

## A folyásindex (MFI) nemcsak az ömledék tulajdonságainak mérőszáma. 2. rész

A Szemle 2014. 3 számában hasonló címmel elkezdünk egy cikksorozatot közölni, amely a folyásindex mélyebb értelmezését, a polimer más fontos jellemzőivel való összefüggését tárta fel. A cikksorozat időközben 10 részre bővült. Az alábbiakban ennek 3–5. részét foglaljuk össze.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; vizsgálat; viszkozitás; MFI.*

### Folyásindex-ömledékvizkozitás-molekulatömeg összefüggés elemzése

Egy polimer átlagos molekulatömege és ún. zéró nyírási viszkozitásértéke között jól meghatározott összefüggés van, amelyet az alábbi egyenlettel lehet kifejezni:

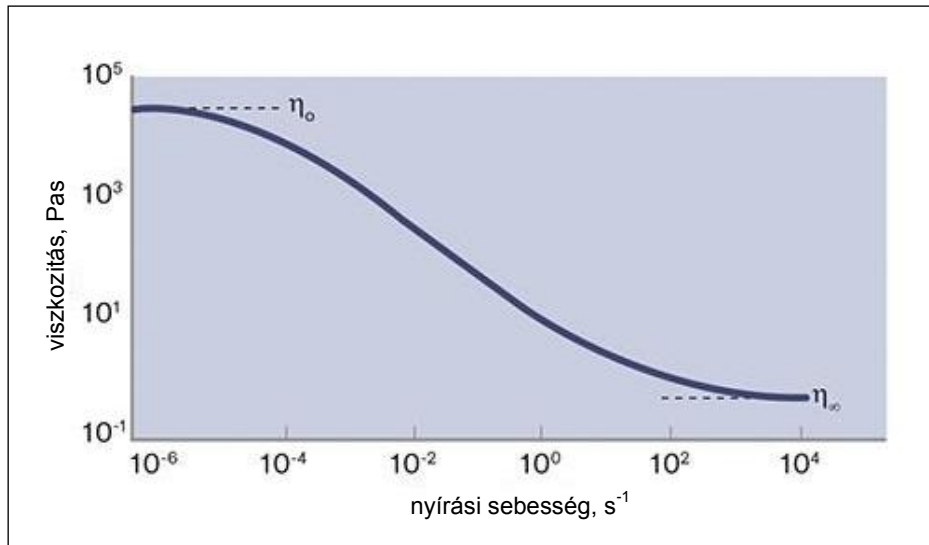
$$\eta_0 = kM_w^{3,4}$$

ahol  $\eta_0$  a zéró nyírási viszkozitás,  $M_w$  az átlagos molekulatömeg és  $k$  egy konstans, amely a polimerre jellemző érték. A 3,4 exponenst nem lehet általánosan alkalmazni, értéke 3,2–3,9 között mozog. Megállapították, hogy a molekulatömeg viszonylag kis változásával az ömledékvizkozitás nagy kilengéseket mutat, amennyiben a viszkozitást nagyon alacsony nyírósebesség mellett mérik.

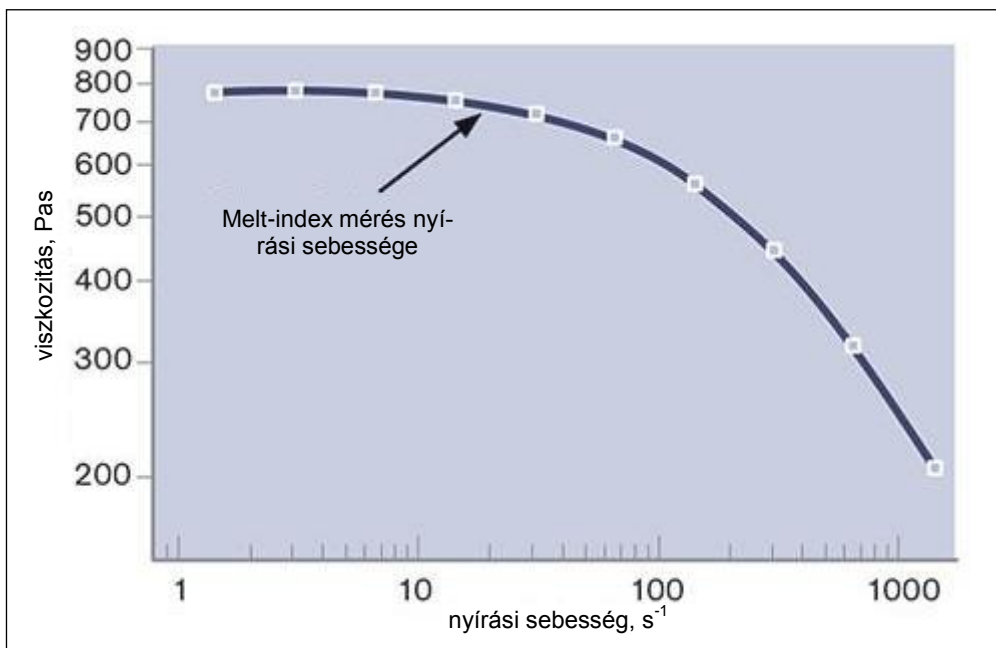
A zéró nyírási viszkozitást a gyakorlatban nem lehet mérni, ez csak a matematikai összefüggéseket kedvelőknek jelent örömet. A viszkozitás a folyással szembeni ellenállást mutatja, ezért, amikor a polimer megömlesztett állapotban van, a nyírási sebesség biztosan nullától eltérő értéket mutat. Ha a viszkozitást a nyírási sebesség függvényében ábrázolják logaritmikus függvényként, akkor extrapolálással lehet meghatározni a zéró nyírási sebességet (1. ábra).

A 2. ábrán egy kereskedelmi acetáلكopolimer (MFI = 9 g/10 min) viszkozitás-nyírási sebesség összefüggése látható. A mérés nyírási sebességtartománya 1,4–1400 s<sup>-1</sup> között volt, azaz az 1. ábrán közölt diagram kezdeti szakaszát öleli fel. A viszkozitás nem változik 1,4–7 s<sup>-1</sup> között, abban a tartományban, ahol az ömledék a nem-newtoni tartományba lép át. A 2. ábra mutatja továbbá azt a nyírási sebességet, amellyel az MFI mérést végzik, ez kb. 20 s<sup>-1</sup> érték. Látható, hogy az MFI-t azon a ponton mérik, amely nagyon közel van a görbét a zéró nyírási sebességhez vezető platóhoz. Ez az MFI mérés hasznosságára utal az átlagos molekulatömegre vonatkozóan. Ugyanis az MFI-t viszonylag kis nyírási sebességgel mérik, az eredmény kb. a zéró viszkozitást adja, annak ellenére, hogy a nyírási sebesség ennél a mérésnél nincs sza-

bályozva. Ez azzal jár, hogy a mérés az ömledékvizkozitások közötti különbségeket felnagyítja.



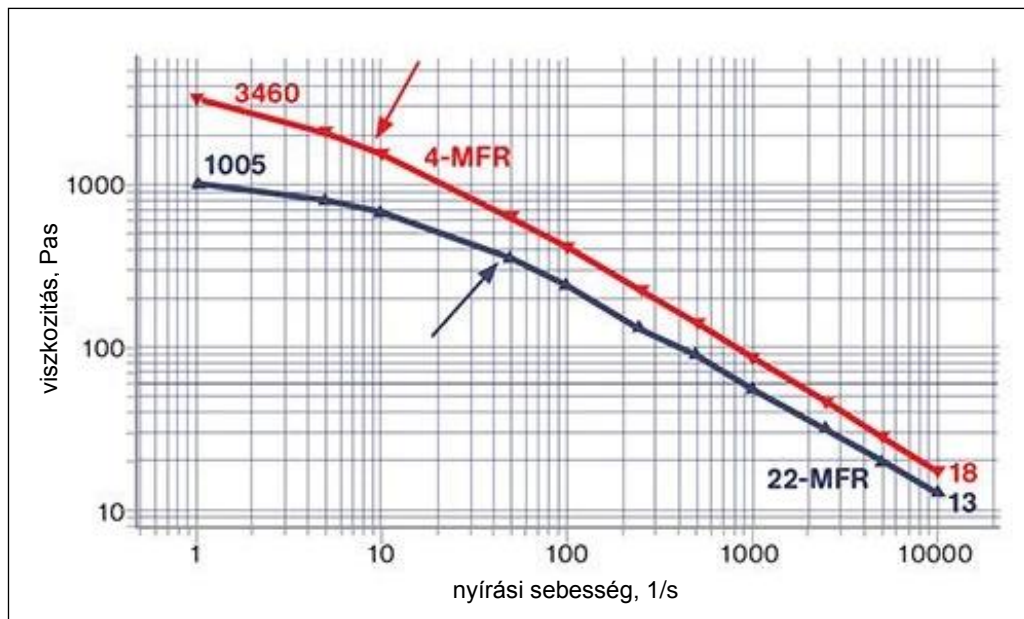
1. ábra Zéro viszkozitás meghatározása a nyírási sebesség függvényében mért viszkozitási görbéből



2. ábra Acetáلكopolimer viszkozitása a nyírási sebesség függvényében

Ez jól látható a 3. ábrán (az előző rész 1. ábráján), ahol két különböző folyásindexű polipropilén viszkozitás-nyírási sebesség görbéje van feltüntetve. A két anyag

MFI értékéből gyakran arra következtetnek, hogy az MFI = 4 anyag viszkozitása 5,5-ször nagyobb, mint az MFI = 22 anyagé. Az ábrából látható, hogy ez nem így van. A két anyag viszkozitása között a legnagyobb különbség a legkisebb nyírási sebességnél mutatkozik: kb. 3,5:1. Ahogyan nő a nyírási sebesség, úgy csökken a két anyag viszkozitása között a különbség. 10 000 s<sup>-1</sup>-nél az arány 1,38: 1-re csökken. A hosszú polimerláncok ekkor már képesek orientálódni, ami lehetővé teszi, hogy a polimerömléket hosszú szakaszon, viszonylag szűk keresztmetszeten lehessen vezetni, pl. a fröccsgépben.



3. ábra. Kétféle polipropilén (1: MFI= 4 g/10 min; 2: 22 g/10 min) kapillárisviskoziméterrel felvett viszkozitásgörbéje

A két anyag viszkozitáskülönbségének MFI alapján történő megítéléséhez figyelembe kell venni, hogy az anyagok folyásindexét nem azonos nyírási sebességgel mérték. A 3. ábrán a nyilak mutatják ezeket a nyírási sebességértékeket, amelyeket nem mérnek, hanem az állandó terhelés eredményeképpen jön létre. A 22-es folyásindexű polipropilént nagyobb nyírási sebességgel mérték, mint a 4-es folyásindexűt, ezért a viszkozitáskülönbségek is nagyobbak lettek. Ugyanakkor érvényesül az az elv, hogy a különböző molekulatömeg okozta viszkozitáskülönbségeket leghatékonyabban alacsony nyírási sebességekkel lehet meghatározni. Ha a nyírási sebességet növelik, akkor az egyébként eltérő molekulatömeg-értékek összemosódnak.

A kereskedelemben kapható polimerek folyásindexe 0,1 g/10 min és 500 g/10 min között változhat. A gyakorlatban leginkább használt polimerek, kompaundok folyásindexe azonban 1–50 g/10 min közé esik. Ez megfelel 2,2–110 s<sup>-1</sup> nyírási sebességnek.

A folyásindex-értékek közötti különbség tehát nem egyezik meg az ömledékviszkózitási értékek közötti különbséggel, holott sok fröccsöntő szakember gondolja ezt. Mindenesetre, ha a fröccstermék minőségével baj van, akkor érdemes egy nagyobb molekulatömegű anyagot kipróbálni, amelynek kisebb a folyásindexe. Mivel a folyásindexek közötti különbség nagyobb, mint az ömledékviszkózitásban mutatkozó eltérés, anyagváltáskor nem kell számolni nehezebb feldolgozhatósággal. Érdekes módon a feldolgozók ritkábban választják ezt a módosítást, inkább a terméktervezéshez nyúlnak vissza, ami persze sokkal költségesebb megoldás.

## **A folyásindex mérési eredményeinek felhasználása a feldolgozásban**

A folyásindexet viszonylag egyszerű mérni, s ezért sok feldolgozó alkalmazza ezt a módszert a bejövő alapanyagok ellenőrzésére. Kevesen ismerik azonban a mélyebb összefüggéseket, pl., hogy *a folyásindex állandó értéke egyben az alapanyag molekulatömegének állandóságát is jelzi*. A feldolgozhatóságra, az anyag folyási viselkedésére a fröccsgépben a folyásindex közvetlenül nem ad felvilágosítást. A polimerek (kapilláris reométerrel mért) ömledékviszkózitása ugyanis függ a nyírési sebességtől (l. 3. ábra). A nyírési sebesség egyfelől függ az anyag térfogati folyási sebességétől, másfelől a folyási út geometriájától. Ez utóbbi az adott szerszámban állandó. Ismert, hogy a nyírési sebesség a folyási út különböző pontjain változik, pl. más a beömlőcsatornában és más a gátnál. A folyási út mentén azonban a keresztmetszet állandó, ezért az egyetlen tényező, amely befolyásolhatja a nyírési sebességet, az a szerszámot kitöltő anyag folyási sebessége. Manapság a folyási sebességet a képernyőn állítja be a technikus, inch/s vagy mm/s mértékegységben, ez lesz a fröccsöntési sebesség. Ha pl. az első szakaszban a fröccsöntési sebesség 3 inch/s (7,62 cm/s), a második szakaszig mért távolság pedig 6 inch (15,24 cm), akkor a töltési időnek 2 s-nak kell lennie. Nagyon kevés azoknak a száma, akik ellenőrzik, hogy a gép teljesíti-e ezt, holott a modern fröccsgépeken ezt 2–3 tized pontossággal lehet ellenőrizni. *A feldolgozónak mindig tudnia kell, hogy a gépe a beállításnak megfelelően működik-e*. Az eltérést sok tényező okozhatja, de a lényeg általában az, hogy hiányzik a megfelelő nyomás a kívánt sebesség eléréséhez. Azokat a technológiákat, amelyekben az első lépcsőben nincs fröccsnyomás-felesleg, *nyomáshatárolt folyamatoknak* nevezik.

A viszkózitás az anyag folyással szemben kifejtett ellenállásának mérőszáma. Ahhoz, hogy a nagyobb viszkózitású ömledéket egy adott távolságra eljuttassák vagy nagyobb nyomás szükséges adott idő alatt, vagy ugyanazt a nyomást kell alkalmazni hosszabb időn át. A viszkózitás SI egysége a Pascal-szekundum (Pa.s) jól kifejezi ezt az összefüggést.

Ha a fröccsgép sebességkontrollált üzemmódban működik, akkor a szükségesnél nagyobb nyomást kell alkalmazni, hogy az ömledék kívánt mennyiségét adott idő alatt a szerszámba juttassák. Amennyiben az anyag viszkózitása megnő (mert nagyobb a molekulatömege), akkor a nyomás fokozatosan nő, de az időtartam azonos marad. Ebben az esetben a nyírési sebesség is azonos marad, és ez határt szab a molekulatömeget is jelző viszkózitás változásának.

Ha a nyomás korlátozva van – vagy a fröccsgép felépítése, vagy a gép beállítása miatt – akkor a viszkozitás növekedése esetén az anyag szerszámba szállítási ideje megnövekszik, mivel a fröccsöntés sebessége magától kisebb lesz. A kisebb sebesség alacsonyabb nyírási sebességet okoz, és emiatt az anyag viszkozitásában mutatkozó különbségek túlzottan jelentkeznek. Ugyanez játszódik le az MFI mérésnél.

*Az MFI mérőberendezés nyomáshatárolt.* Adott nagyságú terhelés nyomja ki az ömledéket, a kezelő tehát csak megfigyeli az anyag viselkedését. Ha a fröccsgépben is észlelni lehet az MFI értékekben mért különbségeket, az annak köszönhető, hogy a fröccsgép is nyomáshatárolt üzemmódban működik.

Másfelől viszont a sebességkontrollált beállításban a viszkozitásváltozások minimális mértékben befolyásolják a folyamat stabilitását, míg a nyomáshatárolt üzemmódban felnagyítják a hatást. Ebből az is következik, hogy pl. az adott alapanyag folyásindexében mért különbségek csak akkor hatnak a fröccsöntés folyamatára, ha a gép a szükséges nyomás határán dolgozik.

Az alapanyag viszkozitása több tényező hatására változhat. Ilyen pl. a hulladék különböző arányú visszadolgozása a friss anyagba. Sok polimer viszkozitását befolyásolja a nedvességtartalom, pl. egy 30% üvegszállal töltött, 50 ppm nedvességtartalmú PET viszkozitása 10–15%-kal nagyobb lehet, mint ugyanannak az anyagnak, amelynek nedvességét 200 ppm-re állították be. Ismert, hogy ez a hatás még erősebb a poliamidoknál.

## **Az átlagos molekulatömeg meghatározásának fontossága**

A feldolgozási lánc két pontján fontos az átlagos molekulatömeg meghatározása: először amikor a feldolgozó először kapja meg az anyagot, másodszor a fröccsöntés után. Ahogyan az előzőekből látható, a folyásindex alkalmas a molekulatömeg ellenőrzésére.

A gyártó a feldolgozóhoz érkező alapanyag folyásindexét általában közli, megadja a től-ig határokat és ezt megismétli a különböző gyártási tételeknél is. A feldolgozók többsége elfogadja a gyártótól származó minősítést, de jó oka van annak, hogy ezt a mérőszámot a feldolgozóüzemben is ellenőrizzék. Ez alkalmat ad arra, hogy az alapanyag-szállítóval közvetlen kapcsolat alakuljon ki, probléma esetén gyorsabb a kapcsolatfelvétel és a megoldás kialakítása.

A feldolgozás során a hő és a nyírás hatására az anyag molekulatömege általában csökken, azaz folyásindexe nagyobb lesz. Az alapanyag és késztermék folyásindexe között a még megengedhető különbség – a tapasztalatok szerint – 20–50% között van. Ezt a megállapítást még a múlt század hetvenes éveiben tették, amikor a nagy alapanyaggyártók munkatársai alapos munkával kimérték a feldolgozókat segítő összefüggéseket.

*A feldolgozás során az anyagok viszkozitásértéke max. 30%-kal csökkenhet.* Ezt gyakran a folyásindex 30%-os növekedésével teszik egyenlővé, de ez a két érték nem egyenlő egymással. A folyásindex nem egyenlő a viszkozitás reciprokával. A viszkozi-



tás 30%-os csökkenése a folyásindex 42,9%-os növekedésének felel meg, ami a molekulatömeg 10%-os csökkenését jelenti.

Van olyan alapanyag-gyártó, amely a feldolgozás után mért folyásindex-növekedést 20%-ban maximálja. Amennyiben ennél nagyobb értéket mérnek, az már a termék nem megfelelő minőségét jelzi, habár ennél az értéknél a molakulatömeg-változás még meglehetősen kicsi. Ilyenkor azonban óvatossá kell lenni, hiszen a termék meghibásodásának más oka is lehet, pl. nem megfelelő terméktervezés, nem megfelelő alkalmazási körülmény. Mindazonáltal ajánlott, hogy a feldolgozók mérjék meg az alapanyag folyásindexét feldolgozás előtt és után.

Összeállította: dr. Orbán Sylvia

Sepe M.: Melt flow rate testing – Part 3. = Plastics Technology, www. ptonline.com, 2013. október.

Sepe M.: Melt flow rate testing – Part 4. = Plastics Technology, www. ptonline.com, 2013. november.

Sepe M.: Melt flow rate testing – Part 5. = Plastics Technology, www. ptonline.com, 2013. december.

## **PVC fólia szerepe az autóiipari ütközések teszteléséhez készített Dummy próbabábu gyártásában**

Az autóbalesetek sérüléseinek feltérképezésére és megelőzésére ütközési teszteket végeznek. Ezekben az embert a Dummy-nak keresztelt próbabábu helyettesíti. A kísérletekben a valóságos ütközéseket szimulálják, felméri az elszenvedett sérüléseket, amelyek alapján tovább fejlesztik az autó biztonságát. Az autóiiparban világszerte mintegy 3500 ütközési tesztet végeznek évente. Az ütközési tesztben vizsgált, csúcs-technológiával gyártott Dummy bábuk ára 100 000 EUR, vagy még annál is drágább lehet.

A Dummies4You GmbH (Bréma) gyártó cég újdonsága, hogy a bábu alkotóelemei (fejbőr, nyakat modellező kábelek, szegycsont, bordák, illetve a húst reprodukáló lágyabb részek) on-line is megrendelhetők. A próbabábunak és külön-külön az egyes testrészeknek is szabványban rögzített, szigorú előírásoknak kell megfelelniük.

A brémai cég által kínált bábuk csontozatát acélból és alumíniumból, a többi testrészt pedig különböző szilárdságú és tulajdonságú PVC-ből állítják elő. A Dummy gyártásánál különösen nagy kihívást jelent a fémpozony bevonásához alkalmas, megfelelően feszülő PVC fólia kiválasztása. A kar és a lábszár lágy részei habosított anyagból készülnek, amelyet természetes bőrhatást keltő, 2–3 mm vastagságú PVC lemezzel borítanak. A hasüreget ugyancsak PVC fóliára habosított, ütközést tompító hatású, lágy tapintású anyaggal bélelik. A kezek, lábak, valamint a mellkas nincs kitöltve, csak PVC bőrrel borítottak.

P. M.

Haut und Knochen= K-Zeitung, 13. sz. 2014. p. 27.