Mennyi az annyi?
Mekkora is a valódi modulusa és ütésállósága a műanyagoknak?

A műanyagok mechanikai tulajdonságait hosszú idő óta alkalmazott szabványos módszerekkel vizsgálják és hasonlítják össze. Az így kapott és adatbankokban rendelkezésre álló adatok azonban nem feltétlenül tükrözik a műanyagokból készített formadarabok valódi tulajdonságait, ezért alkalmatlanok arra, hogy számítógépes tervezéskor előre jelezzék a formadarabok várható tulajdonságait. Két kutatócsoport a rugalmassági modulus és a hornyolt próbatesten mért ütésállóság megbízhatóbb, a valósághoz közelebb álló vizsgálati eredményeket adó mérésének lehetőségeit vizsgálta.

Tárgyszavak: anyagvizsgálat; kristályos műanyagok; mechanikai tulajdonságok; rugalmassági modulus; ütésállóság; belső szerkezet; szabványmódosítás.

A szabványos próbatesteken mért mechanikai tulajdonságértékek nem annyira az alapanyag, inkább a próbatest jellemzői. Különösen igaz ez a rugalmassági modulusra, amelyet fröccsöntött termékek gyártásakor az *EN ISO 527-2* szabvány szerint 4 mm vastag, két végén kiszélesedő („lapát” vagy „piskóta” alakú, 1A típusú) próbatesteken húzóvizsgálatban kell mérni. Az 1 mm vastag próbatestek rugalmassági modulusa azonban akár 50%-kal is nagyobb lehet, mint a 4 mm-eseké. Ma, amikor mindenki a gyártmányok falának vastagságát csökkenti, és a fröccstermékek túlnyomó többségében 4 mm-nél jóval kisebb a falvastagság, szabad-e új termékek tervezésekor az adatlapokban és adatbankokban közölt szabványos E-modulus-értékekkel végezni a számításokat?

A rugalmassági modulushoz hasonlóan fontos a gyakorlat számára a termék ütésállósága, amelyet az *EN ISO 179-2* szabvány szerint mérnek. A vizsgálat előírt paraméterei mellett a szabványos próbatestek gyakran nem törnek el, ezért átmérőjüket hornyolással csökkentik, hogy számszerűen értékelhető eredményt kapjanak. A marással kimunkált horony felülete azonban erősen eltér az ép próbatestétől. Mennyire jellemző így a kapott eredmény a majdani fröccsöntött termékre? Vagy másképpen kellene a mérést végezni?

Két svájci kutatócsoport ezekre a kérdésekre próbált választ találni.

A rugalmassági modulus és a próbatest vastagsága

Egy fröccsöntő üzemben egy új termék gyártásához szükséges beruházások beindítása előtt, a termék tervezésekor sokféle számítást végeznek, amelyekben felhasznál-

ják a szóba jöhető alapanyagok adatlapjainak és a különböző adatbankokban publikált jellemzőit. Ezek alapján próbálják előrejelezni, hogy a majdani alkalmazás alatt hogyan viselkedik majd az új termék, milyen feszültségek és alakváltozások léphetnek fel benne és rajta a rá ható terhelések következtében. A hozzáférhető adatokat legtöbbször 4 mm vastag szabványos próbatesteken mérték.

A műanyag formadarabok gyártási körülményei erősen befolyásolják azok belső szerkezetét. Hogy milyen mechanikai tulajdonságokat mérnek rajta, függ a darab formájától, méreteitől („geometriájától"), az alapanyag típusától, a feldolgozás módjától, és a kiválasztott vizsgálati módszertől. Egy mérési adat csak akkor hiteles, ha megadják hozzá a próbatestek elkészítésének körülményeit és a vizsgálat körülményeit is.

A mechanikai tulajdonságok mérésének egyik legfontosabb módszere a húzóvizsgálat. Alkalmazhatják ezt összehasonlító vagy minőségellenőrző vizsgálatként, de megbecsülhető vele az is, hogy hogyan viselkedik majd a termék (mikor törik el, mikor deformálódik) rövid vagy hosszú időtartamú terhelés alatt. A próbatestekkel meghatározott értékeket természetesen megfelelő óvatossággal kell felhasználni a számításokban, hiszen a valódi gyártmányok formája, falvastagsága, előállítási körülményei, használat alatti terhelése erősen különbözik. A tervezőknek azonban a jelenlegi adatbankok értékeivel kell számolniuk, mert egyelőre nincs más.

Összefüggés a formadarabok „külső" és „belső" tulajdonságai között

A „külső" tulajdonságokat (mechanikai értékek, tömeg, vetemedés, felületi fényesség stb.) jórészt a „belső" tulajdonságok (orientáció, kristályosság, belső feszültségek, molekulatömeg-eloszlás) határozzák meg. A formadarab belső szerkezetének kialakulási mechanizmusát csak akkor lehet leírni, ha le tudják írni a feldolgozás alatt az egyes ömledékrészecskékre ható igénybevételeket és lehűlésük folyamatát. Ezeket a helyi, *a darab geometriájától független értékeket nevezik folyamatparaméternek.* Legfontosabb ilyen értékek *az ömledék hőmérsékletértékei és nyomásértékei, a hűtési sebesség és a nyírósebesség.*

A fröccsöntés paramétereinek hatását a mechanikai tulajdonságokra már sokan tanulmányozták. Megállapították, hogy az ömledékben a polimermolekulák addig vannak rendezetlen állapotban, amíg elég mozgékonyak. Fröccsöntéskor a szerszámfészekben előrehatoló ömledékfront felületén az összegabalyodott láncmolekulák egyre jobban kiegyenesednek, majd a hideg szerszámfalat elérve ebben az állapotukban dermednek meg. A fröccsöntött formadarab felszínén kialakul egy erősen rendezett réteg, amelyben a megnyújtott láncmolekulák egymással jórészt párhuzamosan helyezkednek el. Emiatt ez a réteg merevebb és erősebb, mint a darab belső magja, amely lassabban hűl le, és még a megnyújtott molekulák egy része is visszaalakulhat (relaxálhat). A formadarab tulajdonságai erősen anizotrópok. A formadarabok falvastagsága, a feldolgozott polimer folyási tulajdonságai és a hűtés módja közötti összefüggést viszonylag jól ismerik. A falvastagság befolyásolja a szélső réteg vastagságát, a darab morfológiáját és a kristályos műanyagokban a kristályosság fokát. Ez az oka

annak, hogy a különböző vastagságú próbatesteken különböző mechanikai értékeket mérnek. Kisebb falvastagság esetében növekszik az ömledékre ható nyírás, növekszik az erősen rendezett szélső réteg vastagsága, következésképpen merevebb és erősebb lesz a próbatest.

Az olyan formadarabokon, amelyek filmzsanért tartalmaznak, extrém falvastagság-különbségek vannak. A zsanér mechanikai tulajdonságait az ott kialakuló erősen rendezett szélső réteg határozza meg, amelyben a láncmolekulák a nagyon erős nyíróhatás miatt a zsanér tengelyére merőlegesen rendeződnek. A polipropilénből fröccsöntött filmzsanérokban kialakuló szélső rétegek rugalmassági modulusa sokkal nagyobb a darabok vastagabb falú részeiénél, és sokkal jobb a visszaalakuló képességük is. Minél vastagabbak ezek a szélső rétegek és minél erősebb bennük a molekulák rendezettsége, annál nagyobb a zsanérok szakítószilárdsága és élettartama. A szakirodalomban eddig nem volt nyoma annak, hogy ezt a felismerést más kis falvastagságú formadarabokban hasznosították volna.

A falvastagság és a mechanikai tulajdonságok közötti összefüggés jobb megismerése céljából a rapperswili műszaki főiskola (HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, Svájc) egyik hallgatója diplomamunkája keretében a főiskola Anyagtechnikai és Műanyag-feldolgozó Intézetében (IWK, Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung) végzett vizsgálatokat. A vizsgálatok célja az volt, hogy jobban megismerjék a műanyagok mechanikai tulajdonságainak alakulását a körülmények függvényében és pontosabb értékeket tudjanak a tervezők számításaihoz adni a formadarabok várható viselkedésének előrejelzésére.

Az alkalmazott anyagok és a próbatestek előállítása

A vizsgálatokhoz elsősorban olyan anyagokat választottak ki, amelyekből vékony falú termékeket (pl. mobiltelefonok és laptopok házait, játékokat) gyártanak. Az anyagválasztás egyik szempontja az volt, hogy a belőle fröccsöntött szabványos 4 mm vastag próbatest vizsgálati eredményeit a Campus adatbank tartalmazza. Két amorf (ABS, PC) és két részlegesen kristályos (PP, POM) polimer mellett döntöttek, amelyek közül az ABS és a PP a tömegműanyagok, a PC és a POM a műszaki műanyagok közé tartozik. A típusjelzést és a műanyagok néhány alapvető tulajdonságát az *1. táblázat* tartalmazza.

Valamennyi próbatest formája azonos volt a szabványos 1A típusú próbatestével, de a fröccsöntő szerszámba helyezett betét segítségével 1, 2, 3 és 4 mm-es vastagsággal készítették el őket. A különböző vastagságú próbatesteket lehetőség szerint összehasonlítható paraméterek beállításával fröccsöntötték. A próbatestek egy részéhez a Campus adatbankban a 4 mm-es próbatestekhez megadott anyag- és szerszámhőmérsékleteket alkalmazták valamennyi vastagsághoz. A térfogatáramot a befröccsentési sebességből számították ki. A szükséges adatokat a Campus adatbankból vették ki. A próbatestek egy másik részét a falvastagság figyelembevételével optimalizált paraméterekkel fröccsöntötték. A kiválasztott PC-ből egyik paraméterváltozattal sem tudtak 1 mm vastagságú próbatesteket készíteni.

1. táblázat

A mechanikai tulajdonságok vastagságfüggésének vizsgálatához kiválasztott anyagok tulajdonságai a Campus adatbank szerint

Polimer	Típus	Gyártó	Szerkezet	Húzómodulus, MPa	Sűrűség, kg/m^3	Folyásindex, MVR vagy MFI*
ABS	Terluran HI-10	BASF	amorf	1900	1030	MVR 5,5 cm^3/10 min 220 °C, 10 kg
PC	Makrolon 2805	Bayer	amorf	2400	1200	MVR 9 cm^3/10 min 300 °C, 1,2 kg
PP	Bormod HF955MP	Borealis	kristályos	2200	908	MFI 20 g/10 min 230 °C, 2,16 kg
POM	Hostaform C13021	Ticona	kristályos	2900	1410	MVR 12 cm^3/10 min 190 °C. 2,16 kg

* MVR (melt volume rate) cm^3/10 min, MFI (melt flow index) g/10 min.

A húzóvizsgálat eredményei

A feszültség-nyúlás görbékből kiszámított rugalmassági modulusokat az *1. ábra* mutatja. Látható, hogy az amorf műanyagok modulusa jóval erősebben függ a próbatest vastagságától, mint a részlegesen kristályosaké. Az 1 mm vastag ABS és a 2 mm vastag PC próbatestek modulusa több mint 50%-kal nagyobb a 4 mm vastaságúakénál. A PP és a POM próbatesteknél ez az arány 36%.

2. táblázat

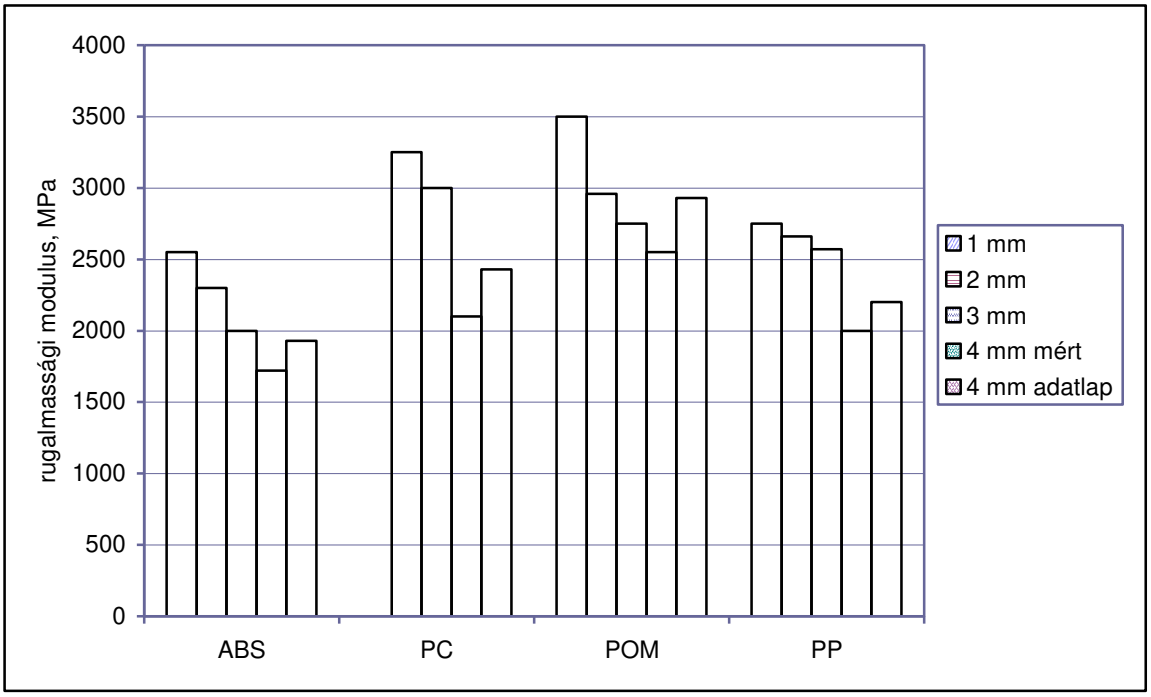
Az 1 és 4 mm vastag próbatesteken a folyáshatáron mért feszültség és nyúlás változása százalékosan

Polimer	Változás (Az 1 mm-es próbatestek összehasonlítása a 4 mm-esekkel)	
ABS	15%	–4%
PC*	1%	–10%
PP	3%	–23%
POM	2%	–19%

* A PC 2 mm-es próbatestjeit hasonlították össze a 4 mm-ekkel.

Az 1 mm vastag próbatestek folyáshatáron mért feszültségének és nyúlásának változását a 4 mm-esekéhez viszonyítva a *2. táblázat* tartalmazza. A csökkenő falvastagság valamennyi polimerben növeli a folyáshatáron mért feszültséget és csökkenti a nyúlást, de eltérő mértékben. A feszültség az 1 mm-es ABS próbatestekben 15%-kal

nagyobb, mint a 4 mm vastagokban, a másik három polimerben csak 1–3%-kal. A folyáshatáron a nyúlás csökkenése az ABS-ben a legkisebb, a PP-ben és a POM-ban 20% körül van. A PC-ben mindkét jellemző kevéssé változott, itt azonban az 1 mm-es próbatestek hiánya miatt a változást a 2 mm-esekhez viszonyították.



1. ábra A próbatestek rugalmassági modulusa a vastagság függvényében

A próbatest vastagságának csökkenése nyomán a rugalmassági modulus és a folyáshatáron mért feszültség növekedése a makromolekulákra ható nagyobb nyíróerőkre és a molekulaláncok emiatt bekövetkező erőteljes rendeződésére vezethető vissza. A szűkebb szerszámban a gyorsabb hűlés miatt ezek rövidebb idő alatt dermednek meg, erősen nyújtott állapotukban fagynak meg. A részlegesen kristályos polimerekben a gyors hűlés kisebb kristályossági fokot eredményez, ami magyarázhatja a PP és a POM folyáshatáron mért viszonylag kis feszültségnövekedését.

Mikroszkópos szerkezetvizsgálatok

Hogy a mechanikai tulajdonságok és a falvastagság közötti összefüggés okait jobban megértsék, a kutatók a 4 és 1 mm vastag POM és PP próbatestek keresztmetszetét mikroszkóp alatt vizsgálták. A szélső rétegekben a magzónával ellentétben erősen rendezett szferolitos szerkezetet észleltek.

Az 1 mm vastag PP próbatestekben – amelyeket ugyanakkora térfogatárammal, következésképpen 13-szor nagyobb sebességű folyási fronttal fröccsöntöttek, mint a 4

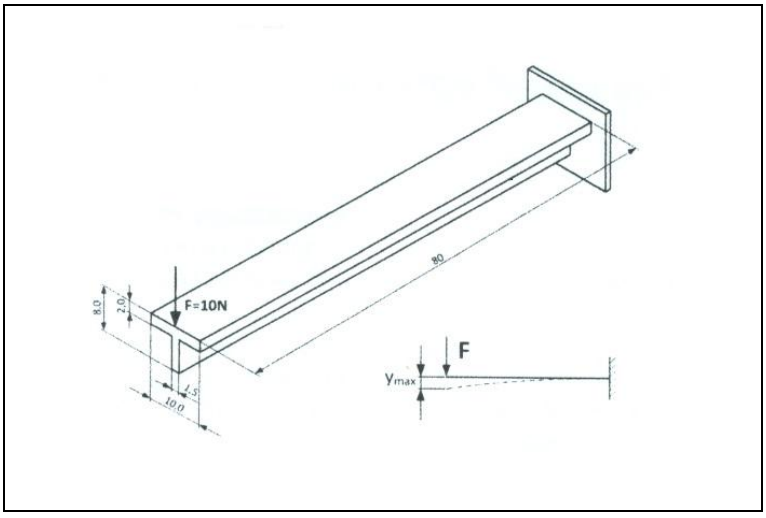
mm-es próbatesteket – 132 μm vastag volt a szélső réteg, kétszer akkora, mint a 4 mm-es próbatestekben. Ennek következtében a 4 mm-es próbatest keresztmetszetén a rendezett réteg a teljes felület 4,8%-át foglalta el, az 1 mm-es próbatesteken 29,5%-át, ami 6-szoros növekedést jelent. Az optimalizált fröccsparaméterekkel előállított 1 mm-es próbatestekben (négyszer nagyobb fröccssebességgel) 76,6 μm vastag szélső réteget és 18,5%-os felületarányt (a 4 mm-es próbatestek négyszeresét) kaptak.

A 4 mm-es POM próbatestekben 109 μm-es szélső réteget és 7,1%-os felületarányt mértek. Az azonos térfogatárammal fröccsöntött 1 mm-es próbatestekben ez a réteg majdnem ugyanilyen vastag, 103 μm volt, a felületarány azonban 22,7%, azaz háromszorosa az előbbinek.

Gyakorlati következtetések

A kísérletek bebizonyították, hogy a gyakorlat számára nagyon fontos mechanikai tulajdonságok (a rugalmassági modulus és kisebb mértékben a folyáshatáron fellépő feszültség és nyúlás is, mértékükben a feldolgozási eljárástól is függően) erősen függenek a formadarab egyes részeinek vastagságától, és értékük jelentősen eltérhet az adatlapokban és az adatbankokban megadott, 4 mm-es próbatesteken mért értékektől. Feltehető, hogy a hosszú időtartamú húzóvizsgálatokban meghatározott kúszási modulus hasonló eltéréseket mutatna.

Egy formadarab méretezése csak akkor lehet sikeres, ha ismeretesek az anyag valóságos és pontos mérőszámai. A végeselemes módszer alkalmazásában és az elemző számításokban – a Poisson-tényezőn (a keresztirányú és hosszirányú alakváltozás aránya egyirányú feszültség – húzás vagy nyomás – alatt) kívül – az egyik legfontosabb jellemző a rugalmassági modulus, amely az anyag merevségét tükrözi. Ebből lehet következtetni a terhelés alatt várható deformációra. Meghatározott terhelés alatt az alakváltozás fordítottan arányos a rugalmassági modulussal; meghatározott alakváltozás hatására a fellépő feszültség közvetlenül függ a modulustól.



2. ábra Bordával erősített, egyik végén falhoz rögzített tartóelem

Jól példázza ezt a *2. ábrán* látható, csak egyik oldalán falra rögzített ABS tartóelem, amelyet alul bordával merevítettek. Ha a szerkezet változatlan terhelése mellett rugalmassági modulusát 20%-kal növelik, a benne ébredő feszültség nem változik, mert a nyúlás és a lehajlás arányosan csökken. Ha a Campus adatbankban megadott rugalmassági modulus, 1900 MPa helyett feltételezik, hogy a szerkezet 2 mm vastag felső lapjának rugalmassági modulusa, E_1 = 2285 MPa, az alatta lévő 1,5 mm vastag bordáé (E_2) 2420 MPa, a számítások szerint éppen 20%-kal csökken a várható lehajlás. Ha a bordát is a felső lap E_1 modulusával veszik figyelembe, a kiszámított lehajlás csak 17%-kal lesz kisebb. Ez is érzékelteti, hogy mennyire fontos a valódi adatok alkalmazása.

A tervezett formadarab méretezésekor a következő kérdéseket célszerű feltenni:

- Milyen rugalmassági modulussal kell számolni, ha a formadarab falvastagsága erősen eltér a 4 mm-től?
- Milyen modulussal kell számolni, ha a formadarab falvastagságában nagyok a különbségek?
- Milyen mértékben hatnak a vastagságkülönbségek a méretezési számításokra, ill. hogyan viszonyulnak ezek az adatbankokban található értékekkel végzett számításokhoz?

Felmerül természetesen az a kérdés is, hogy meddig ésszerű és elfogadható az, hogy a rugalmassági modulust 4 mm vastag próbatesteken mérjék, amikor a fröccstermékek zömének falvastagsága 1–2,5 mm között van. Nem volna célszerű legalább kiegészítésként egy ugyanolyan formájú, de vékonyabb – pl. 2 mm vastag – próbapálcát bevezetni a szabványos vizsgálatok közé?

Ütésállóság mérése fröccsöntött horonnyal?

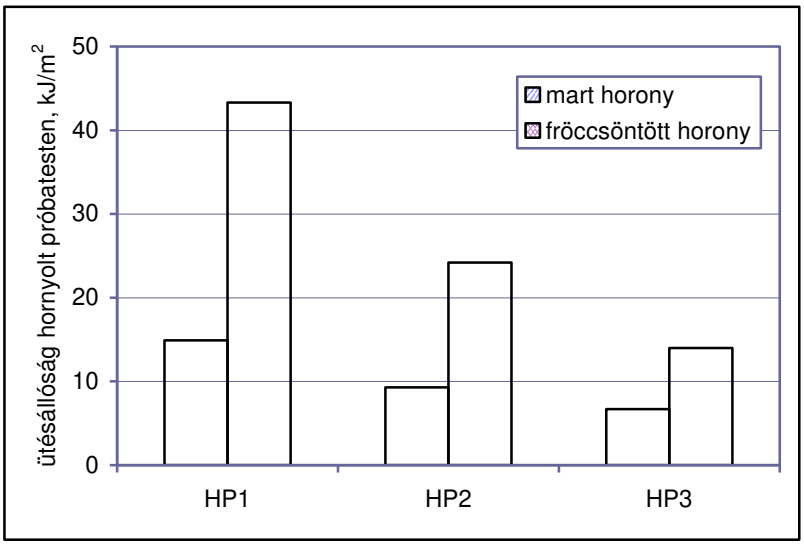
Az amorf polimerekben a polimerláncok csak kevéssé rendeződnek, emiatt a hornyolt próbatesteken mért ütésállóság legtöbbször jellemző a műanyagra. A részlegesen kristályos polimerekben ezzel szemben a felület közelében, különösen a felszíni rétegekben a termodinamikai körülményektől függően nagyon eltérő kristályszerkezet alakulhat ki, amely erősen befolyásolja az ütésállóság mértékét.

Svájcban egy kutatócsoport azt tanulmányozta, hogy hogyan lehetne a részlegesen kristályos polimerekből olyan hornyolt próbatesteket készíteni, amelyek vizsgálati eredményei valóban jellemzik az anyagok ütésállóságát. A csoport tagjai részben a Du Pont egy svájci részlegének (Du Pont European Center – Prüf- & Analytik-Labors für Performance Polymers, Genf); részben egy műszaki főiskola (Polymer-Technologie und Chemie an der Interstaatlichen Fachhochschule für Technik NTB, Buchs) munkatársai voltak.

A vizsgálatokhoz különböző folyóképességű poli(oxi-metilén) (POM) homopolimereket (POM-H) és kopolimereket (POM-C) választottak ki a Du Pont Delrin márkanevű termékei közül. A 80 mm hosszú, 10x4 mm keresztmetszetű szabványos próbatestek egy részében a szokott módon, gépi marással vágták ki a 2 mm mély hornyot; egy részükben pedig a fröccsöntés folyamán alakították ki azt.

Az ütésállóságot befolyásoló tényezők

A három homopolimer (HP1 = nagy viszkozitású, HP2 = közepes viszkozitású, HP3 = kis viszkozitású) egységesen 0,25 mm-es görbületi sugarú, géppel bemart vagy a fröccsöntés során kialakított hornyot tartalmazó próbatestjein mért ütésállóság-értékeket a *3. ábra* mutatja. A fröccsöntési paraméterek közül az utánnyomás ideje 40 s, a befröccsentés időtartama 4 s volt. Látható, hogy a horonnyal fröccsöntött próbatestek ütésállósága jóval nagyobb, mint az utólag bemunkált horonnyal gyártottak. Ez valószínűsíti, hogy a fröccsöntött termékek ütésállósága is jóval nagyobb, mint az adatbankokban megadott értékek.



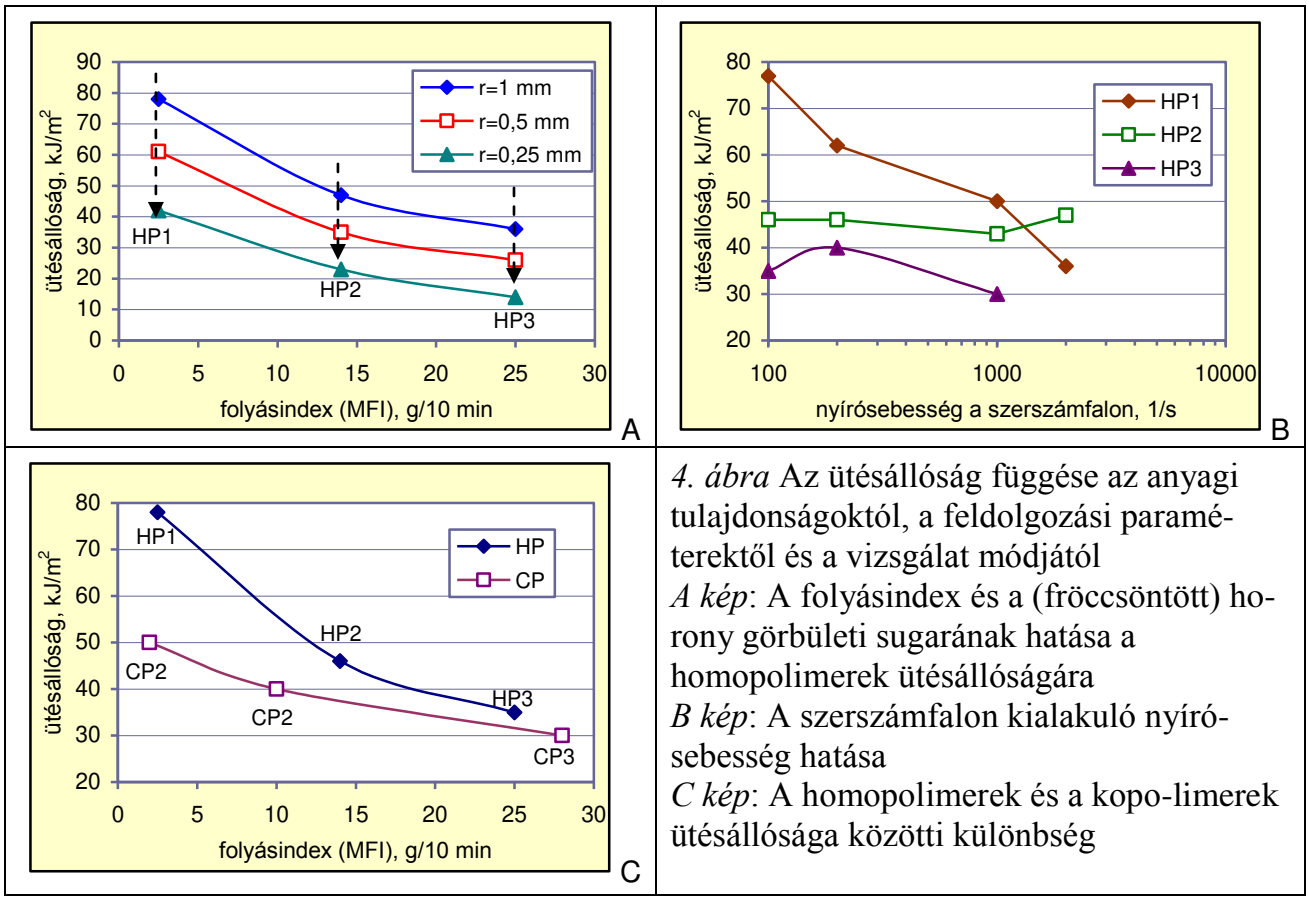
3. ábra Különböző viszkozitású POM homopolimerek mart és fröccsöntött horonnyal készített próbatestjein mért ütésállóság

Ugyanilyen fröccsöntési paraméterekkel készített HP2 típusú próbatesteken vizsgálták a fröccsöntött horony görbületi sugarának (0,02, 0,25, 0,5, 1 mm) hatását az ütésállóságra. Az 1 mm-es görbületű hornyot tartalmazó próbatestek négyszer akkora erő (45 kJ/m^2) hatására törtek, mint a legszűkebb hornyot tartalmazók (14 kJ/m^2). A tapasztalatok szerint a formadarabok is legtöbbször az éles széleknél, a kis hajlásszögeknél törnek el ütés hatására. A tervezők számára ajánlható a 0,5 mm-es görbületi sugarú fröccsöntött horonnyal készített próbatesteken végzett vizsgálatok eredményeinek alkalmazása (HP2: 35 kJ/m^2). A mért ütésállósági értékek minden esetben nagyobbak voltak, mint a marással hornyolt próbatesteken meghatározott adatbanki értékek.

Az ütésállóságot erősen befolyásolja a polimer molekulatömege. A nagyobb molekulatömegű polimernek magasabb a viszkozitása, ebből következően kisebb a folyóképessége. A *4/A ábrán* a három különböző viszkozitású (2,13 kg terhelés mellett 190 °C-on mért MFI folyási indexű) POM homopolimerből különböző görbületi sugarú (1,

0,5, 0,25 mm) horonnyal fröccsöntött próbatestek ütésállósága látható. Valamennyi próbatestet 40 s utánnyomással és 4 s befröccsentési idővel gyártották. Az utánnyomásnak nincs jelentős hatása az ütésállóságra, de meg kell jegyezni, hogy a túl rövid utánnyomást követő kristályosodáskor a polimer szerkezetében üregek képződhetnek, és amiatt csökken az ütésállóság (arról nem is beszélve, hogy ilyenkor erősebb lesz a zsugorodás, ami vetemedést is okozhat).

A szerszámhőmérséklet hatását a kísérletek alatt nem vizsgálták. Általános tapasztalat, hogy az alacsonyabb szerszámhőmérséklet átmenetileg nagyobb ütésállóságot eredményez. A termék élettartama alatt azonban átkristályosodás léphet fel, ami méretváltozáshoz, vetemedéshez, az ütésállóság csökkenéséhez vezethet. Ezért a kísérletben valamennyi próbatestet a gyártó által ajánlott szerszámhőmérséklettel fröccsöntötték.



4. ábra Az ütésállóság függése az anyagi tulajdonságoktól, a feldolgozási paraméterektől és a vizsgálat módjától
A kép: A folyásindex és a (fröccsöntött) horony görbületi sugarának hatása a homopolimerek ütésállóságára
B kép: A szerszámfalon kialakuló nyírósebesség hatása
C kép: A homopolimerek és a kopo-limerek ütésállósága közötti különbség

A *4/B ábra* a szerszámfalon kialakuló nyírósebesség hatását mutatja a három homopolimer ütésállóságára. Érdemes figyelembe venni azt, hogy a nagy molakulatömegű (nagy viszkozitású) POM (HP1) kis nyírósebességgel készített (1 mm görbületi sugarú fröccsöntött hornyot tartalmazó) próbatestjeinek magas ütésállósága után ez az érték milyen erőteljesen csökken, ha a próbagyártáskor a nyírósebesség (befröccsentési sebesség) növekszik. A kisebb viszkozitású (HP2, HP3) POM ütésállóságára a nyírósebességnek nem vagy csak csekély hatása volt.

A *4/C ábra* a POM homopolimerek és kopolimerek ütésállóságát hasonlítja össze a folyásindex függvényében. A kopolimerek polimerláncaiban kb. 40 CH_2O-egység után épül be egy komonomeregység, amely csökkenti a lamellaszerkezet rendezettségét, ezáltal a kristályossági fokot, ebből következően a mechanikai tulajdonságok értékeit is. A hasonló folyóképességű homo- és kopolimerek közül az előbbiek ütésállósága 15–30%-kal magasabb.

Az ütésállóság és a belső szerkezet összefüggése

Belső szerkezetük megismerésére a próbatestekből mikrotommal vékony szeleteket vágtak és optikai mikroszkóppal poláros fényben vizsgálták őket.

A szakirodalom szerint gócképzőt nem tartalmazó POM homopolimerekben a felület közelében kialakuló szélső zónában 3–5 jól megkülönböztethető réteg figyelhető meg. Ezeket a svájci kutatók is észlelték. Azt is megállapították, hogy gépi hornyoláskor a legfelső réteg mellett az alatta lévő II. és III. réteget is eltávolítják. A fröccsöntéskor kialakított hornyokban ezek a rétegek sértetlenek. A marással hornyolt próbatestek kis ütésállósága azzal magyarázható, hogy megkezdődik a szferolitok közötti repedésképződés, amely kiterjed a központi szferolitos IV. zónába. Az ütésállóság növelése szempontjából az I. és II., esetleg a III. zónába is behatoló horonycsúcs formájának döntő szerepe van. A horony görbületi sugara sokkal fontosabb tényező, mint a horony formája vagy mélysége.

3. táblázat

A POM homopolimerek ütésállósága és nyíróhatás alatt kialakult szélső (I+II) zónájának vastagsága különböző befröccsentési időkkel előállított, fröccsöntött hornyot tartalmazó próbatesteken mérve (Utánnyomás időtartama 40 s)

Paraméterek		**HP1**		**HP2**		**HP3**	
Befröccsentési idő, s	**Horonycsúcs**	**Ütésállóság**	**I+II réteg**	**Ütésállóság**	**I+II réteg**	**Ütésállóság**	**I+II réteg**
	r, mm	**kJ/m**	**μm**	**kJ/m**	**μm**	**kJ/m**	**μm**
0,4	0,5	35	53	29	44	24	37
4,0	0,02	–	–	14	77	–	–
4,0	0,25	43	111	25	89	–	–
4,0	0,5	61	124	34	115	26	127
4,0	1,0	77	137	46	128	–	–

A különböző fröccssebességekkel elkészített próbatestek metszetei azt mutatták, hogy a fröccsöntés közben kialakított horony csúcsában a felületközeli szélső zónák (I és II zóna ultrafinom szferolitokkal) vastagsága közvetlenül összefügg az ütésállósággal. Minél kisebb a befröccsentés sebessége, azaz minél hosszabb a befröccsentés időtartama, annál nagyobb az ütésállóság és annál nagyobb az I+II zóna vastagsága, ami a

3. táblázatban is látható. A fröccsöntéssel kialakított hornyok görbületi sugarának növelése is növeli az ütésállóságot és az I+II zóna vastagságát. Bebizonyosodott, hogy a felszíni réteg és a közvetlenül alatta lévő, sajátos mikroszerkezetű rétegek alapvetően határozzák meg az ütésállóságot.

Összefoglalás és következtetések

A próbatestben kialakított hornyok tüzetes vizsgálata a gyakorlat számára is fontos eredményeket hozott. Ezek a következőkben foglalhatók össze:

- A részlegesen kristályos műanyagok ütésállóságáról csak olyan próbatestek adhatnak reális adatokat, amelyekben a hornyot a fröccsöntés folyamata alatt alakították ki. Csak ezekkel az adatokkal lehet a formadarabok tervezésekor megbízható számításokat végezni.
- Ismét bebizonyosodott, hogy a formadarabokban és a szerszámfészkekben kerülendők az éles szélek, a hornyok csúcsának görbületi sugara nem lehet 0,5–1 mm-nél kisebb, ha megfelelő ütésállóságot akarnak elérni.
- A gyártási paraméterek is befolyásolják az ütésállóságot. A nagyobb ütésállóság elérése érdekében javasolható a kisebb nyírási sebesség, a kisebb fröccssebesség.
- A nagyobb molekulatömeg nagyobb ütésállóságot eredményez.
- A POM homopolimer ütésállósága nagyobb, mint az azonos tömegű POM kopolimeré.
- A polarizációs mikroszkóppal végzett mikroszerkezeti vizsgálatok bizonyították, hogy az ütésállóság és a nyíróhatás alatt kialakult felületi rétegek vastagsága közvetlenül összefügg.

Ezekre az eredményekre alapozva a kutatók azt javasolják, az ISO 179-es szabvány legközelebbi felülvizsgálatakor be kell vezetni, hogy az olyan nagy ütésállóságú részlegesen kristályos műanyagok (mint a POM) hornyolt próbatesten mért ütésállóságát az utómegmunkálással hornyolt jelenlegi próbatestek helyett a fröccsöntés alatt kialakított hornyot tartalmazó próbatesten mérjék, mert az utóbbiak vizsgálati eredményei reálisabban tükrözik a fröccsöntött formadarabok ütésállóságát és ezek alkalmasabbak a hasonló anyagok összehasonlítására.

Összeállította: Pál Károlyné

Vordermann, Y.; Ehrig, F.; Kunz, J.: Probekörperdicke beeinflusst mechanische Eigenschaften = Kunststoffe, 103. k. 9. sz. 2013. p. 170–174.
Lévêque, A.; Ayglon, D.; Affolter, S.: Schlagzähigkeit vorhersagen = Kunststoffe, 103. k. 11. sz. 2013. p. 83–86.