

Merev és lágy polimerek együttese egyazon gyártmányban

Tárgyszavak: merev/lágy műanyag szerkezet; epoxigyanta; poliamid; elasztomer; ráfröccsöntés; száltekerceselés; többkomponensű fröccsöntés; tapadás; szerszámtervezés.

Az utóbbi évek fejlesztésének egyik eredménye, hogy a műanyagfeldolgozók összeszerelés helyett egyetlen vagy egymást követő munkaműveletek során olyan műanyag szerkezeteket képesek előállítani, amelyek két vagy többféle polimerből épülnek fel. A szerkezetet alkotó műanyagok egyike rendszerint merevebb, a másik rugalmasabb, és ezáltal funkcionálisan egészen újszerű eszközöket lehet készíteni. A merev és lágy műanyagok társítása többféle feldolgozási technológiában megvalósítható.

Száltekerceseléshez mátrixként pl. eddig szinte kizárólag hőre keményedő rideg gyantákat használtak. Újabban térhálósítható elasztomerekkel is próbálkoznak. A kétféle mátrix társításaként elképzelhető egy olyan hajtótengely, amelynek két végén az üvegszálat merev epoxigyantával, közepén merev, mégis rugalmas poliuretángyantával itatják át.

Többféle műanyagot fröccsöntéssel is elő lehet állítani. Ráfröccsöntéssel egy előzőleg elkészített darabot, mint egy betétet helyezik be egy második fröccsszerszámba, és egy részét vagy az egész darabot beágyazzák egy másik – legtöbbször az elsőnél jóval rugalmasabb, „lágyabb” – műanyagba. Kofröccsöntéssel viszont ugyanabba a szerszámba fröccsöntik be egymás után a két-négy műanyag meleg ömledékét, és kihűlés után készen vehetik ki az „összeszerelt” szerkezetet. Az előbbi eljárásához nincs szükség sem különleges feldolgozógépre, sem bonyolult szerszámra.

Végtelen szálból tekerceselt szerkezetek térhálós rideg gyanta és/vagy elasztomermátrixszal

A végtelen szállal tekerceselt erősített szerkezetekben többnyire hőre keményedő mátrixanyagokat használnak. Ezek hátránya a rendkívül kis szakadási nyúlás és a gyenge ütésállóság. Nemrég kezdték meg az ilyen szerkezetekben az elasztomerjellelű mátrixok alkalmazhatóságának vizsgálatát. Mivel

mind a szálakból, mind a mátrixokból széles választék áll rendelkezésre, jó esély van arra, hogy az eddig megszokottaktól gyökeresen eltérő tulajdonságú termékeket állítsanak elő.

A száltekercesléshez csak kis viszkozitású (öntéshez használt) elasztomerek vagy elasztomeroldatok/diszperziók jönnek számításba. Az oldatok és diszperziók különösen előnyösek alacsony viszkozitásuk miatt, de hátrányuk, hogy az oldószert vagy a diszpergáló közeget el kell távolítani a rendszerből. A sok lehetséges elasztomer közül olyanokat választottak ki a kísérletekhez, amelyeknek a viszkozitása alacsony és a feldolgozási ideje elég hosszú az impregnáláshoz és az alakadáshoz. Gyakorlati tapasztalatok alapján a 30 000 mPa · s-nál kisebb viszkozitású rendszerek jól használhatók erre a célra. Mivel az öntéshez használt legtöbb elasztomer már az összekeverés után legalább ilyen viszkozitású, és a meginduló térhálósodás következtében a viszkozitás viszonylag gyorsan tovább nő, a feldolgozási idő meglehetősen rövid. A folyékony szilikongumikra jellemző feldolgozási idő 20–80 min. A legtöbb önthető elasztomer oldószerekkel hígítható, és ezáltal mind a viszkozitás, mind a feldolgozási idő beállítható. Az oldószert azonban utóbb el kell távolítani.

Feldolgozás száltekercesléssel

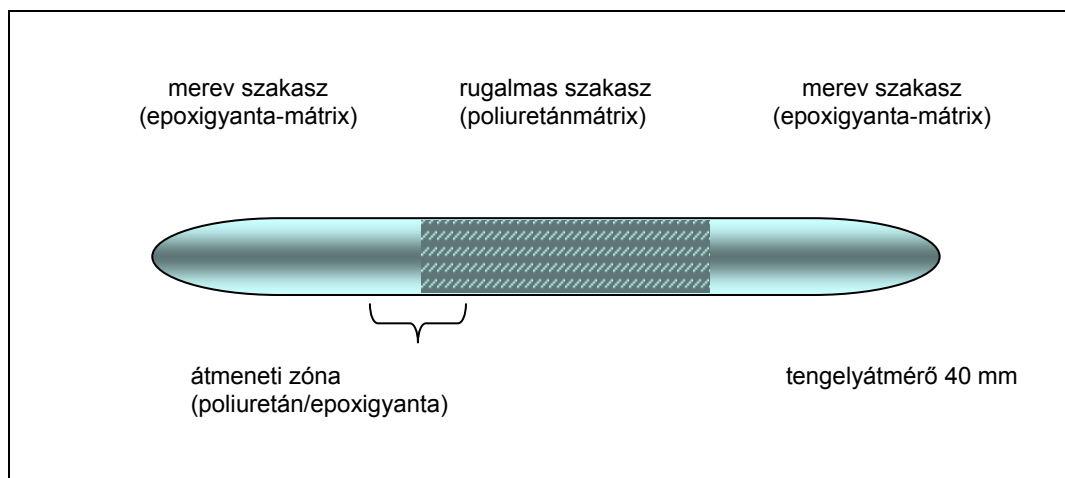
Az önthető elasztomerek viszonylag nagyobb viszkozitásuk miatt nem itatják át a szálköteget (rovingot), ezért olyan „beáztatási” módszert dolgoztak ki, amelyben három, teljesen a mátrixanyagba merülő hengert alkalmaznak, amelyek körül nagy szöggel vezetik a szálköteget. A száltekerceselő berendezés lényeges alkotóeleme a forró levegős szárítóalagút, amelyben elpárolog az oldó- és diszpergálószer. Mivel a diszperziók szárazanyag-tartalma viszonylag kicsi (~40%), több átitató és szárító szakaszra lehet szükség. A tekerceslés sebességével, a szárítóalagút hőmérsékletével és a szárítási lépések számával a szálköteg nedvességtartalma széles határok között változtatható.

A laminátum szilárdságának és a szál/mátrix közötti tapadásnak a mérésére keresztirányú próbatesteket készítettek. A *szilikongumi-mátrixszal* készült üvegszálas próbatestek húzószilárdsága kisebb volt, mint a szilikongumié üvegszál nélkül. Ezt a tökéletlen átitatással és a szál/mátrix közötti gyenge kölcsönhatással lehet magyarázni. Oldattal lényegesen jobb eredményt értek el.

Önthető poliuretánmátrixszal készített próbatesteken a tiszta poliuretánét megközelítő keresztirányú szakítószilárdságot mértek, ezzel szemben a PUR diszperzióval készített minták szilárdsága csekély. Ezt azzal magyarázzák, hogy a víz elpárolgása során sok tapadási hibahely marad vissza. Kérdés, hogy a diszperzió egyáltalán alkalmas-e vastagabb falú termékek gyártására.

A száltekerceselt elasztomerek esetleges alkalmazási területei

Az egyik lehetséges alkalmazásban *mátrixként kemény, de szívós elasztomert alkalmaznak a rideg gyanta helyett*, amely mind szakadási nyúlásában, mind ütésállóságában felülmúlja a hőre keményedő gyantákat. *Ilyen anyagokat lehetne pl. ütésnek kitett tartályok, karosszériaelemek, hajtótengelyek, lendkerekek stb. készítésére használni.* Erre mutat példát az 1. ábra. A hagyományos epoxigyantával készült *hajtótengelyeken* rugalmas kapcsolóelemeket kellett alkalmazni az átmeneteknél és az ütések csillapítására. Az új megoldás az elasztikus elemeket ugyanabba a szerkezetbe integrálja, ami konstrukciós és gyártási szempontból is egyszerűbb.



1. ábra Egy üvegszállal erősített hajtótengely prototípusa, amelynek középső része merev-rugalmas poliuretánmátrixszal, két vége az erőbevezetésnél pedig epoxigyantával készült

A lágy, rugalmas mátrixból, végtelen szállal tekerceselt termékek a műszaki elasztomerek tartományát bővítik a nagyobb szilárdság irányába, és egészen új alkalmazásokat is lehetővé tesznek. Ilyen pl. az ún. *pneumatikus izom*, amely tulajdonképpen szállal erősített tömlő, amely a speciális szálorientáció miatt belső nyomás hatására sugárirányban kitágul, tengelyirányban viszont összehúzódik. Lényegében hasonló jelenségen alapulnak az ún. *expandáló magok*, amelyek azt a tényt használják ki, hogy belső nyomás fellépése esetén az erősítőszálak egy maximális, 55° -os szögben elfordulnak, eközben a cső hossza és közepének átmérője is megváltozik (a cső hordószerűen „kihassasodik”). A tekerceselési szög változtatásával belső nyomás hatására különböző alakot felvevő, szilárdan tömítő szerkezetek alakíthatók ki. A nyomást csökkentve a hordó „hasa” leereszt, és a szerkezet eltávolítható.

Merev/lágy szerkezetek hőre lágyuló elasztomerekből

A hőre lágyuló elasztomereket (TPE) szívesen alkalmazzák különböző fogantyúk, fogkefék, mobiltelefonházak, játékok gyártására, ahol a felületnek puha, lágy tapintásúnak kell lennie. Szívesen kombinálják a TPE típusokat poliamid, ABS, ABS/PC, polisztirol vagy polikarbonát alappal. Mivel a merev/lágy termékek fröccsöntési eljárásait számos érvényes szabadalom védi, a készülégyártóknak célszerű egy vagy több szabadalomra licencet vásárolni. A **Kraiburg TPE**, mint a legnagyobb TPE-gyártó cég, több ilyen szabadalom licencét megszerezte. Ezek a szabadalmak a fröccsöntött merev/lágy kombinált szerkezetekre vonatkoznak, és lefedik nem csak magát a TPE típust, hanem a hőre lágyuló műszaki műanyaggal való összeépítés módját is. A Kraiburg céget, amely elsősorban keverékeket gyárt, nem érintenék a szabadalmak, de a licencek birtokában jogtisztan módon ajánlhatja termékeit vevőinek.

A tapadás javítása ráfröccsöntött merev/lágy szerkezetekben

Az utóbbi évtizedekben megszorodtak az olyan eljárások, ahol egy előző szerszámban gyártott hideg, merev formadarabra (mint betétre) egy második szerszámban *ráfröccsöntéssel* hőre lágyuló elasztomer alkatrészeket, fedőréteget stb. visznek fel. Ezáltal új esztétikai és színhatásokat, új formákat, érdekes tapintást lehet elérni. Ilyen technikával csúszásmentes, kopásálló és kényelmes kapcsolókat, fogantyúkat stb. lehet gyártani. *Néha gondot okoz, hogy a TPE nem tapad jól a másik műanyaghoz, ezért elválk attól, vagy veteledik, megcsúszik.* Ezt a jelenséget korábban kevésbé észlelték, mert rendszerint poliolefinalapú TPE-t (TPO) kombináltak polipropilénnel (PP). Az utóbbi években azonban jelentősen bővült mind a hőre lágyuló elasztomerek (TPU = hőre lágyuló poliuretán, TPV = hőre lágyuló vulkanizátum, SEBS = sztírol/etilén-butilén/sztírol blokk-kopolimer), mind az alkalmazott „merev” hőre lágyuló műanyagok (ABS, PC = polikarbonát, PA = poliamid) választéka. Ezáltal változatosabbá lettek az előállítható szerkezetek, de nőttek az adhéziós problémák is. *A ráfröccsöntéshez nincs szükség különleges fröccsöntő gépre, és szerszámba.*

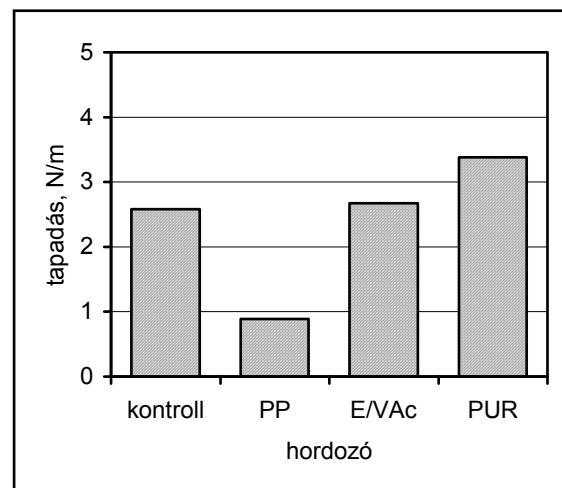
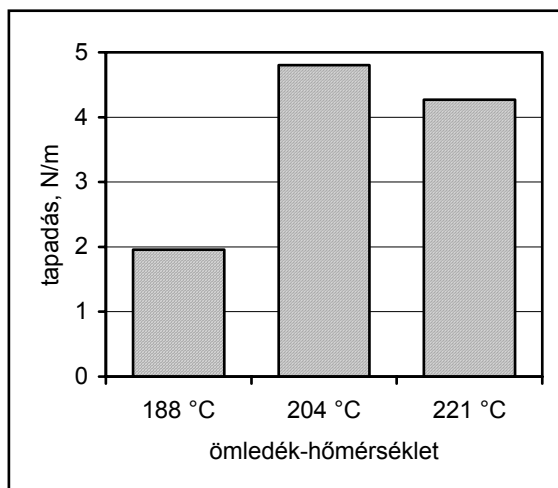
A többkomponensű fröccsöntéskor ugyanabba a szerszámba rövid egymásutánban lövik be a különböző polimerömlédeket. *A bonyolult szerszámot két-három, néha négy plasztikáló henger szolgálja ki.* Ennek az eljárásnak előnye a rövidebb gyártási idő és a jobb minőség – *de gazdaságossá csak akkor válik, ha egy termékből legalább 250 E darabot kell gyártani, és csak olyan országokban, ahol drága a munkaerő.* A többkomponensű fröccsöntésnél, ahol a különböző polimerek meleg ömladékfrontjai érintkeznek, általában kevesebb az adhéziós probléma, de ott is csak akkor, ha az egyes komponensek egymással összeférhetőek.

A jó tapadás feltételei

A jó tapadás érdekében jól kell megtervezni a „lezáró” *profilokat*: el kell kerülni a fokozatosan elvékonyodó határfelületeket a kétféle anyag között, inkább hirtelen lezárásokat célszerű alkalmazni. Szívesen alkalmaznak lépcsőszerű lezáródásokat vagy benyomódást (szűkítést) a két anyag találkozási helye előtt, ami csökkenti az elválás veszélyét. Ha nagyon hosszúak a folyási utak vagy nagyok az érintkező felületek, célszerű mechanikai „csúszásgátlókat” tervezni a határfelületbe.

A *levegőelvezetés* megfelelő megtervezése ugyancsak kritikus, mert a bent ragadt levegő káros hatással lehet az adhézióra. A nem megfelelő szellőztetés a folyási vonalak végén is rossz tapadást eredményez, esetleg a TPE beégéséhez vagy nem teljesen kitöltött szerszámhoz vezet. A levegőztető csatornák mélységét a TPE folyási jellemzői határozzák meg.

A jó adhézió érdekében *az alapként (betétként) szolgáló formadarabot megfelelően elő kell készíteni*. Minél tisztább a betét, annál jobb a tapadás. Legjobb, ha a betétre közvetlenül annak elkészítése után fröccsöntik rá a második műanyagot, mert ilyenkor minimális az elszennyeződés veszélye. Ha mégis elkerülhetetlen a köztes tárolás, nagyon gondosan kell óvni a darabokat a portól és más szennyeződésektől. A betéteket kezelő személyzetnek kesztyűben kell dolgoznia, mert a bőrön levő zsír is csökkenti a tapadást. A formaleválasztót ugyancsak gondosan el kell távolítani. Ha egymással összeférő polimereket dolgoznak fel, a betét előmelegítése is javítja az összeépülést. A megfelelő hőmérséklet kiválasztásához konzultálni kell az alapanyagok gyártóival.



2. ábra A két polimer közötti tapadás az ömladék-hőmérséklet, (65 Shore A keménységű TPE PC-re fröccsöntve), ill. a színezék hordozópolimerjének függvényében (55 Shore A keménységű TPE PC/ABS keverékre fröccsöntve)

A második polimerként ráfröccsöntött *TPE optimális ömledék-hőmérséklete* is fontos, ezt mutatja a 2. ábra. A jó tapadás mellett figyelembe kell venni a magasabb ömledék-hőmérséklet negatív hatásait is, az esetleges degradációt és a kidobásnál jelentkező nehézségeket. A magasabb hőmérsékletet célszerű fokozatosan megközelíteni, és nem is szükségképpen a hengerhőmérséklet növelésével, hanem adott esetben a fordulatszámmal vagy a befröccsöntés sebességével szabályozva. Bonyolítja a dolgot, hogy az ömledék-hőmérséklet nem mindig egyezik meg a fúvóka hőmérsékletével, ezért célszerű azt a levegőbe fröccsöntött ömledéken pirométerrel közvetlenül megmérni. Az optimum értéke az első polimertől, a TPE típusától és az elérendő adhéziós erősségtől függ.

A *tapintás* nem egyszerűen a TPE keménységének függvénye, hanem függ a csúszósúrlódási együtthatótól, a felület textúrájától és a rétegvastagságtól. Ha a réteg 1,5 mm-nél vékonyabb, a keményebb alsó réteg kiolthatja a lágy fedőréteg hatását. Az adhézió erősségét is befolyásolja a TPE réteg vastagsága. Mivel a TPE gyorsan leadja a hőt, a gyors hőmérséklet-változás is csökkentheti a tapadást.

Bizonyos TPE típusok (TPU, TPV, kopoliészterek) hajlamosak a nedveségfelvételre, ezért *előszárítás* javasolható. Ha ez nem történik meg, a víz gőzzé alakul, és csökkenti az adhéziót a két polimer határfelületén. A nedveségnek ezen túl degradáló, felületminőséget rontó hatása is lehet, és megnehezítheti a termék kidobását. Fröccsöntéskor az anyag nedvességtartalma nem haladhatja meg a 0,05 %(V/V)-t. A TPE-ket $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os harmatpontú szárítóban szokták szárítani.

Oda kell figyelni a *színező mesterkeverék polimerhordozójára* is. TPE-k esetében gyakran használnak PP alapú mesterkeverékeket, de ez általában nem eredményez jó tapadást műszaki műanyagban (ld. a 2. ábrát). A polárisabb hordozók ebben az esetben jobb tapadást adnak.

Javaslatok a szerszámtervezéshez

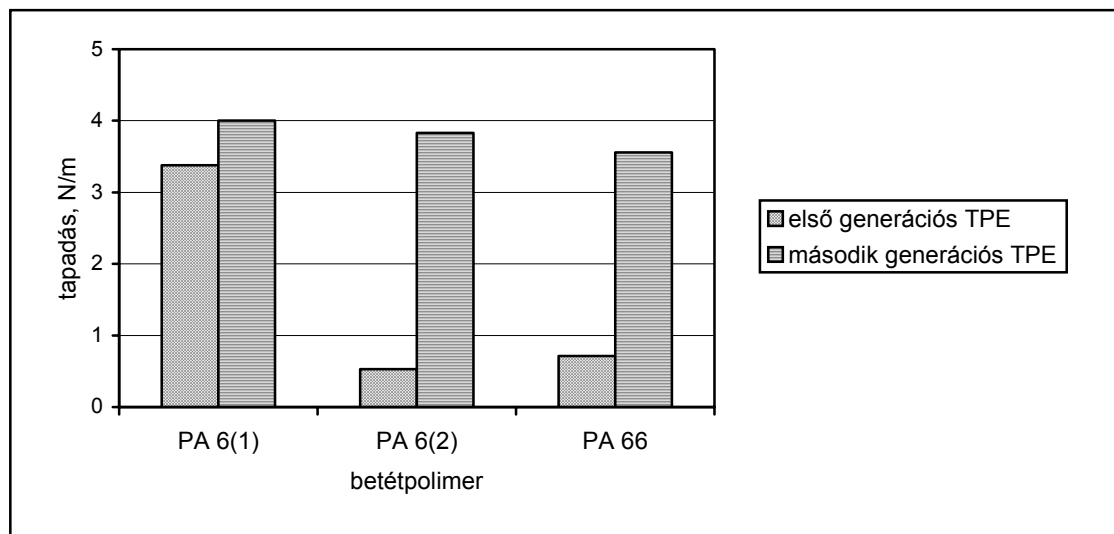
Nagyon fontos a *beömlés* megfelelő kialakítása. Olyan termékek gyártásakor, amelyek erős koptató hatásnak vannak kitéve (ezért nagyobb az elválás veszélye), a *beömlést oda célszerű elhelyezni, ahol legerősebb az igénybevétele*, hiszen a legjobb tapadás a legmelegebb ömledékfrontnál várható. *Ha a küllem a döntő, célszerű a TPE-t a betét hátoldala felől, tübeömlésen át bevezetni.* A teljes kitöltéshez figyelembe kell venni a folyáshossz és a falvastagság arányát, amelynek minimális értéke 150:1. A beömléseket érdemes először szűkebbre választani, és utána bővíteni. Bizonyos TPE-k feldolgozásakor (pl. SEBS) azért előnyösebb a kis beömlés, mert az erősebb nyírás csökkenti a rendszer viszkozitását, és ezzel javítja a szerszám kitöltését. Más TPE típusok (TPV, TPU) nagy ömledékviszkozitásuk miatt az átlagosnál nagyobb beömlést követelnek.

Az adhézió mellett más fontos szempontok is lehetnek a ráfröccsöntésnél. A *felületi textúra* általában jobb, mint a teljesen sima TPE felület, nem csak azért, mert jobban elrejtí a kisebb hibákat, gátolja a megcsúszást és „bőrszerű” tapintást ad. A felületi textúra a keménység érzetét is megváltoztatja az egyszerű Shore keménységhez képest.

A *kidobást* megkönnyíti a szerszámfal 0,51°-os dőlésszöge. Egyes TPE-típusok ráfröccsöntésekor, ha azok nehezebben kidobhatók, 5–6°-os szögre is szükség lehet. A texturált felületű darabok általában könnyebben jönnek ki a szerszámából, mint a teljesen sima felületűek.

Adhéziós problémák poliamidoknál

A *poliamidbetétek* mechanikai és egyéb jellemzőik miatt egyre népszerűbbek számos ráfröccsöntéses alkalmazásnál. *Hátrányuk viszont, hogy neheéz jól tapadó TPE réteget kialakítani rajtuk.* A TPE elfogadhatóan tapad az átlagos és az üvegszálás PA-hoz, de az erősen formulált, sokféle adalékot tartalmazó poliamidokkal nehezen lehet boldogulni. A poliamidok választéka bőséges (PA 6, PA 66, PA 12), és különféle töltőanyagokat is tartalmazhatnak. Különösen az ütészálló és a hőstabilizált poliamidoknál figyelték meg a tapadás romlását (3. ábra). Ennek ellensúlyozására fejlesztették ki az új, *másodgenerációs TPE típusokat*.



3. ábra A poliamidbetét típusának hatása a TPE tapadására [PA 6(1): üvegszálás, ütészálló polimer; PA 6(2): üvegszálás, ütészálló, hőstabilizált polimer; PA 66: hőstabilizált polimer]

A *poliamidok másik hátránya a nedvességfelvétel, amely szükségessé teszi a ráfröccsöntés előtti alapos szárítást.* A poliamidok magas olvadáspontja

miatt a TPE ömledék-hőmérsékletét is a szokásosnál magasabbra kell beállítani, hogy kielégítő legyen az adhézió. *Javasolható a poliamid formadarabok előmelegítése is ráfröccsöntés előtt.* A színező mesterkeverék helyes megválasztása poliamidoknál is fontos. A tapasztalatok szerint a PE-LD és E/VAc hordozójú színező mesterkeverékek adják a legjobb adhéziót.

A fenti példák azt bizonyítják, hogy a merevebb és rugalmasabb gyanták vagy hőre lágyuló rendszerek kombinációja sok új szerkezeti megoldást tesz lehetővé, de sok új problémát is felvet a megvalósítás során.

Dr. Bánhegyi György

Schmachtenberg, E.: Hart aber flexibel. = *Plastverarbeiter*, 55. k. 1. sz.. 2004. p. 52–53.

Lizenz für Hart/Weich. = *Kunststoffberater*, 48. k. 12. sz. p. 16.

Hudacek, L.: How to optimize adhesion in hard-soft overmolding. = *Plastics Technology*, 50. k. 2. sz. 2004. p. 63–68.