

A textiltermékekre súrlódás közben ható erők

Dr. Szücs Iván
főiskolai tanár
Óbudai Egyetem, RKK TTI

Oroszlány Gabriella
adjunktus
Óbudai Egyetem, RKK TTI

A textiltermékek a rájuk ható erő következtében alakváltozást szenvednek. Az alakváltozás létrejötté jellegzetes szerkezetükből adódik. Az erőhatás mértékétől függően változik a deformáció nagysága is. Ahhoz, hogy pontos képet alkossunk a deformációról, ismerni kell az anyagtulajdonságokat és a deformáló erőket. Az erők nagysága, iránya lesz az, ami meghatározza a textilszerkezetek alakváltozását.

Az előző cikkeinkben [1, 2] bemutatott súrlódásmérő mérőműszerek és technikai megoldások arra engednek következtetni, hogy a hengeres Euler elven működő berendezések továbbfejlesztésével, vagy átalakításával létrehozható egy olyan berendezés, amely a vizsgálati alapanyagok és az alkalmazható súrlódó felületek szélesebb spektrumát fedi le a jelenlegiekénél.

Vizsgáltuk a hengeres felületen elhelyezett mintára ható erőket.

Mindenképpen meg kell különböztetni a textilszerkezetre ható erők között a szerkezettel „párhuzamos” (más szóval hosszirányú) illetve arra „merőleges” irányú erőket. A két különböző erőirány hatására más és más alakváltozás fog bekövetkezni. Természetesen az alakváltozás mértéke függ az erő nagyságától, és a textilszerkezet tulajdonságaitól (pl.: alapanyag, szerkezeti kialakítás, sűrűség stb.).

1. Sugár irányú erők

Hengeres próbatest esetén a palástra fektetett próbatestet a kötélérők eredője nyomja rá sugárirányban a felszínre. Vizsgáltuk a henger felületére helyezett fonalakra és multifilamentekre ható erőket. Mivel nehézséget jelentett a sugár irányú terhelő erők meghatározása a próbatest minden egyes érintési pontjában, ezért egy kísérlettel határoztuk meg az ébredő erők eloszlását és arányát, illetve az ezen erők hatására bekövetkező alakváltozást. Olyan alapanyagot választottunk, amely kis erőhatásra is jelentős alakváltozással válaszol.

Kísérleti alapanyagok (1. ábra):

- képlékeny anyagú henger, keménysége: $0,018819 \text{ [N/mm}^2\text{]}$,
- COATS puppets hatszalas osztott himzőfonal (alapanyaga: 100% pamut, finomsága: 4 tex).

A képlékeny anyagból egy 30 mm átmérőjű hengert készítettünk. A hengeren átvettük a himzőfonalat és két végét azonos súllyal terheltek (2. ábra). A terhelés hatására a fonal belevájódott a képlékeny anyagba (3. ábra). A keletkezett mélyedésből eltávolítottuk a himzőfonalat, és a keletkezett barázda mentén egy penge se-

gítségével óvatosan (nehogy deformálódjanak a felületek) kettéválasztottuk a hengert. Megvizsgáltuk a keletkezett felszínt, amelyen jól látható a fonal „vágta” sima felület és barázda (4. ábra).

A kísérletet többször is elvégeztük. Minden esetben azonos eredményt kaptunk. A himzőfonal és a hengerfelület érintési pontjaiban terhelés hatására eltérő nagyságú a bevajódás. Az eltérő nagyságú bevajódás az eltérő nagyságú erőkkel magyarázható.

A legnagyobb erő a henger tetején (ha az óra számlapját használjuk viszonyítás alapnak) 12 óránál keletkezik, itt a legnagyobb az erő hatására keletkező bemélyedés. A szélek felé haladva (megint az óra számlapjához viszonyítva) 3 és 9 óra irányába a keletkező erők egyre kisebbek így az általuk okozott bemélyedések is egyre enyhébbek (5. ábra).

A hengerpalást felületén egy olyan erőrendszer ébred, amely a vízszintes tengelyhez közelítve egyre kisebb sugárirányú terhelő erőket tartalmaz (6. ábra).

Mivel egy változó erőrendszer terheli a deformálható próbatestet, ezért a próbatest ennek megfelelően nagyobb terhelésre nagyobb keresztirányú alakváltozással, kisebb terhelésre kisebb keresztirányú alakváltozással fog válaszolni.

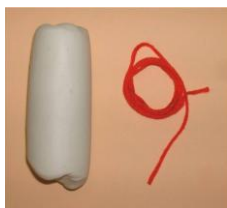
Monofilamentre ható sugár irányú erők

A hengerfelületen elhelyezkedő monofilament terhelés hatására a terhelő erő nagyságától függően szintén alakváltozást szenved. Az alakváltozást a 7. ábra szemlélteti. Az ábrán jól látható, hogy az egyre nagyobb eredő erők hatására a kör keresztmetszetű monofilament egyre nagyobb alakváltozással reagál.

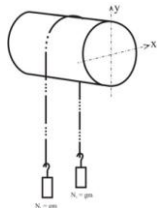
Terhelés nélkül az alkotó mentén (keresztmetszetben pontbeli) érintkezés látható. A növekvő terhelés hatására a kör keresztmetszet kezd ellapulni, és ellipszishoz hasonló alakot ölt. Az ellipszis nem szabályos, mivel rásimul a felületre, így már felület mentén (keresztmetszetben vonal mentén) érintkezik a monofilament és a felszín.

A henger felületén létrejövő erőrendszer hatására a monofilament deformálódni fog. A 8. ábrán látható, hogy a henger tetején (12 óránál) lesz legnagyobb a deformáció, mivel itt ébrednek a legnagyobb sugárirányú erők, és a henger két oldalán (3 és 9 óránál) megszűnik a merőleges irányú erők hatására bekövetkező alakváltozás, ugyanis az erők eredőjének sugár irányú (merőleges) összetevője eltűnik.

A 8. ábrán látható erőrendszer hatására bekövetkező deformáció miatt a monofilament hengerrel érint-



1. ábra



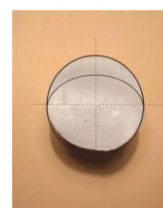
2. ábra



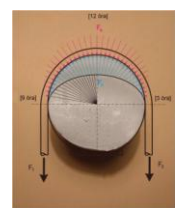
3. ábra



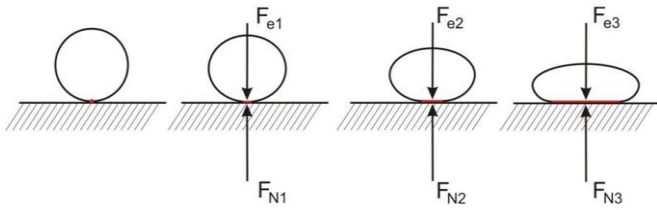
4. ábra



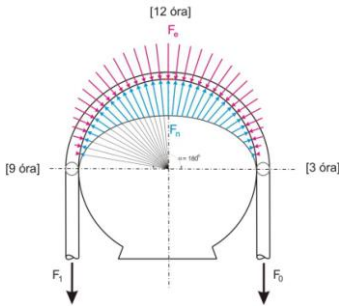
5. ábra



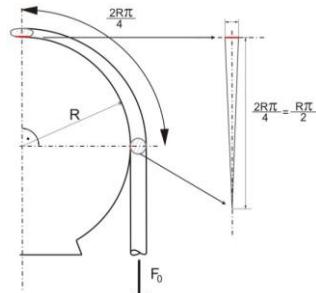
6. ábra



7. ábra



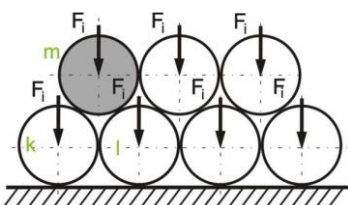
8. ábra



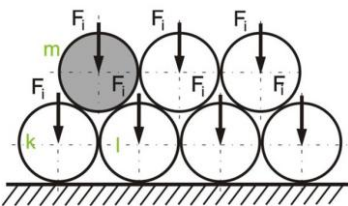
9. ábra

kező felülete „12 órától” indulva „3 és 9 óra” felé haladva egyre kisebb lesz. Ezt az érintkező felületet kiemelve és a síkba kiterítve egyenlőszárú háromszögeket közelítő alakzatokat kapunk. A háromszög alapjának hosszát a terhelő erő és a monofilament deformálhatósága határozza meg, a magasságát a henger alakú sűrűlő test negyed kerülete (9. ábra). Minél nagyobb a terhelő erő, annál nagyobb lesz az érintkezési felület nagysága.

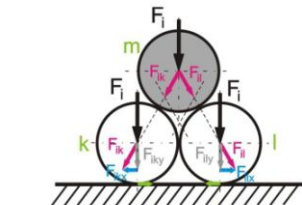
Sodrat nélküli kötegre, multifilamentre ható sugár irányú erők



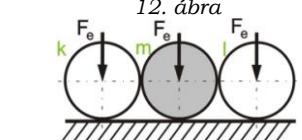
10. ábra



11. ábra



12. ábra



13. ábra

A henger felületén létrejövő erőrendszer a multifilamentekre összetettebb hatással van, mint a monofilamentekre. Ebben az esetben először a köteg fog deformálódni és csak utána, a terhelés nagyságától függően jöhet létre a köteget alkotó egyes elemek deformációja.

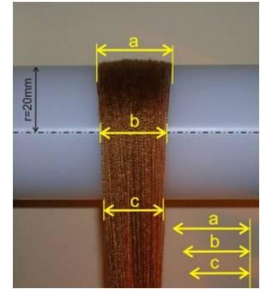
A kötegben párhuzamosan elhelyezkedő monofilamenteket szemlélteti a 10. ábra. A köteg egyes elemeit a kötegek közötti, pl. a védősodratból adódó tapadóerő és a felületen ébredő sűrűlő erő tartja a helyén, megakadályozva a köteg „szétterülését”. A köteg elemiből kiválasztottunk a k ; l és m monofilamenteket.

A terhelés hatására keletkező F_e eredő erő a köteget alkotó egyes

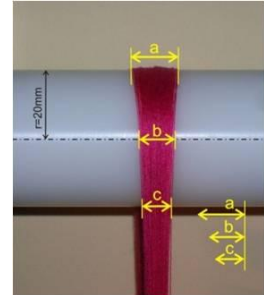
filamentszálakat a felületre nyomja 11. ábra. A felülettől távolabb elhelyezkedő filamentszálak F_e eredő erői az alattuk levő rétegek egyes elemeit terhelik. Ha az F_e eredő erő elég nagy ahhoz, hogy legyőzze a felületen ébredő sűrűlő és a köteget összetartó erőket, akkor széttolja a monofilamenteket és a köteg szétterül a felületen (12. és 13. ábrák).

Kísérletekkel is elemeztük feltételezésünket. Különböző alapanyagú és típusú kötegeket vizsgáltunk (I. táblázat). A terhelés hatására bekövetkező szétterülés a 14. ábrán látható. Ahol a legnagyobb F_e eredő erő a henger tetején (12 óránál), ott a legnagyobb a köteg szétterülése – szétterülése. A hengerpalást felületén a 3 és 9 óra felé haladva az egyre kisebb erők miatt a köteg szétterülése is csökken. 3 óránál és 9 óránál a köteg visszanyeri eredeti szélességét.

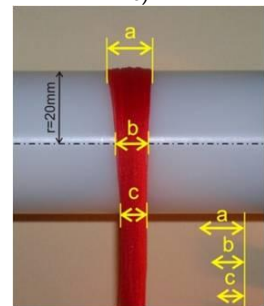
Több mérés átlagából kiszámítottuk és meghatároztuk a szétterülés mértékét milliméterben és százalékban is, az adatokat az I. táblázat tartalmazza.



a)



b)



c)

14. ábra

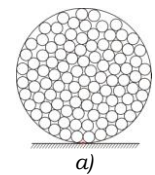
I. táblázat

Méret	Gütermann		Astra		Trevira	
	mm	%	mm	%	mm	%
a	22	128,03	13	164,87	15	165,52
b	19,1	113,30	9,7	122,73	11	121,83
c	17,2	100	7,9	100	9,1	100

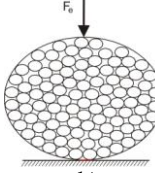
Sodrott fonalakra ható erők

A sodrat összetartó erejének hatására a fonal közel „hengeres” formát kap. Ahogy ez a 15. ábrán is látható, terhelés nélkül a fonal egy alkotó mentén (keresztmetszetben egy pontban) érintkezik a felülettel. A fonal a terhelő erő mértékétől függően szintén alakváltozást fog szenvedni. Az egyre növekvő erő hatására a hengeres, kör keresztmetszetű fonal egyre nagyobb alakváltozással reagál. A fonal keresztmetszete kezd ellaposodni és egyre nagyobb felületen érintkezik a felszínnel.

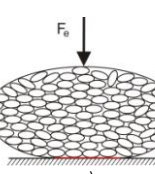
A fonal 15. ábrán látható deformációja csak a sodrat szám növelésével csökkenthető. Minél nagyobb a sodratszám, annál kevésbé tud a fonal a felületen elterülni. A sodratszám



a)



b)



c)

15. ábra

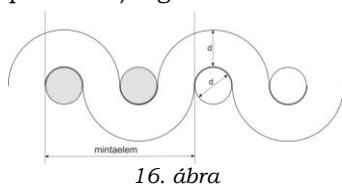
növelése azonban a keresztmetszet csökkenését eredményezi, merevebbé és kevésbé rugalmassá teszi a fonalat.

A fonalak érintkezési felületének alakja megegyezik a monofilamentekre jellemző egyenlő szárú háromszöget közelítő formával (9. ábra).

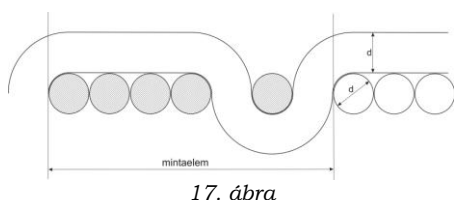
Kétdimenziós textil laptermékekre ható erők

A kétdimenziós laptermékekre is ugyanaz az erőrendszer hat, mint ami a 6. és 8. ábrán látható. Az erőrendszer az egyes érintkezési pontokban az ott ébredő sugár irányú erők nagyságának megfelelően fogja deformálni a textilt.

Bármilyen típusú legyen a kétdimenziós textilszerkezet (szövött, kötött, nem szövött vagy egyéb), felülete nem tekinthető egységes sík felületnek. Ezért a sűrűlódó felülettel is csak „bizonyos” pontokon (szálkeresztezé-
dési pontokon) fog érintkezni. Terhelés hatására annak



16. ábra



17. ábra

nagyságától függően a kötést szerkezet ellapul, megnövelve ezzel a próbatest és a sűrűlódó test közötti érintkezési pontok nagyságát.

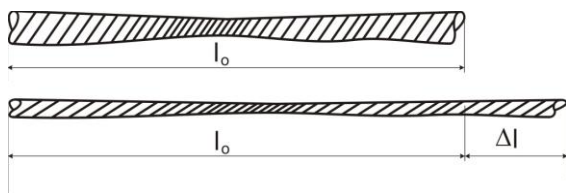
Ahogy ez a 16. és 17. ábrákon is látható a textiliák felülete (pl. vászon- és atlaszkötés) nem tekinthető egységes sík felületnek.

Tehát bármilyen típusú legyen lapszerű textilszerkezet (szövött, kötött, nem szövött vagy egyéb) a sugár irányú terhelés hatására nőni fog az érintkező felület nagysága.

2. Tangenciális irányú erők

A tangenciális erők hatására a textilszerkezetek (elemi szálak, monofilamentek, multifilamentek és laptermékek) alakváltozással reagálnak. Ez az alakváltozás egy hosszirányú növekedésben és egy keresztirányú méret csökkenésben nyilvánul meg.

A kizárólag hosszirányú erőhatásokra bekövetkező alakváltozás szakítóvizsgálatokkal elemezhető a legjobban. Az adott próbatest szakító diagramjából meghatározható, hogy a sűrűlódási vizsgálat során alkalmazott előterhelés hatására mekkora nyúlással válaszol a minta.



18. ábra

A tangenciális erők hatására nem csak nyúlással válaszolnak a textilszerkezetek, hanem hosszirányú rendeződéssel. Ez a rendeződés szerkezetet alkotó ele-

mek párhuzamosodását jelenti. A szerkezeti rendeződés molekuláris szinten és megvalósulhat.

3. Tömegelő

Próbatestek vizsgálatakor a minta saját súlya által létrehozott terhelés hozzá adódik a külső terheléshez. A próbatest tömegereje meghatározható [2, 3]:

A fonalelem tömege:

$$m = \frac{T_t}{1000} \cdot l$$

ahol

m – a fonal tömege [g]

T_t – a fonal lineáris sűrűsége [g/m]

l – a fonal hossza [m]

A textília tömege:

$$m = Q \cdot a \cdot l$$

ahol

Q – területi sűrűség [g/m²]

a – a próbatest szélessége [m]

l – a próbatest hossza [m]

4. Centrifugális erő

Ha a próbatest nagy sebességgel halad át a hengeres sűrűlódó felületen, akkor a keletkező centrifugális erő csökkenti a kötelsűrűlódást.

A fonalelemre ható centrifugális erő [3, 4]:

$$F_c = \frac{v^2}{R} r^2 \pi \rho dl$$

ahol

F_c – centrifugális erő [N]

dl – a fonalelem hossza [m]

d – fonalátmérő [m]

ρ – fonalsűrűség [kg/m³]

v – a fonal sebessége [m/s]

R – a sűrűlódó felület sugara [m]

r – a fonal keresztmetszetének sugara [m]

A fonalelem tömege:

$$dm = dV \rho = r^2 \pi \rho dl$$

ahol

V – a fonalelem térfogata [m³]

r – a fonal keresztmetszetének sugara [m]

dl – a fonalelem hossza [m]

Ekkor a fonal finomsága:

$$T_t = 10^6 \frac{dm}{dl} = 10^6 r^2 \pi \rho$$

Tehát a centrifugális erő:

$$F_c = 10^{-6} \frac{v^2}{R} T_t dl \cong 10^{-6} v^2 T_t d\varphi$$

ahol

$d\varphi$ – a dl köteldarabhoz tartozó körülíró szög [fok]

A kötelsűrűlódás vektorháromszögéből következik:

$$dF = \mu \left(N - dF_c \right) = \mu \left(F - 10^{-6} v^2 T_t \right) d\varphi$$

Az összefüggés differenciálegyenlete:

$$\int_{F_0}^{F_1} \frac{dF}{F - 10^{-6} v^2 T_t} = \mu \int_0^\alpha d\varphi$$

Integrálás után:

$$\ln \frac{F_1 - 10^{-6} v^2 T_t}{F_0 - 10^{-6} v^2 T_t} = \mu \alpha$$

$$F_1 = F_0 e^{\mu \alpha} + 10^{-6} v^2 T_t \left(e^{\mu \alpha} - 1 \right)$$

Az összefüggés alapján a fonalban ébredő húzóerő nagysága a fonal sebességének függvénye és a sebesség növelésével csökken. $F_1 = F_0$ esetében a fékezés megszűnik.

$$F_0 \left(e^{\mu \alpha} - 1 \right) = 10^{-6} v^2 T_t \left(e^{\mu \alpha} - 1 \right)$$

A fékezés megszűnésének kritikus sebessége:

$$v = \sqrt{\frac{F_0 \cdot 10^6}{T_t}}$$

5. A textiltermékekre ható erők összefoglalása

A próbatest vizsgálatakor ébredő erők:

- sugárirányú erők
- tangenciális erők
- tömegeerők
- centrifugális erők

A felsorolt erők a következő változásokat eredményezik:

- az erők egy része a próbadarabnak a súrlódó testre való hajlításra fordítódik, a szükséges erő nagysága függ:
 - a súrlódó test (henger) görbületi sugarától,
 - a próbatest lineáris sűrűségétől,
 - a próbatestet alkotó elemi szálak számától,
 - a próbatest rugalmassági modulusától,
 - a próbatest megnyúlásától,
 - a próbatest molekula szerkezetétől,
 - a próbatest méretétől.

A ráhajlításhoz szükséges erő meghatározása, alakváltozás számítása [3, 4]:

$$\beta = \frac{M \cdot l_0}{I \cdot E}$$

ahol

β – szögelfordulás [fok]

M – nyomaték [Nm]

I – másodrendű nyomaték [m⁴]

E – rugalmassági modulus [N/mm²]

l_0 – távolság [m]

Hajlító merevség = $I \cdot E$

$$l_0 = \beta \cdot \rho$$

A képletek összevonása:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{I \cdot E}$$

Az egyenlet rendezve:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{F \cdot \rho}{I \cdot E}$$

$$F = \frac{I \cdot E}{\rho^2}$$

ahol

ρ – görbületi sugár [m]

A másodrendű nyomaték függ a keresztmetszet méretétől és alakjától, valamint a keresztmetszetet alkotó összetevőktől. Például

kör esetén (egyes elemiszálak, monofilamentek):

$$I = \frac{d^4 \pi}{32}$$

téglalap esetén:

$$I = \frac{a \cdot b^3}{12}$$

ahol

d – a próbatest keresztmetszetének átmérője [m]

a – a próbatest keresztmetszetének szélessége [m]

b – a próbatest keresztmetszetének magassága [m]

Az erők további része a próbatest alakváltozásban játszik szerepet.

Az alakváltozás lehet sugárirányú, vagy hosszirányú. A sugár irányú alakváltozás leginkább az érintkezési felület nagyságára van hatással. Az egyre nagyobb terhelés hatására a próbatest egyre jobban „rásimul” a felületre megnövelve ezzel a „látható”, szabad szemmel is érzékelhető érintkezési felület nagyságát. A sugár irányú erők hatására az érintkező felületek közötti érdességi csúcsok is egyre nagyobb felületen érintkeznek ezzel tovább növelve a valódi tényleges érintkezési felület nagyságát.

A hosszirányú alakváltozás hatására bekövetkező megnyúlás hatására keresztmetszet csökkenés és a felületi érdességi csúcsok eltávolodásában van szerepük. Ha az érdességi csúcsok eltávolodnak egymástól, akkor ennek hatására a felület „simább” lesz.

Általánosságban megfogalmazható, hogy az egy- illetve kétdimenziós textilszerkezetek súrlódás számos eddig elhanyagolt tényezőtől is függ.

Ezek ismeretében két lehetőség van:

1. a két anyag közötti elméleti súrlódási tényező meghatározása az összes befolyásoló tényező képeltben történő megjelenítésével – ez azonban nagyon bonyolult;
2. az eredeti összefüggés alkalmazása: a súrlódási tényező adott paramétertől való függésének meghatározása kísérletekkel.

Nyomatott források

- [1] Szűcs I., Oroszlány G.: A textilszerkezetek súrlódásának mérésére kidolgozott eljárások. Magyar Textiltechnika online, LXV. évf. (2012), 1. sz., 8–16. old.

- [2] Szücs I., Oroszlány G.: A sűrűdés mérésére a műszaki gyakorlatban használt eljárások Magyar Textiltechnika online, LXV. évf. (2012), 2-3. sz., 68–73. old.
- [3] Jederán, M.: Szövés- és kötéselőkészítés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985. ISBN 963 10 6348 8
- [4] Jederán M., Tárnoky F. (szerk.): Textilipari kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979. ISBN 963 10 2706 6.