

Разработване на нов метод за изпитване на плетени платове на двумерно и пасивно тримерно многоциклово натоварване с малки опънови сили

Даниела Софронова, Явор Софронов, Христо Гендов

Абстракт: Разработен е нов метод за изпитване на плетени платове, подложени на многоциклово двумерно и пасивно тримерно натоварване в областта на малките опънови сили. Характерно за него е, че е реализирано самостоятелно задвижване на всяка една от челюстите, захващащи опитния образец с кръстообразна форма. По този начин се постигат различни по вид натоварвания за снемане на хистерезисните криви със сензорна система и специализиран софтуер, разработен в развойна среда на LabView.

Ключови думи: метод на изпитване, биаксиално натоварване, сензори, специализиран софтуер, плетени платове

A new test method and device for measurement the 2D and passive 3D mechanical behavior of knitted structures by extension at low stress

Daniela Sofronova, Yavor Sofronov, Hristo Gendov

Abstract: A new method and device for investigating the 2D and 3D passive mechanical behavior of knitted structures by extension at low stress are proposed. A self drive of each jaw clamping the specimen with cruciform shape is realized. Thus different types of loading for capturing the hysteresis with a sensor system and specialized software developed in environment of LabView are achieved.

Въведение

Еластичните свойства, респективно остатъчните деформации, на плетените платове при многоциклово биаксиално натоварване на опън играят важна роля за определяне дизайна на изработените от тях облекла (особено тези, които прилягат плътно върху човешкото тяло), степента на прилягане, формоустойчивостта, свободата на движение и комфорта при носене. Както е известно, при двумерно напрегнато състояние възникващите напрежения и разтегливости по бримков ред и бримков стълб са силно зависими едни от други и освен това се характеризират с нелинейност.

Повечето в литературата изследвания за плетените платове са проведени при едномерно и полуциклово натоварване със сила на опън в границите на 5-10 N [Shimizu, Fletcher, Cook [Kristein, 2001], Maekinen, 2005, Urbelis, 2007 и др.]. Например Urbelis и колектив [Urbelis, 2007] са изследвали плетен образец от В и ПЕ при натоварване до достигане на 10, 15 и 20% разтегливост. Единични са публикации, разглеждащи многоциклови натоварвания, като тази на Ben Abdessalem [Ben Abdessalem, 2006], който е изследвал влиянието на 4 вида цикли (6000, 9000, 12000 и 15000) върху механичните характеристики на плетените платове. Но всички тези изследвания, получени при едномерно натоварване, са неподходящи при изграждане на основните конструкции на облекла от бримкови структури.

Примери за публикации, в които механичните характеристики на плетените платове са получени при двумерно напрегнато състояние, са [Popper [Kristein, 2001], [Whitney et al., 1966,

Kawabata, 1970, Chen, 1998, Luo et al., 2002, Matsuo и Yamata, 2009, Zhang и Long, 2010]. Basset и Postle [Basset, Postle, 1999] са провели проучване относно възможните варианти за захващане на опитния образец и неговата форма. Първоначално всички уреди за двумерно натоварване използват образци с квадратна форма, но се срещат и по-нови разработки като тази на Luo et al. [Luo et al., 2002] и Matsuo et al. [Matsuo et al., 2009], които също прилагат квадратната форма. Но както е известно с нея не може да се постигне равномерно разпределение на натоварването, което води до изкривяване на резултатите. В разработения от Chen [Chen, 1995] уред за биаксиално натоварване могат да се провеждат циклични изпитвания както с постоянни сила и граница на удължение, така и с променлива граница на удължение. Но приложеното натоварване е единствено в две взаимноперпендикулярни направления, а другите две са фиксирани, както е случаят и с уреда KES-G2-SB1.

Това определя необходимостта от разработване на нов метод на изпитване на плетени платове, с който е възможно да се реализират различни по вид двумерни и тримерни натоварвания. Тук ще бъде описана конструкцията и хардуерното управление на проектирания и изработен стенд, а предложената методика на изпитване, включваща различни по вид натоварвания, както и условията за провеждането на експериментите (граница на натоварване, форма на опитните образци, размери) са **разгледани в друга статия** [].

Изложение

Конструкцията на стенда е продиктувана от идеята за осъществяване на различни видове двумерни натоварвания, които съществуващите до момента уреди не могат да реализират, което от своя страна води до независимо управление на четирите направления на натоварване. Освен това тя трябва да бъде максимално олекотена, евтина, надеждна и същевременно да осигурява лесен и бърз начин за захващане на опитните образци.

Проектирането и изработването на стенда включва 3 етапа: проектиране и изработване на механиката за задвижване на челюстите, разработване на хардуерна част за управление на двигателите и разработване на софтуерна част за управление на двигателите и на измервателната (сензорна) система. Разработването на софтуерната част е обект на друга статия [].

А) Проектиране и изработване на механиката за задвижване на челюстите. Принцип и начин на действие на стенда

Проектирането на механичната част на стенда се състои в избор и конструиране на направляваща и задвижваща системи.

Направляваща система

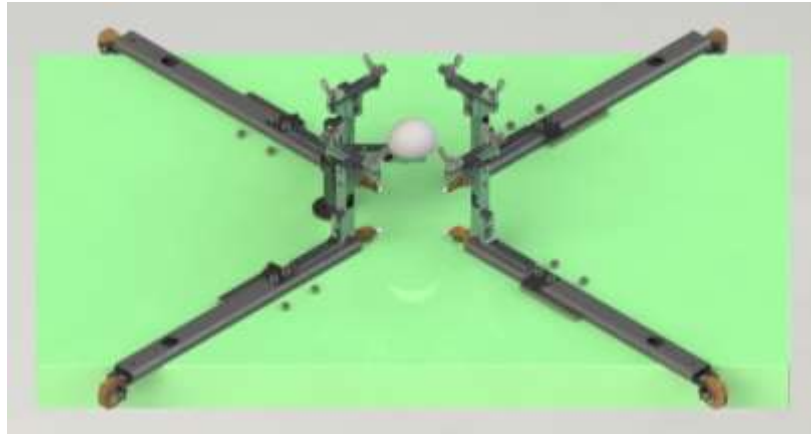
Направляващата система включва пълния набор от елементи, с помощта на които може да се осъществи основното движение, наблюдаващо се при изпитване на опън на проба от площен материал, трансляция. Тъй като ролята на проектирания стенд е да се снемат кривите сила-разтегливост при натоварване с малки по големина опънови сили, то измервателната система трябва да включва сензори за отчитане на сила и линейно преместване. Тъй като една от целите е конструкцията да бъде максимално олекотена (малко на брой елементи, без наличието на големи и тежки метални части), то направляващите трябва да „носят“ единствено сензорите за отчитане на силата и челюстите за захващане на опитния образец, и да осигуряват възвратно постъпателно движение на челюстите. За разлика в някои разработени до настоящия момент уреди за равнинно двумерно натоварване, при които сензорите за

измерването на силата са поставени далеч от пробата [Miguel et al. 2012] (т.е. в сигналите освен силите, възникващи в плата, участват и други по вид сили, с което точността на уреда се понижава), идеята тук е те да бъдат в непосредствена близост до челюстите.

За направляваща система са избрани сачмени направляващи, които са безхлабинни и при които силата на триене е пренебрежимо малка.

Оформлението на спомагателните елементи е съобразено с геометричната форма избраните сензори и направляващи. Създаден е 3D модел на конструкцията на стенда, показан на фиг.1.

Челюстите от своя страна са проектирани така, че манипулирането (поставянето и свалянето на опитния образец) с тях да бъде лесно и удобно за оператора. Челюстите се състоят от 2 алуминиеви части, като горната част е подвижна и широчината му е съобразена с широчината на пробата.

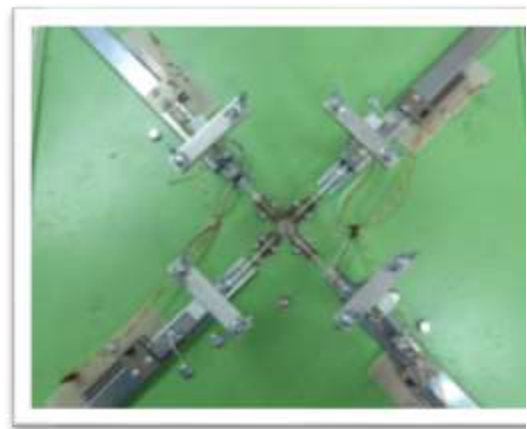


Фиг.1 3D модел на конструкцията на стенда

Задвижваща система

За осигуряване на транслационно движение могат да бъдат използвани следните типове задвижвания: хидравлични, пневматични и електрическо. Пневматичната и хидравличната задвижващи системи отпадат като вариант, заради скъпата материална база. Освен това при пневматичното задвижване трудно се управлява позиционирането му, докато при хидравличното, въпреки прецизното му позициониране, е характерно, че за неговата работа е необходим и работен флуид, който трябва да бъде осигурен като съществува опасност от замърсяване на работната среда с него. Преимущество на последното задвижване би се появило при необходимост от работни натоварвания в рамките на няколко kN. Ето защо, за задвижваща система се избира електрическата, която се характеризира с лесно достъпна елементна база и благодарение на съвременен развитие на електрониката от евтино и прецизно управление.

От съществуващите няколко варианта за осигуряване на транслационното движение (линеен стъпков двигател, винтогаечна и ремъчна предавки) се избира ремъчната предавка, тъй като са безшумни, подходящи са за бързо преместване и действат като предпазни съединители за двигателя при претоварване. Освен това бързо и лесно прекъсват силовата верига чрез премахване на ремъка. Линейните



Фиг.2 Изглед отгоре на изработения стенд

стъпкови двигатели са най-подходящият вариант за настоящия случай, но отпадат като вариант, поради високата им себестойност. Винтогаечната предавка не е подходяща за високи линейни скорости и освен това те са самозадържащи, което ги прави неподходящи за осъществяване на няколко от вариантите на изпитване.



фиг.3 Монтирани от долната страна на основата постоянно токови двигатели

При избора на двигател за управление трябва да вземат предвид следните изисквания: да осигури достатъчен въртящ момент, за да се преодолеят силите на триене в подвижните елементи, и предвидените натоварвания на опън при измерванията. Подходящи за целта са стандартните постоянно токови двигатели,

като е избран модел VGB60RM-107i, характеризиращ се с максимален въртящ момент 4.2 N/m , мощност 14 W и максимална ъглова скорост 58 min^{-1} .

Съгласно направеното литературно проучване е избрана максимална скорост v на работното движение $120 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$, от която се изчислява диаметъра d на двигателната ролка:

$$d = \frac{2 \cdot v}{\omega} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot n} \quad (1)$$

Където ω е ъгловата скорост и $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ min}^{-1}$.

Изчисленията за диаметъра на двигателната ролка са представени в табл.1.

Таблица 1

Величина	Мах обороти	Мах въртящ момент	Мах ъглова скорост	Мах лин. Скорост	Диаметър на двиг. ролка
Мерна единица	min^{-1}	N/m	min^{-1}	mm/min	mm
Стойност	58	4,2	6.074	120	39.5

От направените изчисления $d = 39,5 \text{ mm}$ и авторите избират $d = 40 \text{ mm}$, при което максималната скорост на работното движение се получава $v = 121.5 \text{ mm/min}$.

При постоянно-токовите електрозадвижвания е възможно да са извърши прецизно регулиране на скоростта. Съвременните системи за управление на постоянно-токовите двигатели са с широчинно-импулсни преобразуватели, които се характеризират с добри енергетични показатели, малки пулсации на тока и скоростта, което от своя страна води до намаляване на загубите и разширяване на диапазона на регулиране, добри динамични показатели.

Б) Разработване на хардуерната част за управление на двигателите

Проектирането на хардуерната част се изразява в избор на електронни компоненти, от които да се изгради надеждна система за предаване на електрическите сигнали към двигателите с необходимата точност и скорост, за да може проектираният стенд да отговаря на изискванията на измервателен уред. Тъй като целта на изпитването е осъществяване на циклови натоварвания, то трябва се да осигури завъртане напред, изключване и завъртане назад (в обратна посока) на двигателите при достигане на зададена гранична стойност на силата на опън или удължението. Смяната на посоката на въртене е реализирано хардуерно с включване на контактен апарат с релейно действие, който се състои от общо 8 релета (12 V, 5 pin), по 2 за всеки един от двигателите. При направените тестове се установи, че при включване на захранването на двигателите, те се стартираха веднага, без да бъде зададена команда от софтуерната програма, което наложи монтирането на още 2 броя релета за всяка двойка двигатели.

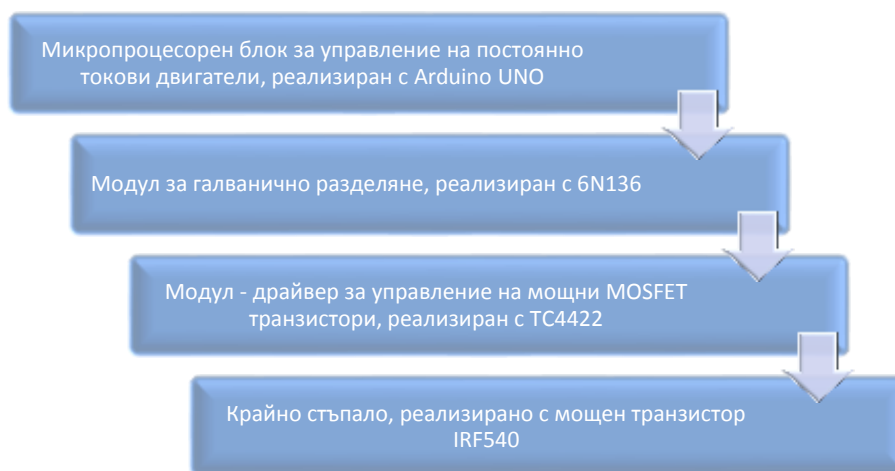
При предварителното тестване на двигатели се установи също, че те се характеризират с различен въртящ момент, тъй като достигането на зададени обороти бе реализирано за различно време. Данните от това изпитване са представени в табл.2:

Таблица 2

	<i>I мотор</i>	<i>II мотор</i>	<i>III мотор</i>	<i>IV мотор</i>
За 10 min⁻¹	1,22 s	1,24 s	1,12 s	1,28 s
За 2 s	14,6 min ⁻¹	14,3 min ⁻¹	16,7 min ⁻¹	13,6 min ⁻¹

Както се вижда добре от таблицата по-горе тази разлика е значителна и би довела до допълнителни грешки в измерването, което е недопустимо. Както се спомена по-рано, управлението и регулирането на скоростта на постояннотоковите двигатели може да се осъществи с ШИМ, която е най-често използваният метод за тази цел. При този метод всъщност се променя големината на управляващите импулси, с което се постига желаната скорост на всеки един от двигателите. Това може да се осъществи с включването на микроконтролер в системата за управлението на двигателите. За настоящия случай е избран микроконтролерът Ардуино UNO, с който може да се задвижват до 4 постояннотокови двигатели [Чикуртев 2013].

Обоцената блок схема на управлението има вида, показан на фиг.5.



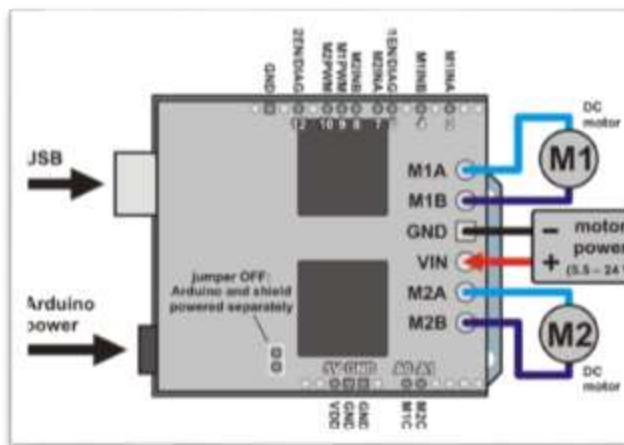
Фиг.4 Блок схема на управлението на двигателите

➤ Микропроцесорен блок, реализиран с Ардуино

Както е известно Ардуиното е снабден с АТмега 328 микроконтролер и изпълнява ролята на "мозъка" на работи и интерактивни проекти. Той включва и среда за програмиране, базирана на програмния език С, и може да комуникира двупосочно с различни софтуерни програми като Flash, Pure Data (PD), Processing, LabView и др. [146].

Контролерът Ардуино, както се вижда на фиг.5, разполага с 14 цифрови входни и изходни пинове, от които 6 могат да бъдат използвани за изходни ШИМ, 6 аналогови входове, 16 MHz керамичен резонатор, USB свързване, захранващ купол, и бутон за рестартиране.

Микроконтролерът се характеризира с няколко предимства при осъществяване на комуникация с компютър. АТмега328 осигурява UART TTL (5V) серийна комуникация, която е налична при цифрови пинове 0 (RX) и 1 (TX) и се появява като виртуален компютърен порт към избрания софтуер, в случая LabView. 16U2 firmware използва стандартни USB COM драйвери, и не е необходимо да се инсталира външен драйвер. За Windows се изисква .inf файл. Софтуерът на Ардуиното включва сериен монитор, който позволява изпращането на прости текстови данни от и до платката на Ардуиното. *SoftwareSerial library* позволява серийна комуникация с всеки дигитален пин на UNO. АТмега328 също осигурява I2C (TWI) и SPI (*SPI library*) комуникация.



Фиг.5 Схема на микроконтролера Ардуино

➤ Модул за галванично разделяне, реализиран с 6N136

Този вид оптрон е избран, заради високата скорост на предаване на данни (над 1 Mbit/s) като поддържа високо напрежение на пробив. Избран е вариант на монтиране DIP корпус (с проходни отвори), който е идеален в случая за показаното приложение. Прототипът на електрониката на стенда е разработена върху експериментални платки, което изисква използването на такъв тип корпуси. На първо място при използването на оптрона е необходимо да се извършат изчисления за тока, преминаващ през светодиода на оптрона.

➤ Модул - драйвер за управление на мощни MOSFET транзистори реализиран с TC4422

TC4422 са драйвери за управление на MOSFETs и IGBTs транзистори. Те са чувствителни единствено при директно свръхнапрежение или свръх разсейване **over-dissipation**. Те не могат да бъдат блокирани в обхвата на тяхното захранване и напрежение. Тези части не могат да се повредят при 5 V напрежение на изхода 0 и могат да понесат, без да се повредят, повече от 1A индуктивен ток при всяка полярност върната обратно на техните изходи. Всички изводи са напълно защитени до 4 kV електростатични разряди.

Най-съществените предимства са, че имат голям диапазон на захранващото напрежение от 5-15V. Максималният изходен ток е около 9A за кратко време. Освен това, хистерезис от 300 mV е вграден във входа, осигуряващ пренебрегването на шума и позволява на устройството да

бъде управлявано от бавно повишаващи се или понижаващи се вълни. Драйверите намират приложение там, където се изисква висок гейт или максимално бързо зареждане на гейта на транзистора, какъвто е и настоящия случай.

➤ **Крайно стъпало, реализирано с мощен транзистор IRF540**

Тази MOSFET серия, реализирана с STMicroelectronics, характеризира се с уникален процес STripFET, е специално проектирана да намали входния капацитет и заряда на гейта. Ето защо е подходящ като първичен ключ във високо-ефективните и високо-честотните изолирани DC-DC преобразуватели.

В) Програмиране на Ардуиното

Г) Тарирание на направляващите и тестване на механиката за задвижване на челюстите

Извършените тестове показаха, че не се наблюдава приплъзване на нишката, осигуряваща връзката между двигателите и направляващите механизми, което от своя страна означава, че проектираният механизъм за опъване на нишката осигурява достатъчен натяг. Освен това е извършено и тарирание на местоположението на направляващите с помощта на електронен шублер с точност до $\pm 0,01 \text{ mm}$, така че междучелюстното разстояние на две по две двойки да бъде точно 150 mm. При това изходно положение на направляващите са монтирани и потенциометричните сензори като плъзгачът им е в нулево положение. При опъната нишка направляващите не могат да бъдат премествани ръчно, а единствено със задвижване от моторите, което гарантира невъзможност за допускане на грешки в процеса на изпитването. Извършена е калибрация и на скоростите на постоянно токови двигатели, която се изразява в измерване на максималните им обороти с помощта на устройството SmartBalancer на фирма Schenk и изравняване на стойностите им посредством промяна на съпротивлението на потенциометри.

Заклучение

Литература

Автори:

ас. Даниела Софронова – Технически Университет – София, катедра Текстилна техника, 0893 690 345, dcholeva@tu-sofia.bg

ас. Явор Софронев – Технически Университет-София, Катедра Теория на машините и механизмите, 0893 690 346, ysofronov@tu-sofia.bg

ас. Христо Гендов – 0893 , h

д-р инж. Иван Иванов – фирма Джонсън Контрол,

доц. р-р Тодор Стоилов –Технически Университет-София, катедра Текстилна техника, tstoilov@tu-sofia.bg