



Коробко Е. В.
Новикова З. А.
Кузьмин В. А.
Сермяжко Е.
Евсеева Л.

*Институт тепло-и
массообмена
им. А.В. Лыкова
Национальной академии
наук Беларуси*

Korobko E. V.
Novikova Z. A.
Kuzmin V. A.
Sermiyazhko E.
Evseeva L.

*A.V. Luikov Heat and
Mass Transfer Institute
of the National Academy
of Sciences of Belarus*

УДК 621

ВЯЗКОУПРУГИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

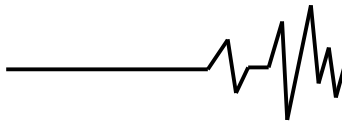
В данной статье изложены материалы по изучению механического поведения адаптивных композиционных полимерных материалов, наполненных магнитными частицами, создающими структуры под действием внешнего магнитного поля.

Ключевые слова. магнитное поле, композиционные полимерные материалы, матрица, сдвиговая деформация, модель сдвига.

Введение. Настоящая работа посвящена изучению механического поведения адаптивных композиционных полимерных материалов (АКПМ), наполненных магнитными частицами, создающими структуры под действием внешнего магнитного поля [1-3]. Их механическое поведение определяется комбинацией упругих свойств полимерной матрицы и магнитных свойств частиц, распределенных внутри этой матрицы. Если частицы являются ферромагнитными и имеют собственный магнитный момент, образование столбчатых структур внутри полимера соответствует более выгодному энергетическому состоянию. Сдвиговая деформация полимерного композита в присутствии магнитного поля вызывает смещение частиц из их равновесного состояния и требует дополнительных энергетических затрат, тем больших, чем выше интенсивность внешнего магнитного воздействия.

Основной материал. В работе исследовано влияние материала полимерной

матрицы и ориентации внутри нее столбчатых структур ферромагнитных частиц на вязкоупругие свойства АКПМ. Матрицами служили двухкомпонентные полисульфидный (матрица-1) и полиуретановый (матрица-2) полимеры. Магниточувствительные частицы карбонильного железа (15 об. %) вводили в матрицу и формировали слои АКПМ между фторопластовыми пластинами, используя ограничители толщины слоя в 1,3 мм. Полимеризацию проводили в течение трех часов при температуре 20 °С, как вне магнитного поля (АКПМ-1-1 и АКПМ-1-2), так и в магнитном поле, направленном параллельно поверхности слоя (АКПМ-2-1 и АКПМ-2-2), или перпендикулярно (АКПМ-3-1 и АКПМ-3-2), напряженностью $H = 300$ кА/м. Далее были изготовлены плоские образцы диаметром 20 мм и исследованы их вязкоупругие свойства с помощью реометра "Physica MCR 301" в измерительной ячейке типа пластина – пластина в режиме периодического (синусоидального) деформирования образцов в горизонтальной плоскости (величина



внешней нормальной силы равна $F_N = 0,42$ Н). Определены компоненты комплексного модуля сдвига (модуль накопления G' и модуль потерь G'') (табл. 1, 2) в зависимости от деформации ϵ

при частоте 10 Гц в диапазоне амплитуд $0,001 \div 0,1$ в магнитном поле индукцией $B = 0 \div 1000$ мТл, направленном перпендикулярно плоскости образца.

Таблица 1

| Параметры $\epsilon = 0,001\%$ | Образцы адаптивных композиционных слоёв | | | | | | Матрица №1 полисульфидная |
|-----------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------|
| | АКПМ-2-1 | | АКПМ-3-1 | | АКПМ-1-1 | | |
| | 0 Тл | 1 Тл | 0 Тл | 1 Тл | 0 Тл | 1 Тл | |
| G' , Па | $1,5 \cdot 10^5$ | $5,2 \cdot 10^5$ | $8,5 \cdot 10^5$ | $1,6 \cdot 10^6$ | $3,9 \cdot 10^5$ | $5,5 \cdot 10^5$ | $2,7 \cdot 10^5$ |
| G'' , Па | $2,1 \cdot 10^4$ | $1,1 \cdot 10^5$ | $1,6 \cdot 10^5$ | $2,6 \cdot 10^5$ | $8,2 \cdot 10^4$ | $1,1 \cdot 10^5$ | $5,2 \cdot 10^4$ |

Таблица 2

| Параметры $\epsilon = 0,001\%$ | Образцы адаптивных композиционных слоёв | | | | | | Матрица №2 полиуретановая |
|-----------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------|
| | АКПМ-2-2 | | АКПМ-3-2 | | АКПМ-1-2 | | |
| | 0 Тл | 1 Тл | 0 Тл | 1 Тл | 0 Тл | 1 Тл | |
| G' , Па | $2,4 \cdot 10^5$ | $3,6 \cdot 10^5$ | $2,2 \cdot 10^5$ | $3,1 \cdot 10^5$ | $3,5 \cdot 10^5$ | $6,6 \cdot 10^5$ | $1,9 \cdot 10^5$ |
| G'' , Па | $4,2 \cdot 10^4$ | $6,2 \cdot 10^4$ | $2,7 \cdot 10^4$ | $4,7 \cdot 10^4$ | $6,0 \cdot 10^4$ | $3,2 \cdot 10^5$ | $3,3 \cdot 10^4$ |

Из рис. 1 видно, что наибольшее увеличение модуля упругости G' и модуля потерь G'' в магнитном поле фиксируется у образца АКПМ-2-1, сформированного в поле,

параллельном поверхности образца. Так, в магнитном поле индукцией $B = 1$ Тл значения G' в 3-4 раза больше, а значения G'' в 6 раз больше, чем вне поля.

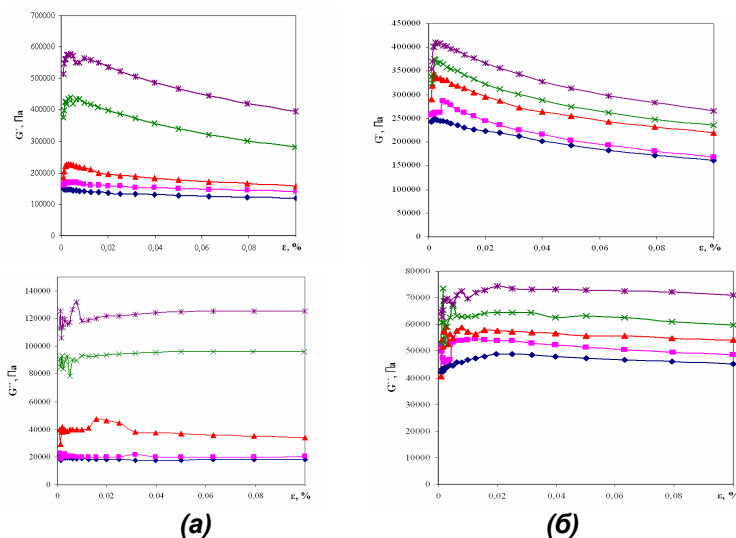
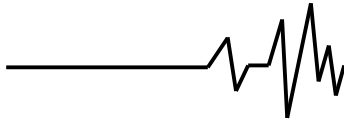


Рис. 1. Зависимости модулей упругости G' (а) и потерь G'' (б) от деформации ϵ для слоев: (а) АКПМ-2-1 и (б) АКПМ-2-2 при индукциях магнитного поля (\diamond -0, \blacksquare -300, \blacktriangle -500, \times -700, $*$ -1000 мТл)

В то время, как у образца АКПМ-3-1 при поле, перпендикулярном поверхности образца, G' увеличивается в 2-2,5 раза, а G'' – в 1,8 раза. У образца АКПМ-1-1, сформированного вне магнитного поля, показатели увеличивается только в 1,5 раза. Значения G' и G'' ненаполненной полиуретановой матрицы ниже, чем полисульфидной. Характер изменения G' и G'' в зависимости от условий деформирования, при изменении индукции магнитного поля одинаков у образцов на основе обеих матриц.

Термофизические свойства адаптивных композиционных материалов измерены на динамическом калориметре ИТ-λ-400, позволяющем определять коэффициент теплопроводности с погрешностью 5–7%, в диапазоне температур 25–75 °С. В табл. представлены коэффициенты теплопроводности слоев на основе полисульфидной матрицы.



Таблиця 3

| T, °C | λ , Вт/(м·К) Q перпендикулярен S образца | | | |
|-------|--|------|------------|-----------|
| | Матрица | H=0 | H парал. S | H перп. S |
| 25 | 0,52 | 0,86 | 0,79 | 1,00 |
| 50 | 0,50 | 0,83 | 0,74 | 1,09 |
| 75 | 0,49 | 0,83 | 0,73 | 0,95 |

Выводы. Установлено, что коэффициент теплопроводности образцов снижается с увеличением температуры в диапазоне 25–75°C как для чистой полимерной матрицы, так и для наполненных слоев независимо от ориентации структур на 4–7%. Коэффициент теплопроводности для образцов с магнитными наполнителями λ существенно выше, что обусловлено большей теплопроводностью металлических магнитных частиц. Наибольшие значения коэффициента теплопроводности показывают композиционные материалы с перпендикулярной ориентацией структур, поскольку в этом случае ориентация совпадает с направлением теплового потока.

Список использованных источников

1. Jolly M., Carlson J., Munoz B. The magneto viscoelastic response of elastomer composites consisting of ferrous particles embedded in a polymer matrix // J. of Intelligent Materials Systems and Structures. 1996. – № 7. – Pp. 613–622.
2. Gong X., Zhang X., Zhang P. Fabrication & characterization of isotropic magnetorheological elastomers // Polym. Test. 2005. – Vol. 24. № 5. – Pp. 669–676.
3. Никитин Л., Миронова Л., Корнев К., Степанов Г. Магнитные, упругие, структурные и магнитодеформационные свойства магнитоэластиков // Молекулярные соединения, серия А. 2004. – Том 46. № 3. – С. 498–509.

Список источников в транслитерации

1. Jolly M., Carlson J., Munoz B. The magneto viscoelastic response of elastomer composites consisting of ferrous particles embedded in a polymer matrix // J. of Intelligent

Materials Systems and Structures. 1996. – № 7. – Pp. 613–622.

2. Gong X., Zhang X., Zhang P. Fabrication & characterization of isotropic magnetorheological elastomers // Polym. Test. 2005. – Vol. 24. № 5. – Pp. 669–676.

3. Nikitin L., Mironova L., Kornev K., Stepanov G. Magnitnyye, uprugiyе, strukturnyye i magnitodeformatsionnyye svoystva magnitoelastikov // Molekulyarnyye soyedineniya, seriya A. 2004 – Tom 46. № 3. – S. 498–509.

В'ЯЗКОПРУЖНІ І ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНІТОЧУТЛИВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ

Анотація. У даній статті викладені матеріали з вивчення механічної поведінки адаптивних композиційних полімерних матеріалів, наповнених магнітними частинками, що створюють структури під дією зовнішнього магнітного поля.

Ключові слова: магнітне поле, композиційні полімерні матеріали, матриця, зсувна деформація, модель зсуву.

VISCOELASTIC AND THERMAL CHARACTERISTICS OF MAGNETICALLY COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYMER MATRICES

Annotation. This article describes the materials for the study of the mechanical behavior of adaptive composite polymeric materials filled with magnetic particles to create a structure under the influence of an external magnetic field.

Key words: magnetic field, the composite polymeric material matrix, shear deformation, shift model.