УДК 534.6.08

О. П. Богдан, канд. техн. наук, доц.
Д. В. Злобин, канд. техн. наук, доц.
А. В. Тарасова, студент
E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Исследование скорости акустической волны в образцах из терморасширенного графита

В работе представлены результаты исследования скорости акустической волны в листах-заготовках из терморасширенного графита разной толщины и средней плотности, полученные при использовании теневого акустического метода, основанного на измерении времени прохождения акустического импульса в образце. Исследования показали, что увеличение плотности образца приводит к росту скорости акустической волны в нем. Также показано влияние на значение средней скорости акустической волны наличия дефектов, при этом менее плотные дефекты в образцах приводят к снижению скорости и наоборот. Погрешность измерения скорости акустической волны составила 0,4—2,2 %.

Ключевые слова: терморасширенный графит, плотность, скорость акустической волны, измерение, лист-заготовка

Введение

Терморасширенный графит (ТРГ) – углеродистый материал с низкой плотностью [1], он обладает достаточно большым диапазоном рабочих температур, высокой химической стойкостью, хорошей уплотняющей способностью, которые содействуют устойчивому росту потребления уплотнений на его основе многими отраслями промышленности [2]. Важным отличием ТРГ от всех других порошкообразных углеродных материалов является его способность образовывать углеродные изделия без какого-либо связующего вещества [3].

ТРГ имеет широкое применение, поэтому его технологическое значение растет [3, 4], следовательно, важно изучать физические свойства материала, углеродную основу и пористую структуру, а также разрабатывать новые методы его контроля.

В настоящее время согласно нормативным документам, например, ТУ 5728-006-93978201-2008, СТ ЦКБА-СОЮЗ-СИЛУР-019-2012 или РД 153-34.1-39.605-2002, контролируют лишь геометрические размеры заготовок и изделий, содержание некоторых элементов в составе ТРГ,

[©] Богдан О. П., Злобин Д. В., Тарасова А. В., 2020

предел прочности при растяжении и при сжатии, коэффициент трения и т. п. [1]. Большинство этих свойств контролируются разрушающими методами, и дальнейшее использование заготовок становится невозможным, к тому же нельзя оценить изменение свойств внутри партии. Скорость акустической волны [5], распространяющейся в листезаготовке из ТРГ, является наиболее универсальным свойством материала, зависящим от большинства контролируемых свойств, а ее измерение возможно без разрушения материала.

Целью работы является оценка возможности измерения скорости акустической волны в ТРГ теневым временным методом, а также исследование зависимости скорости от плотности листа-заготовки.

Использемый подход

Исследование скорости акустичской волны в листах-заготовках ТРГ выполнено с помощью теневого временного акустического метода, суть которого состоит в регистрации времени прохождения импульса сквозь объект [6]. Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, а. Для реализации данного метода использован ультразвуковой дефетоскоп с преобразователями с рабочей частотой 300 кГц. Зондирующий импульс с генератора дефектоскопа 1 поступает на преобразователь 2, выступающий в роли излучателя, который излучает акустический импульс в лист-заготовку ТРГ 4 (лист распологался продольно преобразователей). Распространяясь относительно заготовку ТРГ, акустический импульс поступает на приемник 3 и далее в дефектоскоп 1, где он обрабатывается. При этом на экране дефектоскопа наблюдаются зондирующий импульс и импульс, прошедший сквозь лист-заготовку ТРГ (рис. 16), время t между которыми необходимо измерить.

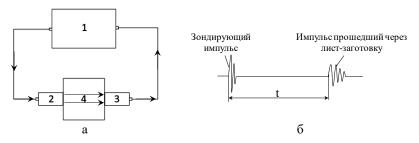


Рис. 1. Экспериментальная установка: a – блок схема: I – ультразвуковой дефектоскоп, 2 – излучатель, 3 – приемник, 4 – лист-заготовка из ТРГ; δ – изображение на экране дефектоскопа

Скорость акустической волны определялась по формуле

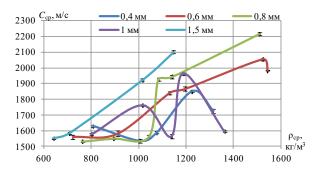
$$C = \frac{L}{t - 2t_p},\tag{1}$$

где L=30 мм — расстояние, пройденное акустической волной в образце ТРГ; t — время между зондирующим импульсом и импульсом, регистрируемым приемником; $t_p=6,83$ мкс — время прохождения волны в преобразователях.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Исследования проводились на 5 партиях листов-заготовок ТРГ, изготовленных ООО СИЛУР, толщиной 0.4 мм, 0.6 мм, 0.8 мм, 1 мм и 1.5 мм с различными плотностями, лежащими в дапазоне 643-1523 кг/м³.

Для каждого листа-заготовки ТРГ по формуле (1) определена средняя скорость акустической волны по сечению образца, по результатам которых получен график ее зависимости от средней плотности образца ТРГ определенной толщины (рис. 2).



Puc. 2. Зависимость средней скорости акустической волны от средней плотности листов разной толщины

Из графика видно, что с увеличением плотности листа-заготовки ТРГ скорость акустической волны увеличивается. При этом для листов-заготовкок ТРГ толщиной 1 мм наблюдается существенное уменьшение скорости акустической волны для листа плотностью 1139 кг/м³, что объясняется наличием в образце дефектов — пузырей, заполненных воздухом, в результате чего акустический импульс при распространении в листе-заготовке ТРГ частично распространяется по воздуху ($C_{\text{воздух}} = 330 \text{ м/c}$), которым заполнен пузырь, что приводит к уменьшению сред-

ней по сечению образца скорости акустической волны. Аналогичная картина наблюдается для листов-заготовок ТРГ толщиной 0,6 мм плотностью 1543 кг/м 3 и толщиной 0,4 мм плотностью 1315 кг/м 3 . Наличие включений в листе-заготовке ТРГ более плотных, чем сам образец, приводит, наоборот, к увеличению средней скорости акустической волны по сечению образца. Погрешность измерения скорости акустической волны в листах-заотовках ТРГ составила 0,4-2,2 %.

Выводы

Таким образом, исследования скорости акустической волны в листах-заготовках ТРГ показали зависимость ее от плотности, структуры и наличия дефектов, что может быть использовано при разработке новых методов контроля изделий из ТРГ, основанных на изменении скорости акустической волны относительно среднего значения по образцу. Увеличение плотности листа-заготовки ТРГ приводит к нелинейному увеличению скорости акустической волны, при этом, зная данную зависимость, можно определить другие физические свойства ТРГ, такие как модуль упругости, акустический импеданс и др., что является важным для более широкого применения изделий из ТРГ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» в рамках научного проекта *№ ПАВ/20-90-17.*

Список литературы

- 1. Афаносов, И. М. Теплопровоность и механические свойства терморасширенного графита / И. М. Афаносов, Д. В. Савченко, С. Г. Ионов // Неоргнические материалы. – 2009. – T. 45. – C. 540–544.
- 2. Ярошенко, А. П. Высококачественные вспучивающиеся соединения интеркалирования графита – новые подходы к химии и технологии / А. П. Ярошенко, М. В. Савоськин // ЖПХ. – 1995. – Т. 68, вып. № 8. – С. 1302–1306.
- 3. Яковлев, А. В. Терморасширенный графит: синтез, свойства и перспективы применения / А. В. Яковлев, А. И. Финаенов, С. Л. Забудьков // Журнал прикладной химии. – 2006. – Т. 79. – С. 1761–1771.
- 4. Финаенов, А. И. Области применения и получение терморасширенного графита / А. И. Финаенов, А. И. Трифонов, А. М. Журавлев // Новые материалы и технологии. – 2004. – № 1 (2). – С. 77–80.
- 5. Методика и устройство для экспериментальной оценки акустического импеданса вязкоупругих сред / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, Д. В. Злобин, О. П. Богдан, В. Н. Сяктерев, В. В. Волков // Приборы и методы измерений. -2017. – T. 8, № 4. – C. 314–326.

6. Акустический и вихретоковый методы неразрушающего контроля листов из терморасширенного графита / О. П. Богдан, Д. В. Злобин, О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, Л. В. Волкова // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении (ТЭК-2019): сб. науч. тр. II Междунар. науч.практ. конф., посвященной 20-летию ООО «Кузбасский центр сварки и контроля» / под ред. А. Н. Смирнова. – Кемерово, 2019. – С. 236–246.

O. P. Bogdan, CSc in engineering, associate professor D. V. Zlobin, CSc in engineering, associate professor A. V. Tarasova, student E-mail: pmkk@istu.ru

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Investigation of Acoustic Wave Velocity in Samples of Thermally Expanded Graphite

The paper presents the results of studying the acoustic wave velocity in sheets-billets made of thermally expanded graphite of different thickness and average density, obtained using the shadow acoustic method based on measuring the passage time of an acoustic pulse in a sample. Studies have shown that an increase in the density of the sample leads to an increase in the velocity of the acoustic wave in it. The influence of defects on the value of the average acoustic wave velocity is also shown, while less dense defects in samples lead to a decrease in velocity and vice versa. The error in measuring the acoustic wave velocity was 0.4-2.2 %.

Keywords: thermally expanded graphite, density, acoustic wave velocity, measurement, sheet-billet.