



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1109579** **A**

3(5D) G 01 B 7/24

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (21) 3553921/18-25
(22) 09.02.83
(46) 23.08.84. Бюл. № 31
(72) Р.Г.Пинчук, А.В.Рогачев,
В.В.Харитонов и В.Г.Пинчук
(71) Белорусский институт инженеров
железнодорожного транспорта
(53) 638.27.531.781(088.8)
(56) 1. Инютин И.С. Электротензо-
метрические измерения напряжений в
пластмассовых деталях. Ташкент,
Госиздат Узбекской ССР, 1961, с.3-50.
2. Галушко А.И. Измерение темпе-
ратуры стеклования полимеров методом
магнитоупругости. - "Пластические
массы", № 8, 1967, с. 38-43 (прото-
тип).

(54) (57). 1. СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРЕН-
НИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИ-
МЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ, включающий введе-
ние в образец чувствительного к меха-
ническим напряжениям элемента и ре-
гистрацию параметра этого элемента,

зависящего от внутренних напряжений,
отличающийся тем, что, с
целью упрощения способа и повышения
производительности, в качестве чувст-
вительного элемента используют мелко-
дисперсный ферромагнитный наполни-
тель с диаметром зерен $5 \cdot 10^{-6} - 10^{-4}$ м
в количестве 0,5-5 мас.ч., а в образце
путем внешнего нагружения создают
по наперед заданному закону одноос-
ные механические напряжения, при ко-
торых регистрируют резонансные частоты
сигналов ядерного магнитного ре-
зонанса импульсным когерентным мето-
дом на атомных ядрах ферромагнетика,
по величине которых и значениям внеш-
них напряжений определяют внутренние
напряжения.

2. Способ по п.1, отличаю-
щийся тем, что, с целью повыше-
ния точности измерений, в образце по-
следовательно создают одинаковые по
величине внешние механические напря-
жения сжатия и растяжения.

(19) **SU** (11) **1109579** **A**

Изобретение относится к материаловедению и преимущественно может быть использовано при конструировании, выпуске и эксплуатации деталей, узлов машин и механизмов, изготовляемых из композиционных полимерных материалов.

Известен способ проволоочной тензометрии для измерения внутренних напряжений в полимерных материалах, основанный на том, что о величине внутренних напряжений в образце судят по изменению сопротивления датчиков (проволоочных резисторов), внесенных в него перед отверждением [1].

Однако этот способ предъявляет высокие требования к выбору формы измерительной модели, отличается сложностью изготовления образцов и требует градуировку каждого отдельного датчика сопротивления.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности является способ измерения внутренних напряжений в композиционных полимерных материалах, включающий введение в образец чувствительного к механическим напряжениям элемента и регистрацию параметра этого элемента, зависящего от внутренних напряжений.

Способ заключается в том, что в отверждаемый полимерный образец помещается чувствительный к внутренним напряжениям элемент в виде ферромагнитного сердечника с обмоткой, необходимой для измерения магнитной проницаемости сердечника методом моста переменного тока, и по величине изменения магнитной проницаемости чувствительного элемента под действием внутренних напряжений в образце судят об их величине [2].

Однако известный способ имеет недостатки, связанные с изготовлением специального образца, включающего чувствительный элемент конечных размеров, который изменяет распределение и величину внутренних напряжений в образце.

Кроме того, способ обладает низкой производительностью, так как для его осуществления требуется предварительная градуировка каждого отдельного образца.

Цель изобретения — упрощение способа измерения внутренних напряжений и повышение его производительности.

Поставленная цель достигается тем, что согласно способу измерения внутренних напряжений в композиционных полимерных материалах, включающему введение в образец чувствительного к механическим напряжениям элемента и регистрацию параметра этого элемента, зависящего от внутренних напряжений, в качестве чувствительного элемента используют мелкодисперсный ферромагнитный наполнитель с диаметром зерен

$5 \cdot 10^{-8} - 10^{-4}$ м в количестве $0,5 - 5$ мас.ч., а в образце путем внешнего нагружения создают по наперед заданному закону одноосные механические напряжения, при которых регистрируют резонансные частоты сигналов ядерного магнитного резонанса импульсным когерентным методом на атомных ядрах ферромагнетика, по величине которых и значениям внешних напряжений определяют внутренние напряжения.

С целью повышения точности измерений, в образце последовательно создают одинаковые по величине внешние механические напряжения сжатия и растяжения.

Введение в образец мелкодисперсного ферромагнитного наполнителя позволяет использовать в качестве параметра, чувствительного к внутренним напряжениям, частоту резонансного поглощения ЯМР, величина которой определяется внутрикристаллическим локальным магнитным полем, зависящим от механических напряжений. Чувствительность используемого импульсного когерентного метода ЯМР достаточно высока и позволяет обнаружить в 1 см^3 образца $10^{14} - 10^{16}$ резонирующих ядер. Это составляет $(10^{-5} - 10^{-3})$ часть от всех атомов в 1 см^3 . Точность измерения резонансной частоты $0,005\%$. Мелкодисперсный ферромагнетик (дисперсностью $> 5 \cdot 10^{-6} - 10^{-4} \text{ м}$), являющийся чувствительным к внутренним напряжениям элементом, служит или в качестве наполнителя в изучаемом композиционном полимерном материале, или незначительной добавкой в количестве $0,5 - 5$ мас.ч. В изделиях или образцах, изготовленных из предлагаемого композиционного полимера, содержащего чувствительный элемент, имеют место внутренние напряжения, определяемые технологией изготовления и физико-химическими процессами при отверждении. Поместив изделие (образец) в радиочастотную катушку импульсного когерентного спектрометра ЯМР, можно измерить изменение резонансной частоты ЯМР (Δf), которое пропорционально величине внутренних напряжений в образце (σ_g), т.е. $\Delta f = \alpha \sigma_g$ (α — коэффициент, зависящий от дисперсности ферромагнетика и модулей упругости ферромагнетика и полимера).

Для исключения этой неизвестной величины (α) и нахождения истинных значений внутренних напряжений в образце согласно способу измеряется резонансная частота ЯМР при данной температуре T_0 (например, $T_0 = 295 \text{ К}$) на дисперсном ферромагнетике, используемом в качестве чувствительного элемента. Значение этой частоты f_0 ; измеряется резонансная частота ЯМР при той же температуре (T_0) на изделии (образце) при условии одно-

осных механических напряжений, наложенных на изделие (образец), величина которых известна и равна (ϵ_1). Значение измеренной частоты ЯМР (f_1), измеряется резонансная частота ЯМР при той же температуре (T_0) на изделии (образце) при условии большего, чем первое, одноосного механического напряжения, наложенного на изделие (образец). Величина внешнего механического напряжения известна и равна (ϵ_2). Значение измеренной частоты ЯМР (f_2); на основании проведенных исследований с достаточно высокой степенью точности можно предположить, что $f_1 = f_0 + \alpha(\epsilon_1 + \epsilon_2)$ и

$$f_2 = f_0 + \alpha(\epsilon_2 + \epsilon_3).$$

Решая эти два уравнения совместно, получим:

$$\epsilon_3 = \epsilon_2 \frac{1 - K_1/K_2}{K_1 - 1}, \quad (1)$$

где

$$K_1 = \frac{f_2 - f_0}{f_1 - f_0}; \quad K_2 = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

При осуществлении предлагаемого способа можно использовать внешние напряжения сжатия или растяжения. Однако, если в образце последовательно создавать одинаковые по величине напряжения сжатия и растяжения, то точность расчета повышается. Кроме этого, введение в различные области образца ферромагнитных материалов разной природы и регистрация резонансной частоты их атомов позволяют определить объемное распределение внутренних напряжений в образце.

Направление одноосного внешнего нагружения при исследованных его значениях практически не влияет на величину измеряемых внутренних напряжений. Для уменьшения погрешности его следует выбирать совпадающим с направлением внутренних напряжений, характер распределения которых определяется геометрическими формами образцов и для ряда тел (цилиндр, стержень) может быть достаточно точно и просто определен.

П р и м е р. Для осуществления способа изготовлены образцы (изделия) цилиндрической формы диаметром $1,5 \cdot 10^{-2}$ м и длиной $7 \cdot 10^{-2}$ м из композиции, включающей, мас.ч.: эпоксидная смола (ЭД-5) 100, отвердитель (гексаметилдиамин - ГМДА) 12, пластификатор (марка МГФ-9) 20, наполнитель (кварцевая мука) 0,20,40,60,80,100; чувствительный к внутренним напряжениям элемент (мелкодисперсный феррит марки ЗСЧ8) 1,5. Режим отверждения одинаков для всех образцов - $3,6 \cdot 10^3$ с при 295 К и далее $3,6 \cdot 10^4$ с при 345 К. Все измерения ЯМР проводились при 295 К. Резонансная частота сигнала ЯМР на атомных ядрах Fe^{57} в феррите марки ЗСЧ8 $NiFe_2O_4$ в мелкодисперсном состоянии составляет $f_0 = 67,82$ МГц независимо от того выдержан он при режиме отверждения или нет. Значения резонансных частот ЯМР на атомных ядрах Fe^{57} в мелкодисперсном феррите для отвержденных образцов при различных внешних одноосных напряжениях сжатия представлены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Величина внешнего напряжения $\epsilon_2 \cdot 10^{-5}$, Н/м ²	Значение резонансной частоты ЯМР (f_1), МГц, для образцов из композиционного материала с добавкой мелкодисперсного феррита, составляющего в образце 1 мас.ч. для различного содержания кварцевой муки (мас.ч.)					
	0	20	40	60	80	100
0	74,41	75,80	77,42	78,49	79,78	80,71
5	77,50	78,92	80,39	81,67	82,86	83,78
10	80,32	82,13	83,68	84,62	86,02	87,00
15	83,45	85,06	86,69	87,81	89,08	89,85
20	86,58	88,17	89,77	90,79	92,27	93,15

Рассчитанные внутренние напряжения в изделиях (образцах) на основа-

нии данных табл.1 по предложенной расчетной формуле (1) представлены в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Содержание наполнителя (кварцевая мука), мас.ч.	0	20	40	60	80	100
Величина внутренних напряжений в образ- це, $6 \cdot 10^{-5}$, Н/М ²	11,6	13,9	16,8	17,9	19,0	20,3

Полученные данные незначительно отличаются от данных для серии образцов с добавкой мелкодисперсного феррита в количестве 5 мас.ч., и эти различия находятся в пределах ошибки измерений. Анализ этих данных дает возможность утверждать, что внутренние напряжения в образцах из композиционного полимера возрастают с ростом содержания наполнителя (кварцевой муки), что согласуется с результатами, полученными методом магнитоупругих датчиков. Наблюдается также совпадение с численными значениями внутренних напряжений.

Таким образом, предлагаемый способ измерения внутренних напряжений в композиционных полимерных материалах по сравнению с известными способами существенно прост, так как исключается необходимость в специальной подготовке образцов для исследований, повышает производительность, так как для его осуществления не требуется предварительная градуировка каждого конкретного образца, повышает точность измерения в связи с устранением необходимости введения чувствительного элемента, который оказывает влияние на величину внутренних напряжений.

Составитель С.Рыков

Редактор Л.Гратилло Техред Т.Дубинчак

Корректор В.Гирняк

Заказ 6016/26

Тираж 587

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д.4/5

Филиал ППП "Патент", г.Ужгород, ул.Проектная, 5