

Szálerősített hibrid kompozit száraz súrlódó kuplungbetétek fejlődése

Biczó Roland PhD hallgató, Dr. Kalácska Gábor DSc, professzor, Szent István Egyetem

A bőrszíjtól a teveszörön át számos anyag szolgált már súrlódó elemként a különböző szerkezeti kialakítású kuplungokban, míg a fejlődés a mai modern hibrid kompozit anyagokban kicsúcsosodhatott. Az újszerű anyagok jellemzői, terhelésre adott válaszai, élettartama során megfigyelhető viselkedése azonban a mai napig vet fel megválaszolatlan kérdéseket, melyekre újabban szimulációs eszközökkel keresünk választ.

Tárgyszavak: autóipar; szálerősítés; kompozit; kuplung; súrlódóbetét.

Súrlódó anyagok a kuplungokban – a kezdetektől napjainkig

A járművekben a forgó mozgást és a nyomatékot, a kinetikus energiát a motortól, mint erőforrástól a hajtómű felé a tengelykapcsoló, vagyis egy kuplungszerkezet viszi át. [JACKO M. G. *et al.* 2000] A kuplung feladata az oldható kapcsolat mellett ennek a nyomatéknak a felépítése adott – céljárműtől függően – lágy illetve merev karakterisztika alapján. Működés közbeni csúszás esetén hő keletkezik, melyet elnyel, majd le is ad egyből a kuplung a környezetébe.

A jármű tengelykapcsolók őseinek az 1886-os Benz Motorcar-ban alkalmazott szíjhajtásos kuplung tekinthető, mely bőrszíjat alkalmazott csúszó súrlódó elemként, így csak megfelelő feszesség esetén volt képes nyomaték-átvitelre, továbbá érzékeny volt a szennyeződésekre, nedvességre és hamar elkopott. A teret nyert belső égésű motorok sajátosságait (megfelelő nyomatékleadás csak adott munkapontban/ fordulatszám) figyelembe véve született meg a súrlódó tengelykapcsoló típus, melynek elve, hogy két összenyomott forgó felület közt a nyomóerő hatására súrlódó erő ébred, mely képes nyomatékot átvinni. Az első szerkezetek a Daimler által alkotott kúpos tengelykapcsolók voltak, melyek 1889-től egészen az 1920-as évekig uralták a piacot. Súrlódó betétként teveszörből készült szíj szolgált, de a nedvesség, a zsír és az olaj ellen a ricinusolajba áztatott bőr optimálisabbnak bizonyult, igaz élettartamuk rendkívül alacsony volt, cserélni viszont igen nehézkesen lehetett a kúpos tárcsákat, így a betétek alá rugós csapokat, vagy laprugót szereltek. További probléma volt, hogy a hőtágulásbeli különbségek miatt a kúpos tárcsa a kúpos lendkerékben ragadt lehülés után.

Az első világháború végére a fém betétanyagok elterjedése volt általános. A Daimler alumíniummal kísérletezett, és bár a fém kuplungok modulációs karakterisztikája messze nem volt komfortos, tekericsrugós tengelykapcsolójuk a remek konstrukció okán az első világháború végéig népszerű maradt a Mercedesekben.

Időközben Henry Shelby Hale-Show Angliában megalkotta a többtárcsás, vagy lamellás kuplungot, mely a súrlódó felület növelésével és az axiális helyigény csökkenésével rögtön elterjedt, sőt ezzel megszületett a mai tárcsás súrlódó tengelykapcsolók közvetlen elődje. Bronz és acél súrlódó elemikhez speciális száraz betétanyag vagy olajkenés társult.

Az egytárcsás kuplungot a De Dion & Bouton már 1904-ben kifejlesztette, de elterjedéséig, az 1920-as évekig várni kellett az Egyesült Államokban, Európában pedig újabb tíz évre volt szükség. A betétanyag kezdetben grafitkenésű fém volt, melyet a fenol gyanták kifejlesztésével a szerves betétek váltottak fel. A nem szerves betétek ma főleg traktorokban kerülnek alkalmazásra, ezek a kerámiabetétek. Bár súrlódási tényezőjük és hőállóságuk is magasabb, mint a szerves társaiké, utóbbiakkal mégis kényelmesebb nyomaték-moduláció érhető el. A kuplungszerkezetek és a súrlódó betétanyagok fejlődése közti kapcsolat, ahogy az 1. táblázatban is látható, az egytárcsás súrlódó betéttel jelentkezett csupán.

1. táblázat

Tengelykapcsoló szerkezetek és súrlódó betétanyagok fejlődése

	évszám	1886	1889-1920'	1918-1920'	-1920'	1900-1918	1900-	('04) 1920-
	kuplung-típus	súrlódó tengelykapcsoló						
évszám	betétanyag	szíjhajtás	kúpos	NAG kúpos (szerehető)	Daimler A1-kúpos	Daimler/Mercedes tekericsrugós	Weston (többlemezes) olaj/száraz	egy-tárcsás
1886	lapos ékszíj	x						
1889	teveszór szíj		x	x				
1899+	ricinusolajba áztatott bőrszíj		x					
1889++	rúgós csap/laprugó+bőrszíj		x					
1918	fém súrlódó betét		x			x		
1918+	olajozott alumínium				x			
1900-	olajozott bronz és acél						x	
1900-	szegecselt betét						x	
1920-	grafit kenésű fém							x
1920-	ferodo aszteszt							x
1990-	aszteszt mentes polimer kompozit							x

A kuplungok súrlódó anyagával szemben támasztott követelmények

A modern száraz kuplungok kuplungtárcsáinak súrlódó betétei anyaguk szerint három alaptípusba sorolhatók: szőtt, szálerősítéses súrlódó betétek; porkohászati eljárással készült, fém hordozólemezü betétek; kerámia súrlódó felületű betétek. Előbbiek főleg hagyományos alkalmazásokban gyakoriak, azonban létezik ezekhez is hordozóréteggel ellátott típus az igénybevételek kielégítésének megfelelően. Ez a hordozóréteg lehet fém, vagy szintén szövással készült szálerősített polimer kompozit koszorú.

A száraz súrlódó kuplung betétek igénybevételi állapota a súrlódó erő súrlódó felületen ébredő komponenseivel jellemezhető, melyek az adhézió, valamint a rugalmas és képlékeny alakváltozás. A súrlódás következményei és a fellépő jelenségek [JACKO M. G. et al. 2000]: tapadás – tapadásmegszakadás jelensége, abrázió, repedés, súrlódó film nyíródása, érdesség-csúcsok kapcsolódása. Ezek alapján a száraz súrlódó kuplungok súrlódó betéteinek követelményei a következőképpen foglalhatók össze: súrlódási tényező állandósága, kopásállóság, kopási jelenségek csökkentése a nyomólapon és lendkeréken egyaránt, 10 000 rpm feletti üzemi fordulatszám (repedési fordulatszám-állóság), 300 °C feletti hőmérsékleten való hibamentes működés, kis tömeg, komfortos indulás, környezetbarát anyagok alkalmazása.

A szálerősítéses hibrid kompozit, mint modern súrlódó betétanyag

A polimerek alkalmazása ma már széleskörű, akár súrlódó elemekként is használatosak kiváló mechanikai és tribológiai tulajdonságaik miatt. A járműiparban használt súrlódó betétek egy része üveg- és szintetikus illetve fémszál-erősítéses kompozit, az egyes komponensek szeparáltan, célzottan alkalmazva teljesítik a súrlódó elemekkel szemben támasztott követelményeket, így ezek fejlesztéséhez szükséges a felületek súrlódási viszonyainak vizsgálata. A súrlódó hibrid kompozitbetét összetevői funkciók szerint a következőképpen osztályozhatók [JACKO M. G. et al. 2000] [BIJWE J. 1997]:

- abrázió anyagok: a kapcsolódó felületek tisztaságának fenntartása, súrlódási film kialakítása (alumínium-oxid, vas-oxidok, kvarc, kvasav, cirkónium szilikát),
- súrlódási állapotot befolyásoló összetevők: létrehozzák a kenési állapotot, növelik súrlódás mértékét, reakcióba lépnek a környezeti levegőben található oxigénnel a súrlódó felületek közti film alakításához (fémek, fénoxidok, fémszulfidok, fél- vagy átmenetifém-szulfidok: sárgaréz; vörösréz; ólom-oxid; alumínium; szilícium és vas vagy titánium-oxid; antimon-triszulfid; molibdén-diszulfid, szerves anyagok: szén; petrolkocsz; ásványi töltőanyagok),
- filler anyagok és erősítő anyagok: felelnek az átlag összetétel fenntartásáért, illetve az orientált erősítésért (szerves vegyületek: antioxidánsok; pamut, fémek: kálium-titanát, ásványi anyagok: azbeszt; bárium-szulfát; kalcium-karbonát; cink-oxid, egyéb polimerek: gumi, egyéb: cashew dióhéj-olaj),

- kötőanyagok: biztosítják a komponensek felületei közti adhéziót, felelnek a szerkezet egybefüggőségéért (fenol-gyanta, Cu-, Fe-, Ni-ötvezetek, módosított gyanták (olajokkal, elasztomerrel, foszforral, bórral stb.)).

A felhasznált anyagok funkciói közti határvonal nem ilyen éles, például több kutatás is igazolta töltőanyagok és kötőanyagok súrlódási viselkedésre való befolyását. [BIJWE J. *et al.* 2008][GOPAL P. *et al.* 1996] [KUMAR M. – BIJWE J. 2010a][KUMAR M. – BIJWE J. 2010b][KUMAR M. – BIJWE J. 2011] A súrlódási és kopási jelenségeket befolyásolja a komponensek formája, eloszlása és részecske mérete. [BIJWE J. 1997]

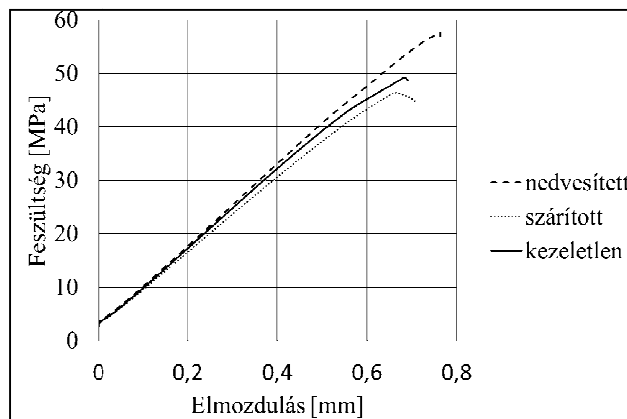
A korábban széles körben alkalmazott azbeszt ($Mg_3SiO_5(OH)_4$) népszerűsége abban rejlett, hogy 500 °C-ig termikusan stabil, használat közben segít „regenerálódni” a súrlódó felületnek, szilikátjai keménysége magasabb az alapanyagnál, jó kopási tulajdonságokkal rendelkezik, erős, de hajlékony, olcsó volt viszonylag, szálas karakterisztikája 1400°C-ig ép. Azonban a tüdőben lerakódik, rákkeltő, így 1986-ban az Environmental Protection Agency betiltotta a használatát. Az autóipart a '90-es években érte el a határozat. Megkezdődött a kutatás az azbeszt kiváltására alkalmas anyagok után. [BIJWE J. 1997] Azbeszt kiváltására a szerves anyagok közül alkalmasak a PAN, a PE és az aramid (szilárdság és magas hőállóság [CZVIKOVSKY T. – GAÁL J. – NAGY P. 2000]), a szervesetlen anyagok közül a wollastonit (kálcium-szilikát), a vermikulit (hidratált kalcium alumínium szilikát), a csillámpala (Al-szilikát), a fiberfrax kerámia szál, a bazaltszál, a kőgyapot és az üvegszál (hőállóság szempontjából jobb).

Minőségbiztosítás – anyagvizsgálati kihívások és lehetőségek

A kuplungtárcsa súrlódó betétek gyártása során a gyártók által végzett legkritikusabb minőségellenőrző vizsgálat a repedési fordulatszám-mérés. A repedési fordulatszám egy súrlódó betét esetén függ annak anyagától és méreteitől. Ha veszünk egy ideális, forgásszimmetrikus körgyűrűt, akkor abban a forgás hatására fellépő feszültségek a külső átmérőtől a belső átmérő felé haladva nőnek. A maximális feszültség helye a gyűrű belső átmérőjén lesz, ahol tisztán kerületi irányú feszültségek ébrednek. A különböző furatok és folytonossági hiányok azonban torzítják a megoldást, így tervezéskor FEM használata szükséges, mely azonban csak megfelelő anyagmodell esetén ad releváns eredményeket. Máskülönb pedig jobbára tehát roncsolásos anyagvizsgálati lehetőségek állnak rendelkezésre a már elkészült termékekre, melyekhez megfelelően nagy mennyiség elroncsolása szükséges a repedési fordulatszám ellenőrzéséhez, hogy statisztika alapján az egy gyártásból származó összes darab megfelelőnek nyilvánítható legyen. Az anyag gyártás után vagy élettartam során várható viselkedésének szimulációja csökkenthetné a tesztelendő mennyiséget, ehhez azonban egy olyan modellre van szükség, mely képes szimulálni az anyagi viselkedést mechanikai, termikus és tribológiai szinten is.

Mindehhez az adott tudományterületnek megfelelő további vizsgálatokra, amikhez pedig megfelelő próbatestekre van szükség. Ezek a próbatestek megbízható és

pontos anyagválasztást igényelnek, lévén a szálerősített kompozitok egyik tönkremeneteli formája a száلكihúzóadás, azaz az adhézió megszűnése az erősítő szálak és a mátrix között, és az olyan mechanikai megmunkálások, mint a fűrészelés, marás előidézhetik ezt, míg a lézerrel történő vágás az anyag gyúlékonysága miatt nem alkalmazható. Megoldást az abrazív vízsugaras vágás nyújt, ahol az anyageltávolítást a magas nyomású, nagy sebességű víz és a nagy sebességű, durva csiszolóanyag eróziója végzi. [RELEKAR *et al* 2015] A megmunkálás nem generál hőt, kis erők ébrednek a megmunkált felületeken és tetszőleges kontúr kivágható. [HOOGSTRATE *et al* 1997] A problémát a víz jelenléte okozhatja, - gondoljunk csak a reggeli, párás időben fellépő „hidegrángatására” a kuplungnak.



1. ábra Nedvesítés hatásának vizsgálata

A víznek az anyag viselkedésére és tulajdonságaira való befolyását három, különböző nedvességi állapotban lévő, 1515 MAXIEM OMAX abrazív vízsugaras vágóberendezéssel készült szakítópróbatest-csoporton a DIN 53455 szerinti szakítóvizsgálattal – kihasználva, hogy a szálerősítés orientációt ad az anyagnak – vizsgáltam. Az első csoport próbatesteit 15 percig 150°C-on szárítottam, a második csoportba tartozókat 15 percig nedves textília között tartottam, míg a harmadik csoport a vízvágás után nem részesült további kezelésben. Az

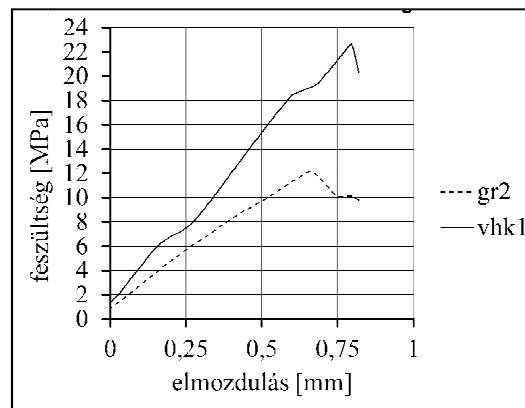
1. ábra eredményeiből jól látható, hogy a vágás utáni hozzáadott és elvont víz mennyisége nem változtatott a próbatestek mechanikai viselkedésén, így az abrazív vízsugaras vágás alkalmazható próbatestek kialakítására. [BICZÓ *et al.* 2017]

Mechanikai anyagmodell létrehozása a komplex szimulációkhoz

Az átfogó szimulációs lehetőségek kialakításához ismerni szükséges az anyag különböző terhelésekre adott válaszát. Mechanikai szempontból tekintve szükség van egy merevségi mátrixra, mely kapcsolatot teremt a testre ható külső erők és a hatásukra létrejövő elmozdulások közt.

Nehézséget okoz azonban, hogy az általam vizsgált hibrid kompozit mátrixának pontos összetétele nem ismert, csak a struktúráért is felelős, hosszú erősítőszálak tulajdonságai. Ez a hiányosság azonban megkerülhető azzal az ötlettel, hogy külön csak mátrixból készült betétekből kivágott próbatesteket vizsgálunk. A betétgyártás során maga a mátrix granulátum formából kiindulva, extruderen keresztülvezetve, kompaundálással kerül a különböző erősítőszálakból összefonott szál külső felületére, az így bevonatolt szálból koszorút fonnak, majd préseléssel történik meg egy köztes, félkész alakadás, elindítva a keresztkötések létrejöttét a mátrixban. Ha csak mátrixból készítünk betétet, vizsgálnunk kell a kompaundálás okozta feltételezett mátrixanyagbeli átalakulások szerepét.

Ennek érdekében két különböző eljárással készültek mátrix-betétek, melyekből a szakítóvizsgálathoz szükséges próbatesteket vágtam ki. Az egyik csoportba tartozók tehát pusztán szerszámfelekbe szórt granulátum összepréselésével készültek, míg a másik csoport extruderen keresztülvezetett granulátum, ún. virsli újbóli felaprításával és összepréselésével készült.



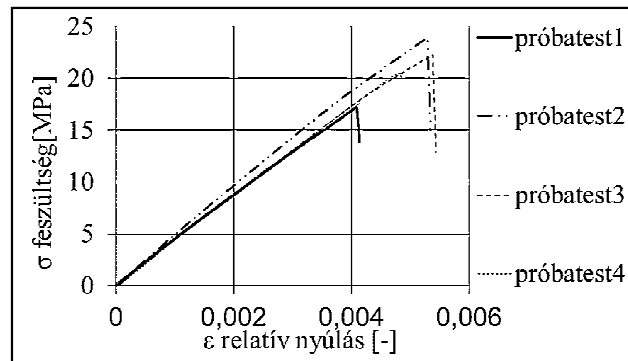
2. ábra Kompaundálás közben végbemenő folyamatok hatása a mátrix szilárdságára

Ahogy a 2. ábra mutatja az extruderen keresztülvezetett mátrixanyagból készült betétekből kivágott szakítópróbatetek (vhk1) szilárdsága jellemzően magasabb, mintegy kétszerese az azonos technológiával készült, kompaundálás közbeni megmunkálás hatásait azonban nélkülöző próbatetek (gr2) szilárdságánál. Bár a mátrix anyaga nem ismert, kiinduló granulátum anyagának töretfelületén is jól látszik, hogy tartalmaz rövid szálak erősítést, feltételezhetően több különböző szálanyagból. Az eredményből feltételezhető, hogy a kompaundálás folyamata során ezek a rövid szálak bizonyos orientációt kapnak, ezáltal tovább erősítve a mátrix anyagát a vizsgált irányban.

Ezeket figyelembe véve a megfelelően gyártott mátrix próbatetekeken elvégzett szakítóvizsgálatokból, melyeknek jellemző eredményeit a

3. ábra mutatja, megállapítható a mátrix húzó rugalmassági modulusa, melyre ~4300 MPa adódik. A mátrix teljes mechanikai modelljének felírásához így már csak a Poisson tényező és csúsztató rugalmassági modulus Iosipescu-féle vizsgálattal történő

meghatározására van szükség, mely kísérletek és kiértékeléseik a cikk írásakor még zajlanak.



3. ábra A mátrix jellemző szakító-jellegű görbéi néhány próbatest eredményeivel

Irodalomjegyzék

- Biczó R. *et al.* (2017): Pin-on-disc tribology test of dry sliding frictional hybrid woven composite material samples cut with abrasive water jet machining, *Proceedings of the V. Synergy International Conference*
- Bijwe J. (1997): Composites as friction materials: Recent developments in non-asbestos fiber reinforced friction materials—a review, *Polymer Composites* 18/3, 378–396.o.
- Bijwe J. *et al.* (2008): Optimization of brass contents for best combination of tribo-performance and thermal conductivity of non-asbestos organic (NAO) friction composites, *Wear* 265/5–6, 699–712.o.
- Czvikovszky T. - Gaál J. - Nagy P. (2003): A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, ISBN 963-420-621-2
- Gopal P. *et al.* (1996): Hybrid phenolic friction composites containing Kevlar® pulp Part 1. Enhancement of friction and wear performance, *Wear* 193/2, 199-206.o.
- Gopal P. *et al.* (1996): Hybrid phenolic friction composites containing Kevlar® pulp Part II—wear surface characteristics, *Wear* 193/2, 180-185.o.
- Hoogstrate A. M. *et al.* (1997). Opportunities in abrasive water-jet machining. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 46(2), pp. 697-714.
- Jacko M. G. *et al.* (2000): Brake Linings and Clutch Facings, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Online ISBN: 9780471238966, DOI: 10.1002/0471238961
- Kumar M. – Bijwe J. (2010a): Role of different metallic fillers in non-asbestos organic (NAO) friction composites for controlling sensitivity of coefficient of friction to load and speed, *Tribology International* 43/5–6, 965–974.o.
- Kumar M. – Bijwe J. (2010b): Studies on reduced scale tribometer to investigate the effects of metal additives on friction coefficient – Temperature sensitivity in brake materials, *Friction fluctuations* 269/11–12, 838–846.o.
- Kumar M. – Bijwe J. (2011): Non-asbestos organic (NAO) friction composites: Role of copper; its shape and amount, *Wear* 270/3–4, 269–280.o.
- Relekar K. M. *et al.* (2015): Abrasive water jet machining, *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology* 2/10

Röviden ...

Elkészült az egymilliomodik Mercedes Kecskeméten

2018. szeptember 10-én a kecskeméti Mercedes-Benz gyárban legördült a gyártósorról az egymilliomodik személyautó. Az autó egy gyönyörű A-osztályú fehér színű A180d AMG-line, amelyet egy olaszországi autószalonban rendeltek meg.

A Mercedes-Benz gyár folyamatos fejlődését mutatja, hogy a 2012-es termelési starthoz képest mintegy 4 esztendőre volt szükség az első félmilliomodik autóhoz. A második félmillióhoz már csak mindössze két és fél év.

A rastatti (Németország, Baden-Württemberg tartomány) testvérgyárral szoros együttműködésben működő kecskeméti gyár kezdetben B-osztályú, majd Mercedes-Benz CLA és CLA-Shooting Brake kompaktautók gyártására rendezkedett be, de az idei év májusától a B-osztály helyét átvette a februárban bemutatott új A-osztály. A Mercedes-Benz CLA-t és CLA-Shooting Brake-et kizárólag Magyarországon gyártják.

A Mercedes-Benz kecskeméti telephelyén már javában zajlanak a gyárbővítés előkészítő munkálatai. A termelés várhatóan 2020-ban kezdődik meg a csúcstechnológiával rendelkező, az ipar 4.0 szellemiségét megvalósító hatékony, teljesen rugalmas, ún. full-flex gyártási egységben. A legmodernebb termelési rendszer keretében különböző típusú és meghajtású járműmodellek készülhetnek a gyártósorokon. A gyárbővítés eredményeként új présüzem, továbbá új karosszéria-, felületkezelő- és összeszerelő üzem jön létre. A beruházás teljes összege 1 Mrd EUR, és több mint 2500 újabb munkahelyet teremt majd Kecskeméten.

J. P.

autopro.hu, 2018. 09.10.

Kínában gyárt majd kamionokat a Mercedes

A Daimler mindeddig exporton keresztül juttatta el kamionjait Kínába, azonban közvetlenebb piaci jelenlétre van szükségük a siker fenntartása érdekében. A Foton nevű partnerükkel közösen fejlesztenek ki és értékesítenek egy a Mercedes Actros-on alapuló, kínai piac igényei szerint átalakított modellt. Kínában a teherautók iránti kereslet sosem látott méreteket öltött az utóbbi években. A befektetés számai egyelőre nem ismertek. A gyártás várhatóan a következő évtized elején kezdődhet, addig pedig a kínai partnerrel közösen Auman márkanév alatt forgalmaznak kedvező áru teherautókat. Az Auman teherautókból 2017-ben 112 000 darab talált gazdára, ami komoly növekedés az egy évvel korábbi 78 000-hez képest.

J. P.

autoszektor.hu 2018. 09. 05.