

К. т. н. А. Д. Бураков¹, М. Зима², Е. З. Коварская³,
д. т. н. И. Б. Московенко⁴ (✉)

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

² Abrasiv, a.s. Mladá Boleslav, Чехия

³ ООО «Звук», Санкт-Петербург, Россия

⁴ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

УДК 66.012.1:534]:666.762.3

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО КОНТРОЛЮ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ КАЧЕСТВА ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПЕРИКЛАЗА, В ТОМ ЧИСЛЕ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ

Приведены результаты неразрушающего контроля свойств некоторых периклазохромитовых изделий акустическими низкочастотными методами и их сравнение с результатами механических испытаний и визуального контроля. Даны рекомендации по порядку введения неразрушающего экспресс-контроля качества подобных изделий.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, огнеупоры, акустические методы контроля, частота собственных колебаний, скорость распространения акустических волн.

Задача оперативного контроля качества периклазоуглеродистых изделий различных типов в настоящее время достаточно актуальна. Контроль периклазоуглеродистых изделий не имеет существенных отличий от контроля, применяемого для других изделий на основе периклаза. При этом диапазон получаемых результатов контроля может существенно различаться для изделий различного состава и изготовленных по разным технологиям.

На основе опыта использования акустического метода с применением приборов типа «Звук» [1] разработаны рекомендации по организации и проведению контроля качества конкретных типов периклазохромитовых изделий на одном из зарубежных предприятий, входящем в Группу «Магнезит». Для определения возможности использования акустического метода контроля качества подобных изделий была разработана методика проведения измерений с применением прибора «Звук-203М» для контроля периклазохромитовых обожженных изделий К34/228/76 прямоугольной формы размерами: длина (a) = 342,9, ширина (b) = 228,6, высота (h) = 76,2 мм. Выбраны рабочие виды колебаний и соответствующие диапазоны частот. На рисунке в качестве примера представлена методика акустического контроля прибором «Звук-203М» физико-механических свойств изделий К34/228/76, в которой приведены исходные данные, необходимые для проведения контроля изделий прямоугольной формы с ис-

пользованием серийно выпускаемого сертифицированного измерителя частот собственных колебаний типа «Звук-203М».

Разработанная методика опробована в условиях упомянутого предприятия группы «Магнезит». В условиях производства с целью оценки диапазона физико-механических свойств и возможности предварительной оценки качества (дефектоскопии) акустическим методом по частотам свободных колебаний (ЧСК) f_i с помощью прибора «Звук-203М» был проведен контроль некоторых видов периклазовых и периклазохромитовых изделий прямоугольной и клиновидной формы, для контроля которых разработаны аналогичные методики.

На выборках изделий из различных партий измерены ЧСК, рассчитаны соотношения измеренных частот f_i и определены значения скорости распространения акустических волн C_i [2]. По результатам акустических измерений отобраны изделия с существенным различием физико-механических свойств (f_i и C_i) и отклонением соотношений ЧСК в спектре от расчетных или средних значений в выборке. Затем проведены разрушающие испытания отобранных изделий по действующим на предприятии методикам. Произведена визуальная оценка наличия и вида дефектов, выявленных при разрезании изделий, а также определен предел прочности при сжатии. На оставшихся от испытаний на прочность частях разрезанных изделий дополнительно проведен локально-интегральный ультразвуковой (УЗК) контроль с применением метода сквозного прозвучивания. Для этого испытания использован имеющийся на предприятии прибор для определения скорости распространения ультразвуковых колебаний польского производства. По-



И. Б. Московенко
E-mail: info@ndtest.ru

Методика акустического контроля прибором «Звук-203М» физико-механических свойств огнеупорных изделий прямоугольной формы размерами 342,9×228,6×76,2 мм

Установить на табло прибора «Звук-203М» следующие параметры.

1. Время задержки (пункт «✓» основного меню) — 0 мс.
2. Время измерения (пункт «↖» основного меню) — 23 мс.
3. Диапазон и коэффициент формы в зависимости от номера изделия и типа колебаний по таблице.

Номер по порядку	Обозначение	Размеры изделия			Тип колебаний	Коэффициент формы, $F \times 10^3$	Номер поддиапазона
		a	b	h			
1	K34/228/76	342,9	228,6	76,2	$f_{изг1}(h)$	0,579	11
					$f_{изг2}(h)$	1,600	13–14

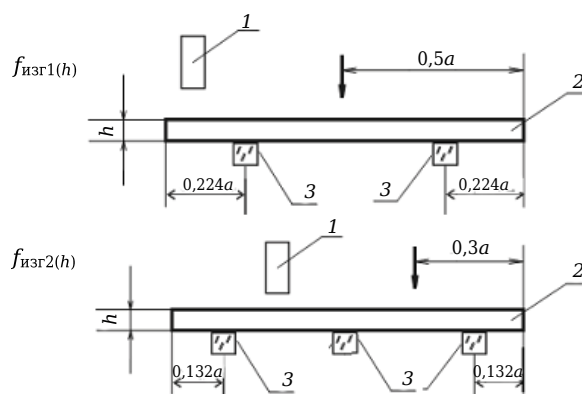


Схема расположения изделий при контроле по частотам различных типов: 1 — микрофон; 2 — изделие; 3 — поролоновая или резиновая прокладка толщиной не менее 30 мм и с размерами не менее 230×50 мм; ↓ — направление и место нанесения удара

лученные результаты приведены в табл. 1–3.

Приведенные данные показывают существенную разницу физико-механических свойств (C_1) изделий, изготовленных с различным содержанием Cr_2O_3 , а также разброс свойств изделий внутри одной технологической партии. При этом для изделий с низкими значениями C_1 характерно наличие различных дефектов. Таким образом, по результатам накопления статистических данных можно определить некоторое пороговое допустимое значение C_1 для различных рецептов и изделий.

С учетом полученных результатов можно предварительно определить браковочное значение C_1 для изделий, приведенных в табл. 1 ($C_1 = 1900$ м/с). Это подтверждается результатами визуального контроля срезов и результатами, приведенными в табл. 2, полученными для другой партии изготовленных по аналогичной рецептуре изделий.

Результаты ультразвукового контроля совпадают с результатами акустического контроля по ЧСК и позволяют вести оценку однородности свойств по площади изделия.

Таблица 1. Результаты измерений выборки изделий с различными значениями ЧСК из ранее проверенной партии изделий прямоугольной формы размерами 250×124×76 мм*

Номер изделия	ЧСК, Гц			Количество обработанных импульсов	$f_{изг(124)} / f_{изг(76)}$	$f_{прод} / f_{изг(76)}$	C_L , м/с	Наличие и характер трещины	Преде прочности при сжа- тии, МПа			ρ , г/см ³	
	$f_{изг(76)}$	$f_{изг(124)}$	$f_{прод}$						образец 1	образец 2	среднее		
165	1666	2174	3113	83	1,30	1,87	1680	Есть		19,1	19,4	19,2	3,04
140	1725	2245	3477		1,30	2,02	1740	»		—	—	—	3,07
166	1761	2276	3399	81	1,29	1,93	1770	»		20,4	19,6	20,0	3,10
208	1783	2283	3372	85	1,28	1,89	1790	Нет	—	15,5	18,6	17,1	3,13
143	1812	2349	3546		1,30	1,96	1820	Есть		34,9	29,3	32,1	3,11
139	1817	2341	3640		1,29	2,00	1830	Нет	—	—	—	—	3,16
146	1820	2379	3537	83	1,31	1,94	1830	»	—	30,4	26,6	28,5	3,11
148	1884	2407	3809	90	1,28	2,02	1900	Не разрезали	—	—	—	—	3,03
159	1924	2450	3807		1,27	1,98	1940	Нет	—	—	—	—	3,14
175	1985	2539	3969	68	1,28	2,00	2000	Есть, по- верхностная		23,0	24,7	23,8	3,13
152	2003	2603	3962	80	1,30	1,98	2020	Не разрезали	—	—	—	—	3,09
149	2035	2596	4080	87	1,28	2,00	2050	Нет	—	—	—	—	3,12

* $C_{\max}/C_{\min} = 1,22$; ρ — кажущаяся плотность; $f_{изг}$ — частота собственных изгибных колебаний стержня, происходящих в направлении, перпендикулярном к оси стержня; $f_{прод}$ — частота собственных продольных колебаний стержня [2].

Таблица 1а. Результаты ультразвукового контроля $C_{узк}$ оставшихся частей разрезанных изделий размерами 198х124х76 мм из ранее проверенной партии, результаты контроля которой приведены в табл. 1

Номер изделия	Наличие и характер трещины	$t_{(76)}$, МКС			$C_{узк}$, М/С		$t_{(125)}$, МКС			$C_{узк}$, М/С		$t_{(198)}$, МКС			$C_{узк}$, М/С	
		мини-мум	макси-мум	макси-мум/мини-мум	мини-мум	макси-мум	мини-мум	макси-мум	макси-мум/мини-мум	мини-мум	макси-мум	мини-мум	макси-мум	макси-мум/мини-мум	мини-мум	макси-мум
165	Есть 	46,0	53,4	1,17	1423	1670	71,3	74,4	1,04	1680	1753	113,3	118,0	1,04	1678	1748
140	» 	Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли		
166	» 	41,0	50,0	1,21	1520	1845	64,2	70,6	1,10	1076	1184	104,2	114,5	1,10	1729	1900
208	Нет —	43,0	48,2	1,11	1577	1751	66,3	71,5	1,08	1063	1146	109,8	118,0	1,07	1678	1803
143	Есть 	42,0	50,5	1,20	1505	1810	63,8	72,0	1,13	1056	1191	107,6	110,5	1,03	1792	1840
139	Нет —	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
146	» —	42,0	47,8	1,14	1590	1818	62,4	70,5	1,13	1078	1218	101,5	113,8	1,12	1740	1951
159	» —	Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли		
175	Есть, поверхность 	33,0	35,4	1,08	2147	2317	55,3	58,9	1,07	1290	1374	90,6	96,7	1,07	2048	2185
149	Нет —	Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли			Не измеряли		

Таблица 2. Результаты измерений ЧСК выборки изделий клиновидной формы размерами 230 x 113 (115/111) x 65 мм (15–17 % Cr_2O_3) без дефектов (по результатам визуального контроля после разрезки по длине)

Номер изделия	$f_{изг(65)}$, Гц	$f_{изг(113)}$, Гц	C_1^* , М/С	$f_{изг(113)} / f_{изг(65)}$
9	2418	3354	1920	1,39
8	2442	3419	1940	1,40
12	2466	3367	1960	1,37
7	2481	3441	1970	1,39
15	2490	3362	1970	1,35
4	2552	3512	2020	1,38
10	2582	3518	2050	1,36
1	2615	3534	2070	1,35
2	2626	3387	2080	1,29
3	2669	3534	2120	1,32
11	2677	3550	2120	1,33
14	2698	3610	2140	1,34
13	2722	3646	2140	1,34
6	2748	3758	2180	1,37
5	2803	3789	2220	1,35

* $C_1 = f_{изг(65)} / F$, где $F = 0,001261 \text{ м}^{-1}$ — коэффициент формы для ЧСК изгибных колебаний в направлении $h = 65 \text{ мм}$; $C_{1\text{макс}}/C_{1\text{мин}} = 1,16$.

При наличии существенной неоднородности по площади изделия можно предполагать наличие дефекта с достаточно высокой надежностью.

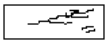
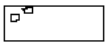
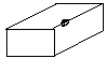
Таким образом, исходя из имеющихся возможностей, для исключения попадания к потребителю изделий с внутренними дефектами и определения браковочных границ может быть рекомендован следующий алгоритм неразрушающего экспресс-контроля изделий.

1. Организация сплошного (100 %) экспресс-контроля по ЧСК с использованием прибора

«Звук-203М». По результатам контроля можно отбраковать изделия со значениями C_1 меньше заданного или полученного в процессе контроля браковочного значения.

2. Изделия с низкими значениями C_1 с целью повышения надежности контроля можно проверить дополнительно как минимум в трех точках ультразвуковым методом и отбраковать изделия с существенной неоднородностью свойств ($C_{узк\text{ макс}} / C_{узк\text{ мин}} > 1,14$, см. табл. 1а). Для накопления статистических данных, необходимых для

Таблица 3. Результаты измерений ЧСК выборки изделий прямоугольной формы размерами 255 x 122 x 63 мм (не содержит Cr_2O_3)

Номер	$f_{\text{изг}(63)}$, Гц	$f_{\text{изг}(122)}$, Гц	C_1^* , м/с	Наличие и характер трещины (дефекта)	$f_{\text{изг}(113)} / f_{\text{изг}(63)}$
16	4974	7412	5000	Трещины 	1,49
19	5033	7490	5060	Раковины 	1,49
18	5154	7596	5190	Нет дефектов на срезе	1,47
17	5216	7771	5250	Не разрезали	1,49
22	5241	7781	5270	Поверхностный дефект 	1,48
25	5320	7852	5350	Не разрезали	1,48
23	5362	7932	5390	» »	1,48
24	5410	7992	5440	» »	1,48
20	5430	8021	5460	» »	1,48
21	5503	8243	5540	» »	1,50

* $C_1 = f_{\text{изг}(63)} / F$, где $F = 0,000994 \text{ м}^{-1}$ — коэффициент формы для ЧСК изгибных колебаний в направлении $h = 63 \text{ мм}$; $C_{\text{макс}} / C_{\text{мин}} = 1,11$.

уточнения браковочных показателей и алгоритма контроля, целесообразно проводить измерения ультразвуковым методом также на некоторых изделиях со средними и высокими значениями для изделий данной технологической партии.

Библиографический список

1. **Буравов, А. Д.** Возможности использования неразрушающих акустических методов контроля для оценки физико-механических свойств и качества огнеупоров / А. Д. Буравов, С. В. Выхман, Е. З. Коварская [и др.] // Новые огнеупоры. — 2011. — № 12. — С. 39–42.

Buravov, A. D. Potential for the use of nondestructive acoustic methods of inspection for estimation of the physico-mechanical properties and quality of refractories / A. D. Buravov, S. V. Vikhman, E. Z. Kovarskaya [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2012. — Vol. 52, № 6. — P. 436–439.

2. **ГОСТ Р 52710–2007** «Инструмент абразивный. Акустический метод определения твердости и звуковых индексов по скорости распространения акустических волн». ■

Получено 11.12.13

© А. Д. Буравов, М. Зима, Е. З. Коварская, И. Б. Москоуенко, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Национальная академия наук Беларуси
Государственное научно-производственное объединение
порошковой металлургии
Институт порошковой металлургии
European Powder Metallurgy Association

Одиннадцатая международная научно-техническая конференция:

«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ: ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, СВАРКА»

28–30 мая 2014 г.

г. Минск, Беларусь

Секции конференции:

1. Металлические порошковые материалы. Композиционные порошковые материалы: триботехнические, электротехнические, пористые и специальные. Технологии и моделирование процессов их получения и применения.
2. Наноматериалы и нанотехнологии. Сверхтвердые и керамические материалы.

3. Инженерия поверхности. Защитные покрытия: материалы, технология и оборудование для нанесения.
4. Новые технологии и оборудование сварочного производства. Соединение и деструкция материалов. Нетрадиционные металлургические технологии

✉ 220005, Беларусь, г. Минск, ул. Платонова, 41, Институт порошковой металлургии

☎ (017) 293-98-12 Комякова Ольга Витальевна;

☎ (017) 293-98-46 Полешук Надежда Александровна, Маслакова Екатерина Александровна (доклады)

☎ факс (017) 292-82-42, e-mail: info50@mail.ru