

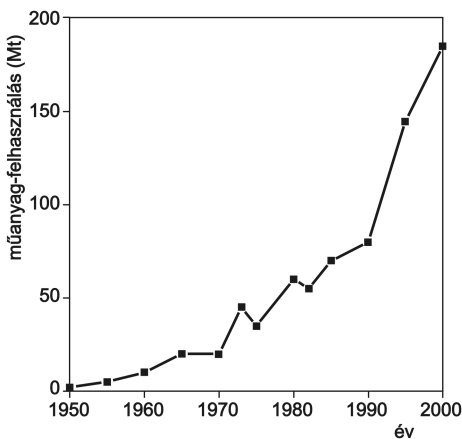
# TÁRSÍTOTT ÉS ERŐSÍTETT MŰANYAGOK

Pukánszky Béla

a kémiai tudomány doktora, tanszékvezető, egyetemi tanár, BME, Műanyag- és Gumiipari Tanszék, Budapest, és MTA KK Kémiai Intézet, Budapest – pukanszky@muatex.mua.bme.hu

## 1. Bevezetés

A műanyagok ma már életünk szerves részét képezik, mindennap találkozunk velük, rendszeresen használjuk őket otthon és munkahelyünkön egyaránt. A műanyagok gyártása és felhasználása töretlenül növekszik szerte a világon, amit az 1. ábra szemléltet. A hagyományos szerkezeti anyagok felhasználása évről évre alig változik, a műanyagoké még mindig jelentős mértékben nő. Az 1. ábrán látható tendencia fokozatosan érvényes hazánkra (Farkas, 2002). Míg a fejlett országokban az egy főre eső műanyag-felhasználás eléri a 150 kg-ot, addig hazánkban ez csak 65 kg/fő. Talán éppen ezért a műanyagipar jelentősége nagy, az elmúlt években a vegyipari termelés értékének több mint 40 %-át adta.



1. ábra • A világ műanyag-felhasználásának változása

Számos területen használnak különleges tulajdonságokkal rendelkező polimereket és műanyagokat. Ilyenek például a piezoelektromos, a nemlineáris optikai jellemzőket mutató polimerek és folyadékkristályos polimerek vagy a vezető műanyagok. Ennek ellenére a felhasznált műanyagok közel 80 %-át a tömegműanyagok teszik ki, a poli-etilén (PE), a polipropilén (PP), a PVC és a polisztirol (PS). Új műanyagok kifejlesztése, üzemesítése és piaci bevezetése rendkívül hosszú és költséges. Jól példázza ezt, hogy az elmúlt években csupán néhány új műanyag jelent meg a piacon, mint például a Ticona ciklikus olefin kopolimere (Topas) vagy a Shell által kifejlesztett Carilon (alifás poliketón). Különösen érdekes és talán jellemző, hogy alig valamivel az üzem beindítása után a Shell megszüntette a Carilon gyártását. Új polimerizációs technológia kifejlesztése helyett leggyakrabban társítással állítanak elő új műanyagokat, a mátrix polimerhez töltőanyagot, egy másik polimert vagy erősítőanyagot, többnyire szálát adnak. Társítással rendkívül gyorsan, esetenként néhány hónap alatt hozható létre egy új műanyag. A társító komponensnek megfelelően három csoportot különböztetünk meg: a töltőanyagot tartalmazó polimereket, a polimer keverékeket és a szálerősítésű kompozitokat. Társított polimer például a kerti bútor, a személygépkocsi lökhárítója, a telefon vagy a számítógép monitorának háza, a Forma-1-es autó vagy a repülőgépek számos alkatrésze. A társítás célja jobb tulajdonságokkal rendelkező, esetenként olcsó anya-

gok előállítására, melyek maximálisan kielégítik az alkalmazási terület által támasztott követelményeket.

## 2. A társított műanyagok tulajdonságait meghatározó tényezők

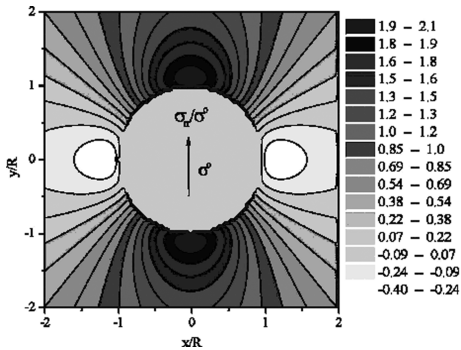
A társító anyagokat gyakran a mátrix polimerrel összemérhető mennyiségben adagolják. Az esetek többségében szerkezetük heterogén, általában többkomponensű, többfázisú anyagok. Jó példa erre az előző bekezdésben említett lökhárító. Ezt gyakran, de nem mindig, módosított polipropilénből készítik, a mátrix polimer töltőanyagot és elasztomert tartalmaz a merevség, valamint az ütésállóság egyidejű növelése érdekében. A társítás következtében tehát egy háromkomponensű (PP, töltőanyag, elasztomer) és négyfázisú (PP kristályos és amorf fázis, töltőanyag, elasztomer) anyag jön létre. A szerkezet változatosságát tovább növeli anizotrop társító, illetve erősítő anyag alkalmazása, melynek egységei (részecskék, szálak) a feldolgozási eljárástól függően rendeződnek, orientálódnak.

Bár a társított műanyagok három csoportja között számos különbség is felfedezhető, tulajdonságaikat egységesen négy tényező határozza meg: a komponensek jellemzői, az összetétel, a szerkezet és a határfüveti kölcsönhatások. A komponensek, illetve a társító anyag jellemzőinek szerepét jól mutatja, hogy ha a polipropilént töltőanyaggal társítjuk, kemény, merev műanyagot kapunk (kerti bútor, motorházban elhelyezett alkatrészek), míg nagymennyiségű elasztomer hozzáadásával gumyszerű termoplasztikus elasztomert nyerhetünk, melyből az autó ablakának tömítése vagy sícipő készül. A mátrix polimer tulajdonságainak változása nyilvánvalóan függ a társító anyag mennyiségétől, az összetételtől. A tulajdonságok összetétel-függését azonban nagymértékben befolyásolja a másik két tényező, a szerkezet és a komponensek kölcsönhatása is. A korábban említett lökhárító anyagban a kom-

ponensek kétféle módon rendeződhetnek el, a töltőanyag és az elasztomer egymástól függetlenül diszpergálódhat a polimer mátrixban vagy a töltőanyag beágyazódhat az elasztomerbe. A valóságban a két határeset közötti szerkezet alakul ki, a beágyazódás mértéke az összetételtől és a komponensek kölcsönhatásától függ (Molnár et al., 2000). Ugyancsak fontos, sőt döntő a szerkezet szerepe az anizotrop társító anyagot tartalmazó műanyagokban, ezek tulajdonságait gyakorlatilag a társító illetve erősítő anyag orientációja határozza meg. A szerkezet mellett a határfüveti kölcsönhatások meghatározzák a külső terhelés hatására bekövetkező deformációs folyamatokat, így a műanyag tulajdonságait is.

## 3. Mikromechanikai deformációs folyamatok

A társított és erősített műanyagok szerkezete gyakorlatilag mindig heterogén, egy mátrixban elméletileg egyenletesen diszpergált részecskékből állnak. A heterogenitás (töltőanyag-szemcse, diszpergált polimer) mérete a mikrométer-tartományba esik és ilyen az erősítő szálak átmérője is. A szálak hossza általában lényegesen nagyobb, néhány tízed millimétertől (rövidszál-erősítésű műszaki műanyagok) gyakorlatilag a végtelenig terjedhet, azaz összemérhető lehet a tárgy méreteivel (végtelenszál-erősítésű kompozit). Mivel a mátrix és a társító anyag rugalmas jellemzői általában különböznek egymástól, külső terhelés hatására inhomogén feszültségtér alakul ki a heterogenitás környezetében. A külső erő és a tárgy keresztmetszete által meghatározott átlagos feszültséghez viszonyítva lényegesen nagyobb feszültségmaximumok is kialakulhatnak. Egy polimer mátrixba ágyazott merev részecske körül kialakuló feszültség eloszlását mutatja a 2. ábra. Látható, hogy a részecske pólusán a feszültség az átlagos érték közel kétszerese (Vörös és Pukánszky, 2001).



2. ábra • Egy merev részecske körül külső feszültség hatására kialakuló feszültségeloszlás

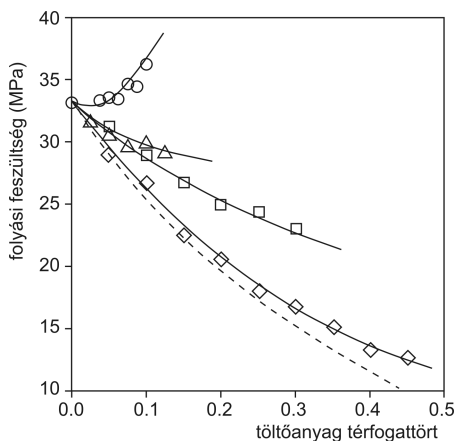
A feszültségkoncentráció, a helyi feszültségmaximumok hatására lokális mikromechanikai deformációs folyamatok indulnak meg a heterogenitás környezetében. A leggyakoribb ilyen folyamatok a nyírási folyás, a mikrorepedés, a határfelületek elválása és a kavitáció. Nyírási folyásnak nevezzük kristályos egységek vagy molekulakötegek elmozdulását, elcsúszását; a deformációt nem kíséri térfogatváltozás. A mikrorepedés során repedések alakulnak ki, melyek széleit több száz százalékban megnyúlt polimer szálak kötik össze. Ez a deformációs folyamat az ütésálló polisztirolra (monitorház) jellemző, és térfogat-növekedéssel jár. A határfelületek elválása a töltőanyagot tartalmazó polimerek jellemző deformációs mechanizmusa, a töltőanyag pólusain üregek alakulnak ki. Kavitáció elasztomerrel módosított polimerekben következik be, amennyiben a mátrix és az elasztomer között az adhézió megfelelő. Az elasztomerben nagy negatív hidrosztatikus feszültségek alakulnak ki a deformáció hatására, ami az elasztomer kohéziós szakadását eredményezi, üreg képződik az elasztomeren belül. Szálerősítésű rendszerekben az említett folyamatok mellett a szállal kapcsolatos deformációs, illetve tönkremeneteli folyamatok is bekövetkezhetnek, így például száلكihúzóds, törés, be-

hajlás vagy a szál elhasadása. Az egyes mikromechanikai deformációs folyamatok bekövetkezésének feltételei vannak, a domináló folyamat számos tényezőtől függ. A heterogenitás környezetében kialakuló lokális folyamatok határozzák meg az anyag makroszkopikus tulajdonságait, viselkedését (Michler, 1992).

#### 4. Töltőanyagot tartalmazó polimerek

A társított műanyagok közül talán a legnépszerűbb ismert és alkalmazott anyagcsalád. A mindennapi ember számára is közsímet termékek a már említett kerti bútor, különböző autóalkatrészek (lökhárító, légbefúvó), a PVC csatornacső és padló vagy a bébipelenka borító fóliája. Bár a töltőanyag általában lényegesen olcsóbb, mint a polimer, adagolásának célja nem az ár csökkentése. A két komponenst külön lépésben homogenizálják, ami jelentősen növeli az anyag árát. A töltőanyag alkalmazásának, és általában a társításnak, műszaki okai vannak, új tulajdonságokkal rendelkező anyag előállításra a cél.

A töltőanyagot tartalmazó polimerek tulajdonságait meghatározó legfontosabb tényezők a töltőanyag szemcsemérete, fajlagos felülete és alakja. A szemcseméret meghatározza a kompozit feldolgozhatóságát és deformációs mechanizmusát. A nagy szemcsék könnyen, már nagyon kis terhelés hatására elválnak a mátrix polimertől, üreg képződik a részecske körül, és a nagy üregek gyorsan kritikus méretű repedéssé egyesülnek. A túlságosan kis szemcsék sem kedvezőek. Kis szemcseméret esetén a töltőanyag aggregálódik, a szemcséket összetartó erők nagyobbak, mint a feldolgozás során őket szétválasztani próbáló nyíróerők. Az aggregátumok eltömik az extruder szűrőjét, melynek tisztítása termelés kiesést okoz, a termelékenység csökken. Az aggregátumok a termék tulajdonságait is rontják. Rosszabb lesz a felületi minőség és csökken a szilárdság, különösen a dinamikus hatásokkal szembeni



3. ábra • A fajlagos felület ( $A_p$ ) hatása a határfázisban megkötött polimer mennyiségére és a kompozit tulajdonságaira. PP/ $\text{CaCO}_3$  kompozitok.  $A_p$ : (◇) 0,5; (O) 3,3; (Δ) 16,5; (□) 200  $\text{m}^2/\text{g}$ ; – elméleti minimum

ellenállás. Útés hatására az aggregátumok szétesnek, repedés keletkezik, a termék már viszonylag kis igénybevétel hatására is eltörik. Az aggregációt a töltőanyag szemcseméretének helyes megválasztásával és felületkezeléssel csökkentik. A töltőanyag nagy energiájú felületét felületaktív anyagokkal vonják be, a felületi feszültség és így minden fajta kölcsönhatás csökken.

A homogenizálás során a polimer megkötődik a töltőanyag felületén, egy határreteg alakul ki, melynek tulajdonságai különböznek a mátrixétól és a töltőanyagétól is. Ezt mutatja a 3. ábra, melyen különböző fajlagos felületű PP kompozitok jellemző feszültségét ábrázoltuk az összetétel függvényében. A folyási vagy nyakképződési feszültség az a terhelés, amelynél a műanyag maradandó deformációt szenved, azaz a gyakorlatban alkalmazható maximális külső feszültség. Látható, hogy a fajlagos felület növekedésével a határfázisban megkötött anyag mennyisége és a kompozit terhelhetősége nő (Pukánszky, Turcsányi és Tüdös, 1988). Sajnos ezzel egyidejűleg az útésálló-

ság általában lecsökken. A töltőanyag vagy közel gömb alakú, vagy anizotrop, többnyire lemezes szemcsékből áll. Az anizotrop anyagok a feldolgozás, a termék előállítás során orientálódnak, ami irányfüggő tulajdonságokat eredményez, a merevség és a szilárdság nagyobb lesz az orientáció irányában, mint arra merőlegesen.

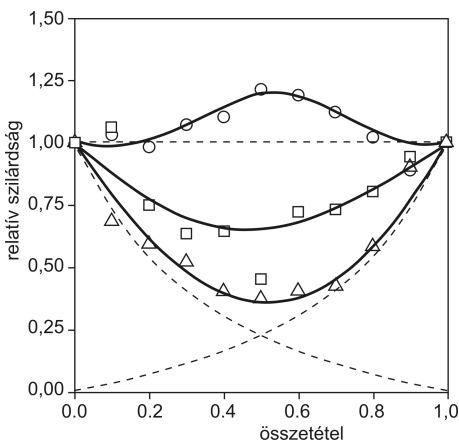
A töltőanyagok olcsó, egyszerű anyagok, és általában tömegműanyagokhoz adják őket. Ezekből is lehet azonban igényes, magas műszaki tartalommal rendelkező terméket készíteni. Ilyen az egészségügyi termékekben, például a bébipelenkában is alkalmazott lélegző fólia, ami polietilénből és nagy mennyiségű, 40-50  $\text{m}^2/\text{m}^3$   $\text{CaCO}_3$  töltőanyagból áll. A kompozitból fóliát készítenek, melyet megnyújtva a határfelületek elválnak, kis üregek képződnek, melyek a gőzt átteresztik, a folyadékot viszont nem. A megfelelő gőzátteresztéssel rendelkező termék termelékeny előállítása azonban csak a töltőanyag mérete, a polimer tulajdonságai és a technológia helyes megválasztásával lehetséges (Moreiras, 2001).

### 5. Polimer keverékek

A műszaki műanyagok keverékeit nagy mennyiségben használja az ipar, elsősorban a műszeripar és az elektronika. Az ilyen keverékek készítésének célja megfelelő tulajdonságok kialakítása, a feldolgozhatóság javítása vagy az ár csökkentése (Paul és Bucknall, 2000). Jó példát szolgáltatnak erre a poli(fenilén-oxid) (PPO)/polisztirol keverékek, ahol az olcsó polisztirol adagolása a feldolgozhatóság javulásához és az ár csökkentéséhez vezet, de említhetnénk a széles körben használt polikarbonát (PC)/poli(akrilnitril-butadién-sztirol) (ABS) keverékeket is. Meglepő módon nagyon sok tömegműanyagot, elsősorban a poliolefineket, szintén keverék formájában használnak.

A polimer keverékek készítésének és alkalmazásának kulcskérdése a komponen-

sek elegyíthetősége. A legtöbb, kereskedelemben kapható polimer nem elegyíthető egymással, összekeverésük heterogén, két-fázisú keveréket eredményez. Ez önmagában még nem baj, a legtöbb, gyakorlatban használt keverék heterogén, sőt a gyakran alkalmazott ütésálló műanyagok gyakorlatilag mindig azok. Néhány mikromechanikai deformációs folyamat, különösen a mikrorepedezés és a nyírási folyás sok energiát nyel el, az ütésállóság nő. Ahhoz azonban, hogy katasztrofális törés ne következzen be, és a fenti folyamatok valóban az ütésállóság növekedését eredményezzék, a komponensek megfelelő kölcsönhatása szükséges. Ilyen esetben a fázisok valamilyen mértékben egymásba diffundálnak, ami biztosítja a feszültség átadását közöttük. A kölcsönhatás szerepét szemlélteti a 4. ábra, ahol három polimer pár szilárdságát ábrázoltuk az összetétel függvényében (Pukánszky és Tüdös, 1990). Mivel az összes vizsgált polimer tulajdonságai különböznek, az összehasonlíthatóság érdekében relatív skálát alkalmaztunk, a mért szilárdságot elosztottuk az additivitás feltételezésével számolt mennyiségekkel.



4. ábra • Polimer keverékek szilárdságának függése a komponensek kölcsönhatásától. (□) PPO/PS, (○) PS/PVC; (Δ) PP/PVC; – additivitás és elméleti minimum

Látható, hogy a gyakorlatban is alkalmazott PPO/PS keverék tulajdonságai rendkívül jók, az összefüggés az additivitást jelző vonal fölött halad. A PS/PVC keverék tulajdonságai közepesek, míg a PVC/PP keveréké rendkívül rosszak, a mért pontok az elméleti minimum környezetében helyezkednek el. Ez a viselkedés a kölcsönhatás teljes hiányára utal, ami érthető, hiszen az apoláris PP legfeljebb gyenge diszperziós kölcsönhatásra képes más anyagokkal. A kölcsönhatás hiánya a keverékek szerkezetében is jelentkezik, a PP/PVC keverékekben a diszpergált fázis mérete rendkívül nagy, közel 10 mm, míg a PPO/PS keverékek gyakorlatilag homogének. A komponensek kölcsönhatása tehát meghatározza a keverékek szerkezetét és tulajdonságait.

#### 6. Szálerősítésű kompozitok

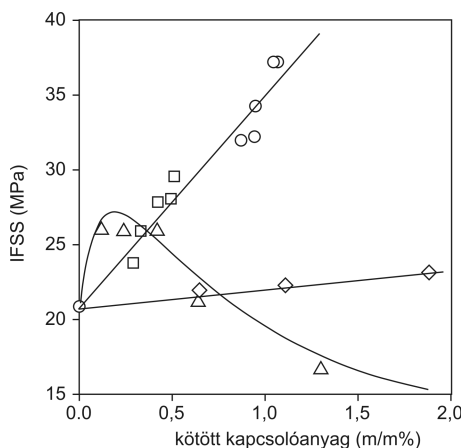
A kölcsönhatások szerepe különösen jelentős a szálerősítésű kompozitok esetében. A szálerősítésű polimerek működésének elve az, hogy a merev, szilárd szál viseli a terhelést, míg a mátrix közvetíti azt a szálak között. Ez az elv természetesen csak akkor működik, ha a szálak a terhelés irányába állnak, a mátrix és a szál közötti kölcsönhatás pedig megfelelő. Ennek hiányában külső terhelés hatására a szál elválik a mátrixtól, kihúródik belőle. A megfelelő adhéziót általában reaktív felületkezeléssel, kovalens kötések kialakításával, a komponensek összekapcsolásával hozzák létre. Ez bizonyos esetekben viszonylag könnyen megoldható, más esetekben azonban komoly problémát okoz. A magas hőmérsékletű (1000-3000 °C) hevítéssel előállított poli(akril-nitril) (PAN) alapú szénszálak felülete például semleges, funkciós csoportokat alig tartalmaz. A kovalens kötés kialakítására képes csoportokat a szál felületén oxidációval, nedves vagy száraz eljárással hozzák létre. A leggyakoribb eljárás az elektrokémiai kezelés. Az elektrolittól és az alkalmazott potenciáltól függően külön-

böző oxigéntartalmú csoportok keletkeznek a szál felületén. A reaktív csoportokat ezután kapcsolóanyagokkal reagáltatják a megfelelő adhézió létrehozása érdekében. A kémiai kötések megakadályozzák a határfelületek elválását, megnövelik a határfelületi adhéziót, amit a határfelületi nyírószilárdsággal (IFSS) jellemzünk és egyedi szálat tartalmazó mikrokompozitok vizsgálatával határozzunk meg. Az egyetlen szálat tartalmazó mikrokompozitot a szállal párhuzamosan terheljük. A kialakuló nyírófeszültség hatására a szál tördelődik, és a fragmentumok hosszából meghatározható a nyírószilárdság. Erősebb adhézió rövidebb átlagos szálhosszat eredményez.

Sajnos az ismertetett elvek alkalmazása nem minden esetben egyszerű. A kapcsolóanyag és a szál felületén létrehozott csoportok között gyakran bonyolult reakciók sora játszódik le, és előfordul, hogy a kapcsolóanyag polimerizál a szál felületén. A kialakult határfázis szerkezete és tulajdonságai jelentősen befolyásolják, olykor meghatározzák a kompozit tulajdonságait. Ezt szemlélteti az 5. ábra (Gulyás et al., 2000). PAN alapú szénszálát különböző kapcsolóanyagokkal kezeltünk, és meghatároztuk a határfelületi nyírószilárdságot epoxi gyanta mikrokompozitokban. Bizonyos vegyületek növelik az IFSS értékét, míg másokkal a kívánt hatás nem érhető el. Az egyik esetben (AMS) a kialakult felület reaktivitása nem volt megfelelő, míg az izocianát gyenge határfelületi réteget eredményezett, melynek kis szilárdsága az IFSS csökkenését eredményezte. Ilyen és hasonló problémák az elmúlt években jelentősen hátráltatták a szálerősítésű kompozitok előretörését a polgári repülésben és más területeken is. A jövőben azonban további fejlődés várható, és az új Airbus lényeges teherhordó funkciókban is számos szénszál-erősítésű kompozit alkatrészt tartalmaz majd.

### 7. A fejlődés iránya

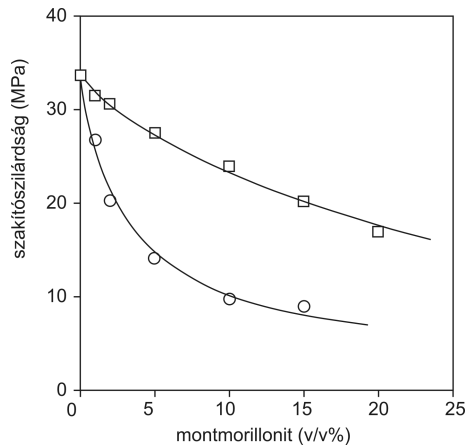
Hasonlóan az élet más területeihez, a társított és erősített műanyagok fejlesztése is új kérdéseket vet fel, új anyagok megjelenéséhez vezet. Ezek közül kettőt említünk. A nanoméretű anyagok iránt az érdeklődés világszerte megnőtt, az egyik új kutatási irány a nanokompozitok előállítására és vizsgálatára. Több típusuk létezik, a gyakorlat szempontjából legígéretesebbek a rétegszilikát nanokompozitok (Alexandre és Dubois, 2000). Ezek előállíthatók in-situ polimerizációval, a rétegek delaminációjával vagy polimer ömledék interkalációjával. A kompozitok előállítására többnyire montmorillonitot (MMT) használnak. Ennek az ásványnak a rétegei között szolvatált kationok találhatóak, melyek szerves kationokra, többnyire kvaterner ammóniumsókra cserélhetők. Az így organofilizált ásvány lemezei között csupán gyenge másodlagos kötések hatnak, melyek nem tudnak ellenállni a feldolgozás során



5. ábra • Kapcsolóanyagok hatása a határfelületi kölcsönhatásra epoxi/szénszál mikrokompozitokban. (◇) aminoszilán (AMS); (○) toluilén-diiizocianát (TDI); (Δ) 4,4'-metilén-bisz(fenil-izocianát) (MDI); (□) epoxiszilán (EPS)

fellépő nagy nyíróerők hatásának, végbe megy a delamináció. A lemezek vastagsága kb. 1 nm, míg kiterjedése kb. 500 nm. Hasonlóan a szálerősítésű kompozitokhoz, az anizotrop részecskéktől nagy erősítő hatás várható. Ez a PA nanokompozitok esetében meg is valósul, mivel itt a polimer láncok a lemezek felületéhez ionos kötással kapcsolódnak. A többi polimernél azonban ilyen kötés nem alakul ki, így a szilárdság csökken. Összecsapási vonalakat tartalmazó fröccsöntött PP tárgyakban a nanorészecskék jelenléte kifejezetten káros, az összecsapási vonal szilárdsága jelentősen csökken a szilikáttartalom növekedésével az inert töltőanyagként viselkedő kezeletlen montmorillonit-hoz viszonyítva (6. ábra). A szilárdságcsökkenés oka, hogy a szilikát nanoméretű felületkezelt lemezei az összecsapási vonallal párhuzamosan helyezkednek el, és megakadályozzák az ömledékfrontok összehegedését. A nanokompozitok kutatásában, gyártásában és alkalmazásában a várt áttörést még nem sikerült elérni, a megoldást a mátrix és a szilikátlemezek közötti megfelelő adhézió kialakítása jelenti.

A fejlesztés másik kiemelt területe a természetes eredetű szálak alkalmazása. A természetes szálak számos előnnyel rendelkeznek a korábban használt, ma már hagyományosnak tekinthető üveg, szén vagy aramid (aromás poliamid, Kevlar) szálakhoz viszonyítva. Természetes, megújuló nyersanyagforrásból származnak, hozzáférhetőségük korlátlan, áruk alacsony. Sajnos számos hátrányos tulajdonságuk is van, ami korlátozza alkalmazásukat. A szálak átmérője változik és függ a származási helytől, valamint az időjárástól, a szálak keresztirányú szilárdsága kicsi, és nedvességérzékenyek. A nedvesség felvétele a termék vetemedését okozhatja, és a tulajdonságok lényeges romlásához vezet. Hasonlóan a nanokompozitokhoz, a természetes szálak sikeres alkalmazásához is számos problémát kell még megoldani.



6. ábra • Összecsapási vonalat tartalmazó PP/montmorillonit kompozitok szilárdsága; a felületkezelés hatása. (o) kezeletlen MMT, (j) felületkezelt MMT (nanokompozit)

### 8. Következtetések

A műanyagok jelentős szerepet játszanak a világ és hazánk gazdasági életében, gyakorlatilag az élet minden területén alkalmazzák őket. Új polimerek szintézise helyett társítással állítanak elő kívánt tulajdonságú új műanyagokat; ezek gyártása gyorsabban növekszik, mint a tömegműanyagoké vagy a hagyományos szerkezeti anyagoké. A társított műanyagok az esetek többségében többkomponensű többfázisú anyagok. A szerkezet mellett a tulajdonságokat befolyásolják a komponensek jellemzői, az összetétel és a határfelületi kölcsönhatások. A társított műanyagok mindhárom csoportjában intenzív kutatás és fejlesztés folyik, melynek eredményeképpen egyszerű anyagokból magas műszaki értékű termékek állíthatók elő. A hagyományos társító anyagok mellett érdekes új töltő és erősítő anyagok jelennek meg. Bár a nanokompozitok és a természetes szálakkal erősített műanyagok fejlesztése még nem hozta meg a kívánt eredményeket, az áttörés a közeljövőben várható.

Kulcsszavak: *töltőanyag, polimer keverék, szálerősítésű kompozit, szerkezet, határ-*

*felületi kölcsönhatás, műanyagok alkalmazása, nanokompozitok, természetes szálak*

---

#### IRODALOM

- Alexandre, M. and Dubois, P. (2000). Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Mater. Sci. Eng. Reports* **28**, 1-63.
- Farkas, F. (2002). A műanyagok térhódítása. *Vegyipar* (1), 54-59.
- Gulyás, J., Rosenberger, S., Földes, E. and Pukánszky, B. (2000). Chemical Modification and adhesion in Carbon Fiber/Epoxy Micro-Composites: Coupling and Surface Coverage. *Polym. Compos.* **21**,387-95
- Michler, G. H. (1992) *Kunststoff-Mikromechanik. Morphologie, Deformations- und Bruchmechanismen*, Carl Hanser, München
- Molnár, Sz., Pukánszky, B., Hammer, C. O. and Maurer, F. H. J. (2000). Impact fracture study of multicomponent polyethylene composites. *Polymer* **41**, 1529-1539.
- Moreiras, G. (2001). Baby boom market for fillers. GCC in microporous films. *Ind. Minerals* (6) 29-33
- Paul, D. R. and Bucknall, C. B. (2000). *Polymer blends*, Wiley, New York
- Pukánszky, B., Turcsányi, B. and Tüdös, F. (1988) Effect of Interfacial Interaction on the Tensile Yield Stress of Polymer Composites. Ishida, H. (ed.) *Interfaces in Polymer, Ceramic, and Metal Matrix Composites*. 467-477. Elsevier, New York
- Pukánszky, B. and Tüdös, F. (1990). Miscibility and Mechanical Properties of Polymer Blends. *Makromol. Chem., Macromol. Symp.* **38**, 221-231.
- Vörös, G. and Pukánszky, B. (2001). Effect of a soft interlayer with changing properties on the stress distribution around inclusions and yielding of composites. *Composites* 32A, 343-352.

