

Изпитване на кръглоплетен плат от гладка еднолицева плетка при двумерно многоциклово натоварване на опън в областта на малките опънови сили до гранично удължение: експериментални резултати

Даниела Софронова

Абстракт: В настоящия доклад обект на разглеждане е кръглоплетен плат от гладка еднолицева плетка, подложена на експериментално изследване при двумерно многоциклово натоварване на опън до гранично удължение. Изпитванията са проведени с кръстообразна форма на опитния образец при едновременно прилагане на сили на опън по бримков ред и бримков стълб посредством изработен от автора стенд. Снемането на хистерезисните криви е осъществено чрез многосензорна измервателна система. Дефинирани са още основните параметри, илюстриращи механичното поведение на бримковите структури при двумерно натоварване в областта на малките опънови сили, които могат да бъдат извлечени от получените хистерезисни криви.

Ключови думи: изпитване, двумерно натоварване, малки опънови сили, гладка еднолицева плетка, гранично удължение

Experimental Testing the Circular Knitted Fabric of Single Jersey by Biaxial Cycle Loading with Low Tensile Forces to Limit Extension: Experimental Results

Daniela Sofronova

Abstract: In the present work a circular knitted fabric of single jersey is subjected, submitted to experimental study in two-dimensional cycle tensile load up to limit extension. Tests were carried out with a cruciform shape of the specimen while simultaneously applying tensile forces at the courses and the wales, as to capturing of hysteresis curves is accomplished via a multi-measuring system. The main parameters illustrating the mechanical behavior of structures in two-dimensional tensile load that can be derived from hysteresis curves are defined.

Key words: experimental testing, biaxial cycle loading, single jersey, limit extension

Въведение

Настоящият доклад е продължение на [1], чиято основна цел е графично представяне и анализиране на получените експериментални резултати при двумерно многоциклово натоварване на опън до гранично удължение на кръглоплетен плат от гладка еднолицева плетка.

Експериментална процедура

Материали

Провеждането на експерименталните изследвания са осъществени с кръглоплетен плат от гладка еднолицева плетка с линейна плътност на преждата 20 tex . Площната маса на плетения плат е 157 g/m^2 , дължината на нишката в бримка $l = 2.8 \text{ mm}$, линейният модул $m_l = 22$, а гъстините по хоризонтала и вертикала са съответно $P_A = 140 \text{ бр. бр. ст./10 cm}$ и $P_B = 192 \text{ бр. бр. п./10 cm}$.

Условия на изпитване

Съществуват различни експериментални техники и форми на опитните образци за осъществяване на двумерно напрегнато състояние, които биха могли да бъдат разделени в две основни категории [10]. Към първата група спадат тези, при които натоварването е реализирано посредством една натоварваща система, поради което съотношението на опъновите сили зависи от геометрията и размерите на пробата, което се явява и техен основен недостатък. Към втората група натоварването се осъществява с две или повече независими натоварващи системи. В настоящия случай за осъществяване на експерименталното изследване е използван стенд с активна контролна система, описан в [3, 4, 5, 6], за който е характерно, че се отнася към втората група техники.

В [3, 6] са разгледани също възможните варианти за форми на опитните образци. При кръстообразна форма уредът трябва да отговаря на няколко изисквания: приложените скорости на движение по двете направления трябва да са напълно идентични, за да се избегне фалшиво срязване или възникване на огъващи сили; наложените ограничения по двете оси трябва да се гарантирано непроменящи се по време на изпитването; центърът на образца трябва да остане на изходното си положение или осите трябва да се преместват с него. Ефективни методи за осигуряване на тези условия са чрез активна контролна система или чрез пасивни механични методи.

Габаритните размери на пробите са $170 \times 170 \text{ mm}$ (L_2) като се предвиждат по 20 mm от всяка страна за закачане между челюстите на стенда (виж фиг. 1).

Определянето на площната маса на изследваните плетени структури е осъществено по БДС EN 12127:1999, съгласно който е необходимо да бъдат извършени измервания на масата на опитни образци с размери $100 \times 100 \text{ mm}$. Измерването е реализирано с дигитална везна с точност до $0,001 \text{ g}$.

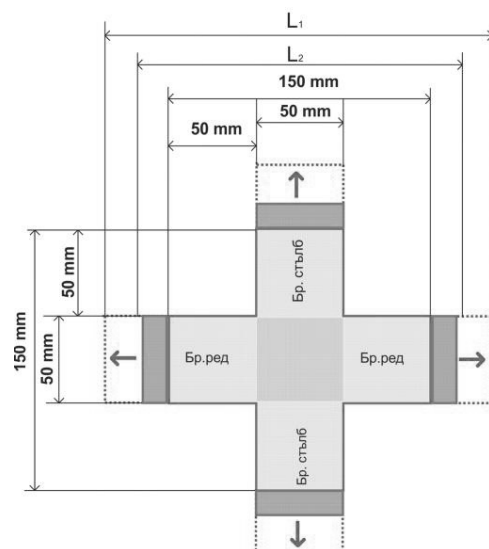
Теоретично възможните варианти на двумерно многоциклово натоварване са описани в [3]. В настоящия доклад ще бъдат разгледан само един вариант на натоварване, а именно този, при който натоварването е осъществено едновременно по две направления, т.нар. чисто двумерно натоварване и то до достигане на гранично удължение. Зададеното гранично абсолютно удължение е 18 mm , което е дефинирано в [3], а в [7] се препоръчва опитните образци да се удължават до 35% от първоначалната си дължина за слабо деформируемите плетени структури, но при осъществяване на едномерно натоварване. При едновременно прилагане на сили на опън по ред и стълб, дори при 12% удължение, регистрираните сили са над 5 N .

Резултати

Резултати от проведените експериментални изследвания са разделени в две групи съгласно регистрираните сили и удължения по направление на бримковите редове и бримковите стълбове.

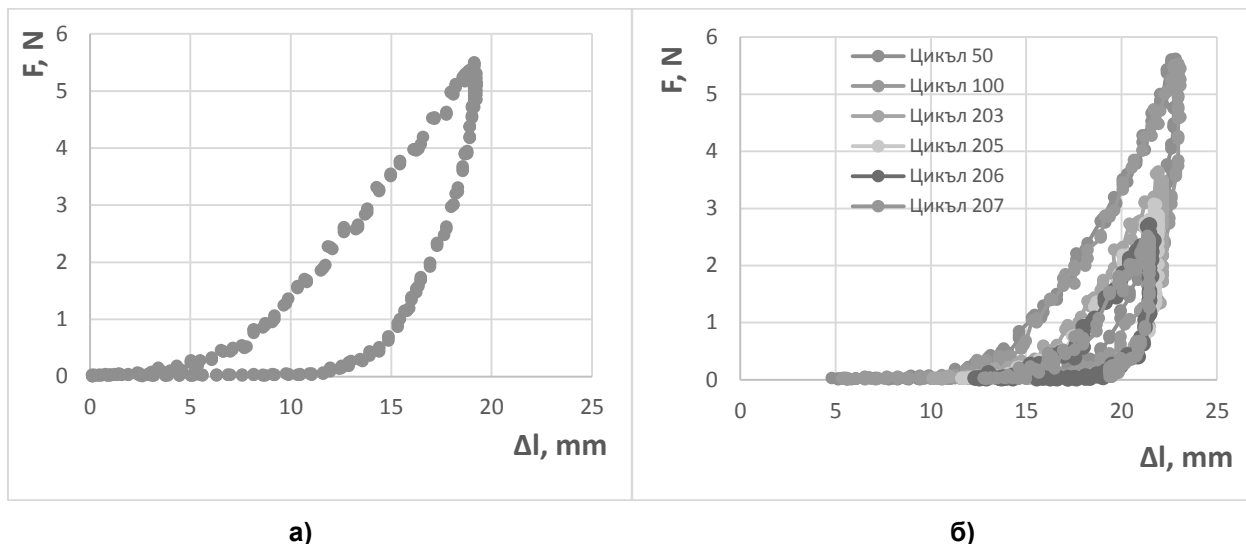
А) Хистерезисни криви по бримков ред

Броят на извършените опити е 5 като примерните графики сила-абсолютно удължение по бримков ред са представени на фиг. 2 и фиг. 3. При анализиране на хистерезисните



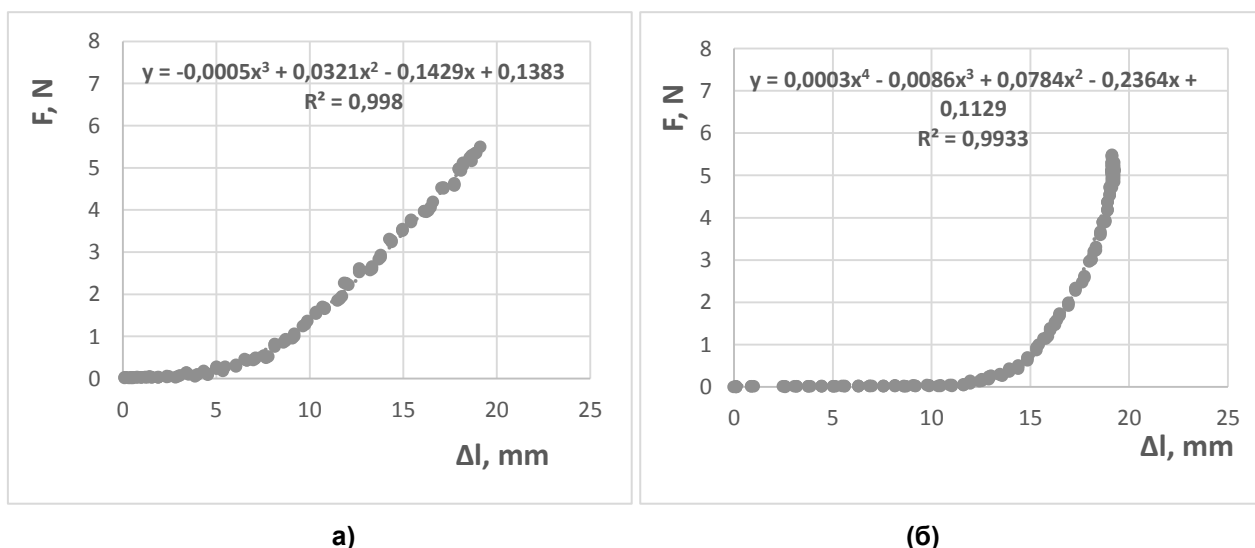
Фиг. 1 Кръстообразна форма на опитния образец

криви е удачно те да се разглеждат освен една по една за всеки цикъл, но и да се разделят съответно на криви при натоварване и такива при разтоварване, тъй като имат съвсем различен характер.



Фиг. 2 Графика сила-абсолютно удължение по бримков ред, а) за 1-ви цикъл, б) до 207-ми цикъл

От представените графики ясно се вижда механичното поведение на изследваната плетена структура: нелинейна зависимост между силата и удължението, дори при прилагане на малки сили на опън (виж фиг. 3), като най-точна апроксимация е постигната с полиномни уравнения от 3 и 4 степен, съответно за кривата при натоварване и кривата при разтоварване; ясна тенденция за спадане на силата на опън след 150-ия цикъл, като за 207-ия тя е с около 50% по-ниска от първоначално регистрираната.



Фиг. 3 Апроксимация на кривата сила-абсолютно удължение по бримков ред за 1-ви цикъл, а) при натоварване, б) при разтоварване

Уравненията на кривите при натоварване и разтоварване за отделните цикли са изведени в табл.1.

Табл. 1 Апроксимационни криви по ред при натоварване и разтоварване за отделните цикли

№ цикъл	Крива натоварване	Крива разтоварване
1	$y = -0.0005x^3 + 0.0321x^2 - 0.1429x + 0.1383$	$y = 0.0003x^4 - 0.0086x^3 + 0.0784x^2 - 0.2364x + 0.1129$
50	$y = 0.0009x^3 - 0.0073x^2 - 0.0488x + 0.3891$	$y = 0.0008x^4 - 0.0414x^3 + 0.816x^2 - 6.954x + 21.565$
100	$y = 0.0006x^3 + 0.0024x^2 - 0.173x + 0.85953$	$y = 0.0004x^4 - 0.0202x^3 + 0.2978x^2 - 1.4282x + 0.0383$
150	$y = 0.0007x^3 - 0.0027x^2 - 0.1406x + 0.9$	$y = 0.0021x^4 - 0.1323x^3 + 3.0549x^2 - 30.884x + 115.25$
200	$y = 0.0009x^3 - 0.0094x^2 - 0.1549x + 1.617$	$y = 0.0079x^4 - 0.5522x^3 + 14.339x^2 - 164.63x + 705.07$

За по-добро онагледяване на изчислените параметри от хистерезисните криви по бримков ред, те са поместени в табл. 2, а теоретичното им описване е направено в [1]. Полиномните функции са използвани при изчисляването на енергията посредством уравнения (5 и 6) от [1], вложена съответно при натоварване за достигане на зададеното гранично удължение и при разтоварване.

Табл. 2 Параметри от хистерезисните криви по бримков ред

Параметър	$P_{p,ct}$	A , mJ	A' mJ	LT	RT	F_p
Натоварване по бр. ред						
1-ия цикъл	0,008	31.563	15.55	0.636	0.493	-
50-ия цикъл	0,105	24.388	10.73	0.518	0.4399	-
100-ия цикъл	0,114	22.03	8.02	0.489	0.364	-
150-ия цикъл	0,121	17.55	6.72	0.429	0.383	0.012
200-ия цикъл	0,129	9.338	2.66	0.428	0.284	0,327

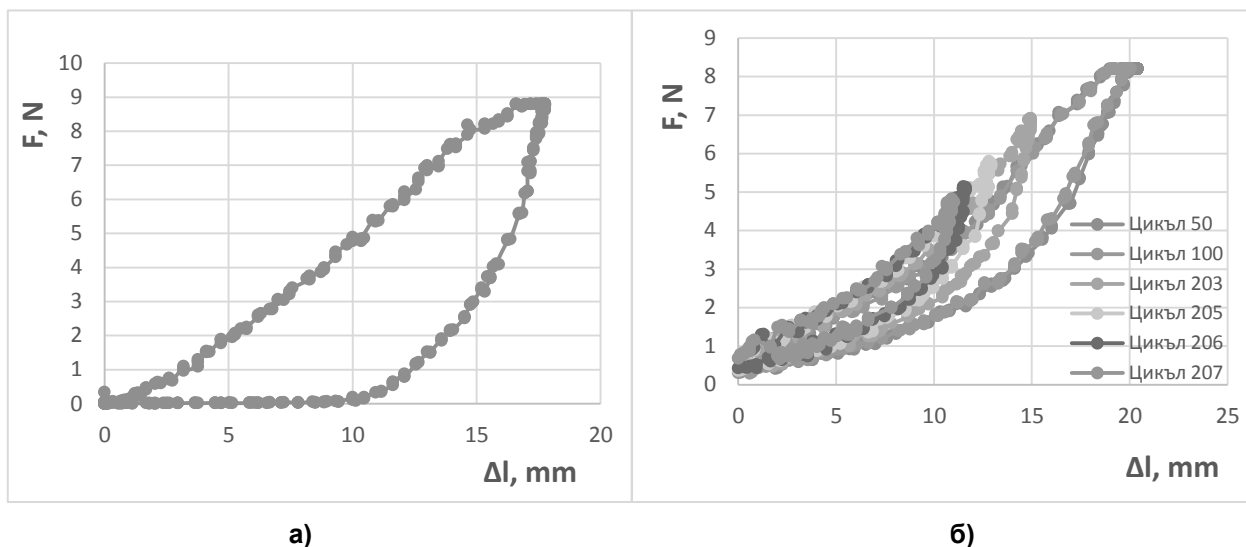
От представените в таблицата резултати за коефициента на пластичност се вижда, че той нараства от 0,008 и достига до 0,129 за 200 цикъла. Както е описано в [1], този параметър се прилага при дефинирането на основните широчини и дължини от основната конструкция на плетените облека. Основната идея е създаване на облекло, което да запази максимално дълго своята форма. Но за тази цел е необходимо да се изследва още влиянието на циклите пране-сушене, които имат също съществено влияние върху физико-механичните показатели на бримковите структури.

Съществена загуба на сила F_p на изследваната структура по направление на бримковите редове се наблюдава след 150-ия цикъл, което се потвърждава и от изчислените данни за енергията A , която е вложена при натоварване – от 31,563 mJ за 1-ви цикъл достига до 16.812 mJ , т.е. около два пъти спада съпротивлението на плетения плат. LT и RT показва стабилността на структурата, т.е. нейната способност да възвърне

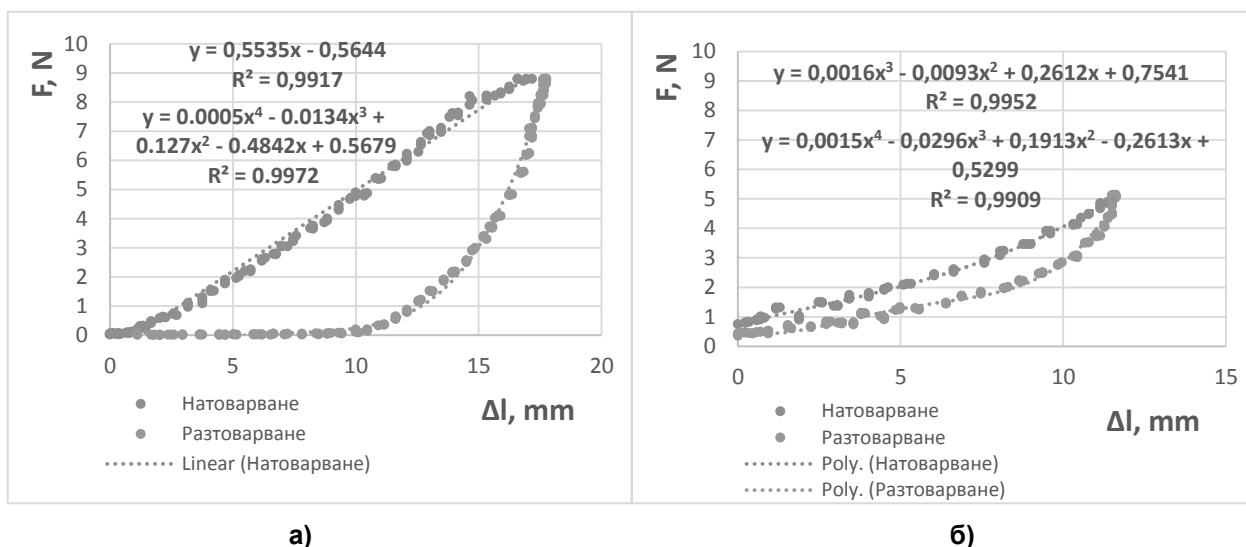
първоначалните си размери. В случая се вижда, че техните стойности също намаляват, което означава, че изследваният плат след 200 цикъла е загубил в голяма степен способността си да възвърне първоначалните си размери.

Б) Хистерезисни криви по бримков стълб

Аналогично на хистерезисните криви по бримков ред, представянето на хистерезисните криви по направление на бримковите стълбове е илюстрирано на фиг. 4 а и б, а пример за извършена апроксимация на кривата на натоварване и разтоварване е даден на фиг. 5 а и б.



Фиг. 4 Графика сила-абсолютно удължение по бримков стълб, а) за 1-ви цикъл, б) до 207-ия цикъл



Фиг. 5 Апроксимация на кривата сила-абсолютно удължение при натоварване по бримков стълб, а) за 1-ви цикъл, б) за 207-ми цикъл

Уравненията, описващи кривите при натоварване и разтоварване по направление на бримковите стълбове, в табл. 3, от която се вижда, че отново най-подходящи за описването им са полиномните функции от трета и четвърта степен.

Табл. 3 Апроксимационни криви по стълб при натоварване и разтоварване за отделните цикли

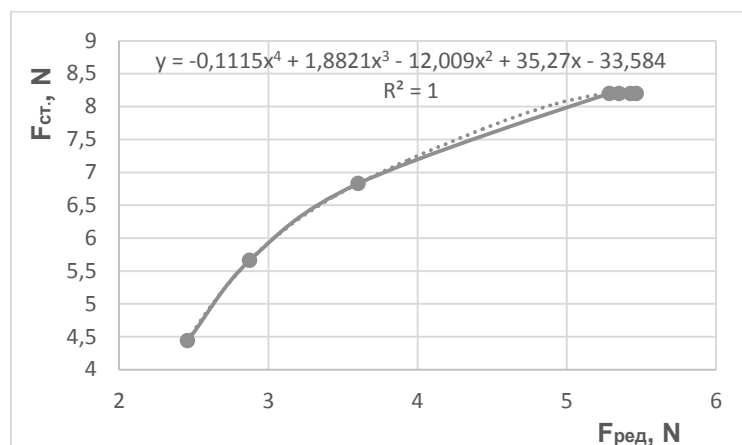
№ цикъл	Крива натоварване	Крива разтоварване
1	$y = -0.0014x^3 + 0.0327x^2 + 0.23x + 1.3712$	$y = -0,00005 \cdot x^4 + 0.0033x^3 - 0.0444x^2 + 0.2914x + 0.3123$
50	$y = -0.0001x^3 + 0.0189x^2 + 0.0752x + 0.8599$	$y = 0.00002 \cdot x^4 + 0.0009x^3 - 0.0131x^2 + 0.1621x + 0.2719$
100	$y = -0.0008x^3 + 0.0359x^2 - 0.0321x + 0.9135$	$y = -0.0004x^4 + 0.0128x^3 - 0.1049x^2 + 0.4107x + 0.628$
150	$y = -0.00003x^3 + 0.0119x^2 + 0.1931x + 0.3603$	$y = 0.00001x^4 + 0.0012x^3 - 0.015x^2 + 0.1741x + 0.2482$
200	$y = 0.0013x^3 - 0.0077x^2 + 0.2305x + 0.7237$	$y = 0.0007x^4 - 0.0174x^3 + 0.147x^2 - 0.2889x + 0.563$

Табл. 4 Параметри от хистерезисните криви по бримков стълб

Параметър	П _{р,ст.}	A, mJ	A' mJ	LT	RT	K _F ¹
Натоварване по бр. стълб						
1-ви цикъл	0,067	96,576	39,665	1,241	0,411	0,533
50-ия цикъл	0,010	69,714	43,568	0,896	0,625	1,511
100-ия цикъл	0,008	68,342	42,533	0,878	0,622	1,499
150-ия цикъл	0,007	68,321	42,512	0,908	0,622	1,551
200-ия цикъл	0,006	44,182	27,055	0,866	0,612	1,896

Получените резултати ясно показват, че вложената енергия по направление на бримковите стълбове е около 3 пъти по-голяма от тази по бримковите редове. Въпреки това, коефициентът на пластичност по бримковите стълбове за проведените цикли се запазва с относително малка стойност.

На фиг. 6 е представена изведената корелационна функция като по ос x са нанесени стойностите на максималните сили по ред за отделните цикли, а по y тези по бримков стълб. Зависимостта между силите се описва най-точно с полиномна функция от четвърта степен.



Фиг. 6 Корелационна функция на максималните сили по ред и стълб

Както е коментирано в [1], извеждането на подобна корелационна функция би имала смисъл в случаите, когато са известни силите по едно от направленията на натоварване и се търсят тези по другото.

Заклучение

В заключение може да се обобщи, че е направено експериментално изследване на кръглоплетен плат, 100% П, с гладка еднолицева плетка при двумерно многоциклово натоварване на опън до гранично удължение в областта на малките опънови сили. Получени са хистерезисни криви, описващи изменението на анизотропното и нелинейно поведение на изследваните бримкови структури. От изчислените основни параметри на хистерезисните криви, може да се обобщи, че изследваната плетена структура губи в значителна степен своята еластичност след проведените 200 цикъла и съответно способността си да възвърне първоначалните си размери след приложеното многократно натоварване на опън.

Литература

1. Софронова, Д., Изпитване на кръглоплетен плат от гладка еднолицева плетка при двумерно многоциклово натоварване на опън в областта на малките опънови сили до гранична сила, Сборник доклади от XX-та Научна конференция с международно участие ЕМФ' 2015, 2015, предадена за печат.
2. Софронова, Д., Изпитване на кръглоплетен плат от гладка еднолицева плетка при двумерно многоциклово натоварване на опън в областта на малките опънови сили до гранично удължение – теоретична част, Сборник доклади от XX-та Научна конференция с международно участие ЕМФ' 2015, 2015, предадена за печат.
3. Софронова, Д., Създаване на нова методика за изпитване на плетени платове при двумерно и пасивно тримерно натоварване на опъване, *Сборник доклади от XIII-та Общотекстилна конференция' 2014 „Иновации в текстила и облеклото“*, 2014, с. 207-222.
4. Софронова, Д., Софронов, Я., Гендов, Хр., Стоилов, Т., Разработване на нов метод за изпитване на плетени платове на двумерно и пасивно тримерно многоциклово натоварване с малки опънови сили, *Сборник доклади от XIII-та Общотекстилна конференция' 2014 Иновации в текстила и облеклото*, 2014, с. 194-206.
5. Софронова, Д., Софронов, Я., Гендов, Хр., Разработване на софтуер за управление на двигателите и сензорната система на стенд за двумерно многоциклово натоварване,

Сборник доклади от XIX-та Научна конференция с международно участие ЕМФ' 2014, 2014, с.193-202.

6. Софронова, Д., Разработване на методика и устройство за изследване на анизотропното и хистерезисно поведение на бримкови структури, Дисертация за получаване на ОНС «доктор», 2015.

7. Гиндев, Г., Х. Петров, Моделиране и конструиране на облеклото, Техника, София, 1992.

8. Apparatus and method for biaxial tensile testing of membrane materials, Patent US 6487902 B1.

9. Escarpita, D., D. Cardenas, H. Elizalde et al., Biaxial Tensile Strength Characterization of Textile Composite Materials, Book „Composites and Their Properties“, Chapter 5, ISBN 978-953-51-0711-8, 2012.

10. Lecompte, D., A. Smits, H. Sol, J. Vantomme, D. Van Hemerijck, Mixed numerical–experimental technique for orthotropic parameter identification using biaxial tensile tests on cruciform specimens, International Journal of Solids and Structures, Vol. 44, 2007, p.1643-1565.

11. Lomov, S., Ph. Boisse, E. Deluucker, et al., Full-field strain measurement in textile deformability studies, Composite, Part A, Vol. 39, 2008, p. 1232-1244.

12. Smits, A., D. Van Hemerijck, T. Philippidis, A. Cardon, Design of a cruciform specimen for biaxial testing of fibre reinforced composite laminates, Composite Science and Technology, Vol. 66, 2006, p. 964-975.

13. Varadaraju, R., J. Srinivasan, Prediction of Certain Low Stress Mechanical Properties of Knitted Fabrics from Their Structural Parameters, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Vol. 10, p.11, 2015.

14. Zouani, A., Bui-Quoc, T., Bernard, M., 1996. A proposed device for biaxial tensile fatigue testing. Fatigue and Fracture, ASME PVP-323, vol. 1, pp. 331–339.

Автор: ас. д-р Даниела Софронова, Технически университет – София, катедра „Текстилна техника“, бул. „Климент Охридски“ 8, каб. 4247, тел.: 02 965 39 21, E-mail: dcholeva@tu-sofia.bg