ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

УДК 620.172.22 : 678

doi:10.20998/2413-4295.2016.18.08

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОРТОТРОПНИХ ПРУЖНИХ І В'ЯЗКОПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛАСТОВИМІРНИХ ТЕКСТИЛЬНО АРМОВАНИХ КОМПОЗИТІВ

О. О. ЛАРІН *, Ю. А. ПЕТРОВА

Кафедра динаміки та міцності машин, Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», Харків, УКРАЇНА
**email: AlexeyA.Larin@gmail.com*

АНОТАЦІЯ *Стаття присвячена дослідженню пружних і в'язкопружних властивостей еластовимірних композиційних матеріалів шляхом проведення експериментальних випробувань. Дані композити мають односпрямоване армування текстильним кордом. Експерименти проводилися в різних напрямках (повздовжнє і поперечне щодо корду). Зразки циклічно навантажувались з різними амплітудами деформацій. Це дозволило оцінити гістерезисна втрати, а також початкові модулі пружності та модулі втрат матеріалу в стабілізованому стані. Модуль втрат оцінюється в залежності від амплітуди деформації в різних напрямках.*
Ключові слова: *еластовимірні композити, пружні і в'язкопружні властивості, експериментальне дослідження*

EXPERIMENTAL OBSERVATIONS OF ORTHOTROPIC ELASTIC AND VISCOELASTIC CHARACTERISTICS OF THE ELASTOMERIC TEXTILE REINFORCED COMPOSITES

O. O. LARIN*, Ju. A. PETROVA

Dynamics and strength of machines department, National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT *The paper deals with investigation elastic and viscoelastic properties of elastomeric composites by experimental tests. The composites has a textile unidirectional reinforcement. A displacement control load has been posed i.e. fixed values of strains has been set for specimen. Thus, an occurring effort has been measured. Quasi-static loading was applied to specimen. The results are automatically recorded, for each test in real time that gives a possibility to obtain detailed deformation curves of the material. Tests have been carried out in three principal directions: tensile test along reinforcement textile cord, tensile test across the reinforcement, and the test on compression of a plate in the direction perpendicular to the plane of the composite reinforcement.*
The experiments have been carried out under a cyclic loading with different amplitudes. The experiments have been conducted with strain sweep 2% and 5%. Engineering evaluation for the average initial modulus for this material has been also defined in each principal direction of the composite.
The available experimental data allows to determine the area of the hysteresis loop by numerical integration for cycles. These results allows to estimate the viscous component of the deformation of rubber-cord composite. Appropriate experimental observations have been carried out with different amplitudes of loading in different directions. Thus, a loss modulus is evaluated depending on strain amplitude in different loading directions.
Keywords*: elastomeric composites, elastic and viscoelastic properties, experimental observations.*

Вступ

Еластовимірні композити широко використовуються у сучасній інженерній практиці. Велика кількість армованих еластовимерів складається з гумової матриці посиленої текстильними волокнами. Наявність арматури призводить до ортотропії механічних властивостей. Крім того, існує внутрішня локалізація напружено-деформованого стану у відповідних елементах, що ускладнює оцінку їх надійності [1-5].

Проте, теоретичне моделювання надійності, функціональності і довговічності інженерних конструкцій з армованими шарами з композиційних матеріалів неможливе з розглядом їх внутрішньої структури в явному вигляді. Для вирішення подібних задач використовуються спрощені моделі. При цьому, зазвичай, композитні шари вважаються однорідними з усередненими властивостями, так що особливостями внутрішньої структури нехтують. Тому, визначення усереднених механічних характеристик відповідних матеріалів є актуальною науковою і практичною задачею.

Для армованих еластовимірних композиційних матеріалів пружні і в'язкопружні властивості, а також міцність слід розглядати як ортотропні. Визначення констант ортотропних матеріалів армування композиційних матеріалів можна проводити теоретично за допомогою феноменологічних моделей (наприклад, правило суміші Хелпін-Тсай) [6, 7] або ж вони можуть бути знайдені за допомогою комп'ютерного моделювання, проведеного з

© О. О. ЛАРІН, Ю. А. ПЕТРОВА, 2016

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

презентативним об'ємом моделі композитів, який в явному вигляді враховує його внутрішню структуру [8]. Іншим способом визначення відповідних характеристик композиційного матеріалу є експериментальні випробування. Нажаль, досить важко визначити всі константи ортотропного матеріалу за допомогою експериментів. Проте, основні характеристики (три основних напрямки) точно можна визначити.

Основною метою роботи є проведення експериментального дослідження для визначення пружних характеристик і параметрів міцності композиційного матеріалу, який складається з гумової матриці і має текстильний односпрямований корд. Випробування були проведені в трьох основних напрямках: випробування на розтягнення уздовж текстильного корду, розтягнення впоперек арматури, а також випробування на стискання пластини в напрямку, перпендикулярному до площини армування.

Методологія експериментальних досліджень

Визначення кривих деформування проводилися з використанням спеціалізованого вимірювального комплексу Zwick / Roell Z100. Геометрія зразків відповідає стандартам для механічних випробувань гумоподібних матеріалів і гумо-кордних композитів ISO 527-2 1A.

Зразки мали такі геометричні параметри: фактична товщина: 10 ± 0,1 мм; ширина: 10 мм; довжина робочої частини: 80 мм; Загальна довжина: 150 мм. Товщина зразків мала варіацію 1% через технологічні допуски, які існують у виробництві композитних листів. Інші параметри мають точні значення, тому що всі зразки були отримані шляхом їх вирубування один і тим самим штампом зі стандартним розміром. На рис. 1 показаний схематичне креслення геометрії зразка.

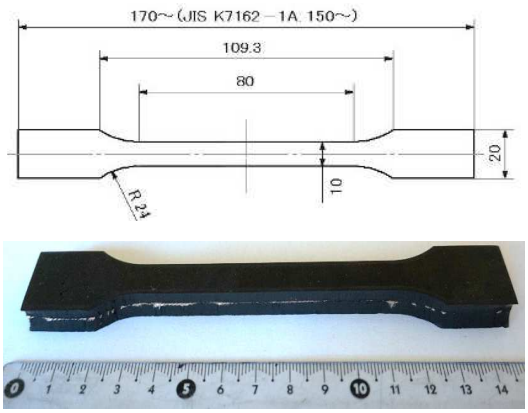


Рис. 1 – Геометрія зразків для випробувань

Зразки були жорстко закріплені за допомогою механічних затискачів, як показано на рис. 2. В якості навантаження задавалося переміщення тобто фіксовані значення деформацій були встановлені для зразків. За допомогою стандартних датчиків вимірювалися зусилля, які виникали в нижніх затискачах (максимальне зусилля, яке може виміряти дана машина складає 10 кН ± 0,01 N). Навантаження було квазістатичне зі швидкістю деформації 100 %/хв. Результати автоматично записувались для кожного тесту в режимі реального часу кожні 0,1 секунди. В ході випробувань зразки були навантаженні циклічно з фіксованими рівнями деформації, що дозволяє визначати пружні та в'язкопружні властивості таких матеріалів в стабілізованому стані. Кожен експеримент проводили щонайменше 3 рази, щоб перевірити повторюваність результатів. Результати випробувань були отримані в трьох основних напрямах.

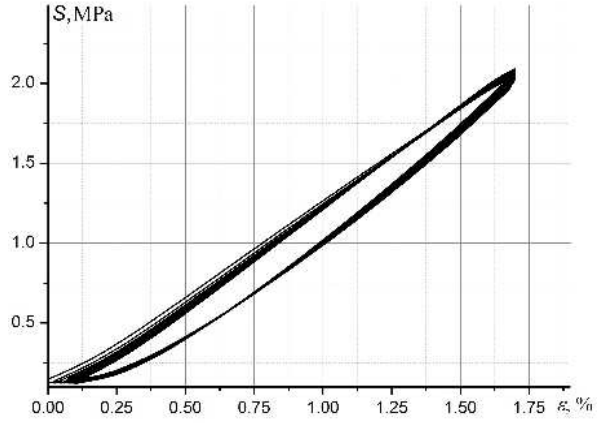
Рис. 2 – Фіксація зразків для випробувань в установці

Визначення пружних властивостей матеріалу

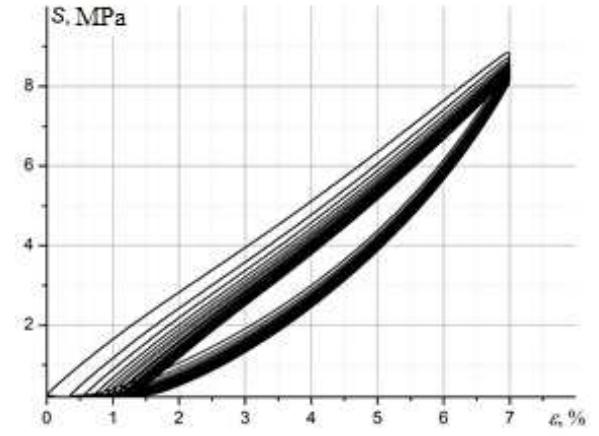
Для оцінки пружних властивостей стабілізованих матеріалів зразки піддавались циклічному деформуванню з фіксованою амплітудою деформацій. Було проведено 50 циклів. Експерименти було проведено із розмахом деформацій 5 % та 10 %. Інженерна оцінка для початкового усередненого модуля для цього матеріалу 140 МПа (розраховано на деформації на рівні 5%).

Характерні криві деформації, які були отримані в цих тестах, представлені на рис. 3. Результати показують майже лінійну поведінку композиту. Слід зазначити, що мав місце незначний ефект Маліна. У той же час слід підкреслити, що в даному випадку цей ефект не досліджується і всі властивості визначаються для матеріалів в стабілізованому стані.

Так само, як і в попередньому випадку, досліджувались пружні характеристики композиційного матеріалу в напрямку, ортогональному відносно арматури. Експерименти проводилися також із розмахом деформацій 5 % та 10 %. Інженерна оцінка для усередненого початкового модуля для цього матеріалу 11,5 МПа а (розраховано на деформації на рівні 5%). Характерні криві деформації, які були отримані в цих тестах, представлені на рис. 4.

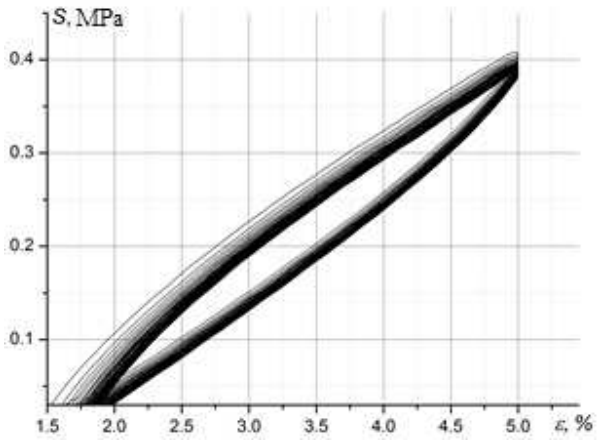


а)

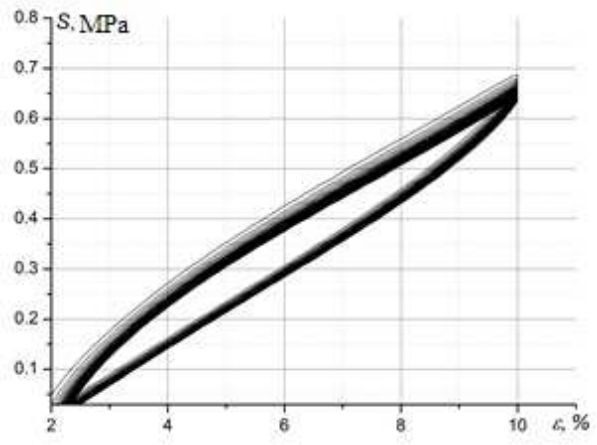


б)

Рис. 3 – Крива деформування зразків еластовимірних композитів (стабілізований стан) у напрямку армування на різних рівнях амплітуд деформації



а)



б)

Рис. 4 – Крива деформування зразків еластовимірних композитів (стабілізований стан) у напрямку перпендикулярному до армування на різних рівнях амплітуд деформації

В роботі окремо було розглянуто ряд експериментів, що дозволяють визначити пружні властивості композиційного матеріалу в напрямку, перпендикулярному до армуванню. Використовуючи квадратну плоску композитну пластину 50 х 50 мм з товщиною 10 мм було проведено відповідні вимірювання. Зразок затискався між двома металевими пластинами, причому його поверхня була попередньо змазана спеціальною графітовою пастою, яка забезпечує вільне ковзання по поверхні. І, таким чином, він не дає ніяких обмежень на деформації зразка в площині, перпендикулярній до навантаження.

Пружні властивості зразків при стисканні в напрямку, перпендикулярному до площини армування, були визначені з серії випробувань при циклічному деформуванні з фіксованим рівнем деформацій (50 циклів). Експерименти проводилися для амплітуд деформацій 3%, 5%, 10% і 15%. Інженерна оцінка усередненого початкового модуля пружності матеріалу в напрямку, перпендикулярному до площини армування 15 МПа (в розрахунку на деформаціях 5%). Характерні криві деформації, які були отримані в ході цих випробувань, представлені на рис. 5.

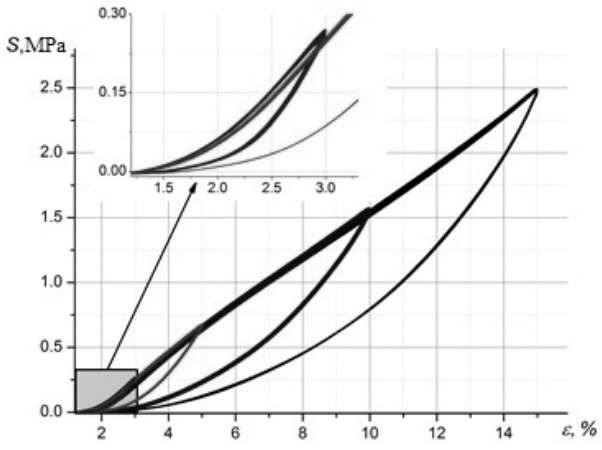


Рис. 5 – Крива деформування зразків еластовимірних композитів (стабілізований стан) при стисканні у площині перпендикулярній до армування на різних рівнях амплітуд деформації

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Визначення в'язкопружних властивостей композиту

Результати, що були отримані в ході експериментів з циклічним навантаженням дозволяють оцінити в'язку складову деформації гумо-кордного композиту. Наявні експериментальні дані дозволяють визначити площу петлі гістерезису за допомогою чисельного інтегрування для циклів з різними амплітудами навантаження в різних напрямках (рис.6).

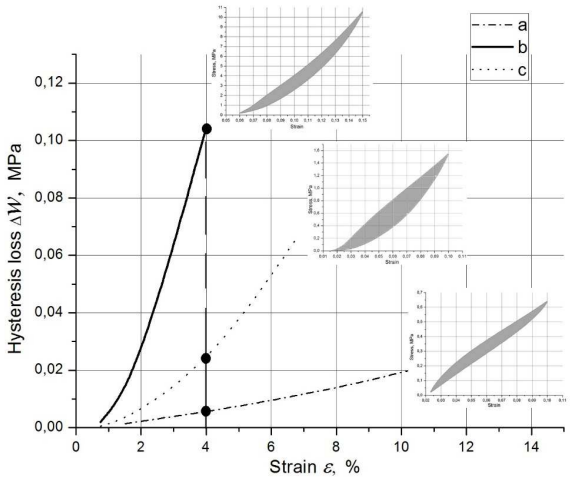


Рис. 6 – Криві гістерезисних втрат у 3-х основних напрямах (a – розтягнення впоперек волокон, b – розтягнення повздовж волокон, c- стикання у площині перпендикулярній до напрямку волокон)

Модуль втрат визначається з площі петель гістерезису для квазігармонічного навантаження (рис. 7):

$$\widetilde{E} = \frac{\Delta W}{\pi \cdot \varepsilon_1^2}, \qquad (2)$$

де ΔW – площа петель гістерезису, яка була визначена з експериментальних кривих деформування при циклічному навантаження зразків, ε_1 – амплітуда деформацій.

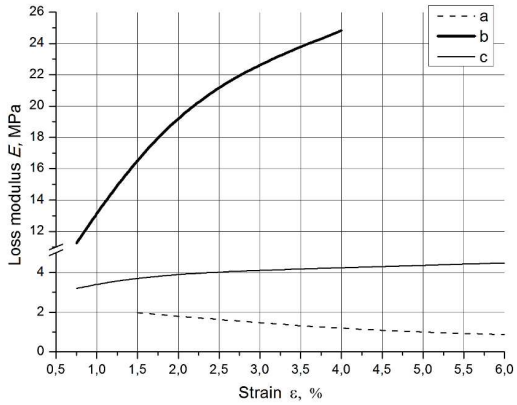


Рис. 7 – Криві залежності модулю втрат від амплітуди деформацій в 3х основних напрямах

Висновки

У статті розглядаються дослідження пов'язані з визначенням пружних і вязкопружних гумо-кордного композиційного матеріалу в трьох основних напрямах: випробування на розтягнення уздовж текстильного корду, випробування на розтягнення поперек текстильного корду і випробування на стиск в площині, перпендикулярній до армуванню.

Результати показали, що наявність внутрішньої арматури призводить до високої концентрації внутрішніх напружень і деформацій в місцях, де є корд.

На основі результатів досліджень була отримана усереднена оцінка початкових модуля пружності та модуля втрат в трьох основних напрямках для композитних еластовимірів.

Список літератури

1 **Noda, N. A.** Effect of dimensions of crimped portion upon sealing performance of hydraulic brake hose by applying three-dimensional fem analysis / **N. A. Noda, B. Kim, K. Ota** // *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*. – 2013. – V. 7, No. 2. – P. 281-292. – doi:10.1299/kikaia.77.1828.

2 **Luo, Y**. Numerical investigation of nonlinear properties of a rubber absorber in rail fastening systems / **Y. Luo, Y. Liu, H. P. Yin** // *International Journal of Mechanical Sciences*. – 2013. – V. 69. – P. 107-113. – doi:10.1016/j.ijmecsci.2013.01.034.

3 **Polukoshko, S.** Vibration damping using laminated elastomeric structures / **S. Polukoshko, V. Gonca, J. Svabs** // *Solid State Phenomena*. – 2015. – V. 220-221. – P. 81-90. –doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.220-221.81.

4 **Suh, J. B.** Shear of rubber tube springs / **J. B. Suh, A. N. Gent, S. G. Kelly** // *Int. Journal of Non-Linear Mechanics*. – 2007. – V. 42, No. 9. – P. 1116-1126. – doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2007.07.002.

5 **Brinkmeier, M.** Finite element analysis of rolling tires a state of the art review / **M. Brinkmeier, U. Nackenhorst, M. Ziefle** //In: *Proceedings of International CTI Conference «Automotive Tire Technology»*. Stuttgart. – 2007. – P. 1-10.

6 **Clark, S. K.** The pneumatic tire / Ed. by **Clark S. K.** // *National Highway Traffic Safety Administration*. USA Dep. Of Transportation. – 2006. – 707 p.

7 **Pelc, J.** Material modelling in cord-rubber structures / **J. Pelc** // *Kautschuk Gummi Kunststoffe. Jahrgang*. – 2000. – No. 10. – P. 561-565.

8 **Larin, O.** Two-scale approach to modelling of pneumatic tyres / **O. Larin, Yu. Petrova, V. Mateichyk** // Rzeszow: *Politechnika Pzeszowska Im. Ignacego Lukasiewicza*. – 2013. – P. 123-128.

Bibliography (transliterated)

1 **Noda, N. A., Kim, B., Ota, K.** Effect of dimensions of crimped portion upon sealing performance of hydraulic brake hose by applying three-dimensional fem analysis. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*. 2013, **2**(7), 281-292, doi:10.1299/kikaia.77.1828

2 **Luo, Y., Liu, Y., Yin, H. P.** Numerical investigation of nonlinear properties of a rubber absorber in rail fastening

systems. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2013, **69**, 107-113, doi:10.1016/j.ijmecsci.2013.01.034.

3 **Polukoshko, S., Gonca, V., Svabs, J.** Vibration damping using laminated elastomeric structures. *Solid State Phenomena*, 2015, **220-221**, 81-90, doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.220-221.81.

4 **Suh, J. B., Gent, A. N., Kelly, S. G.** Shear of rubber tube springs. *Int. Journal of Non-Linear Mechanics*, 2007, 9(42), 1116-1126.

5 **Brinkmeier, M., Nackenhorst, U., Ziefle, M.** Finite element analysis of rolling tires a state of the art review. In: *Proceedings of International CTI Conference «Automotive Tire Technology»*, Stuttgart, 2007, 1-10.

6 **Clark, S. K.** The pneumatic tire. *National Highway Traffic Safety Administration*. USA Dep. Of Transportation, 2006, 707 p.

7 **Pelc, J.** Material modelling in cord-rubber structures. *Kautschuk Gummi Kunststoffe. Jahrgang*, 2000, **10**, 561-565.

8 **Larin, O., Petrova, Yu., Mateichyk, V.** Two-scale approach to modelling of pneumatic tyres. *Rzeszow: Politechnika Pzeszowska Im. Ignacego Lukasiewicza*, 2013, 123-128.

Відомості про авторів (About authors)

Ларін Олексій Олександрович – доц., к.т.н. доцент. кафедри динаміки та міцності машин, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

Oleksiy Larin – Docent, Associate Professor, Department of Dynamics and Strength of Machines National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Петрова Юлія Андріївна, аспірант кафедри динаміки та міцності машин, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Julia Petrova – PhD student, Department of Dynamics and Strength of Machines National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ларін, О. О. Експериментальні дослідження ортотропних пружних і в'язкопружних характеристик еластовимірних текстильно армованих композитів / **О. О. Ларін, Ю. А. Петрова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 55-59. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.08.

Please cite this article as:

Larin, O., Petrova, Ju. Experimental observations of orthotropic elastic and viscoelastic characteristics of the elastomeric textile reinforced composites. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **18** (1190), 55-59, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.08.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ларин, А. А. Экспериментальные исследования ортотропных упругих и вязкоупругих характеристик еластомерных текстильно армированых композитов / А. А. Ларин, Ю.А. Петрова // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 55-59. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.08.

АННОТАЦИЯ *Статья посвящена исследованию упругих и вязкоупругих свойств еластомерных композиционных материалов путем проведения экспериментальных тестов. Данные композиты имеют однонаправленное армирование текстильным кордом. Эксперименты проводились в разных направлениях (продольное и поперечное по корду). Образцы циклически нагружались с разными амплитудами деформаций. Это позволило оценить гистерезисные потери, а также начальные модули упругости и модули потерь материала в стабилизированном состоянии. Модуль потерь оценивается в зависимости от амплитуды деформации в различных направлениях.*

Ключевые слова: *еластомерные композиты, упругие и вязкоупругие свойства, экспериментальное исследование*

Надійшла (received) 17.05.2016