящее время одна из установок, реализующих подобный акустический метод, используется на Боровичском комбинате огнеупоров.

С появлением современных акустических приборов открываются возможности более широкого использования методов и средств неразрушающего контроля непосредственно в условиях производства. Так, например, результаты, полученные при применении акустического метода контроля для оценки физико-механических свойств огнеупорных изделий, используемых для сифонной разливки стали, показали возможность и целесообразность их неразрушающего контроля этим методом [3]. Аналогичные результаты были получены при проведении выборочного акустического контроля партии изделий типа ШС-28 сечением 75×300 мм в условиях ОАО «Кондратьевский

огнеупорный завод» (Украина). Результаты контроля приведены в табл. 2 и в графическом виде на рис. 2. Полученные данные подтвердили возможность значительного разброса ЗИ в партии. Из проконтролированных изделий были отобраны три изделия с ЗИ 27, ЗИ 33 и ЗИ 41. На этих изделиях по принятой на заводе методике были определены значения открытой пористости P , %.

Из данных рис. 2 следует, что изделия с ЗИ 27 имеют открытую пористость, ориентировочно соответствующую верхнему допустимому пределу по ГОСТ 11586–69. При этом следует предполагать, что, возможно, в партии имеются изделия с более низкими значениями ЗИ и, соответственно, более высокими значениями открытой пористости. Такие изделия должны быть отбракованы даже по действующей нормативно-технической документации. На основании результатов, полученных при акустическом контроле огнеупорных изделий для сифонной разливки стали, может быть сделан вывод о том, что количественная оценка физико-механических свойств огнеупорных изделий с помощью звуковых индексов позволяет проводить сравнение огнеупорных изделий различных производителей и изделий из разных партий и упаковок. Приведенные результаты также свидетельствуют о целесообразности введения акустического контроля качества огнеупорных изделий высшего сорта и ответственного назначения вплоть до сплошного 100 %-ного контроля как при изготовлении изделий, так и при их эксплуатации.

Результаты, полученные в ходе опробования акустического метода контроля в условиях производства огнеупорных изделий, показали, что его можно применять для оценки состояния технологического процесса (мониторинг технологии производства), используя результаты неразрушающего контроля выборки изделий из партии экспрессным методом [4]. На рис. 3 показано распределение по звуковым индексам периклазохромитовых изделий ПХП-187 в выборках из различных технологических партий, полученное с применением прибора «Звук-203М». Внутри одной технологической партии разброс составляет, как правило, 2–3 звуковых индекса, в то же время

Таблица 2. Результаты контроля партии изделий

Контролируемый параметр	Звуковой индекс							
	27	29	31	33	35	37	39	41
Число изделий, шт.	1	1	4	15	3	—	1	2
Скорость звука Cl, м/с	2780	—	—	3240	—	—	—	4030
Открытая пористость, %	25,7	—	—	24,3	—	—	—	20,4
	25,4	—	—	24,9	—	—	—	20,6

разброс ЗИ в различных технологических партиях может составлять 10–15 ЗИ. Ширина кривой распределения изделий в выборке характеризует стабильность технологического процесса, а смещение кривой распределения по шкале звуковых индексов свидетельствует об изменении физико-механических свойств изделий, в первую очередь их прочности и пористости. Такое наблюдение за состоянием технологического процесса (мониторинг) дает возможность своевременного выявления отклонений его от действующего регламента и позволяет корректировать технологический процесс до появления выявляемых дефектов. Мониторинг способствует повышению качества и надежности выпускаемой продукции и, соответственно, позволяет уменьшить количество отбракованных изделий при выходном контроле.

Акустические методы контроля, в которых используются низкочастотные ультразвуковые колебания, могут быть применены для контроля физико-механических свойств изделий, а также использованы с целью их дефектоскопии. Так, установка «Магнезит Контроль», разработанная фирмой «Акустические контрольные системы», г. Москва, была использована ОАО «Комбинат «Магнезит» при проведении работ по определению возможности применения низкочастотных ультразвуковых методов контроля для обнаружения в готовых изделиях ответственного назначения скрытых дефектов: трещин, расслоений, рыхлот, инородных включений и др.

Весьма перспективным может оказаться использование неразрушающих акустических методов контроля для подбора комплектов изделий с одинаковыми показателями физико-механических свойств, например изделий типа стеклобрус, для которых в настоящее время разработана методика контроля структуры изделия акустическим методом с использованием ультразвуковых колебаний [5, 6]. Подобные изделия применяются при изготовлении ванн для варки стекла. Для таких изделий, работающих в комплекте, предъявляются повышенные требования к стабильности физико-механических свойств изделий, входящих в один комплект. Аналогичные работы в свое время проводились для подбора углеграфитовых подовых блоков, которые предназначены для футеровки алюминиевых электролизеров и служат в качестве единого катода в процессе электролиза. Был налажен выпуск по ТУ 48-4804-27-91 подовых блоков с нормированными в виде звуковых индексов физико-механическими свойствами, что позволяло подбирать комплекты изделий с одинаковыми показателями для более эффективной эксплуатации электролизеров.

Хорошие результаты могут быть получены также при использовании неразрушающих методов контроля в ходе выполнения научных исследований. В частности, весьма полезную информацию можно получить с помощью приборов, регистрирующих скорость прохождения ультразвуковых колебаний в заготовках. Сущность подхода заключается в том, что чем плотнее и однороднее среда, тем выше скорость звука. Метод достаточно широко применяют как при технологических разработках, так и для оценки качества продукции. Например, при изучении межчастичных контактов при спекании кварцевой керамики были исследованы образцы, полученные литьем в гипсовые формы из суспензии непрозрачного кварцевого стекла. Партии образцов (3–5 шт.) после сушки подвергали термообработке при 800, 900, 1000, 1100, 1200 °С. Контролировали плотность, механическую прочность, структурные характеристики и скорость звука на измерителе частот собственных колебаний типа «Звук-130». В результате термообработки плотность образцов менялась незначительно. В то же время характеристики прочности и величина скорости звука возрастали в несколько раз, начиная с 800 °С. Причем характер температурной зависимости прочности достаточно хорошо совпадал с соответствующей температурной зависимостью скорости звука. В случае образования кристобалита в заготовках (при 1250 °С) как прочность, так и скорость звука были заметно снижены. Используя закономерности, принятые для оценки величины и качества межчастичных контактов в порошковой металлургии (модель М. Ю. Бальшина) были рассчитаны относительные доли контактных сечений в зависимости от температуры термообработки. Контроль скорости звука в образцах, термообработанных при этих температурах, дает возможность оценить значение энергии активации процесса спекания.

Таким образом, опыт, накопленный в ходе испытания и использования рассмотренных методов и приборов для контроля качества огнеупорных и абразивных изделий в условиях их производства и эксплуатации, показывает целесообразность применения приборов НК для повышения качества и обеспечения выпуска огнеупорных изделий с заданными физико-механическими свойствами. Это в свою очередь создает условия для повышения стойкости выпускаемых огнеупорных изделий и эффективности их использования при эксплуатации.

Библиографический список

1. Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания: справочник / И. Алленштейн [и др.]; под

ред. Г. Роучка, Х. Вутнау; пер. с нем. — М.: Интернет Инжиниринг, 2010. — 392 с.

2. **Кащеев, И. Д.** Испытания и контроль огнеупоров: учеб. пособие / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов. — М.: Интернет Инжиниринг, 2003. — 286 с.

3. **Скурихин, В. В.** Опыт применения акустического метода неразрушающего контроля для определения физико-механических свойств сифонных изделий / В. В. Скурихин // Сб. докл. всероссийского науч.-практич. семинара «Опыт использования в промышленности неразрушающего контроля качества неметаллических изделий, чугуниного литья и композитов». — СПб.: СЗТУ, 2007. — С. 21–28.

4. **Коварская, Е. З.** Оценка состояния материалов и изделий при НК их физико-механических свойств / Е. З. Коварская, И. Б. Московенко // В мире НК. — 2010. — Т. 50, № 4. — С. 30–31.

5. **Мигаль, В. П.** Неразрушающий контроль структуры шамотного стеклобруса ШСУ-33 / В. П. Мигаль, Т. Л. Деркунова, И. Г. Белова [и др.] // Новые огнеупоры. — 2009. — № 11. — С. 49–52.

Migal', V. P. Non-destructive monitoring of the structure of chamotte glass beam ShSU-33 / V. P. Migal', T. L. Derkunova, I. G. Belova [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2009. — Vol. 50, № 6. — P. 445–448.

6. **Мигаль, В. П.** Применение низкочастотного ультразвукового дефектоскопа УД2-Н для контроля качества шамотного стеклобруса ШСУ-33 / В. П. Мигаль, Б. П. Александров, В. В. Борисенко // В мире неразрушающего контроля. — 2009. — Т. 45, № 3. — С. 48–50. ■

Получено 08.09.11

© А. Д. Буравов, С. В. Вихман, Е. З. Коварская, И. Б. Московенко, О. К. Некрасова, М. А. Смирнова, 2011 г.

И. И. Козелкова

ООО «НТЦ «Огнеупоры», Санкт-Петербург, Россия

УДК 006:658.56]:666.76

РОЛЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ОГНЕУПОРОВ

Рассмотрено влияние стандартизации и сертификации на обеспечение качества огнеупоров; показаны этапы разработки стандартов; выделен ряд причин, отрицательно влияющих на качество огнеупоров.

Ключевые слова: стандартизация, качество огнеупоров, стандарт, сертификация.

Стандартизацию в России можно условно подразделить на два этапа — до введения в действие Федерального закона «О техническом регулировании» в 2002 г. и после введения закона. На первом этапе соблюдение стандартов было обязательным, на печатных экземплярах государственных стандартов имелась запись «Несоблюдение стандарта преследуется по закону». И это было действительно так. Например, в июле 1940 г. был издан Указ «Об ответственности за выпуск недоброкачественной или некомплектной продукции и за несоблюдение обязательных стандартов промышленными предприятиями», в котором говорилось:

«1. Установить, что выпуск недоброкачественной или некомплектной продукции и выпуск продукции с нарушением требований обязательных стандартов является противогосударственным преступлением, равносильным вредительству.

2. За выпуск недоброкачественной или некомплектной продукции и за выпуск продукции с

нарушением обязательных стандартов — директоров, главных инженеров и начальников технического контроля промышленных предприятий предавать суду и по приговору суда подвергать тюремному заключению сроком от 5 до 8 лет».

Начиная с 2002 г. после введения Федерального закона «О техническом регулировании» стандартизация осуществляется в соответствии с принципами добровольного применения стандартов и обязательности их соблюдения в случае принятия решения об их использовании. К документам в области стандартизации относятся национальные стандарты, правила, нормы и рекомендации в области стандартизации, классификаторы и стандарты организаций.

В соответствии с действующим законодательством Технический комитет (ТК) 9 систематически осуществляет проверку национальных стандартов на продукцию. После проверки стандарта ТК 9 направляет запросы всем его членам и заинтересованным предприятиям о представлении