

УДК 666.78.017:620.179.1

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ДЕФЕКТОСКОПИИ КОВШЕЙ СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ И ТИГЛЕЙ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

Метод дефектоскопии трещин в ковшах и тиглях посредством измерения частот собственных колебаний (СК) изделия является дальнейшим развитием метода определения физико-механических характеристик материала тиглей с помощью измерения частоты СК изделия. Физическая сущность метода заключается в том, что собственные колебания возбуждаются при наличии свободной энергии, которая должна охватывать все изделие и возбуждать различные формы СК. Но если в изделии имеются трещины, то они становятся препятствием к распространению свободной энергии по всему изделию и некоторые формы СК не возбуждаются. Предлагаемый метод основан на том, что он позволяет зафиксировать этот факт. Метод позволяет провести контроль одного изделия в течение от 3 до 15 мин в зависимости от величины изделия. Приведены результаты экспериментального исследования шести керамических тиглей объемом 20,8 л, которые подтвердили эффективность метода.

Ключевые слова: тигли, ковши, ударный метод, собственные колебания, затухание.

Предлагаемый метод дефектоскопии ковшей и тиглей 20–100 л и более на предмет наличия в них трещин и других нарушений связи между огнеупорами не требует специальной оснастки, а также обеспечения контакта с поверхностью объекта контроля (ОК). Затраты времени на проведение дефектоскопии всего ОК составляют предположительно от 3 до 15 мин в зависимости от величины объекта. Дефектоскопия тигля больших размеров (от 100 л и более) ультразвуковым методом потребует, например, не менее 30 мин, а ковши, футерованные огнеупорами, ультразвуком вообще не контролируются. К тому же в керамических тиглях происходит весьма значительное затухание ультразвуковых волн, что еще более осложняет ультразвуковой контроль.

Отличительной особенностью метода дефектоскопии посредством использования собственных колебаний ОК является использование не одной, а нескольких составляющих спектра частот собственных колебаний. Наличие трещины в процессе деформации, создаваемой колебаниями, способствует поглощению энергии колебаний. Это может происходить и когда стенки трещины трутся друг о друга, и когда стенки расходятся и на концах трещины возникает пластическая деформация или хрупкое разрушение. В обоих случаях имеет место потеря энергии, уменьшающая амплитуду колебаний. Частота собственных колебаний при этом практически не меняется. Самая простая реализа-

ция этого метода — удар по тиглю специальным бойком и прослушивание: «звенит» или не «звенит», т. е. трещина есть или нет. Такой подход зафиксирован в официальных документах [1] и широко используется в железнодорожном транспорте, в производстве изделий из стекла и керамики. В случае контроля тиглей прослушивание эффективно для малых тиглей с тонкими стенками, для больших тиглей с толстыми стенками этот метод «не работает», тигли «звенят» даже при наличии трещин. Это касается и ковшей, футерованных огнеупорами. Следовательно, необходимо дальнейшее развитие этого метода с использованием приборов — измерителей частоты собственных колебаний (ИЧСК), например ИЧСК производства АО «Интерприбор» (г. Челябинск) или «Звук – 203М» производства ООО «Звук» (г. Санкт-Петербург).

При выборе метода дефектоскопии посредством использования собственных колебаний необходимо учитывать, что ОК имеют большие размеры и изготовлены из материалов, имеющих, образно говоря, плохую «проводимость» свободной энергии. Физически под этим термином подразумевается значительное поглощение свободной энергии материалом ОК, но в данном случае термин «проводимость» свободной энергии более точно характеризует суть метода. Контроль ОК из таких материалов в отличие от ОК из материалов с хорошей проводимостью свободной энергии (например, металлов) требует совершенно другого методического подхода.

В металлах полное распространение свободной энергии по всему ОК происходит от одного сильного удара и последующие удары только все «портят». Отсюда применение разных методик дефектоскопии трещин. В телах из металлов сразу возбуждаются только те формы



В. И. Кугушев
E-mail: sk@ckb-rubin.ru

СК, которые не демпфируются трещиной, и дефектоскопию можно проводить по фиксации изменений спектра СК в объекте контроля [2]. Здесь срабатывает эффект дефицита свободной энергии. Энергии одного удара хватает только на те формы колебаний, которые не переводят свободную энергию во внутреннюю, т. е. в тепло. Необходимо отметить, что это выполняется для достаточно компактных металлических деталей. В сложных металлических конструкциях, в которых колебания каждого элемента способствуют избавлению конструкции от свободной энергии, наблюдается эффект, аналогичный эффекту поглощения энергии в результате внутреннего демпфирования.

В деталях из материалов со значительным затуханием свободной энергии полный спектр СК объекта контроля с одного удара не возбуждается, потому что из-за большого поглощения энергии (внутреннее демпфирование) достижение предела пропорциональности всех форм СК с одного удара не происходит. Необходима серия ударов с минимальным интервалом времени между ударами. Но серия ударов не позволяет создать необходимый дефицит свободной энергии.

Обосновать и экспериментально подтвердить этот процесс на деталях из материалов с большим поглощением энергии несложно. Упрощенно процесс выглядит следующим образом. Если первый удар наносится в какую-либо точку тигля, то сначала возбуждаются те формы СК, которые в этой точке имеют пучность, т. е. максимальную амплитуду колебаний. Если процесс упругой деформации данных форм СК дойдет до предела пропорциональности, то со второго удара энергия удара начнет возбуждать формы СК второй очереди, которые имеют точки пучности, наиболее близкие к точке удара. Далее, с третьего удара, после достижения предела пропорциональности форм СК второй очереди, возбуждаются формы СК третьей очереди. Они также имеют наиболее близкую точку пучности к точке удара из всех еще не возбужденных форм СК. И так далее, пока не возбуждятся все формы СК. Процесс происходит по принципу минимизации внутренней энергии тела, идет ее перераспреде-

ление в свободную энергию, которая через колебания распространяется в окружающую среду [3, 4]. Эта схема весьма упрощенная, но реально физические факторы, на которых она построена, имеют место и их можно экспериментально наблюдать на ОК больших размеров, имеющих пористую структуру. Пористость способствует тому, что ОК можно рассматривать как бы составленным из множества отдельных деталей, связанных с друг с другом. Энергия ударов постепенно охватывает их, т. е. распространяется по ОК постепенно.

Наличие трещины еще более затрудняет распространение энергии (поглощает ее), но при этом спектр СК практически не изменяется из-за отсутствия дефицита свободной энергии. В качестве примера в таблице представлены спектры частот СК двух нормальных тиглей и тигля с трещиной объемом 20,8 л.

Из вышеизложенного следует, что серия ударов не позволяет создать в тиглях и ковшах необходимый дефицит свободной энергии так, как это имеет место в металлических ОК. Поэтому предлагаемый метод основан на определении степени распространения свободной энергии по ОК. Как было указано выше, степень распространения свободной энергии зависит от поглощения ее материалом ОК, а также трещинами. Покажем, как это делается на примере тигля объемом 20,8 л, диаметром 290 и высотой 520 мм, толщина стенки тигля 10 мм.

Вначале тигель укладывают горизонтально на деревянную подставку или резиновый коврик, как показано на рис. 1. Микрофон прибора ИЧСК располагается внутри тигля по направлению ко дну тигля. По центру дна тигля специальным бойком наносятся несколько ударов с целью возбуждения и определения величины частоты СК тигля, имеющей точку пучности в центре дна тигля (установочную частоту), и проведения настройки центральной частоты полосы фильтра прибора на эту частоту. Затем тигель устанавливают на ту же подставку вертикально (рис. 2). Микрофон прибора ИЧСК помещен также внутри тигля по направлению ко дну. Точки нанесения ударов равномерно расположены по высоте тигля, их должно быть 6–8 или более в зависимости от размеров ОК.

Спектры частот СК тиглей, Гц

Центральная частота полосы фильтра прибора ИЧСК	Частота свободных колебаний		
	нормального тигля № 1	нормального тигля № 2	тигля с трещиной
600	674	594	600
1000	1002	1106	898
1500	1507	1106	1338
2000	2027	1714	1718
2500	2356	–	2070
3000	2709	–	2800
3500	3258	3349	3522
4000	–	3793	3524
4500	4544	4235	–
5000	4540	–	4881

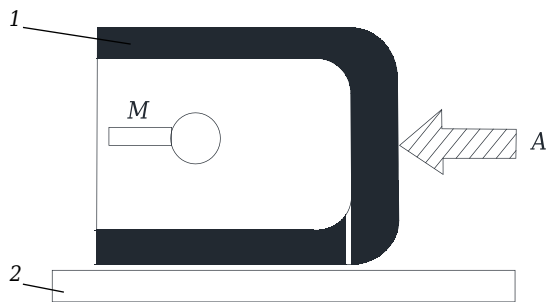


Рис. 1. Тигель (1) установлен на подставку (2) горизонтально: М — микрофон прибора ИЧСК; А — точка нанесения ударов

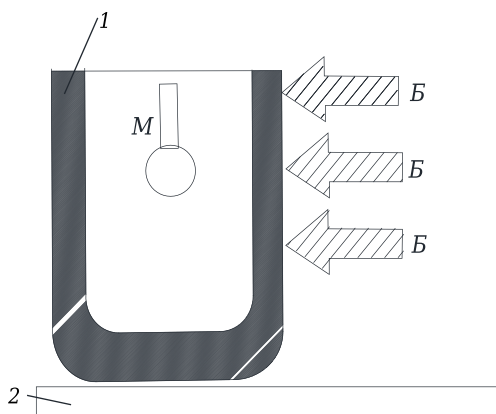


Рис. 2. Тигель (1) установлен на подставку (2) вертикально: М — микрофон прибора ИЧСК; Б — точки нанесения ударов

Бойком в горизонтальном направлении наносят несколько ударов в каждой точке.

Для того чтобы установить уровень (степень) передачи свободной энергии нормального тигля, в приборе выставляется максимальное время задержки начала измерений частоты СК тигля так, чтобы после каждой серии ударов в каждую точку Б измерялась бы установочная частота на уровне 100 %. Величина 100 % индицируется на экране прибора и означает, что амплитуда СК достаточно большая и за установленный промежуток времени измерения СК не уменьшается до величины ниже порогового значения. Это означает, что при нанесении нескольких ударов в каждую точку Б возбуждаются все формы СК тигля с достаточно большой амплитудой, в том числе и форма СК, соответствующая установочной частоте. Таким образом, настройка прибора завершена.

При дефектоскопии тигля с трещиной трещина в различных точках нанесения ударов, т. е. при возбуждении различных форм СК тигля, будет оказывать различное воздействие на потерю энергии. Прибор будет показывать либо частоту СК тигля, соответствующую точке нанесения серии ударов, либо установочную частоту на уров-

не значительно ниже 100 %. Возникает впечатление, что свободная энергия «не дошла» до дна тигля из-за низкого уровня передачи энергии.

В результате напрашивается идея создания стандартного удара специальным устройством, обеспечивающим необходимый дефицит свободной энергии. Однако практика показала, что стандартный удар не обеспечивает стандартное количество свободной энергии, переданное ОК, так как контакт в момент удара зависит от множества факторов, в том числе и случайных. Эффективнее наполнять ОК свободной энергией ударами в ручном режиме. В производственных условиях очень сложно обеспечить стабильное соотношение между свободной и внутренней энергиями тела, получаемыми в момент удара.

В предлагаемом методе нет необходимости ограничивать объем свободной энергии, передаваемой ОК посредством удара. В нем косвенным путем создается дефицит свободной энергии через задержку времени начала измерений частоты СК тигля, что делает метод простым в эксплуатации и в значительной мере эффективным.

Экспериментальная проверка метода была успешно проведена на 6 тиглях, 5 из них были нормальными, 6-й имел трещину. Спектры частот СК трех из них представлены в таблице. Первоначально, при горизонтальном положении тиглей, установочные частоты имели следующие значения, Гц: тигель № 1 — 2297 ± 10 , тигель № 2 — 2455 ± 10 , тигель с трещиной — 2910 ± 10 . В вертикальном положении в 5 нормальных тиглях установочная частота измерялась данным методом на уровне 100 %. На тигле с трещиной она вообще не измерялась. Время, затраченное на проведение контроля одного тигля, составляло от 3 до 5 мин.

Представленный метод дефектоскопии трещин посредством создания дефицита свободной энергии косвенным путем удовлетворяет почти всем производственным требованиям. Возможно, не будут выявляться несквозные мелкие трещины, потеря энергии в которых лишь незначительно превышает потерю энергии в самом материале тигля.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 53545-2009 Национальный стандарт РФ. Посуда керамическая каменная. Технические условия.
2. **Кугушев, В. И.** Метод экспресс-контроля железнодорожных колес / В. И. Кугушев // Дефектоскопия. — 2012. — № 6. — С. 22–29.
3. **Ландау, Л. Д.** Теоретическая физика. В 10-ти т. Т. VII. Теория упругости: учебн. пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; 4-е изд., испр. и доп. — М.: Наука, 1987. — 248 с.
4. **Гольденблат, И. И.** Нелинейные проблемы теории упругости / И. И. Гольденблат. — М.: Наука, 1969. — 336 с. ■

Получено 25.04.16
© В. И. Кугушев, 2016 г.