

Szénszálerősítéses poliuretán bázisú kompozit anyagok előállítása, mechanikai tulajdonságainak vizsgálata

RÁTHY ISTVÁNNÉ – DR. BORDA JENŐ – DR. HORVÁTH RÓBERT – DR. ZSUGA MIKLÓS

Közleményünkben ismertetjük a műanyagalapú kompozitok, mint szerkezeti anyagok előnyös tulajdonságait, alkalmazási területeit, a poliuretán alapanyag, és a szénszál, mint erősítő anyag kedvező tulajdonságait, valamint, a poliuretán elasztomer és a szénszál társításából kialakult kompozit mechanikai tulajdonságainak vizsgálatát.

BEVEZETÉS

Napjaink technikai – társadalmi igényei olyan irányba mutatnak, ahol már a hagyományos alapanyagok nem tudják kielégíteni azokat a mennyiségi és minőségi követelményeket, melyeket az egyre gyorsuló ipari – gazdasági fejlődés velük szemben támaszt.

Itt nyert óriási teret a kémiai – anyagtudomány, amely a korábbi acélbázisú anyagfelhasználás mellett, a mostmár széles körben elterjedt műanyagok továbbfejlesztésére irányult. Az alkalmazott anyagtudomány elsődleges feladata, hogy a tudományos laboratóriumokban, műhelyekben kidolgozott szakmai ismereteket, eredményeket, a gyártástechnológiában hasznosíthatóvá tegye. Ehhez kapcsolódik a „Poliuretán bázisú szénszálerősítéses kompozit anyagok előállítása, mechanikai tulajdonságainak vizsgálata” kutatási téma.

Az anyagok - sokszor egyidejűleg többféle igénybevétellel szembeni - ellenállásának javítását azonban gyakran más tulajdonságainak romlása kíséri. A műanyagok tulajdonságváltoztatási lehetőségei tágak ugyan, de mégis korlátozottak.

Az anyagok társításával olyan új anyagot – kompozitot – állítanak elő, amely a két összetevő kedvező használati tulajdonságait, például a repedés terjedésével szembeni nagy ellenállását és a kopásállóságot egyesíti. A kompozitok a társított anyag fajtájától függően lehetnek szemcsések, szálasak, rétegeltek és felületi réteggel bevontak.

A kompozitok tulajdonságát alapvetően meghatározza az ágyazó- és a beágyazott anyag fajtája. A szálerősítésű kompozitok szilárdsága úgy növelhető ha az ágyazó anyag a terhelést a szálaknak át tudja adni. Ennek alapvető feltétele, hogy az ágyazó- és beágyazott anyag felülete között az erőátadáshoz elengedhetetlen jó tapadás jöjjön létre. A jó tapadás hosszú távú megőrzése érdekében, vagyis annak elkerülésére, hogy a szálak kilazuljanak, az szükséges, hogy a szálak és az ágyazó anyag hőtágulási együtthatója hasonló legyen.

A kompozitok mechanikai tulajdonságait nagymértékben befolyásolja a szálak anyaga, mennyisége, átmérője, hossza, elrendezése.

A KOMPOZIT ALAPANYAGA A POLIURETÁN

ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE

Az általunk vizsgált kompozit alapanyaga a poliuretán (PUR), mely az iparilag alkalmazott műanyagok legváltozatosabb és talán a legszélesebb felhasználási területű termékcsaládjának tekinthető. Ma a világon az 5. legnagyobb mennyiségben gyártott polimer. Lehetnek lineáris és térhálós változatai és a nagyfokú variálhatóság miatt készülhetnek belőle szálak, lakkok, ragasztók, habok és elasztomerek. A poliuretánokat legnagyobb mennyiségben habok készítésére használják (az össztermelés kb. 80%-a), lágy, félkemény és kemény habok egyaránt előfordulnak. A poliuretán lakkok, bevonatok és festékek jól tapadnak és nagyon rugalmasak. Egyre fokozódó jelentőségűek az elasztomerek, a rugalmas poliuretán termékek, melyek tulajdonságaikat tekintve a gumik és a műszaki műanyagok között helyezkednek el.

Jó tulajdonságuk a kopásállóságuk, jó a villamos szigetelésük és olajállóságuk. Hőállóságuk közepes, inkább hidegtűrősükkel tűnnek ki, általában +80°C-tól -100°C-ig használhatók biztonságosan. Különleges tulajdonságuk, hogy élettanilag semlegesek, az élő szervezet nem veti ki őket, így pl. protézisek készíthetők belőlük. A poliuretán habokat felhasználja a bútortipar, autótípus, építőipar szigetelésre, a hűtőipar, cipőtípus és csomagolásra is alkalmas.

A poliuretán elasztomerek egyik jelentős felhasználási területe a cipőtípus, ahol elsősorban cipőtálcák készülnek belőlük. Számos apró, de fontos alkatrész: zárósapka védőkupek, tömítés, kuplungtárcsa betét is készül poliuretánból. Az autótípusban az autók borító paneljainak előállítására történik üvegszállal erősített poliuretán elasztomerből. Ezek igen jól összeerősíthetők fémekkel, illetve a jármű fémvázával.

A poliuretánok tulajdonságait meghatározza:

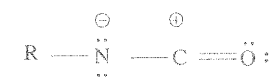
- a poliuretán móltömege,
- az elágazások és keresztkötések mennyisége, típusa,
- a soft és hard blokkok és móltömegük,
- a blokkok eloszlása a poliuretánban,
- a blokkok rendezettsége, kristályosodása a poliuretánban,
- a blokkok kompatibilitása,
- a kialakuló hidrogén – híd kötések,
- az adalékok és segédanyagok.

A poliuretánok molekulája, molekulaszervezete tervszerűen, célszerűen és igen változatosan alakítható:

- a poliol – diizocianát molarány megfelelő beállításával,
- az ún. láncnövelők és láncösszekötők célszerű alkalmazásával,
- a térhálósodás módjának és mértékének célszerű szabályozásával.

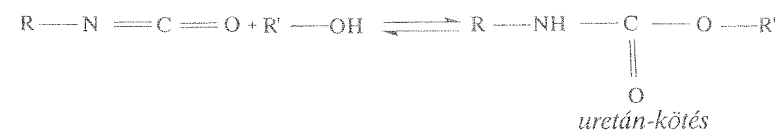
A poliuretánok poliolok és diizocianátok poliaddíciós reakcióiban képződnek. Az izocianátok kumulált kettős kötést tartalmazó vegyületek, ez okozza nagy reakcióképességüket.

A leggyakoribb szerkezetük:



Kiemelten fontos szerepük van az aktív hidrogént tartalmazó reakciópartnereknek is /alkoholok, aminok, karbonsavak/. Az izocianát reakciókban képződő, az izocianát-polimereket felépítő két fontos csoport az uretán – és a karbamid csoport.

Az uretán kötés az izocianát-alkohol reakcióban képződik:



A karbamid kötés az izocianát-primer amin reakcióban képződik:



A poliuretán képzési reakciókban résztvevő poliolok vagy éter kötést



vagy észter kötést



tartalmaznak, melyek szintén befolyásolják a létrejövő poliuretán tulajdonságait.

Ha a lineáris polimer láncvégi – NCO csoportot tartalmaz, térhálósítható rövid láncú összekötők – diolok, diaminok – alkalmazásával.

A poliuretán molekula soft blokkja a poliol rész, mely rendszerint hajlékony, flexibilis, hard

- a polioliol – diizocianát molarány megfelelő beállításával,
- az ún. láncnövelők és láncösszekötők célszerű alkalmazásával,
- a térhálósodás módjának és mértékének célszerű szabályozásával.

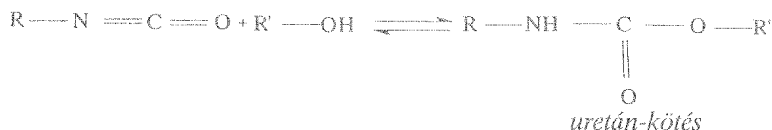
A poliuretánok polioliolok és diizocianátok poliaddíciós reakcióiban képződnek. Az izocianátok kumulált kettős kötést tartalmazó vegyületek, ez okozza nagy reakcióképességüket.

A leggyakoribb szerkezetük:



Kiemelten fontos szerepük van az aktív hidrogént tartalmazó reakciópartnereknek is /alkoholok, aminosok, karbonsavak/. Az izocianát reakciókban képződő, az izocianát-poli-mereket felépítő két fontos csoport az uretán – és a karbamid csoport.

Az *uretán* kötés az izocianát-alkohol reakcióban képződik:



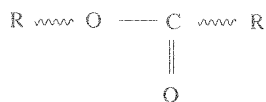
A *karbamid* kötés az izocianát-primer amin reakcióban képződik:



A poliuretán képzési reakciókban résztvevő polioliolok vagy *éter* kötést



vagy *észter* kötést



tartalmaznak, melyek szintén befolyásolják a létrejövő poliuretán tulajdonságait.

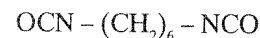
Ha a lineáris polimer láncvégi – NCO csoportot tartalmaz, térhálósítható rövid láncú összekötők – diolok, diaminok – alkalmazásával.

A poliuretán molekula soft blokkja a polioliol rész, mely rendszerint hajlékony, flexibilis, hard blokkja a diizocianát rész, mely merev, kemény.

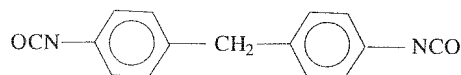
A poliuretán gyártásának fontosabb kiindulási anyagai:

— **izocianátok:**

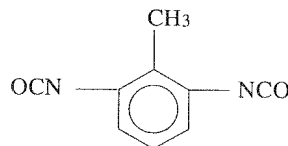
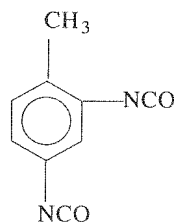
alifás: hexametilén-diizocianát (HDI)



aromás: 4,4' – difenil-metán-diizocianát (MDI),

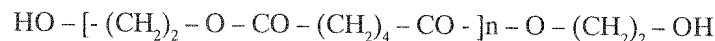


2,4 – és 2,6 – toluilén – diizocianát (TDI)

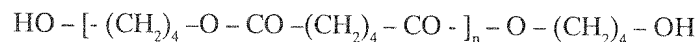


— **poliolok:**

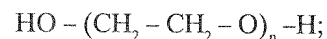
poliészterek pl. poli(etilén – glikol-adipát) diol:



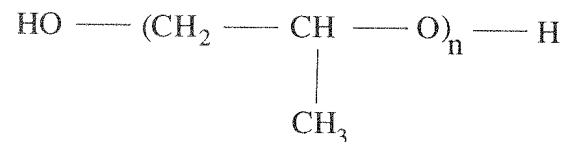
poli (butándiol-adipát) diol:



poliéterek: pl. poli-oxietilén-dioli:

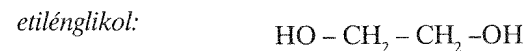


poli-oxipropilén-dioli:

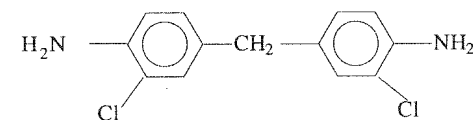
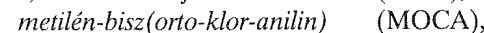
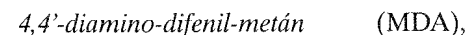
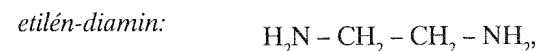


— **láncosszabítók:**

diolok:



diaminok:



— **adalékanyagok:**

melyeket a poliuretánok előállítása során a szerkezet megfelelő kialakítása, továbbá különleges tulajdonságok létrehozása, jobb feldolgozhatóság, vagy esztétikai okok miatt alkalmaznak;

Például:

katalizátorok: tercieraminok vagy szerves fémvegyületek alkalmazása az uretán képződés sebességét befolyásolja;

inhibitorok: sósav, benzoi-klorid, p-toluol-szulfonsav alkalmazása a nagyon reaktív diizocianátok és poliolkok esetén az uretánképződés kézbe tartására szolgálnak;

láncösszekötők: többfunkciós amino-alkoholok, glicerín a keresztkötések létrehozására;

stabilizátorok: alkilezett – és acilezett többértékű fenolok, poliszulfidok, melyek az öregedésállóság javítására, az időjárás hatásai elleni védelemre szolgálnak,

felületaktív anyagok: melyek elősegítik a reakciópartnerek és az adalékok jó keveredését és ugyanakkor stabilizálják is a képződött habot,

lágútók: dibutil-ftalát, klórozott difenilek, melyek a feldolgozhatóságot javítják;

formaleválasztók: viaszok, olajok, szappanok, szilikonok, melyek megkönnyítik a ragadós, tapadós poliuretán termékek kivételét a formából;

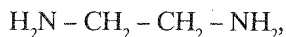
festékek, színezékek: szerves színezők a titándioxid, vasoxid, krómoxid, korom, szerves színezők közül fontosabbak az azo- és diazofestékek, ftalocianinok, dioxazinok, melyeket esztétikai célokból, vagy minőségjelzési okokból használnak.

— **láncosszabítók:**

diolok:

etilénglikol:*butándiol:**hexándiol:*

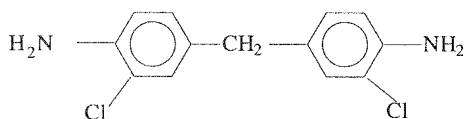
diaminok:

etilén-diamin:*4,4'-diamino-difenil-metán*

(MDA),

metilén-bisz(orto-klor-anilin)

(MOCA),

— **adalékanyagok:**

melyeket a poliuretánok előállítása során a szerkezet megfelelő kialakítása, továbbá különleges tulajdonságok létrehozása, jobb feldolgozhatóság, vagy esztétikai okok miatt alkalmaznak;

Például:

katalizátorok: tercieraminok vagy szerves fémvegyületek alkalmazása az uretán képződés sebességét befolyásolja;

inhibitorok: sósav, benzoil-klorid, p-toluol-szulfonsav alkalmazása a nagyon reaktív diizocianátok és poliolkok esetén az uretánképződés kézbe tartására szolgálnak;

láncösszekötők: többfunkciós amino-alkoholok, glicerin a keresztkötések létrehozására;

stabilizátorok: alkilezett – és acilezett többértékű fenolok, poliszulfidok, melyek az öregedésállóság javítására, az időjárás hatásai elleni védelemre szolgálnak,

felületaktív anyagok: melyek elősegítik a reakciópartnerek és az adalékok jó keveredését és ugyanakkor stabilizálják is a képződött habot,

lágysítók: dibutil-ftalát, klórozott difenilek, melyek a feldolgozhatóságot javítják;

formaleválasztók: viaszok, olajok, szappanok, szilikonok, melyek megkönnyítik a ragadós, tapadós poliuretán termékek kivételét a formából;

festékek, színezékek: szerves színezők a titán-dioxid, vasoxid, krómoxid, korom, szerves színezők közül fontosabbak az azo- és diazofestékek, ftalocianinok, dioxazinok, melyeket esztétikai célokból, vagy minőségjelzési okokból használnak.

A POLIURETÁN ELASZTOMEREK

A sokféle formában kialakítható poliuretán anyagok közül jelenlegi vizsgálatainkat a poliuretán elasztomerekkel folytattuk.

Elasztomernek nevezzük azt a polimert, mely szobahőmérsékleten és széles hőmérséklet-tartományban legalább 100%-os megnyúlásig rugalmasan (reverzibilisen) deformálható. Az elasztomerek amorf anyagok, jellemző rájuk, hogy – a többi polimerrel ellentétben – a hőmérséklet növelésével szilárdságuk alig változik.

A poliuretán elasztomereket olyan prepolimerekből állítják elő, melyek lineáris, vagy kis-sé térhálós szerkezetét hard- és soft- szegmensekből blokk poliaddícióval építik ki. A kemény blokk aromás diizocianátnak (MDI, TDI) kis móltömegű diollokkal (pl. etilén-glikol, butándiol) képezett prepolimerje, ún. nyújtott diizocianát, mely rendszerint lineáris kopolimer szabad izocianát végcsoporttal. A lágy blokk, mely a rugalmasság hordozója, 800-3000 közötti móltömegű poliéter-, vagy poliészterpoliol.

Általában szívósak, jó kopásállók, nagy a mechanikai szilárdságuk. Sokféle vegyszernek, olajnak, benzinnak, oldószereknek jól ellenállnak, kivéve az erős lúgokat, savakat, oxidálószereket és néhány poláros oldószert. Jó a hidrolízisállóságuk is. Viszonylag jó a hőállóságuk, nagyfokú rugalmasságukat és jó ütésállóságukat még alacsony hőmérsékleten (kb. -50°C-ig) is megtartják.

Jó hőszigetelők és elektromosan szigetelők, nedves helyen is kedvezőek a súrlódási feltételeik, s alkalmazásukkor előnyös szempont a kis tömegük is.

A poliuretán elasztomereknek két jellemző csoportjuk van:

- hőre lágyuló, termoplasztikus poliuretánok (TPU),
- öntött poliuretánok (CPU).

A poliuretán elasztomereknek ismeretes ezen kívül az üvegszállal erősített változata is, amelyek a már korábban említett autóiipari felhasználásra alkalmazhatók (RRIM-eljárás).

A KOMPOZIT TÁRSÍTOTT ANYAGA A SZÉNSZÁL

A szerkezeti anyagokkal szemben támasztott követelmények növekedésével egyre szűkebbé vált olyan szerkezeti anyagok kifejlesztése, melyek kis tömegük ellenére nagy szilárdságot biztosítanak. A célnak megfelelő új anyagokban a kompozitokban az alapanyag valamilyen műanyag /polikarbonát, poliamid, epoxigyanta, poliuretán/, míg az erősítő anyag valamilyen szálak szerkezetű anyag /üvegszál, szénszál, aramid, stb./, az 1. Táblázat ezen szálak jellemző tulajdonságait mutatja be:

Tulajdonságok	Szénszál	Üvegszál	Aramidszál
Szálmérő (μm)	6-12	9-20	10-20
Sűrűség (g/cm^3)	1,7-1,8	2,5	1,44
Szerkezet	Réteges 2D	izotróp 3D	
Szerkezet orientáció	nagy	nincs	nagyon nagy
Modulus (GPa)	350-410	70-85	60-130
Kritikus hajlítási sugár	$\sim 20d$ (d a szálmérő)	$\sim 100d$	
Max. alkalmazási hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	500-1000	350	250

1. táblázat Különböző anyagú szálak jellemző tulajdonságai

A továbbiakban csak a szénszál tulajdonságait és előállítási módját ismertetem.

A szálszerkezet miatt a szénszál hosszirányban sokkal erősebb mint erre merőlegesen, míg az üvegszál amorf szerkezetéből következően minden irányban egyformán erős. A szénszál kb. 40%-kal könnyebb, mint az üvegszál, ezért nagyobb mértékben csökkenti a kompozit sűrűségét.

A szénszálakat általában a következő tulajdonságok jellemzik:

- nagy szakítószilárdság,
- nagy rugalmassági modulusz,
- kis sűrűség,
- kiemelkedő vibráció tompító képesség,
- vegyi semlegesség,
- nagy ellenállóképesség savakkal, lúgokkal és szerves oldószerekkel szemben,
- kis hőtágulás, jó hővezetés és hőállóság,
- csekély röntgensugár – abszorpció,
- nem mágneses, illetve nem mágnesezhető,
- jó elektromos vezetőképesség,
- nem vesz fel a nedvességet.

Magas előállítási áruk miatt a szénszálakat csak olyan területeken alkalmazták, ahol ez nem számított, a hadiiparban, az atomenergia iparban, az űrkutatásban, rakétatechnikában.

Napjainkban már az új eljárással előállított szénszálakat az élet számos területén alkalmazzák műanyagokkal társítva.

Felhasználják őket például a:

- *gépiparban*: csúszócsapágyak, fékbetétek, kompresszorlapátok, rugók;
- *sportszergyártásban*: horgászbot, teniszütő, golfütő, sílécek, szörfdeszka, evezőlapátok, kerékpár,
- *járműiparban*: autók, hajók, repülő, légsavarak;
- *gyógyászatban*: orvosi berendezések, röntgenberendezések fekvőlapjai, protézisek, csontszögek;

Tulajdonságok	Szénszál	Üvegszál	Aramidszál
Szálátmérő (μm)	6-12	9-20	10-20
Sűrűség (g/cm^3)	1,7-1,8	2,5	1,44
Szerkezet	Réteges 2D	izotróp 3D	
Szerkezet orientáció	nagy	nincs	nagyon nagy
Modulus (GPa)	350-410	70-85	60-130
Kritikus hajlítási sugár	$\sim 20d$ (d a szálátmérő)	$\sim 100d$	
Max. alkalmazási hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	500-1000	350	250

1. táblázat Különböző anyagú szálak jellemző tulajdonságai

A továbbiakban csak a szénszál tulajdonságait és előállítási módját ismertetem.

A szálszerkezet miatt a szénszál hosszirányban sokkal erősebb mint erre merőlegesen, míg az üvegszál amorf szerkezetéből következően minden irányban egyformán erős. A szénszál kb. 40%-kal könnyebb, mint az üvegszál, ezért nagyobb mértékben csökkenti a kompozit sűrűséget.

A szénszálakat általában a következő tulajdonságok jellemzik:

- nagy szakítószilárdság,
- nagy rugalmassági modulusz,
- kis sűrűség,
- kiemelkedő vibráció tompító képesség,
- vegyi semlegesség,
- nagy ellenállóképesség savakkal, lúgokkal és szerves oldószerekkel szemben,
- kis hőtágulás, jó hővezetés és hőállóság,
- csekély röntgensugár – abszorpció,
- nem mágneses, illetve nem mágnesezhető,
- jó elektromos vezetőképesség,
- nem veszik fel a nedvességet.

Magas előállítási árak miatt a szénszálakat csak olyan területeken alkalmazták, ahol ez nem számított, a hadiparban, az atomenergia iparban, az űrkutatásban, rakétatechnikában.

Napjainkban már az új eljárással előállított szénszálakat az élet számos területén alkalmazzák műanyagokkal társítva.

Felhasználják őket például a:

- *gépiparban*: csúszócsapágyak, fékbetétek, kompresszorlapátok, rugók;
- *sportszergyártásban*: horgászbót, teniszütő, golfütő, sílécek, szörfdeszka, evezőlapátok, kerékpár,
- *járműiparban*: autók, hajók, repülő, légsavarok;
- *gyógyászatban*: orvosi berendezések, röntgenberendezések fekvőlapjai, protézisek, csontszögek;
- *haditechnikában*: golyóálló mellény, fejtámla sisak, fegyverek, harci járművek;
- *építőiparban*: acél, beton erősítésére.

A csökkentett tömegű szénszálak szerkezeti anyagok alkalmazásával másodlagos energiát is nyer a vevő, például a nyomda – és papíriparban, ahol nagy fordulatszámmal működő hengerekkel találkozunk, a kisebb tömegű hengerek alkalmazása kisebb motorterhelést jelent; vagy a szél erejének energiatermelésre való felhasználásakor az eddigi üvegszálak kompozit lapátok helyett közel kétszer olyan hosszú lapátokat lehet alkalmazni ugyanakkora tömegből, tehát ugyanazt a szélerőt több energia termelésére lehet felhasználni.

A SZÉNSZÁLAK ELŐÁLLÍTÁSA

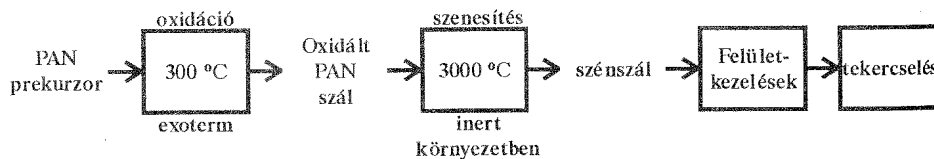
Szénszálakat pirolitikus úton állítanak elő szerves szénvegyületekből. Kiindulási anyag lehet viszkóz selyem, kátrány, poliakrilonitril (PAN). A szál tulajdonságait, előállítási költségeit is figyelembe véve a legalkalmasabb alapanyag a poliakrilonitril, amit a textilipar számára egyébként is nagy mennyiségben állítanak elő.

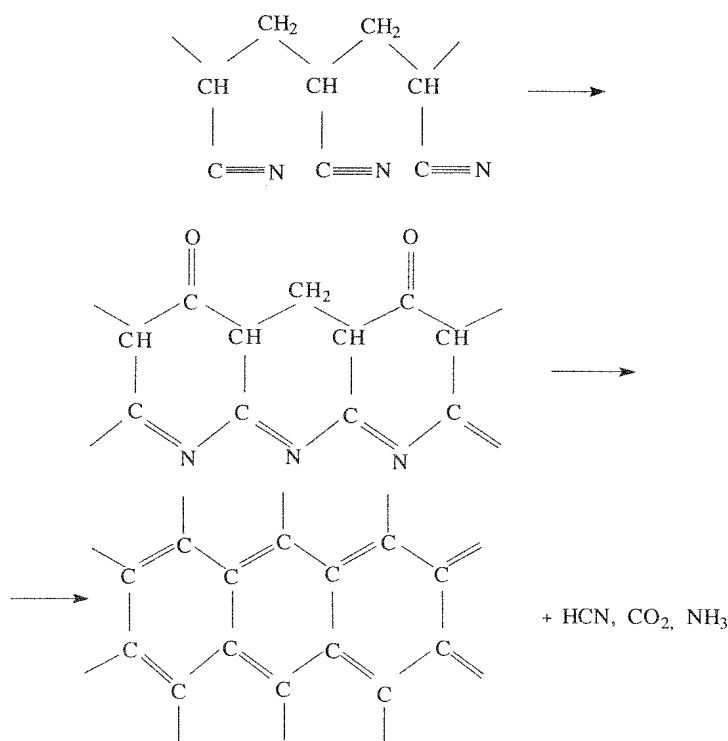
Első lépcsőben a PAN prekuzort nyújtással egybekötött oxidációnak vetik alá $300-350^{\circ}\text{C}$ -ig. Az exoterm gyűrűzárási stabilizálási reakció eredménye az oxidált PAN szál, melynek széntartalma 62%. Ezután magas hőmérsékletű, inert atmoszférában szenesítés következik ($1500-3000^{\circ}\text{C}$ -ig) és kialakul a szénszál, amely már minimum 95% szenet tartalmaz. A grafit szerkezet elérése után a szénszálak affinitása bármilyen erősítendő mátrixanyaghoz gyakorlatilag nulla, ezért a szálakat felületkezeltetni kell. A szénszálat elektrolizáló kádban anódként kapcsolva, elemi oxigén fejlődik, a szálfelület aktív oxigénhez jut, majd a szálakat gyantázó kádban különböző típusú és koncentrációjú gyantákkal vonják be ($\sim 5\%$ -ig), mellyel reaktív csoportokat visznek fel (hidroxil-, karboxil-), amelyek már lehetővé teszik a mátrix anyaghoz (alapanyaghoz) való kötődést.

Tehát a PAN alapú szénszálgártás fő lépései:

- PAN prekuzor előállítás,
- oxidatív stabilizáció (alacsony hőmérséklet, $\sim 300^{\circ}\text{C}$), nyújtással egybekötve,
- karbonizálás (inert atmoszféra, magas hőmérséklet $350-1600^{\circ}\text{C}$)
- grafitizálás (inert atmoszféra, $2800-3000^{\circ}\text{C}$), csak akkor szükséges, ha nagy modulusú szénszálakat akarunk előállítani.

A szénszálgártás folyamatábrája:





A SZÉNSZÁLERŐSÍTÉS HATÁSA A POLIURETÁN ELASZTOMER MECHANIKAI TULAJDOSÁGAIRA

Kísérleteink során kétféle poliolt és kétféle TDI-t használtunk fel a poliuretán elasztomer előállítására, mely anyagokat a BorsodChem Rt. bocsájtotta rendelkezésünkre. Az előírt keverési arányokat gondosan betartva öntöttük a sűrűn folyós alapanyag elegyet a már előre legyártott öntőformába, mellyel szabványos méretű szakítópróbatesteket készítettünk. A gyorsabb szilárdulás érdekében 1 csepp katalizátort alkalmaztunk (dibutil-ón-dilaurát).

A felhasznált két poliolt [„A”] az ER-7120 és ER-7121 jelű, a felhasznált TDI-k [„B”] a B1 és B2 jelűek.

Keverési arányuk:

A : B

ER – 7120 : B1 = 100 : 25

ER – 7121 : B1 = 100 : 32,46

ER – 7120 : B2 = 100 : 51,33

ER – 7121 : B2 = 100 : 66,66

Elvégezve ezen próbatestek szakító vizsgálatát, jellegzetesen gumi viselkedésre utaló szakítódiagramot kaptunk, melyet az első ábra mutat.

Következő lépésben szénszálerősítésű kompozit próbatesteket készítettünk. A szénszállakat pásmában tekercselve a Zoltek Corp.-tól kaptuk kétféle bevonattal, az egyik tekercs 1,5% epoxi bevonatú, a másik 0,5% poliészter bevonatú. A szénszállakat a húzás irányával megegyezően, a próbatest teljes hosszával megegyező szálhosszúságban, egyenletesen terítettük szét különböző tömegszázalékos arányban.

A szakító vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy a kompozit próbatestek szakítószilárdsága és Young modulusa jelentősen megnövekedett. A mért értékeket a 2. táblázat tartalmazza.

Minta sorszáma	Minta összetétele	Szakítószilárdság [MPa]	Young modulus [MPa]
01.	Szénszál nélküli PUR elasztomerek átlagos szilárdsági értékei	0,89	1,4
08.	PUR elasztomer ER7121:B1 4% epoxi bevonatú szénszállal	4,78	87,32
19.	PUR elasztomer ER7120:B2 4% epoxi bevonatú szénszállal	5,49	52,42
20./a	PUR elasztomer ER7120:B2 4% poliészter bevonatú szénszállal	6,076	120,58
20./b	PUR elasztomer ER7120:B2 8% poliészter bevonatú szénszállal	12,63	215,10
21./a	PUR elasztomer ER7120:B1 4% poliészter bevonatú szénszállal	11,16	338,69
21./b	PUR elasztomer ER7120:B1 8% poliészter bevonatú szénszállal	16,38	326,13

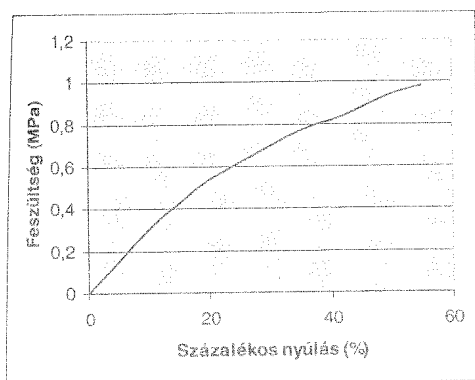
2. táblázat: A különböző összetételű kompozitok szakítóvizsgálati eredményei

A táblázat értékeiből kitűnik, hogy az epoxi bevonatú szénszállal erősített PUR elasztomer szakító szilárdsága ötszörösére emelkedett, míg a poliészter bevonatú szénszállal erősített PUR elasztomer szakító szilárdsági értékek hatszorosára illetve tizenhatszorosára nőttek. Ezek a számok azt is mutatják, hogy a poliészter bevonat jobban tapad a bázis-elasztomerhez, ami – mint a cikk elején említettük – nagyon fontos a terhelés megfelelő átvétele szempontjából. Egy jellegzetes kompozit szakító-diagrammot a 2. ábra mutat.

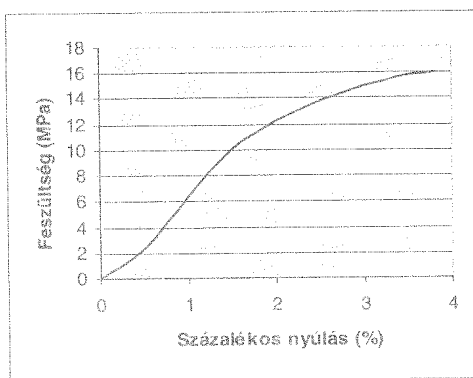
A két ábrát összevetve látszik, hogy a szénszál erősítéses elasztomer szakítás közbeni nyúlása csak tört része az erősítetlen elasztomerének, ugyanakkor lényegesen nagyobb terhelést visel el a szakadásig.

Az eddig elért pozitív eredményeket követően a további mechanikai tulajdonságok vizsgálata folyamatban van, vizsgálva egyidejűleg a szál-elrendezés változtatásának hatásait, a száltartalom növelésének hatásait, és a szál-előfeszítő erő változtatásának hatásait a mechanikai tulajdonságokra.





1. ábra

PUR elasztomer szakító-diagramja

2. ábra

*A szénsszál erősítéses PUR elasztomer
szakító-diagramja*

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- Dr. Borda Jenő: Poliuretánok kémiája és előállításuk. KLTE, Alkalmazott Kémiai Tan-
szék Debrecen, 1994.
- Cseh Róbert – Dudás Zsolt: Szénsszálerősítésű poliamid kompozitok vizsgálata. TDK
Konferencia, Kémiai Vegyipari Szekció Veszprém, 1999.
- Kolbert Attila – Dr. Lázár Attila – Kamal Ismail: Új szénsszál alapú erősítő anyagok a
műanyagipar számára. Műanyag és Gumi 1999. 10. szám.