



HU000228364B1

(19) **HU****MAGYARORSZÁG**  
Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala(11) Lajstromszám: **228 364**(13) **B1**

## SZABADALMI LEÍRÁS

(21) A bejelentés ügyszáma: **P 08 00256**(51) Int. Cl.: **H01B 3/00** (2006.01)(22) A bejelentés napja: **2008. 04. 24.**(40) A közzététel napja: **2010. 01. 28.**(45) A megadás meghirdetésének dátuma a Szabadalmi Közlöny és Védjegyértesítőben: **2013. 03. 28.**

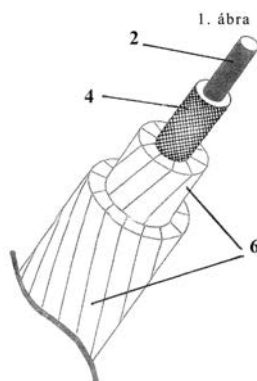
(72) (73) Feltaláló(k) és szabadalmas(ok):  
**dr. Zsigmond Balázs 15%, Tószeg (HU)**  
**dr. Czigány Tibor 23%, Budapest (HU)**  
**dr. Karger Kocsis József 29%, Budapest (HU)**  
**Szaplonczay Pál 33%, Budaörs (HU)**

(74) Képviselő:  
**Székely Éva egyéni szabadalmi ügyvivő,**  
**Budapest**

(54) **Eljárás nagy teherbírású és hőálló távvezeteki kábel hőre lágyuló mátrixú kompozit magjának előállítására**

(57) Kivonat

A találmányunk szerinti hőre lágyuló mátrixú kompozit magot folyamatos pultrúzióval gyártjuk, melynek során egy teherviselő magot (2) alakítunk ki nagy szilárdságú, célszerűen unidirekcionális elrendezésű erősítő szálaknak (szálkötegeknek) ciklikus monomerek és/vagy oligomerek és/vagy ezek keverékeinek 1Pa\*s alatti ömledéviszkózitású-, gyűrűfelnylásos in situ polimerizációjában képződő, hőre lágyuló mátrixába ágyazva, majd e teherviselő mag körül, azzal „egybeépülő”, annak anyagát és/vagy szerkezetét transzreakciók révén módosító védőburkolatot (4) alakítunk ki oly módon, hogy transzreakcióra alkalmas, hőre lágyuló textilszál struktúrárt tekerceselünk (fonatolunk) vagy közvetlenül az erősítőszálakra (szálkötegekre), vagy a már előimpregnált magra, melyet hőre lágyuló-, gyűrűfelnylással in situ polimerizálódó mátrixba ágyazunk. A védőburkolat (4) kialakítása során alkalmazott, hőre lágyuló textilszálak olvadási hőmérséklete alacsonyabb-, illetve adott esetben magasabb is lehet, mint a gyűrűfelnylásos polimerizációé. Adott esetben - a gyűrűfelnylásos polimerizáció anyagaira vonatkoztatva - 0,5-5 tömeg% nano-töltőanyagot adagolunk.





Eljárás nagy teherbírású és hőálló távvezetési kábel hőre lágyuló  
mátrixú kompozit magjának előállítására

Találmányunk tárgya eljárás távvezetési kábelek hőre lágyuló mátrixú kompozit magjának előállítására. A találmányunk szerinti eljárás önmagában ismert, folyamatos üzemű pultrúziós eljárás, melynek során erősítő szálakat (szálkötegeket, struktúrákat), célszerűen unidirekcionális szálkötegeket ágyazunk hőre lágyuló (termoplasztikus) polimer mátrixba. A hőre lágyuló polimer mátrix eljárásunk során önmagában ismert polimer alapanyagok, így ciklikus monomerek-, oligomerek, illetve ezek keverékének ömledékéből képződik gyűrűfelnyílásos in situ polimerizáció során. Megoldásunk újdonsága abban rejlik, hogy az erősítőszálakat tartalmazó teherviselő mag köré egy, azzal összeépülő (azzal együtt „dolgozó) védőbevonatot alakítunk ki, mely vagy közvetlenül az erősítő szálakra-, vagy a már előimpregnált erősítőszálakra (tehát a kompozit teherviselő magra) tekercselt, vagy fonatolt hőre lágyuló textilszálakból áll, melyek ugyancsak hőre lágyuló mátrixba vannak ágyazva. Az alkalmazott hőre lágyuló polimer textilszálak – melyek olvadási hőmérséklete alacsonyabb, illetve magasabb is lehet a gyűrűfelnyílásos polimerizáció hőmérsékleténél – a maganyag szerkezetét, illetve mechanikai tulajdonságait módosítják, a hőre lágyuló mátrixszal végbemenő transzreakciók révén, ugyanakkor nem befolyásolják az újrahasznosíthatóságot.



A villamosenergia-igény világszerte növekvő tendenciája a meglévő, erősen leterhelt távvezetékek átviteli kapacitásának (a szállítható villamos teljesítmény) növekedését teszik szükségessé. Ennek egyik módja a kábelátmérő növelése, a másik a kábel működési hőmérsékletének emelése.

A nagyobb átmérő nagyobb súlyt eredményez, melynek káros következménye a kábel nagyobb belógása, ill. a távvezeték-oszlopok megnövekedett terhelése. Bizonyos fokú javulást eredményez, ha kör keresztmetszet helyett trapéz keresztmetszetű vezetőkötet alkalmazunk, ezzel ugyanis javul a térkitöltés – az így jelentkező teljesítménynövelés azonban korlátozott.

A tartósan megemelt üzemi hőmérséklet hagyományos kábeleknél ugyancsak korlátokba ütközik. A hagyományos ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) kábelek acél teherviselő maggal és azt körülvevő – az áramvezetésért felelős – alumínium huzal sodrattal rendelkeznek. Üzemi hőmérsékletük 80-85°C, esetenként 90°C. Ennél magasabb hőmérsékleten a hidegen alakított alumínium vezető kristályos szerkezete átalakul (annealing, temperálás), ami a szilárdság csökkenéséhez vezet. További problémaként jelentkezik – annak ellenére, hogy az acél magot tűzi horganyozással, vagy alumínium bevonattal látják el – az alumínium sodrony köpeny és az acélmag között kialakuló galvanikus korrózió, mely a hagyományos kábel élettartamát csökkenti.

Ismert olyan megoldás – pl. a BICC amerikai cég terméke – melynél eleve temperált alumíniumot használnak, acélsodronyos teherhordó maggal kombinálva. Ezek az ACSS megnevezésű kábelek (Aluminium Conductor Steel Supported). E megoldások hátránya, hogy még nagyobb teher nehezedik az acél magra.

A Furukawa és Fujikura japán cégek közös vállalata Invar néven forgalmazott kábelénél az alumínium köpenyt hőálló  $Al_3Zr$  ötvözetre cserélték le. E megoldás lényegesen drágább a hagyományos kábelnél.

A tisztán fém komponensekből felépülő kábelek konstrukciós lehetőségeiről jó összefoglalás olvasható a Southwire cég weboldalán ([www.southwire.com](http://www.southwire.com)) F. Ridley Thrash Jr. „Transmission Conductors – A review of the design and selection criteria” című tanulmányában.

Számos olyan megoldás ismeretes, melyeknél – a fentiekben ismertetett problémák miatt – a teherviselő acél magot egyéb, mechanikailag jól, ill. jobban terhelhető, különösen nagy fajlagos húzószilárdságú anyaggal helyettesítik, mely anyagok jól viselik a magasabb üzemi hőmérsékletet. Ilyen ismert, de korábban e szakterületen még nem alkalmazott anyagok a kompozitok. (Kompozitnak ismert terminológia szerint azokat az anyagokat nevezzük.





melyek szálakból és mátrixból állnak, ahol a szál a teherhordó, a mátrix a terhelésközvetítő komponens. Hosszúszásas kompozitról akkor beszélünk, ha az erősítő szálak hossza gyakorlati szempontból végtelenül nagyobb azok átmérőjénél.)

Kompozit magot tartalmaznak a 3M cég szabadalmi (pl. US6180232, US6245425, US6336495, US6447927, US6460597, US7093416), melyeknek teherhordó magja alumíniumoxid szállal erősített kompozit; ismert terméknevük: ACCR (Aluminium Conductor Composite Reinforced) kábel, azaz kábel alumínium vezetővel és kompozit teherhordó elemmel.

(Lásd a [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/EMD\\_ACCR/ACCR\\_Home](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/EMD_ACCR/ACCR_Home) weboldalt; 2008.április) Ezen ismert megoldások előnye, hogy az alumíniumoxid kompozit mag és alumínium, illetve Al-Zr ötvözet-vezető kombinációja megszünteti a korróziós veszélyt és 210°C-ra növeli a megengedhető tartós használati hőmérsékletet. E megoldások ára azonban hat-nyolcszorosa a hagyományos ACSR kábelekének.

Az alumíniumoxid kompozit magoknál előnyösebb tulajdonságúak a polimer kompozitokat alkalmazó megoldások, a nagyobb sűrűségcsökkenés miatt. Egyúttal áruk is kedvezőbb.

Polimer kompozit kábelmaggal rendelkező megoldásokat fejlesztett ki a Composite Technology Corporation (CTC), mely kábelek ACCC (Aluminium Conductore, Composite Core = kábel alumínium vezetővel és kompozit maggal) termékneven ismertek. Az egymást követő CTC szabadalmak (US7060326, US7179588, US7211319, US20040026112, US20040131834, US20040131851) egyik fő célja a gyártási eljárás hatékonyságának (sebességének) növelése, másik a kompozit mag fokozott védelme mechanikai és (hidrolitikus) behatásokkal szemben.

Az US7179522 lajstromszámú szabadalom szerinti nagyfeszültségű távvezetési kábel kompozit magját például egyedi gyártási módszerekkel (úgy mint B-Staging és/vagy film-coating) pár láb/percről 60láb/percre (20m/percre) emelték. E megoldásnál a száltartalom 50tf% feletti, szakítószilárdsága 160-370Ksi, rugalmassági modulusa 7-37Msi, hőtágulási együtthatója  $-0,6 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/}^\circ\text{C}$  közötti érték. Üzemi hőmérséklete 100°C felett van, de üzemelhet a -45°C–240°C közötti tartományban is.

Hasonlóan jó műszaki paraméterekkel rendelkezik az US20040131834 számú szabadalmi leírásban ismertett megoldás is, melynek kialakítása és gyártástechnológiája megegyezik az US7179522 lajstromszámú szabadaloméval, nevezetesen az egy-, vagy többféle mátrixanyagba beágyazott szálkötegekből álló kompozit kábelmagot legalább egy rétegben alumínium áramvezető réteg veszi körül.



A CTC szabadalmak a mátrixgyanták és erősítő szálak rendkívül széles körét említik; a megvalósítási példák azonban kizárólag hőre keményedő gyantákra vonatkoznak. Ez a kábeltípus általában 200°C-ig terhelhető, amennyiben a szabadalmakban specifikált, nagy térháló-sűrűségű speciális epoxigyantát használnak mátrixként, amelynek üvegesedési hőmérséklete 215°C (üvegesedési hőmérséklet  $\equiv$  amorf polimereknél olvadáspont helyett alkalmazott fogalom).

A gyantából térhalósodása révén kialakult mátrix feladata az erősítőszálak egyenkénti beágyazása, rögzítése és külső behatásoktól való védelme. Az erősítőszál és mátrix között kialakuló határfelületi réteg szerepe az, hogy a terhelést a „gyenge” mátrixról az „erős” teherhordó szálakra helyezze át. Ezen anyagokból tetszőleges hosszúságú kompozit rudak gyárthatók pultrúziós technikákkal. A pultrudált rudak rúdbeli axiális, unidirekcionális szálelrendezése különösen kedvező a távvezetékek teherhordó magja szempontjából, ahol döntően szintén a húzási tulajdonságoké a főszerep.

Nem véletlen tehát, hogy távvezetékek teherhordó magjaként szénszál, vagy egyéb szálerősítésű pultrudált rudakat javasoltak.

(Unidirekcionális  $\equiv$  egy irányban erősített; az erősítő szálak lényegében párhuzamosak.)

(Pultrúzió  $\equiv$  olyan feldolgozási technológia, amelynek során lényegében végtelen, párhuzamosított szálkötegeket itatnak át folyékony gyantákkal, vagy polimer ömledékekkel, majd a kompozitot konszolidálják – azaz eltávolítják a mátrix-polimer feleslegét és megszüntetik a belső üregeket – oly módon, hogy az átítatott szálkötegeket egy alakadó szerszámon húzzák át. A kompozit keményítése gyanták esetében kémiai reakció útján-, hőre lágyuló rendszer esetében lehűtéssel történik. Pultrúzióval profilokat, csöveket, rudakat állítanak elő.)

Pultrúziós eljárás és berendezés ismerhető meg például a már hivatkozott US2004/0131834 közzétételi iratból, illetve a JP11348140 számú szabadalmi leírás kivonatából. Ez a módszer általánosan ismertnek és a szakterületen alkalmazottnak tekintendő

Noha a húzószilárdság a domináns, nem ez az egyetlen követelmény, amelynek meg kell hogy feleljen a kompozit mag. A kábel önsúlya, ill. a jegesedés okozta túlsúly jelentős lehajlást, így hajlító feszültegeket ébreszt a kábelben. A szellőkések következtében a kábel dinamikus, ismétlődő hajlító, fárasztó igénybevételeknek van kitéve. A hőre keményedő (térhalósodó) mátrixú polimer kompozitok duktilitása csekély és ridegtörésre hajlamosak.

(Duktilitás  $\equiv$  alakíthatóság, nyújthatóság.)

Ez utóbbi jelenség erősítőszálak alkalmazása esetén nem lép fel. A CTC szabadalmak is említik, hogy elvileg akár egyetlen erősítő szállal elkészíthető a kompozit mag, a





gyakorlatban azonban a mag tengelyvonalára koncentrikus elrendezésben más és más anyagú erősítő szálakat alkalmaznak, például belül szénszálakat, kívül üvegszálakat. A tisztán szénszálás megoldások ugyanis szilárdság és hőtágulás szempontjából kedvezőek, ugyanakkor túlságosan merevek. Az üvegszálak szakadási nyúlása lényegesen nagyobb a szénszálakénál, így a szerkezet kevésbé érzékeny a hajlításra.

E koncentrikus mag-elrendezés másik oka az, hogy szénszálak és az alumínium vezető réteg érintkezésekor korróziós folyamatok indulnak be. Ezt hivatott megakadályozni a külső üvegszálás gyanta réteg. Ez a réteges, ún. „hibriderősítés” azonban a szénszál és üvegszál eltérő hőtágulási együtthatóiból adódóan mechanikai feszültségeket idéz elő, így mikro-repedezések lépnek fel, mely közrejátszik a kábel tönkremenetelében. E jelenség oka, hogy egyik szálkomponens sem duktilis.

Az US2007193767 számú szabadalmi leírás olyan kialakítást ismertet, melynél az epoxigyanta mátrixú kompozit magot egy szigetelő réteg (PEEK szalag) veszi körül, mely megakadályozza a galvanikus kontaktust – így a korróziót is – a szénszál mag és az alumínium vezető körül.

Az FR2836591 lajstromszámú szabadalmi leírás olyan kompozit maggal erősített kábelt ír le, ahol a kompozit magot egy erősítő szálakat és alumínium szálakat tartalmazó körfonatolt (braided) réteg veszi körül, amelyet végül olvadt alumíniummal vonnak be.

A példaként bemutatott, hőre keményedő mátrixú polimer kompozit magok gyártásakor további problémaként merül fel, hogy ez epoxi gyanták térhálósodása során nagy mennyiségű anhidrid gőz szabadul fel, amely az emberi szervezetre káros. Ugyancsak veszélyes anyagnak minősül a gyártási hulladék is. Az életsiklus végén leszerelésre kerülő kábelek epoxigyanta mátrixú magjának újrahasznosítása nem megoldott, egy részüket ugyan megőrölve töltőanyagként (pl. útalapba) felhasználják, de jelentős részük veszélyes hulladékként kerül az égető művekbe.

Míndezek a problémák szakember számára felvetették azt a kérdést, hogy a hőre keményedő gyanták helyett hőre lágyuló (termoplasztikus) gyantákat alkalmazzanak. Ezek ugyanis – ismert módon – visszaalakíthatóak, a belőlük készített granulátumok más termékek alapanyagaként hasznosíthatóak, így nem keletkezik veszélyes hulladék. A dinamikus, ismétlődő hajlító, fásztó és abrazív igénybevételeknek is ellenállóbbak, mint a hőre keményedőek. Ezen előnyös tulajdonságaik ellenére nem terjedt el alkalmazásuk és a szabadalmi leírások sem nyújtanak kellő kitanítást hőre lágyuló polimer kompozit mag kialakítására.



Az US7093416 lajstromszámú szabadalmi leírás ugyan említ olyan kompozit magot is, amelynek hőre lágyuló polimer a mátrixa, de a hőre lágyuló mátrixokra vonatkozóan semmilyen konkrét kitanítást nem tartalmaz.

A Gift Technologies által benyújtott US7015395 szabadalom hőre lágyuló mátrixú kompozit magot ír le, melynek mátrixa polipropilén, ami erősen korlátozza a rendszer hőállóságát; a kompozit mag erősítőszála pedig üveg, aminek a mechanikai szilárdsága nem kielégítő. Az anyagválasztást az dominálhatta, hogy ebből az anyagpárosból rendelkezésre állt kevertszálas rendszer, amiből könnyebb elkészíteni a konszolidált kompozit magot, mint az erősítő szálak impregnációjával.

A hőre lágyuló mátrixú pultrudált polimer kompozitok esetében ugyanis a nagy ömledékvizkozitás miatt komoly nehézségeket jelent az erősítőszálak tökéletes impregnálása, különösen a nagy (>60tf%) száltartalmú polimerek esetében. Kellő impregnáltság általában csak akkor biztosítható, ha a mátrixképző ömledék viszkozitása jóval 1Pa\*s alatt marad. (Minthogy térhálósodó gyantáknál ez a feltétel szinte mindig teljesül, ez az oka a hőre keményedő pultrudált termékek elterjedésének.)

Találmányunk megalkotásakor azt tűztük ki célul, hogy olyan nagy hőállóságú (>190°C), abrazív behatásokkal szemben ellenálló, környezetbarát kábelmagot fejlesszünk ki, amelynek anyaga hőre lágyuló – így élettartamának végén egyszerűen újrahasznosítható – és felépítése, szerkezete folytán javított tulajdonságú. (A javított tulajdonságok alatt a kábelmagra vonatkozóan elsősorban megnövelt ütve-hajlító szilárdság, hajlító fárasztással szembeni ellenállás és rétegekzi törési energia értendők.) A találmány további célja az volt, hogy a teherhordó mag, ill. a vezetékkábel gyártására termelékeny, magas minőséget garantáló eljárást fejlesszünk ki.

A szakirodalomból ismereteseek voltak számunkra olyan eljárások, melyeknél a hőre lágyuló polimer gyűrűfelnyílásos polimerizációval jön létre. Az US5294461 lajstromszámú szabadalmi leírás pultrúziós eljárást ismertet, melynél a poliamid 6 gyűrűfelnyílásos polimerizációjával hozzák létre a hőre lágyuló mátrixot. A CN1762995 és CN1762996 lajstromszámú leírásokban ciklikus aromás kéntartalmú oligomerek gyűrűfelnyílásos polimerizációjával alakul ki a hőre lágyuló polimer, amely kompozit mátrixként alkalmazható. Az EP0505139 lajstromszámú szabadalmi leírásban biszacil kaprolaktám és lényegében aromás, de alifás OH végcsoportot tartalmazó oligomerek reakciójával állítanak elő hőre lágyuló mátrixú kompozitokat kis viszkozitású kiindulási anyagokból.

Az US5207850 lajstromszámú szabadalmi leírás szerinti megoldásnál folytonos szálakról (pl. polikarbonát) és gyűrűs oligomerekből állítanak elő alakos kompozit profilokat





pultrúziós eljárással. Az impregnáláskor a folyamat kis viszkozitással rendelkezik – mielőtt a gyűrűfelnyílásos polimerizáció során a nagy molekulatömegű mátrix kialakulna.

Ismert tény volt ezen túlmenően, hogy a hőre lágyuló mátrix tulajdonságai kopolimerizáció és/vagy ömledék állapotban lezajló transzreakciók révén az igényeknek megfelelően beállíthatóak; továbbá előnyös, ha a transzreakciók katalizátora megegyezik a gyűrűfelnyílásos polimerizáció katalizátorával.

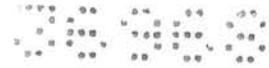
(Transzreakció alatt olyan reakciókat ért a szakirodalom, amelyek a ciklikus oligomerek és más, kémiai rokon polimerek között lépnek fel, amelyek részben-, vagy teljesen oldódnak az oligomerekben, vagy a reakcióközegben és kopolimer képződést eredményeznek; lásd: S. Fakirov (szerkesztő): *Transreactions in Condensation Polymers*, Wiley – VCH, Weinheim, 1999.)

Találmányunk megalkotásakor ezen ismeretanyagot alapul véve a kompozit mag hőre lágyuló mátrixának kialakítására ciklikus monomereket, oligomereket, ill. ezek keverékeit kívántuk alapanyagként választani, minthogy ezek alacsony ömledék-viszkozitása alkalmas katalizátor jelenlétében lehetővé teszi az erősítőanyag (erősítőszálak) tökéletes impregnálását. (Ciklikus oligomer alatt olyan gyűrűs vegyületet értünk, amely néhány (1-10) ismétlődő egységből – monomerekből – épül fel és amely megfelelő katalizátorok jelenlétében gyűrűfelnyílással nyílt a ciklikus monomer, amely ugyancsak gyűrűfelnyílásos polimerizációra képes. Amennyiben ezek keverékét használjuk, olvadáspontjuk alacsonyabb a tiszta monomerekénél, vagy oligomereknél.)

Kísérleteink (vizsgálataink) során több, szakember számára meglepő jelenségre figyeltünk fel, melyek irányt mutattak találmányunk megalkotásához. Ezek a következők voltak:

- Bizonyos katalizátorok jelenlétében oligomerek és/vagy monomerek keverékei is in situ polimerizálódnak (és a keletkező termék tulajdonságai az igényeknek megfelelően beállíthatóak – eddig a gyűrűfelnyílásos reakciók szelektív jellege volt ismeretes, vagyis hogy a gyűrűfelnyílásos reakció katalizátora „monomerspecifikus”).
- Polimerkeverékek ömledék állapotú transzreakciói jól ismertek. Ezzel szemben nem volt ismeretes, hogy transzreakciók egy polimerizálódó monomer, oligomer, illetve ezek keverékei és egy „meglévő” ömledék állapotba került polimer között is fellépnek. Másként fogalmazva: bizonyos polimerek transzreakciókra képesek az in situ polimeresedő „közeggel”, ha a megömlésükhöz szükséges hőmérséklet alacsonyabb az in situ polimerizációnál.





- Még meglepőbb volt az a jelenség, hogy az in situ polimeresedő „közeg” jól tapad alkalmasan választott polimer textilszálakhoz, struktúrákhoz, azon esetekben is, ha ezek olvadáspontja magasabb a polimerizációnál. A meglepő elem itt abban rejlik, hogy jó határfelületi adhézió alakul ki annak ellenére, hogy valamennyi általunk alkalmazott polimer kristályos – és a kristályosodás kontrakcióval jár. (A kontrakció (térfogatcsökkenés) hatására szakember azt várná, hogy a gyűrűfelnyílással képződő polimer elválik a polimer textilszálaiktól, illetve csökkennie kellene a közöttük kialakult adhéziós kötésnek.)

Ezen vizsgálati eredményeinket is figyelembe véve – a szakmai előítéletet félretéve – felismertük, hogy találmányi célkitűzésünket maradéktalanul meg tudjuk valósítani ömledék állapotban lezajló transzreakciók révén, megfelelő polimer szál erősítőanyagok megválasztásával. Ez esetben ugyanis úgy van módunk a teherhordó kábelmag anyagának és/vagy szerkezetének módosítására, kívánt gradiens jellegű tulajdonságok kialakítására, hogy mindez nem befolyásolja az így kialakított szerkezet újrahasznosíthatóságát.

Felismertük, hogy a transzreakció révén történő módosítás olyan textilszálak beépítésével érhető el, amelyek anyaga a mátrix feldolgozási hőmérséklete alatt-, sőt a gyűrűfelnyílásos polimerizáció hőmérséklete alatt megolvad, és az in situ polimerizálódó rendszerrel reakciókra képes.

További felismerésünk, hogy olyan erősítőszálakat is alkalmazhatunk, amelyek ugyancsak hőre lágyuló polimerekből állnak, de amelyek olvadáspontja magasabb nem csak a polimerizáció hőmérsékleténél, hanem a polimerizáció során létrejövő polimer olvadáspontjánál is. Ezek transzreakciói ugyanis lejátszódnak az újrafeldolgozás során, így az újrahasznosítást nem befolyásolják. (Amennyiben amorf polimerekről lenne szó, olvadáspont helyett az üvegesedési hőmérséklet kifejezés értendő.)

Végezetül felismertük, hogy bizonyos esetekben nano-töltőanyagok adagolásával jelentősen javíthatók a kompozit mátrixának mechanikai tulajdonságai, így különösen ütésállósága; továbbá ezen adalékanyagok jelentősen javítják a termék éghetőségi tulajdonságai, az égési sebességet, különösen annak csúcsértékét (peak heat release rate).

A fentiek értelmében találmányunk tárgya eljárás villamos távvezetési kábelek hőre lágyuló mátrixú kompozit magjának pultrúzióval történő folyamatos gyártására, mely eljárás során önmagukban ismert alapanyagú-, vagy szilárdságú erősítő szálakból (szálkötegekből) és ciklikus monomerek és/vagy oligomerek, illetve ezek keverékeinek 1Pa\*s alatti ömledékviszkózitású, gyűrűfelnyílásos in situ polimerizációjában képződő hőre lágyuló mátrixából készítjük a teherviselő magot. Találmányunk sajátosan új jellemzői, hogy e



teherviselő mag köré e maggal egybeépülő, a mag anyagát és/vagy szerkezetét transzreakciók révén módosító védőbevonatot alakítunk ki, amely vagy közvetlenül az erősítő szálakra (szálkötegekre)-, vagy a már előimpregnált magra – tehát a hőre lágyuló mátrixba ágyazott erősítőszálakra – tekercselt (illetve fonatolt), hőre lágyuló textilszál alapú struktúra, mely gyűrűfelnyílásos polimerizációban képződő, hőre lágyuló mátrixba van beágyazva.

Eljárásunk előnyös foganatosítási módjánál a védőbevonat hőre lágyuló textilszálainak olvadási hőmérséklete magasabb a gyűrűfelnyílásos polimerizációjánál, így e szálak az elkészült kábelmag erősítő/flexibilizáló komponensei. (A szerkezetmódosító transzreakció ez esetekben a kábelmag újrafeldolgozása során játszódik le.)

Előnyös továbbá az a foganatosítási mód, melynél a védőbevonat hőre lágyuló textilszálainak olvadási hőmérséklete alacsonyabb a gyűrűfelnyílásos polimerizációjánál (így a szerkezetmódosító transzreakció a kábelmag előállításánál játszódik le).

Adott esetben célszerűen a védőbevonat hőre lágyuló textilszáleit a már előimpregnált erősítő szálakra (szálkötegekre) tekercseljük, vagy fonatoljuk, majd ezt követően itatjuk át hőre lágyuló polimerek ömledékével és alakítjuk ki gyűrűfelnyílásos in situ polimerizáció során a kompozit kábelmagot. (Ez esetben célszerű, de nem feltétlenül szükséges egyazon anyagokat alkalmazni hőre lágyuló mátrixként.)

Az eljárásunk során kialakított védőburkolat célszerűen a teherviselő mag tengelyével koncentrikus villamost szigetelő réteget képez a mag és a majdan rákerülő alumínium áramvezető köpeny között.

Adott esetben – például ciklikus butilén-tereftalát (CBT) alapanyag felhasználása esetén – előnyös nano-töltőanyagok, pl. organofilizált nanoanyag, vagy nanoszénecsövek adagolása az alkalmazott ciklikus oligomer tömegére vonatkoztatottan 0,5-5 tömeg% arányban.

Előnyösen az alkalmazott nano-töltőanyagok mennyisége a ciklikus oligomer tömegére vonatkoztatva 1-2 tömeg%.

A találmányunk szerinti eljárás végtermékeként egy javított mechanikai tulajdonságokkal rendelkező, újrahaznosítható kábelmagot (pultrudált rudat) nyerünk, melynek teherviselő magja nagy hőállóságú termoplasztikus mátrixba ágyazott erősítőszálakból, így pl. szénszálakból, vagy más, nagy szilárdságú szerves vagy szervetlen szálakból épül fel és e teherviselő magot egy védőbevonat (védőréteg) öleli körül, melynek hőre lágyuló mátrixa lényegében megegyezik a teherviselő mag mátrixanyagával, illetve amely adott esetekben a transzreakciókban résztvevő hőre lágyuló textilszálak anyagával





módosul, és amely védőrétegben adott esetben ugyancsak hőre lágyuló, de a mátrix kialakulása után is szilárd állapotban maradó erősítő szálak vannak.

A védőbevonatban (védőrétegben) alkalmazott, hőre lágyuló textilszálakkal a transzreakciók során módosul a maganyag szerkezete, adott esetben anyaga, ezzel javulnak mechanikai tulajdonságai, mindezek azonban nem befolyásolják az újrahasznosíthatóságot. (Azok az erősítő textilszálak, amelyek a gyártás során szilárd állapotban maradnak, az újrafeldolgozáskor lépnek transzreakcióba és megömlenek.)

Előre nem várt többlethatásként jelentkezik az újrahasznosítás során, hogy a transzreakciók javítják a polimer anyagok összeférhetőségét, így az illető polimer keverékből kedvező tulajdonságokkal rendelkező rövid szálerősítésű, fröccsöntéssel feldolgozható kompozit anyag nyerhető.

A továbbiakban ábrák segítségével mutatjuk be a találmányunk szerinti eljárás foganatosítási módjait, majd példákat ismertetünk az eljárás kivitelezésére, illetve a teljesség igénye nélkül ismertetjük a felhasználásra ajánlott alapanyagokat. Az

1. ábrán a találmányunk szerinti eljárással létrehozott kábel (ill. kábelmag) szerkezeti felépítését szemléltetjük, a
2. ábra egy olyan gépsort mutat be, mely fonatolt és/vagy tekercselt hőre lágyuló textilszálakkal történő, koextrudálásos gyártási folyamattal állítja elő a védőbevonatos kábelmagot, a
3. ábrán pedig eljárásunk egy további foganatosítási módját biztosító gépsor látható, mely esetben az erősítő szálköteg és a fonatolt textilszálak impregnálása, majd a kompozit kialakítása közös lépésekben történik.

Az 1. ábrán tehát egy teherhordó villamos kábel perspektivikusan ábrázolt metszeti képe látható, melynek 2 teherviselő magját egy 4 védőbevonat veszi körül. Ez a 4 védőbevonattal ellátott 2 teherviselő mag képezi a találmányunk szerinti eljárással készített kábelmagot. A kábelmagon kettős – ellentétes sodratú – 6 áramvezető köpeny van, mely ismert módon, hagyományos eljárással feltekercselt alumínium profil huzal. (Ennek elkészítése nem tárgya szabadalmunknak.)

A 2. ábra szerinti elrendezéssel (gyártósorral) egy olyan hőre lágyuló mátrixú kompozit kábelmagot állítunk elő a találmányunk szerinti eljárással, mely kábelmagnak

- unidirekcionális erősítő szénszál – pászmával rendelkező,
- termoplasztikus mátrixba ágyazott kompozit 2 teherviselő magját egy
- tekercselt vagy fonatolt, hőre lágyuló textilszálakat tartalmazó 4 védőbevonat veszi körül, ahol is



- a 4 védőbevonatot on-line koextrudálással visszük fel a 2 teherviselő magra.

A 2. ábrán láthatóan a szénszál pászmákat tartóállványon elhelyezett 8 csévéről (bobinokról) egy 10 szálvezető egységgel egyenletes sebességgel, előfeszítetten csévéljük le. A folyamatos gyártáshoz szükséges gépi húzóerőt egy 30 meghúzó egység szolgáltatja. A 10 szálvezető egységről folyamatosan lekerülő, görgők között irányított, egyetlen pászmává összeálló unidirekcionális elrendezésű szálakat egy 12 előmelegítőn átvezetve eltávolítjuk az elemi szálak felületén abszorbeált nedvességet (esetleg plazmakezelést végzünk). Ezt követően a szénszál pászma egy 18 fűtött szerszámon halad át. A 18 fűtött szerszám legalább kettő-, kiviteli példánkban három  $T_1$ ,  $T_2$ , illetve  $T_3$  (ahol  $T_1 < T_2 < T_3$ ) hőmérsékletű fűtőzónával rendelkezik. A kompozit 2 teherviselő mag mátrixanyagát képező, szobahőmérsékleten granulátum, vagy porszerű termoplaszt mátrix, vagy az annak létrehozására szolgáló ciklikus oligomer egy 14 extruder tölcseréből 16 inert gáz jelenlétében (az oxigén kizárásával) a 18 fűtött szerszám  $T_1$  hőmérsékletű fűtőzónájába benyúló 14 extruder behúzó zónájába kerül, csigamenetek közé, ahol fokozatosan megömlik és a 18 fűtött szerszámban hő hatására viszkozitása jóval  $1\text{Pa}\cdot\text{s}$  alá süllyed, így könnyen át tudja impregnálni az elemi szénszálakat. A 14 extruder végéhez rögzített 18 fűtött szerszám adja meg a pultrudált rúd – vagyis a 2 teherviselő mag – profiljának végső alakját. A 18 fűtött szerszámból kikerülő pultrudált rúd az ugyancsak legalább két-, példánkban két,  $T_1^I$  és  $T_2^I$  (ahol  $T_1^I \geq T_2^I$ ) hőmérsékletű fűtőzónára osztott 20 kemencébe kerül, ahol gyűrűfelnyílásos reakció során valósul meg, in situ a teljes polimerizáció, illetve az esetleges transzreakciók.

A pultrudált rúdként kialakított 2 teherviselő magra egy 21 fonatóló-tekerceselő egység hőre lágyuló, transzreakcióra alkalmas polimer textilszálakat visz fel fonatólással (braiding) vagy tekerceseléssel (winding), majd ezzel az újabb, legalább két – példánkban három,  $T_1^{II} < T_2^{II} < T_3^{II}$  hőmérsékletű – fűtőzónára osztott 26 fűtött szerszámban egy 4 védőbevonatot viszünk fel on-line koextrudálással, tipikusan 0,1-5mm vastagságban. E 4 védőbevonat alapanyaga adott esetben azonos a 2 teherviselő mag termoplasztikus mátrixának anyagával, de attól eltérő is lehet, és hasonlóan az előzőekben bemutatottakhoz, egy 22 extruder tölcseréből, 24 inert gáz jelenlétében a 26 fűtött szerszámba bekerülve ömlik meg; majd teljes polimerizációja, illetve a 2 teherviselő maggal történő végső összeépülése egy legalább két – kiviteli példánkban  $T_1^{III} > T_2^{III}$  hőmérsékletű – fűtőzónára osztott 28 kemencében történik meg.

Az 1. ábrán látható gyártósor végét egy 32 vágóegység, majd egy 34 felcsévélő zárja. A 32 vágó egység beállítási hosszától függően feldarabolja a folyamatos pultrudálással elkészített, találmányunk szerint kialakított – tehát 2 teherviselő magból és azzal összeépülő 4





védőbevonatból álló – javított mechanikai tulajdonságú, nagy hőállóságú, újrahasznosítható kábelmagot. A kialakított gyártósor termelékeny, folyamatos gyártást biztosít.

A 3. ábrán a találmányunk szerinti, gyártástechnológiáját tekintve pultrúziós eljárás egy további módját megvalósító gyártósor látható. A 2 teherviselő magot erősítő szénzálak itt is egy tartóállványon elhelyezett 36 csévéken vannak, melyekről előfeszítetten, egy 38 szálvezető egységen keresztül egy 40 előmelegítőbe kerülnek, ahol eltávolítjuk az elemi szálak felületén abszorbeált nedvességet, esetleg plazmakezelést végzünk. Az előkezelt szénzálakból álló pászmára egy 42 fonatoló-tekerceselő egységgel keresztirányban polimer textilszálakat fonatolunk, ill. tekerceselünk. A körülfonatolt (vagy tekerceselt) szénzál pászmákra egy 48 fűtött szerszámban, mely legalább két – példánkban három,  $T_1^{IV} < T_2^{IV} < T_3^{IV}$  hőmérsékletű – fűtőzónával rendelkezik, egy 44 extruder tölcseréből – oxigénnek 46 inert gázzal történő kiszorítása mellett – termoplaszt mátrix ömledéke kerül és lejátszódik az erősítő szálak, valamint a polimer textília átimpregnálása. A 48 fűtött szerszámban nyeri el a kialakított pultrudált profil (rúd) a végső alakját. Az így elkészített „előimpregnált” 2 teherviselő magra egy 49 fonatoló-tekerceselő egységben hőre lágyuló textiliákat fonatolunk, vagy tekerceselünk, majd egy 50 kemencében – mely legalább két,  $T_1^V > T_2^V$  hőmérsékletű fűtőzónával rendelkezik – lezajlik a teljes polimerizáció. E gyártósorban is egy 52 meghúzó egység biztosítja a szükséges gépi húzóerőt az egyenletes sebességű, folyamatos gyártáshoz. A gépsor végén lévő 54 vágó egység a beállítási hosszától függően feldarabolja a pultrudált rudat (az elkészített kábelmagot), majd az 56 felcsévélő az igénytől függő átmérőben és hosszban felcsévéli. (E megoldásnál a 2 teherhordó mag lényegében párhuzamos szénzál pászmáit, tehát még az impregnálás előtt bevonjuk körfonatolt, körkötött, vagy egyéb folyamatos szálrendszerrel, amely tartalmazza a transzreakciókban elreagáló és/vagy a transzreakciók után is megmaradó polimer szálakat.)

Összevetve a két, egymástól némileg eltérő gyártási metódust, a következőket állapíthatjuk meg:

A 3. ábra szerinti eljárási módozat előnye a 2. ábrán bemutatottal szemben, hogy egy lépésben végrehajtható az impregnálás és a szigetelő réteggént is funkcionáló 4 védőbevonat kialakítása. Hátránya az, hogy a külső réteg nem olyan sima felületű, mint párhuzamos pászmák esetében, ezért a fölösleges gyanta eltávolítása (konszolidáció) nehezebb a szerszámon való áthúzás segítségével, illetve nem alkalmazható két különböző oligomer rendszer a 2 teherhordó mag és a 4 védőbevonat kialakításánál. Ugyanakkor viszont az a tény, hogy a külső rétegben rugalmas, duktilis szálak (is) vannak, csökkenti a szálszakadás



veszélyét a tengelyre merőleges nyomás alkalmazása esetén, ami a főleges gyanta kiszorítására szolgál.

A két megoldás között gazdasági és műszaki szempontok alapján dönthetünk.

A továbbiakban a teljesség igénye nélkül, ismertetjük azokat az önmagában ismert alapanyagokat – illetve találmányunk szempontjából lényeges ismérveiket –, melyeket előnyös a találmányunk szerinti kábelmag gyártásakor alkalmazni.

A. A 2 teherviselő mag erősítő szálainak anyaga célszerűen szénszál, lehet azonban üveg, bazalt, aramid és egyéb szintetikus, vagy természetes szál.

Előnyös elrendezése: unidirekcionális – a pultrudált rúd tengelyének irányában orientált. Az elemi szénszálak felületére – a gyártónál, vagy utólag felvíve – a termoplaszt mátrixszal kompatibilis preparáció anyag („sizing”) kerül, amely elősegíti az elemi szénszál és a mátrix közötti ideális adhéziót.

A 2 teherviselő mag termoplasztikus mátrixa gyűrűfelnyílással polimeresedő rendszer. Erre a célra elsősorban poliamidok, poliészterek, polikarbonátok, politejsav-származékok (polilaktidok), polifenilénszulfid, polifenilén-diszulfid-származékok és polianiléterketon származékok alkalmasak. Ezek kiindulási anyagai minden esetben gyűrűs monomerek és/vagy oligomerek, amelyek ebben a formában előállíthatók, ill. beszerezhetők. (A ciklikus polikarbonát és poliészter oligomerek kifejlesztésével kapcsolatban ld. pl. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, 46, 1151-1164, (2008); aromás poliszulfidok hasonló alkalmazásával kapcsolatban ld. pl. *Journal of Material Science*, 42, 1156-1161, (2007); a laktámok gyűrűfelnyílásos polimerizációjával kapcsolatban ld. pl. R. Puffr, V. Kubanek: *Lactam Based Polyamides, Polymerization, Structure*, CRC Press, (1991).) Ciklikus butilén-tereftalált oligomerek beszerezhetők a Cyclics Corporation-től, többféle katalizált, ill. nem katalizált változatban, poliamid polimerizációhoz pedig számos gyártótól vehetünk kaprolaktámot, vagy laurillaktámot. A különlegesen hőálló műszaki műanyagokból készülő ciklikus oligomerek előállítását egyelőre a szakirodalom tárgyalja, de már a közeljövőben elképzelhető, hogy a piacon is megjelennek ilyen termékek.

A ciklikus oligomerek gyűrűfelnyílásos polimerizációjának nagy előnye, hogy általában közel atermikus, hajtóereje inkább az entrópiaváltozás (ld. *EXPRESS Polymer Letters* 1, 60-68, (2007)) – ez megkönnyíti a polimerizáció izotermikus vezetését. (A közel atermikus jelleg ciklikus monomerek, pl. kaprolaktám, kaprolakton, laurillaktám, stb. esetében már nem érvényesül!) A ciklikus





oligomerek gyűrűfelnyílásos polimerizációját általában úgy végzik, hogy az izotermikusan, a képződő polimer olvadáspontja alatt történjen. A polimerizáció eredményeként kapott polimer molekulatömege általában nagy, a mechanikai jellemzők kedvezők.

Adott esetben nano-töltőanyagokat alkalmazunk. Például a ciklikus butilén-tereftalát (CBT) polimerizációjával előálló polibutilén-tereftalát – melyet pCBT-vel jelölünk – nagyfokú kristályossága miatt nem mutat optimális ütészállóságot, ezért előnyös pl. organofilizált nanoanyaggal, vagy nanoszénecsővekkal kombinálni (Macromolekules, 36, 8593-8595, (2003)).

A nano-töltőanyagok alkalmazása esetén azonban ügyelni kell arra, hogy azok mennyisége ne növelje meg előnytelenül a polimerizálódó ciklikus oligomer-ömladék viszkozitását, mert az akadályozná a szálak impregnálódását. Az alkalmazható nano-töltőanyagok mennyisége 0,5-5tömeg% a ciklikus oligomer tömegére vonatkoztatva, előnyösen 1-2tömeg%. A pCBT előállítási technológiája mindenképpen nagy odafigyelést igényel, mert a pontos mechanikai jellemzők nano-töltőanyagok hiányában is bonyolult módon függenek a polimerizáció körülményeitől (hogy pl. a kristályosodás a polimerizáció során zajlik-e, vagy csak utána, milyenek a göcképződési viszonyok, stb.).

- B. Transzreakciókra alkalmas polimer textilszálak (melyeket a 2. ábra szerinti gyártósor esetén a 4 védőburkolatban alkalmazunk, vagy közvetlenül az erősítőszálakra tekercselünk-fonatulunk a 3. ábra szerint).

Transzreakcióra alkalmas polimer textilszál alatt olyan polimerekből készült szálak értendők, amelyekre az alábbi állítások valamelyike érvényes:

- ömladék hőmérséklete alacsonyabb, mint a pultrúzió hőmérséklete és az in situ polimeresedő rendszerrel transzreakcióra hajlamos;
- ömladék hőmérséklete magasabb, mint a pultrúzió hőmérséklete, de a mátrixával közös ömladékében közöttük transzreakciók zajlanak le.

Előnyös kombinációk lehetnek pl. a következők – mátrix/textil „módosító anyag”:

- a) polibutilén-tereftalát (PBT)/polikaprolakton (PCL); PBT/polikaltid; poliamid-6/poliamid-12; poliamid-6/poliamid 612 kopolimer; poliamid-6/poliéteramid kopolimer (US4297454);
- b) poliamid-6/poliamid-66; PBT/polietilén-tereftalát (PET); poliamid-12/poliamid-6, vagy poliamid-66; polikarbonát (PC)/PET.



Az a) megoldás esetén a transzreakciók megtörténte folytán az illető réteg duktilitása nő, mivel a PBT kristályossága csökken. Ez rendkívül kedvező a kábelmag szerkezet szempontjából, figyelembe véve a hajlító és hajlítva fásasztó igénybevételeket. A feloldódás közben transzreakciót megvalósító polimer adalékok esetében azonban figyelni kell arra, hogy a kopolimerizáció ne veszélyeztesse a mátrix polimerek hőállóságát (a PA6 olvadáspontja 220°C, a PBT-é 224°C, mindkettő magasabb a tipikus epoxigyanták üvegesedési hőmérsékleténél). A túl nagy mértékű (különösen a véletlenszerű) kopolimerizáció ugyanis csökkenti a kristályosság mértékét és a kristallitok méretét, ami az olvadáspont csökkenését eredményezi.

A b) megoldás esetén egy különleges erősítéssel van dolgunk. Az in situ polimeresedő mátrix kristályosodása a textilszálról indul meg. Ez utóbbiak heterogén göcképzőként hatva transzkristályosodást idéznek elő. A transzkristályos határfelületi réteg biztosítja a terhelésátvitelt a mátrixról ezekre a textilszálakra. A transzkristályosodás fogalma, fellépte, hatása szempontjából a következő átfogó cikk mérvadó: H. Quan, Z-M. Li, M-B. Yang and R. Huang: On Transcrystallinity in Semi-Crystalline Polymer Composites, *Composites Science and Technology*, 65, 999-1021, (2005). Az ömledékállapotban bekövetkező/előidézhető transzreakciókkal kapcsolatban a következő könyvben foglaltak az irányadók: S. Fakirov (szerk.): *Transreactions in Condensation Polymers*, Wiles – VCH, Weinheim, 1999. Ennek kapcsán fontos rámutatni arra, hogy rendkívül előnyös az, ha a gyűrűfelfnyílásos polimerizáció katalizátora megegyezik a transzreakciókéval.

Általánosságban elmondható, hogy az erősítőszálakat úgy kell megválasztani, hogy a polimerizáció, ill. a transzreakciók során létrejövő polimer jól nedvesítse. Különösen előnyös, ha az erősítő szál felületén is transzreakciók alakulnak ki a szál anyaga és a mátrixpolimer között, mert ez javítja a tapadást.

Az alábbiakban néhány példát ismertetünk – nem kizárólagos jelleggel találmányunk kivitelezésére.

#### 1. Példa

6 mm átmérőjű, körkeresztmetszetű kb. 60 tf% szénszálat (CF) tartalmazó rudat pultrudáltunk a következő anyagok felhasználásával:

Katalizátort is tartalmazó CBT oligomerek keveréke (n=2, ... , 7) – CBT 160 (Cyclics Europe NSZK) 50 ezer elemi szálból álló CF roving Sigrafil C30 T050 EPY 50 K (SGL





Carbon NSZK), polietilétereftalát (PET) textíliák (0,5 tex titerű elemi szál, Trevira, NSZK), polikaprolakton szál (0,5 tex titerű Capa 650 PCL-ből /Solvay, Belgium/ gyártva).

A pultrúzió a 3. ábra szerinti gyártósorral történt 0,7 m/perc sebességgel. A 48 fűtött szerszám hőmérséklete  $T_1^V$ ,  $T_2^V$  és  $T_3^V$ , rendre 170, 180 és 190°C volt. Az 50 kemence légcirkulációs termosztátjait  $T_1^{VI}=T_2^{VI}=240^\circ\text{C}$ -ra állítottuk. A CF roving bevonása – körfonatolással egy rétegben – vagy PET szállal, vagy PCL szállal történt. Referencia céllal olyan kábelmagot is gyártottunk, amely nem tartalmazott textilszál fonatolást. A gyártott rudakból próbatesteket készítettünk, amiket húzó- és hajlító igénybevételnek vetettünk alá az idevonatkozó szabványok előírásainak figyelembevételével (EN ISO 527 és EN ISO 178). A rudak csiszolt keresztmetszetről készült felvételek szerint a PET szál megmaradt, szemben a PCL-lel. Ez a tény arra utal, hogy a CBT kopolimerizációba lépett a PCL-lel, azaz közöttük átészteresedési transzreakciók léptek fel.

Kísérleteket végeztünk annak megállapítására is, hogy mi a hatása a kaprolakton (CL) és a CBT 160 direkt kopolimerizációjának. Ennek során ugyanannyi CL-t (Solvay, Belgium) adagoltunk a CBT 160-hoz, mint amennyit a PLC körfonatolásával a magba beépítettünk. A vizsgálati eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat – Húzó és hajlítóvizsgálati eredmények

Anyag	Húzó			Hajlító	
	Modulus [GPa]	Szilárdság [MPa]	Nyúlás [%]	Modulus [GPa]	Szilárdság [MPa]
Referencia	114	1070	0,9	96	970
Mag PET szállal	125	1200	1,3	95	1100
Mag PCL szállal	140	1340	1,7	90	1250
Mag CL kopolimerizációval	148	1460	2,0	92	1400

Megjegyzés: szórás kisebb, mint  $\pm 5\%$

## 2. Példa

Ez esetben a 2. ábra szerint foganatosítottuk eljárásunkat, az 1. példabeli anyagok felhasználásával. A kísérleti gyártás paraméterei szintén megegyeztek az 1. példabeliekkel. Mivel célunk ez esetben az volt, hogy a direkt kopolimerizációban képződő külső réteg szerepét elemezzük, az impregnálást biztosító 22 extruderrel, vagy CBT 160-at (referencia), vagy 5 súly%-nyi CL-t tartalmazó CBT 160-at vittünk fel. Egy ezt követő kísérletben a külső réteg anyagát 0,5 súly%-nyi többfalú szén nanocső (MWCNT, Baytubes® C150 P, Bayer Materials, NSZK) bevitelével módosítottuk. A húzóvizsgálati jellemzőket a 2. táblázatban foglaltuk össze.



2. táblázat – Húzóvizsgálati jellemzők

Anyag	Húzó		
	Modulus [GPa]	Szilárdság [MPa]	Nyúlás [%]
Referencia	93	940	1,3
Bevont CL/CBT kopolimerek	90	1390	2,3
Bevont MWCNT tartalmú CL/CBT kopolimerek	92	1450	2,2

Megjegyzendő, hogy az MWCNT modifikáció hatásossága lángállósági kísérletekben is megnyilvánult (ömladék csepegés meggátlása).

### 3. Példa

A 3. ábra szerinti gyártási folyamatábrát követtük mátrix anyagoként  $\epsilon$ -kaprolaktám aktivált anionos polimerizációjában a Quattroplast Kft., Magyarország eljárásával. Kiindulási anyagként kaprolaktám és laurillaktám 90/10 keveréke szolgált. A CF roving (megegyezik az 1. példabelivel) fonatolására PA 6.6 alapú szál (1,5 tex titerű nylon szál, Solutia Inc. USA) használtunk egy rétegben. A 48 fűtött szerszám hőmérsékletét,  $T_1^V$ ,  $T_2^V$ , és  $T_3^V$ -at rendre 100, 120, 150°C-ra állítottuk, míg az 50 kemence  $T_1^{VI}$  és  $T_2^{VI}$  hőmérséklete 220°C volt. A pultrúzió sebessége ez esetben 1 m/perc volt. Referencia próbaként olyan rendszerek szolgáltak, amelyek nem tartalmaztak laurillaktámot, ill. amelyek nem tartalmaztak PA 6.6 szál fonatot. A hajlítóvizsgálati eredményeket a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat – Hajlítóvizsgálati eredmények

Anyag	Hajlító	
	Modulus	Szilárdság
	[GPa]	[MPa]
Referencia – laurillaktám nélkül	95	980
Kopolimerizáció laurillaktámmal	115	1250
Referencia – kopolimerizált maggal, de PA 6.6 fonat nélkül	98	1130
Kopolimer mag PA 6.6 fonattal	96	1410

A kopolimerizáció előnye az ütve hajlító szilárdság értékében is megmutatkozott. A 3. táblázatbeli második anyag ütvehajlító szilárdsága (EN ISO 179) mintegy 40%-kal múlta felül a referencia anyagét (3. táblázat első anyag).

A bemutatott példák mérési eredményei is igazolják, hogy a találmányunk szerinti eljárással gyártott kábelmagok teljesítik találmányi célkitűzéseinket, hiszen

– a technika állása szerinti ismeretekhez képest javított tulajdonságokkal (magnövelt szívósság és kifáradással szembeni ellenállás) rendelkeznek;





– 190°C feletti tartós hőállóság biztosítható (az elméleti felső határ az anyag olvadáspontja, mely példánk esetében számottevően e fölött van).

Itt kívánjuk megemlíteni, hogy az előzőekben példákkal bemutatott, a 2., ill. 3. ábrák szerinti gyártási technológiával elkészített, találmányunk szerinti kábelmagra kerül, önmagában ismert módon egy 6 áramvezető köpeny (ld. az 1. ábrát). Ennek anyaga alumínium. A 6 vezető köpeny egyes villamosan vezető rétegeinek tekeressel történő felvitelére, ill. az alumínium huzalprofilok geometriájára különféle hagyományos megoldások ismertek (ld. [www.southwire.com](http://www.southwire.com) F. Ridley Thrash, Jr.: Transmission Conductors – A review of the design and selection criteria). (Mindez már nem képezi találmányunk tárgyát.)

Összefoglalóan elmondhatjuk, a találmányunk szerinti 4 védőburkolattal ellátott kábelmag e 4 védőburkolatnak köszönhetően – mely egybeépül a 2 teherviselő maggal – egy koncentrikus, szigetelő réteggel rendelkezik, mely nem csak megakadályozza a galvanikus érintkezést és korróziót, de mechanikai és hidrolitikus védelmet is nyújt a kompozit kábelmag belső részének.

További előnye megoldásunknak – az ismert, hasonló célra alkalmazott, üvegszál erősítésű megoldásokkal szemben –, hogy a polimer textilszálak sűrűsége kisebb az üvegszálakénál, így azonos vastagság esetén csökken a kompozit kábelmag tömege, modulusa kisebb az üvegszálakénál, tehát vékonyabb réteg alkalmazásával is elérhető a megfelelő szilárdság/rugalmasság hányados és szakadási nyúlása lényegesen nagyobb az üvegszálakénál, tehát nagyobb lesz a kompozit kábelmag repedezés- és fáradás-állósága, valamint jobban csillapítja az esetleges rezgéseket is.

Megoldásunk előnye a technológiaiailag jól kézben tartható, folyamatos műveletű, termelékeny gyártási eljárás is.

Mindezen előnyöket úgy érjük el, hogy az életciklus végén a kompozit 2 teherhordó mag és 4 védőburkolatának hőre lágyuló mátrixa miatt az anyag ismételtlen ömledék állapotba hozható, így a kábeltől értékes, rövid (vagy lassú) szálerősítésű hőre lágyuló kompozit granulátum készíthető, melyből fröccsöntéssel feldolgozható kompozit anyag nyerhető. (Ez pl. az autóiparban, vagy egyéb szerkezeti anyagként használható fel.)



## Szabadalmi igénypontok

1. Eljárás villamos távvezetési kábel(ek) hőre lágyuló mátrixú kompozit magjának folyamatos pultrúzióval történő gyártására, melynek során önmagukban ismert alapanyagú, nagy szilárdságú, unidirekcionális elrendezésű erősítő szálakat (szálkötegeket) ciklikus monomerek és/vagy oligomerek és/vagy ezek keverékeinek 1Pa\*s alatti ömledékvizkozitásával, gyűrűfelnyílásos in situ polimerizációjában képződő, hőre lágyuló mátrixába ágyazunk, azzal jellemezve, hogy e maggal egybeépülő, annak anyagát és/vagy szerkezetét transzreakciók révén módosító védőburkolatot alakítunk ki transzreakcióra alkalmas hőre lágyuló textilszál struktúrájának vagy közvetlenül az erősítőszálakra (szálkötegekre)-, vagy a már előimpregnált magra történő tekeréssel, vagy fonatolással, mely hőre lágyuló textilszál struktúrát gyűrűfelnyílásos in situ polimerizálódó, hőre lágyuló mátrixba ágyazunk.
2. Az 1. igénypont szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a hőre lágyuló textilszálakat közvetlenül az unidirekcionális elrendezésű erősítő szálakra (szálkötegekre) tekeréssel, vagy fonatoljuk, majd közös technológiai lépésekben végezzük el inert gáz jelenlétében az ömledékképzést, a pultrudált mag konszolidálását, majd a teljes gyűrűfelnyílásos in situ polimerizációt.
3. Az 1. igénypont szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a hőre lágyuló textíliákat a már hőre lágyuló mátrixba ágyazott – tehát előimpregnált – erősítő szálköteg köré hőre lágyuló textilszálakat fonatolunk, vagy tekeréssel és ezt követően hőre lágyuló polimerek ömledékével átítatva gyűrűfelnyílásos in situ polimerizáció során alakítjuk ki a teljes kompozit kábelmagot.
4. Az 1-3. igénypontok bármelyike szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a kábelmag szerkezetének, illetve a maganyag tulajdonságainak módosítására olyan hőre lágyuló textilszálak szolgálnak, amelyek olvadási hőmérséklete alacsonyabb a gyűrűfelnyílásos polimerizációjánál, így a szerkezetmódosító transzreakció már a kábel előállításánál lejátszódik.
5. Az 1-3. igénypontok bármelyike szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a kábelmag szerkezetének, illetve a maganyag tulajdonságainak módosítására olyan hőre lágyuló textilszálak szolgálnak, amelyek olvadási hőmérséklete magasabb a gyűrűfelnyílásos



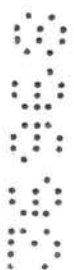


polimerizációjánál, így a szerkezetmódosító transzreakció a kábel újrahasznosítása során lejátszódik le.

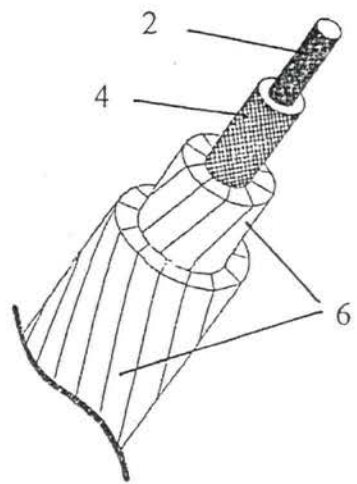
6. Az 1-5. igénypontok bármelyike szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a gyűrűfelnyílásos polimerizáció anyagai előnyösen laktám-, észter-, éter-típusú ciklikus mono- és/vagy oligomerek, valamint ezek keverékei.
7. Az 1-6. igénypontok bármelyike szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a gyűrűfelnyílásos polimerizáció anyagaira vonatkoztatva 0,5-5 tömeg%, de előnyösen 1-2 tömeg% nano-töltőanyagot adagolva a kábelmag égési sebességét és annak csúcsértékét jelentősen csökkentjük, valamint javítjuk mechanikai tulajdonságait.

20 old. + 2 old. órá

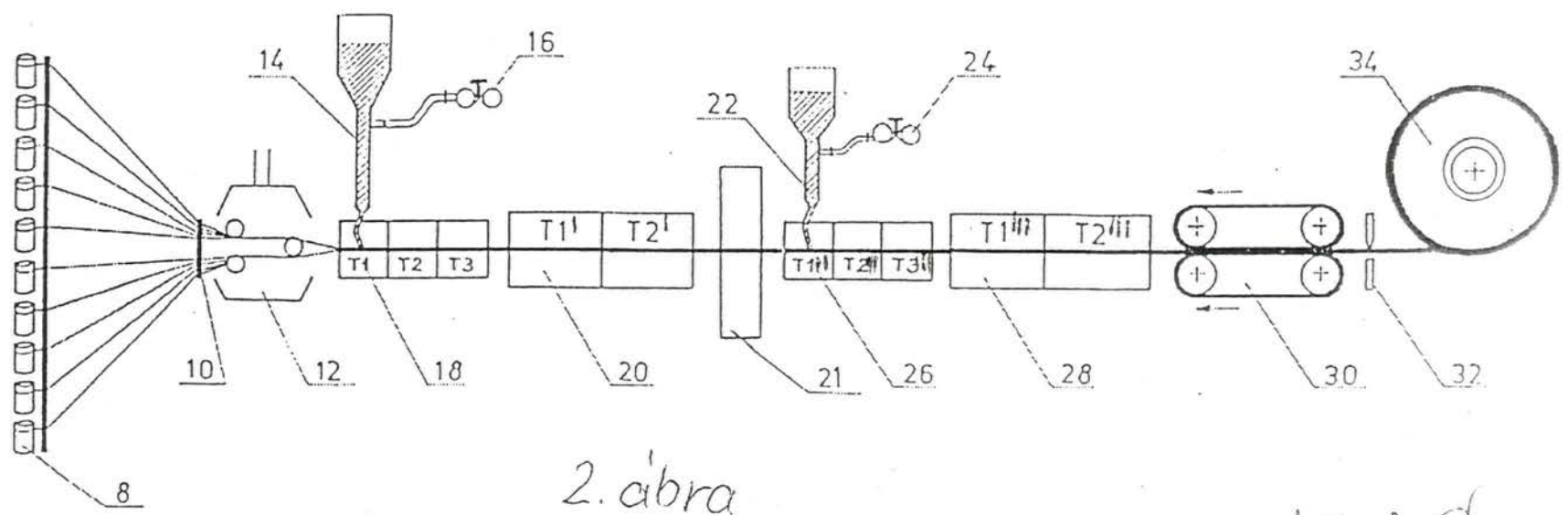
2013. 01. 21.



NYOMDAPÉLDÁNY



1. ábra



2. ábra

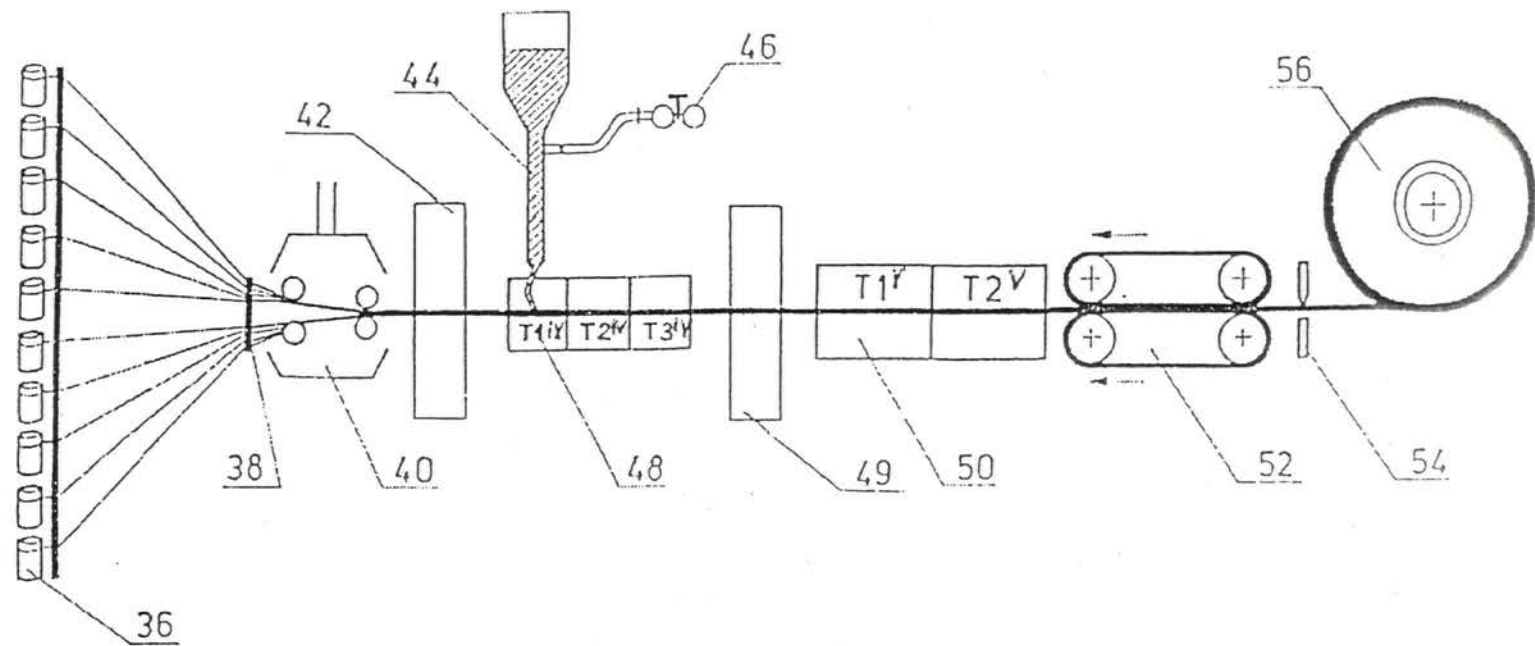
lehet en



3609

NYOMDAPÉLDÁNY

2/2



3. ábra

Ucker Ede