



УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-12-12

**ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЖЕСТКОСТИ КОЛЕЦ
ИЗ ПКМ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА**

Е.К. НИКИТИН

О.Л. БУРХАН

В.И. ПОСТНОВ

доктор технических наук

Июнь 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-12-12

Е.К. Никитин¹, О.Л. Бурхан¹, В.И. Постнов¹

ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЖЕСТКОСТИ КОЛЕЦ ИЗ ПКМ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА

Работа основана на измерении параметров акустического сигнала при возбуждении собственных механических колебаний кольца из армированных пластиков при механическом воздействии с последующим расчетом значения кольцевой жесткости колец. Метод построен на возбуждении колебаний звукового сигнала, которые зависят от прочностных характеристик кольца из ПКМ.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы (ПКМ), кольцевая жесткость, акустический резонанс, звуковой сигнал.

E.K. Nikitin, O.L. Burkhan, V.I. Postnov

ESTIMATION OF ANNULAR STIFFNESS OF PCM RINGS BY ACOUSTIC RESONANCE METHOD

Measurements of parameters of an acoustic signal excited by own mechanical oscillations of a ring made from fiber-reinforced plastics under mechanical impact were carried out; then the annular stiffness of ring was calculated. The method is based on excitation of acoustic signal oscillations, which depend on strength characteristics of the PCM ring.

Keywords: polymer composite materials (PCM), annular ring stiffness, acoustic resonance, acoustic signal.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

Кольцевая жесткость – это одна из основных прочностных характеристик полимерных труб: полиэтиленовых, полипропиленовых, стеклопластиковых, поливинилхлоридных. Область применения полимерных труб крайне широка [1–3]. Полимерные

трубы применяются для строительства и ремонта трубопроводов, транспортирующих воду для хозяйственного, питьевого холодного и горячего водоснабжения, другие жидкие и газообразные вещества, к которым полимер, из которого они изготовлены, химически стоек. Полимерные трубы используются для подачи/транспортировки горючих газов, в системах отопления, канализации и сетях водоотведения.

В связи с широким использованием труб из ПКМ возникает необходимость применять различные методы неразрушающего контроля для материалов и конструкций труб, позволяющие получить все необходимые характеристики и прочностные свойства изделия, оценить его эксплуатационные возможности [4].

Материалы и методы

В статье рассмотрен метод измерения кольцевой жесткости готовых колец из ПКМ (для средне- и крупногабаритных колец) в производственных условиях [5]. В качестве исследуемых материалов используются кольца из ПКМ на основе эпоксидных, фенольных, клеевых и других связующих с угле- и стеклонаполнителями [6].

Исследуемые материалы – круговые кольца из армированных пластиков, характеристики которых представлены в табл. 1. Замеры прочностных характеристик проводили на трех кольцах с разными характеристиками.

Таблица 1

Характеристики исследуемых колец			
Масса M , кг	Толщина стенки h	Ширина b	Диаметр D
		М	
49,56	0,025	0,3	1,05
45,25	0,025	0,3	1,40
18,1	0,010	0,3	1,15

Измеряли параметры акустического сигнала при возбуждении собственных механических колебаний кольца из армированных пластиков при механическом воздействии (механическом ударе) с последующим расчетом значения кольцевой жесткости колец [7–9]. Метод построен на возбуждении колебаний звукового сигнала, которые зависят от прочностных характеристик кольца из ПКМ, с последующим определением периода собственных колебаний кольца (T) и дальнейшим расчетом резонансной частоты кольца по формуле (1) [10]:

$$\omega = 2\pi/T. \quad (1)$$

Связь резонансной частоты колебаний толстого кольца с его размерами для разных *мод* колебаний дается в формуле зависимости частоты собственных колебаний от жесткости:

$$\omega = \omega_K = \frac{4K(K^2-1)}{\sqrt{K^2+1}} \sqrt{\frac{EI}{mD^4}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости; I – момент сопротивления поперечного сечения изгиба; m – масса кольца; D – диаметр кольца; K – мода колебаний.

Момент сопротивления изгиба рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (3)$$

где b – ширина кольца; h – толщина стенки кольца.

С учетом формулы определения зависимости частоты собственных колебаний от жесткости можно рассчитать модуль упругости (E) при наличии всех необходимых данных:

$$E = \frac{(K^2+1)mD^4\omega_K^2}{16K^2(K^2-1)^2I}, \quad (4)$$

где мода колебаний K может принимать значения от 2 до 5 (основные гармоники измерений).

Кольцевая жесткость, приведенная к единице длины кольца, определяется по следующей формуле [11]:

$$SN = \frac{EI}{bD^3}. \quad (5)$$

Подставляя в уравнение (5) выражения для модуля упругости и частоты колебаний, получаем окончательную формулу для расчета кольцевой жесткости:

$$SN = \frac{\pi^2(K^2+1)mD}{4K^2(K^2-1)^2bT^2}. \quad (6)$$

Контрольно-измерительная система (рис. 1, а) состоит из датчика колебаний 1, модуля усиления сигнала датчика 2, цифрового осциллографа 3 (Rigol DS1302CA) и компьютера 4, с помощью которого записываются, обрабатываются и выводятся на дисплей результаты измерений. Система осуществляет измерение звукового сигнала

(затухающих колебаний), возбуждаемого в кольце, и его запись на носители информации (flash-носитель) в графическом виде. Внешний вид контрольно-измерительной системы представлен на рис. 1, б.

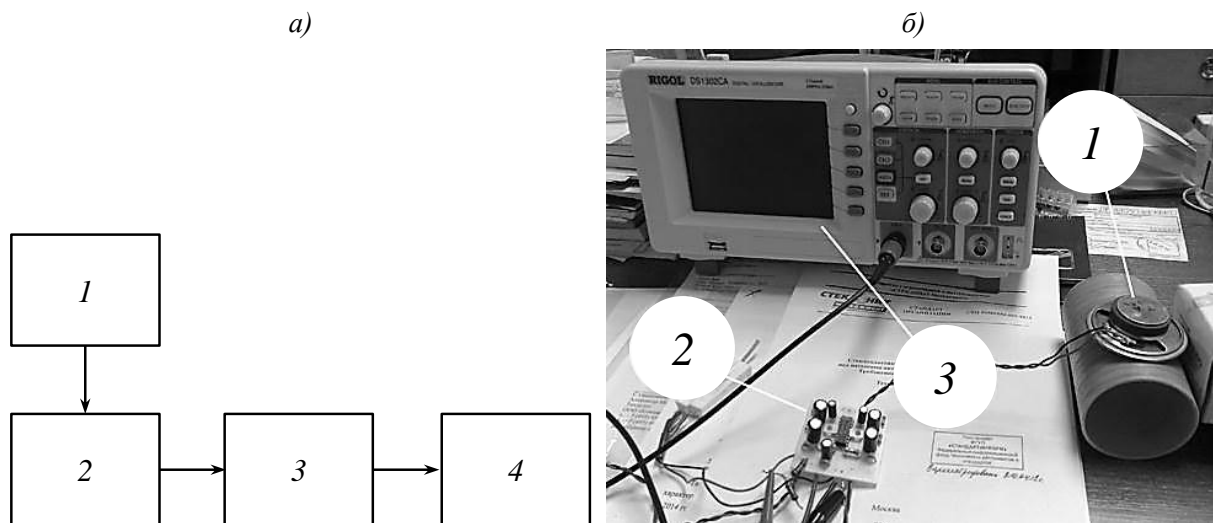


Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) контрольно-измерительной системы:
1 – датчик колебаний; 2 – усилитель сигнала; 3 – цифровой осциллограф; 4 – компьютер

Основные технические характеристики контрольно-измерительной системы:

- частота собственных колебаний колец из стеклопластика диаметром от 1026 до 1500 мм составляет от 300 до 357 Гц;
- усиление акустического сигнала – от 10 до 1000 раз;
- питание от промышленной сети 220 В;
- представление акустического сигнала в графическом и цифровом видах для анализа и последующей обработки (возможность сохранения в форматах .wfm, .bmp);
- напряжение питания/потребляемая мощность (осциллограф): 100–240 В/40 Вт.

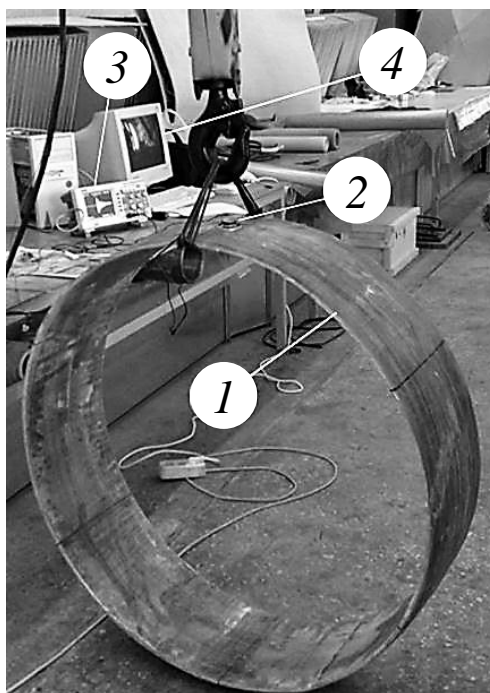


Рис. 2. Внешний вид стенда для проведения испытаний:

1 – кольцо из ПКМ; 2 – датчик колебаний; 3 – осциллограф; 4 – компьютер для обработки сигналов

Внешний вид стенда для проведения эксперимента по измерению параметров акустического сигнала представлен на рис. 2. Кольцо из стеклопластика 1 подвешивают при помощи тельфера в ~5 см над уровнем пола. В данном случае креплением являются металлические жгуты, обтянутые слоем резины, для минимизирования влияния крепежных элементов на колебания кольца. Датчик колебаний 2 подключен к осциллографу 3 и располагается сверху кольца, напротив крепежных жгутов. Далее кольцо фиксируют в неподвижном состоянии и с помощью молотка с резиновым наконечником производят механический удар по торцу кольца. Затухающие колебания фиксируют осциллографом (рис. 3).

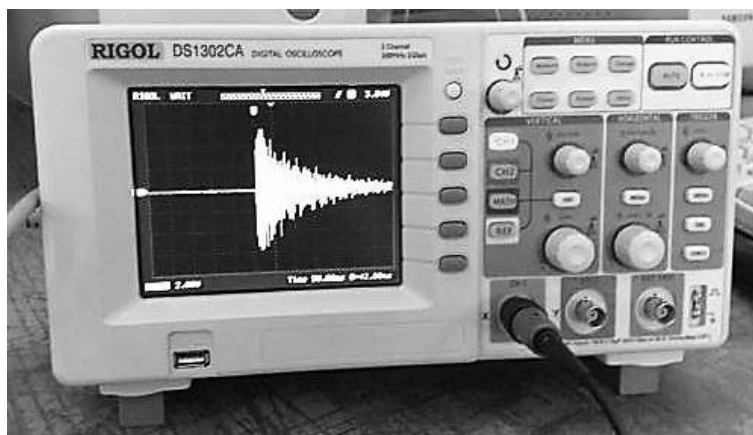


Рис. 3. Амплитуда колебаний звукового сигнала, измеряемая осциллографом, при механическом ударе по кольцу из ПКМ

После получения необходимого качества сигнала производится запись полученной информации на электронный носитель для дальнейшей обработки информации на компьютере.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных измерений получены все необходимые данные и рассчитана (по приведенным ранее формулам) кольцевая жесткость колец из ПКМ (табл. 2).

Таблица 2

Значения кольцевой жесткости для различных колец из ПКМ

Масса M , кг	Толщина стенки h	Длина b	Диаметр D	Период собственных колебаний T , с	Кольцевая жесткость SN , кН/м ²
49,56	0,025	0,3	1,05	3,33	24

45,25	0,023	0,3	1,40	3,2	19
18,1	0,010	0,3	1,15	3,0	8

Анализ измерений жесткости круговых колец SN , полученных с помощью метода сжатия на прессе, проводили по государственному стандарту [12]. Методика заключается в определении вертикальной нагрузки, действующей в поперечном направлении на кольцевой образец трубы, установленный между параллельными обжимными плитами. Результаты измерений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Кольцевая жесткость, измеренная на прессе			
Толщина стенки h , мм	Длина b	Диаметр D	Кольцевая жесткость SN , кН/м ²
	м		
25,27	0,3	1,05	50
23,27	0,3	1,40	37
9,973	0,3	1,15	3

Сопоставив результаты расчетов кольцевой жесткости SN с помощью данных акустического метода и результатов расчетов кольцевой жесткости по государственному стандарту на прессе, между полученными значениями можно установить корреляционную связь. Коэффициент корреляции между измерениями на прессе и акустическим методом находится в пределах значения 0,5.

Заключение

На основе теоретических и экспериментальных исследований сделан вывод, что данный акустический метод неразрушающего контроля может быть использован в производственных условиях для определения технических характеристик, а именно кольцевой жесткости, на средне- и крупногабаритных кольцах из ПКМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Каблов Е.Н. России нужны материалы нового поколения //Редкие земли. 2014. №3. С. 8–13.
3. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 09 (viam-works.ru).

4. Тимошков П.Н., Коган Д.И. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 07 (viam-works.ru).
5. Турченков В.А., Баранов Д.Е., Гагарин М.В., Шишкин М.Д. Методический подход к проведению экспертизы материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 47–53.
6. Рабинович А.Л. Введение в механику армированных полимеров. М.: Наука. 1970. 482 с.
7. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
8. Мурашов В.В., Румянцев А.Ф., Иванова Г.А., Файзрахманов Н.Г. Диагностика структуры, состава и свойств полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2008. №1. С. 17–24.
9. Мурашов В.В. Определение физико-механических характеристик и состава полимерных композиционных материалов акустическими методами //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 465–475.
10. Мурашов В.В. Неразрушающий контроль заготовок и деталей из углерод-углеродного композиционного материала для многоразового космического корабля «Буран» //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 05 (viam-works.ru).
11. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. М.: Физика. 1970. С. 263–265.
12. ГОСТ Р 54560–2011 Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Kablov E.N. Rossii nuzhny materialy novogo pokolenija [Materials of new generation are necessary to Russia] //Redkie zemli. 2014. №3. С. 8–13.
3. Sokolov I.I., Raskutin A.E. Ugleplastiki i stekloplastiki novogo pokolenija [Ugleplastiki and fibreglasses of new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4. Ст. 09 (viam-works.ru).

4. Timoshkov P.N., Kogan D.I. Sovremennye tehnologii proizvodstva polimernyh kompozicionnyh materialov novogo pokolenija [Modern production technologies of polymeric composite materials of new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 07 (viam-works.ru).
5. Turchenkov V.A., Baranov D.E., Gagarin M.V., Shishkin M.D. Metodicheskij podhod k prove-deniju jekspertizy materialov [Methodical approach to carrying out examination of materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 47–53.
6. Rabinovich A.L. Vvedenie v mehaniku armirovannyh polimerov [Introduction in mechanics of the reinforced polymers]. M.: Nauka. 1970. 482 s.
7. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry in aviation materials science] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
8. Murashov V.V., Rumjancev A.F., Ivanova G.A., Fajzrahmanov N.G. Diagnostika struktury, sostava i svojstv polimernyh kompozicionnyh materialov [Diagnostics of structure, structure and properties of polymeric composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2008. №1. S. 17–24.
9. Murashov V.V. Opredelenie fiziko-mehaničeskikh harakteristik i sostava polimernyh kompozicionnyh materialov akustičeskimi metodami [Definition of physicomechanical characteristics and composition of polymeric composite materials acoustic methods] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 465–475.
10. Murashov V.V. Nerazrushajushhij kontrol' zagotovok i detalej iz uglerod-uglerodnogo kompozicionnogo materiala dlja mnogorazovogo kosmičeskogo korablja «Buran» [Non-destructive testing of preparations and details from carbon-carbon composite material for the reusable «Buran» spacecraft] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 05 (viam-works.ru).
11. Savel'ev I.V. Kurs obshhij fiziki [Course the general physics]. T. 1. M.: Fizika. 1970. S. 263–265.
12. GOST R 54560–2011 Truby i detali truboprovodov iz reaktoplastov, armirovannyh steklovoloknom [Pipes and details of pipelines from the thermosets reinforced by fiber glass].