

# MŰANYAGOK FELDOLGOZÁSA, ADDITÍV TECHNOLÓGIÁK

## A hőformázás újdonságai

A hőformázás a műanyag-feldolgozás egyik legkorábbi technológiáinak egyike. Fejlesztése folyamatos, és ezt napjainkban is intenzíven végzik. A kisebb újítások a fröccsöntő üzemekben történnek, ezek legtöbbször az alkalmazott anyagokat érintik, újabban pl. arra törekszenek, hogy egyre több hulladékból visszanyert műanyagot forgassanak vissza a hőformázott termékekbe. Kutatóintézetekben és nagyvállalatoknál azonban már a 21. század és az Ipar 4.0 technológiai újdonságaival, továbbá a korábbiaknál sokkal igényesebb termékek hőformázására is alkalmas új anyagokkal foglalkoznak.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; csomagolás; hőformázás; körkörös gyártás; hulladékhasznosítás; öntött bélyegek, konferencia; díjazás.*

A hőformázás a műanyag-feldolgozás legkorábbi technológiáinak egyike, mert viszonylag egyszerű és költségtakarékos eljárás. Lényege, hogy egy korábban extrudálással előállított fóliát vagy lemezt felmelegítenek olyan hőmérsékletre, amelyen formázhatóvá válik, majd vákuummal, sűrített levegővel, mechanikus eszközzel egy üreges szerszámba szívják vagy sajtolják, illetve mélyhúzással egy megfelelő formájú szerszám felületét burkolják be vele. Hőformázással elsősorban az amorf polimereket dolgozzák fel. A könnyen hőformázható polimerekből – ilyen az ABS (akrilnitril-butadién-sztirol kopolimer), a PS (polisztirol) és a PVC (poli(vinil-klorid), amelyekből főleg vékony falú csomagolóeszközöket készítenek. A műanyaggyártók más polimerekből is kifejlesztettek hőformázható változatokat, ezért a PET-nek és a PP-nek, sőt újabban bizonyos műszaki műanyagoknak is vannak ezzel a technológiával formázható típusai.

A műanyag mérnökök nemzetközi szövetsége, az SPE (Society of Plastic Engineers) hőformázó tagozata 2021 elején felszólította a hőformázással foglalkozó vállalatokat és intézményeket arra, hogy március 31-ig jelentkezzenek be az „Év hőformázója” cím elnyerésére, arra érdemesnek tartott termékeikkel. A győztest idén – 40-edik alkalommal – az SPE szeptemberben rendezendő konferenciáján fogják kiválasztani. Ennek a díjnak nagy a tekintélye, fejlesztésre ösztönzi az érintetteket és további innovációra biztatja a jövő generációját.

A hőformázás fejlesztésében az alapanyaggyártók, a feldolgozók és a kutatóintézetek is részt vesznek. Ezekről a kisebb-nagyobb újdonságokról adunk – a teljesség igénye nélkül – rövid áttekintést.

## Hírek a hőformázó üzemekben alkalmazható újdonságokról

### *EVOH-ból és habosított PE-LD-ből felépített multiréteges fóliák hőformázása*

Az elmúlt évben tartott virtuális Antec konferencia összefoglaló kiadványában jelent meg a **Case Western Reserve University** beszámolója arról, hogy etilén–vinil-alkohol

kopolimerből (EVOH) és kis sűrűségű polietilénből készített multiréteges fóliákból készítettek hőformázott termékeket. A fóliák 16, 32 vagy 64 váltakozó rétegből épültek fel.

A kutatók pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálták a fóliák cellaszerkezetét, feszültség alatti nyúlását és hőformázhatóságát. A kétféle anyagot két külön extruderrel táplálták a fóliagyártáskor. Az extrudált fóliákból 60x60 cm-es négyzeteket vágtak ki a formaadáshoz, amelynek optimális hőmérséklete 60 °C volt. Az előadás teljes szövege az SPE Thermoforming Quarterly című kiadványában olvasható.

### *Migrációt csökkentő göcképző adalék a hőformázható PP-hez*

A **Milliken** cég Hyperform márkanevű göcképző adalékait egy migrációt csökkentő változattal bővítette, amely „tisza kémiaja” révén tovább csökkentheti a hőformázható PP élelmiszer-csomagoló eszközökbe migráló idegen anyagok mennyiségét. A *Hyperform HPN 909* göcképző fajlagos migrációs határértéke (SML, Specific Migration Limit) kisebb a korábbi adalékokénál. Emiatt eggyel kevesebb anyagot kell rendszeresen ellenőrizni a vásárlók elvárásainak kielégítésére.

Az új göcképző az ütésállóság csökkenése nélkül növeli a PP merevségét, és izotróp zsugorodást eredményez, azaz gátolja a vetemedést, továbbá emeli a terhelés alatti behajlás hőmérsékletét, és hatástalanítja a pigmentek göcképző hatását. Mindezek lehetővé teszik a meleg élelmiszer töltését és a mikrohullámú kemence használatát.

A HPN 909 göcképzőt tartalmazó termékeknek jó optikai tulajdonságaik vannak, kevésbé homályosak, kevésbé sárgulnak, és általában szép a megjelenésük. A Milliken további fejlesztéseivel a könnyebben visszaforgatható PP-ket célozta meg.

### *A Braskem PP-vel akarja helyettesíteni a hőformázható PET-et*

A **Braskem Inspire** márkanevű polipropilénjei között új, hőformázható PP-ket is kínál, amelyekkel helyettesíteni szeretné a készételek csomagolásához használt PET tálakat. Ezeknek a PP-knek az átlátszósága hasonló a PET-éhez, hőállóságuk pedig magasabb, mint a PET-é vagy a szokásos random PP kopolimereké. A belőlük készített edényekbe az étel melegen betölthető, és ilyen formában az étteremben tárolható, de el is vihető. A kiürült tál mosogatógépben tisztítható és ismételten használható. A cég texasi (La Port) üzemében fogja gyártani a hőformázható PP-ket. Ennek az üzemnek a kapacitását évi 450 tonnára bővítették, ahol homopolimereket, ütésálló és random kopolimereket is gyártanak.

### *100%-os PET reciklátumból gyártott joghurtos edények*

A **Klöckner Pentaplast** a nyugat-virginiai Beaverben bővítette kapacitását, ahol 100%-os PET regranulátumból fog joghurtos tálakat gyártani. Ennek érdekében meglévő extrudereit „szupertisztító” technológiával bővítette. Ezzel a beruházással a visszagyűjtött PET palackokból ezernyi tonnát fog felhasználni és visszaforgatni az élelmiszer-csomagolásba. A gyártás 2021-ben indul és 19 embernek ad munkát.

A **Starlinger Viscotec** ugyancsak PET reciklátumból (rPET) akar joghurtos tálkákat készíteni. Két partnerével, a PET fóliákat gyártó PET-MAN céggel és a Blohov Zauner tej-

gazdasággal közösen fejlesztették ki a semmilyen idegen anyagot nem tartalmazó tálkákat. A kezdeményező a tejgazdaság volt, amely a korábban használt, nehéz, és tisztításukhoz sok vizet igénylő üvegpoharakat akarta könnyebb és higiénikusabb csomagolóeszközre cserélni.



1. ábra A Starlinger Viscotec „fehér” joghurtos tálkája és a róla eltávolított kiegészítők

Európában a tejtermékeket általában PP vagy PS poharakban forgalmazzák. Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (ESFA) ezek reciklátumait élelmiszerek csomagolására szánt termékek gyártására nem engedélyezi.

Ha a fogyasztó kezébe veszi a Starlinger cég tálkájában forgalmazott joghurtot, lehúzza az edényről a papírgyűrűt és az alumínium zárófoliát, egy semmilyen idegen anyagot nem tartalmazó fehér tálka marad vissza (1. ábra), amelyen nincs sem nyomdafesték, sem a felületre laminált réteg, ami befolyásolhatná az élelmiszer tisztaságát. Ezekből az egynemű tálkákból ismét

hasonló tálkákat lehet készíteni. Visszagyűjtésük egyelőre nincs megoldva, de már szorgalmazzák a kizárólag minden díszítés nélkül készített „fehér” tálkák elkülönített gyűjtőhelyének kialakítását a szupermarketekben és a hulladékkezelő centrumokban. Ha ezekben össze tudnának gyűjteni sok ezer tálkát, anyagukat vissza lehetne forgatni a gyártásba, és megvalósulna az áhított körkörös anyagfelhasználás.

### *Melegen tölthető csomagolóeszközök habosított APET-ből*

Az ausztriai **SML** cég habosított amorf poli(etilén-tereftalát)-ból (APET) gyárt hőformázható lemezeket. Ezek 140 °C-ig hőállóak, és meleg ételekkel/italokkal is megtölthetők. A vásárlók visszajelzései arra biztatták a vállalatot, hogy a Kiefel Packaging céggel együtt tovább folytassa a habosított APET lemezek fejlesztését. A lemezek nem csak hőállóak, hanem jó hőszigetelők és formaállóak is. Emellett mikrosütőbe és hagyományos fűtött sütőbe is betehetők.

### *Mégis visszaforgatható a reciklált PS a joghurtos poharakba?*

A polisztirolt feldolgozó nagyobb vállalatok 2018 decemberében indították el a PS-ből gyártott termékek anyagának visszaforgatását támogató SCS (Styrenics Circular Solution) projektet, amelynek keretében meg akarják oldani az élelmiszer-csomagolásban alkalmazott polimer ismételt felhasználását. A spanyolországi **Coexpan** cég a polisztirolból hőformázott joghurtos poharak anyagának visszaforgatását próbálja megoldani úgy, hogy azok használatát az ESFA is elfogadja. A visszagyűjtött poharakat hasonló módon kezeli, mint ahogyan az élelmiszeriparban ismét felhasznált PET-et hasznosítják. A hulladékot szétválogatják, mosás, pehelyformára őrlik, szupertisztításnak vetik alá, majd ömledékszűrővel extrudálják.

Kísérleti gyártásban eddig reciklátumot tartalmazó kétféle hőformázható lemezt gyártanak az FFS (form-fill-seal, formázd-töltsd-zárd le) technológiával készített joghurtos poharak számára. Az egyik ABA szerkezetű vékony lemez, ennek alsó és felső rétegének anyaga friss PS granulátum, középső rétege a használt poharakból visszanyert PS, amely a lemez tömegének 50%-át adja. A másik lemez egyrétegű, és 100% reciklátumból készül.

Mindkét lemezből poharakat gyártottak és töltöttek a szokásos gyártósorokon, majd vizsgálták a megtöltött poharak minőségét, megjelenését, mechanikai és funkcionális tulajdonságait. Az rPS-ből készített poharak anyaga 99,9%-ban tiszta polisztirol volt, és extrudálásuk, majd hőformázásuk is a szokott módon, könnyedén elvégezhető volt.

### *Öntőgyanták a hőformázáshoz használt bélyegekhez és más szerszámelemekhez*

A Trelleborg cég Syntac öntőgyantáit hőformázó szerszámok bélyegeinek és más szerszámelemeinek gyártásához ajánlja. Ezeknek három változata a CIS, a HTS és az STS gyanták. A CIS és a HTS öntőgyanták üveggolyókat tartalmazó epoxigyanták, az STS öntőgyanták mátrixa hőre keményedő polimer. Megszilárdulás után valamennyi gyanta CNC géppel utólagosan megmunkálható.

Az öntött bélyegek könnyebben és gyorsabban elkészíthetők és cserélhetők, mint a hagyományos anyagokból kimunkált bélyegek. A gyantákból kiöntött bélyegek finom megmunkálását megszilárdulásuk után CNC géppel utólag el lehet végezni. Az öntött bélyegek könnyűek, tartósak és jóval olcsóbbak, mint a hagyományos bélyegek.

## **A hőformázás 21. évszázadi technológiáinak fejlesztése**

A hőformázás egyre kifinomultabb feldolgozó technikává válik, és itt is egyre inkább szükség lesz a számítógépet igénylő, szoftverekre alapozó gyártási eljárásokra.

### *A Fraunhofer Intézetek Fit 2.0 projektje*

A németországi Fraunhofer Intézetek drezdai részlegének (Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging, német neve után röviden IVV) egyik feladata, hogy kidolgozza a hőformázás számítógépes szimulálását, amivel tovább lehetne javítani a hőformázott termékek minőségét. A sűrített levegővel végzett hőformázás technológiájára (Fit, forming-air impact technology) alapozott kétéves *Fit 2.0* projekt lassan végéhez ér. A hőformázás folyamatában a fő célkitűzés a késztermék falvastagságának megfelelő eloszlása volt. Az egyenetlen falvastagság ugyanis több anyagot igényel, hogy elérjék a megkívánt mechanikai stabilitást.

A Fit eljárásban a homogénelemegített félkész terméket mechanikai és termikus hatás éri, amikor a fúvókarendszerekből célirányos levegőáramot fújnak rá. Az eljárás szavatolja a meghatározott falvastagságot, ill. annak eloszlását. Ennek eredménye az optimális anyagfelhasználás, a megfelelő minőségi paraméterek és a hőformázás növekedő termelékenység.

A technológia kifejlesztésének idő- és költségcsökkentése érdekében a kutatók elkészítettek egy „parameterizáló eszközt” (parameterisation tool), amely „testre szabva” alkalmas lehet más létező technológiák vagy más típusú hőformázás hibáinak ellenőrzésére is. A je-

lenleg alkalmazott technológiák sok karbantartást igényelnek, költségesek, paramétereik beállítása bonyolult, és a termékek minősége a gyártási eljárás alatt gyakran folyamatosan romlik.

A parameterizáló szerszám kifejlesztésekor különböző eszközöket vettek igénybe, pl. a FSI (Fluid Structure Interaction) modellt és a gépek „betanítását” – majd elemezték ezek lehetséges alkalmazását a hőformázás paramétereinek beállításában. A kutatók emellett információkat gyűjtöttek a folyadékok folyása, a hőmérséklet eloszlása és a hőformázott termék közötti kölcsönhatásokról. Vizsgálják azt is, hogy a befűjt formázó levegőáram milyen mértékben hat a műanyag hűlésére és formázódására.

A projekt célja, hogy a Fit technológiát átadhassák majd jól ellenőrizhető, sűrített levegőt alkalmazó ipari alkalmazásra. A legnagyobb kihívás a hőformázó folyamat dinamikájának, továbbá a mozgó polimer és a termék formálódása közötti kölcsönhatás megértése.

A Fit technológia bevezetése nagyot lendítene a csomagolóeszközök gyártásán. De ha felismernék a hűlés és a formálódás közötti kölcsönhatást, további lehetőségek nyílnának meg a hőformázás számára az orvosi technológiában és az autógyártásban is.

### *A kiterjesztett valóság alkalmazása*

Az *Ampli* egy egyéves együttműködési projekt, amelynek célja, hogy növelje a virtuális valóság (augmented reality, AR) alkalmazását a hőformázás szimulációs szoftverjeiben. Ennek résztvevői között van a fehérárut gyártó Whirlpool, az Innovation Plasturgie Composition (IPC) és a virtuális prototípusokat előállító ESI Company.

(A kiterjesztett valóság vagy augmentált valóság a valóság egyfajta virtuális kibővítése, amikor például egy mobiltelefon kamerájával szétnézve vagy egy erre a célra létrehozott szemüveget használva a valós környezetbe virtuális elemeket vetítenek.)

A projektben kombinálják a szimuláció előnyeit a virtuális valósággal, hogy a hőformázóknak valós idejű ismereteket és információkat adjon. A projektben dolgozók szerint ezzel egy lépéssel előbbre jut az európai feldolgozó ipar digitális átalakulásához.

A projekt három fő célkitűzése: a hőformázás határfokának növelése, a nem kellően képzett dolgozók által okozott hibák elkerülése és az üzemi munkások számára vonzó tevékenység.

A programban fizikailag lehetséges virtuális eszközöket lehet reális környezetbe helyezni, és közöttük kölcsönhatást létrehozni. Ezzel el lehet érni a virtuális valóság mechanizmusának javulását és használhatóságát.

Az ESI a végső változatba integrálni fog egy létező AR eszközt. Az IPC a szimulációhoz az ESI jelenleg alkalmazott Pam-Form szoftverjét fogja felhasználni. A Whirlpool – mint feldolgozó – felállít egy kísérleti gyártósort, amelyen üzemi körülmények között tesztelik és értékelik a projekt végtermékét.

Az *Ampli* új termék lesz piacon, amely az AR birtokában integrálja a műanyagokról és a szimulációról szükséges ismereteket. Kifejlesztői arra számítanak, hogy egy közepes időtartam elmúltával terméküket más gyártási folyamatokban is alkalmazzák majd. A fejlesztők 2022 közepéig egy újabb hasonló terméket készülnek bemutatni.

## Az Arkema részlegesen kristályos PEKK-ja mint hőformázható műszaki műanyag

A nagy teljesítményű műszaki műanyagokból, mint pl. a poli(aril-éter-keton)-okból (PAEK) részleges kristályosságuk miatt hőformázással nagyobb vastagságú termékeket nem lehet készíteni. Újabban azonban megjelentek olyan speciális polimerek, amelyek részleges kristályos szerkezetük ellenére is formázhatók ezzel a technológiával.

A PAEK polimereket nagyon igényes iparágakban, pl. a légi közlekedés és az űrutazás, a gáz- és olajipar eszközeiben alkalmazzák. Az aromás gyűrűt, éter és/vagy ketonkötéseket tartalmazó polimereknek számos változata van. Közéjük tartozik a poli(éter-éter-keton) (PEEK), a poli(éter-keton) (PEK), a poli(éter-keton-éter-keton-keton) (PEKEKK), a poli(éter-keton-keton) (PEKK). A keton és az éterkötések arányától függően változhatnak a polimerek tulajdonságai (1. táblázat). Ezeket a műanyagokat akkor veszik elő, ha másokkal nem tudják kielégíteni a gyártandó terméktől elvárt teljesítményeket.

1. táblázat

A PAEK polimercsalád néhány tagjának tulajdonságai a keton/éter arány függvényében

| Tulajdonság                 | PEEK | PEK | PEKEKK | PEKK    |
|-----------------------------|------|-----|--------|---------|
| Keton/éter arány            | 1/2  | 1/1 | 3/2    | 2/1     |
| Üvegesedési hőmérséklet, °C | 143  | 152 | 162    | 160-165 |
| Olvadáspont. °C             | 343  | 373 | 387    | 305-358 |

A PEAK polimerek erősen hőállóak, kopásállóak, vegyszerállóak, ellenállnak a hidrolízisnek és a nehezen éghetőek. Hátrányuk, hogy nem könnyen lehet őket hőformázással feldolgozni, különösen akkor, ha vastagabb falú terméket kellene belőlük gyártani.

A PAEK polimerek általában, a PEEK pedig különösen gyorsan kristályosodik, ezért mélyhúzással egyáltalán nem lehet formázni. A könnyebb hőformázáshoz két feladatot kellett megoldani. Az első: olyan PEAK lemezeket kellett extrudálással előállítani, amelyek viszonylag vastag falában több milliméteres réteg amorf marad. A második: a mélyhúzással végzett formázás rövid ciklusideje alatt meg kellett történnie a formázásnak és a kristályosodásnak is. Ennek megoldásához a franciaországi Arkema cég (Colombes) a pennsylvaniai Westlake Plastics céggel (Lenni, USA) és az ugyancsak francia Plastiform (Thise) fogott össze. Közös munkájuk eredményeként született meg a Kepstan márkanévet viselő speciális PEKK család.

A PEKK szokatlan összetételű polimer, amely tereftalát típusú (T) és izoftalát típusú (I) monomerekből épül fel (2. ábra). A T/I arányt a szintézis alatt állítják be; ettől függ a kopolimer hőállósága és kristályosodásának kinetikája. Ez által szinte „testre szabott” polimert tudnak előállítani, az igényeknek megfelelően. Az Arkema jelenleg 3 különböző T/I arányú változatát gyárt. Valamennyi változat éghetőségét halogénmentes égésgátlóval csökkentik, ami által égéskor a füstgázok képződése is mérsékelt marad, ezért a PEKK repülőgépekben, űrhajókban, vasúti kocsikban fokozza a biztonságot.



2. ábra Az Arkema PEKK kopolimerjei tereftalát (T) típusú (balra) és izoftalát (I) típusú (jobbra) monomereket is tartalmaznak

A megfelelő PEKK típus kiválasztása után annak extrudálása semmiféle nehézséggel nem jár, és egy 3 mm vastag fóliában a polimer amorf szerkezetű marad. Ilyen fóliákat a Westlake cégnél gyártanak. A mélyhúzás technológiáját a Plastiform dolgozta ki. A fóliát a mélyhúzás előtt ki kell szárítani, hogy a benne maradó nedvesség negatív hatása ne zavarja a formázást. A sikeres formázás feltétele a nagyon precíz hőmérséklet-szabályozás és hőmérséklet-eloszlás. A fóliát üvegesedési hőmérséklete fölé kell melegíteni, de nem szabad túllépni a PEKK olvadáspontját. Az in-situ kristályosodás érdekében a szerszám hőmérsékletét az előírt hőmérsékleten kell tartani. Ez szavatolja, hogy a kristályosodás a megfelelő időben megy végbe. Egy 2 mm-es lemez hőformázásának ciklusideje általában kevesebb, mint 5 perc.

Mivel a mélyhúzáskor amorf szerkezetű fóliát dolgoznak fel, amorf szerkezetű terméket is lehet belőle készíteni. Az ilyen termékek színe a borostyánkőéhez hasonlít, de ilyen színűek a PEI-ből és PAES-ből hőformázott termékek is. A hőformázás egyszerűbb, ha nem kell in-situ kristályosodást végezni, és a termék alakíthatósága is javul. A PEKK-ből hőformázott darabok termomechanikai és kémiai tulajdonságai azonban akkor a legjobbak, ha kialakul bennük a részleges kristályosodás következtében elérhető egyensúlyi állapot.

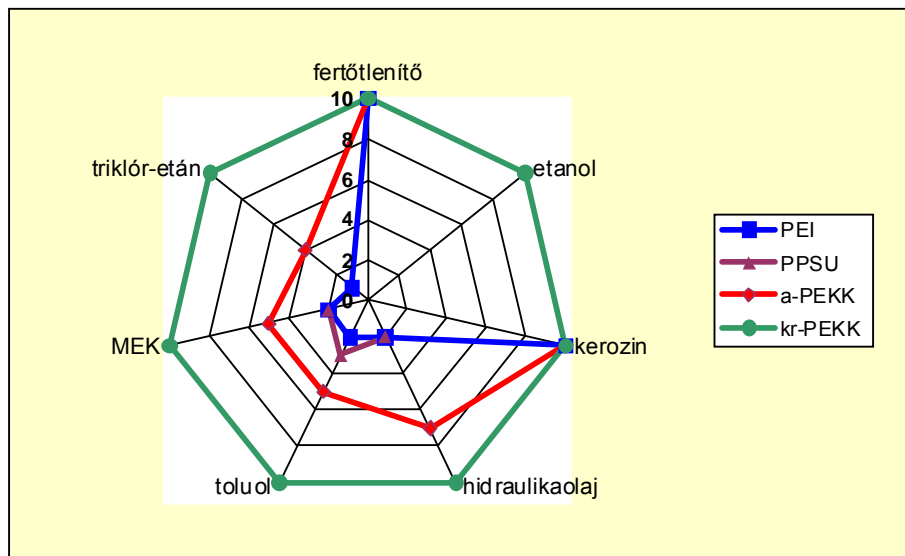
Az új PEKK polimer alkalmazásának jó esélyei vannak az olyan piaci területeken, ahol eddig jobb híján PEI-t és PAES-t, poli(fenilén-szulfid)-ot használtak amorf polimerként. A PEKK más kiemelkedő tulajdonságai mellett számos helyen rendkívül jó vegyszerállósága miatt is kapós lehet. A PEEK ellenáll az olyan agresszív folyadékoknak, mint a kerozin, a Skydrol, a MET, amelyek a légi közlekedésben gyakran előfordulnak.

Különböző nagy teljesítményű műszaki műanyagok feszültségrepedésre való érzékenységét (ESCR, Environmental Stress Cracking Resistance) vizsgálták néhány agresszív folyadékban. A 3. ábrán látható, hogy a részlegesen kristályos PEKK valamennyi vizsgált polimernél jobban vizsgázott.

A PEKK lemezeknek nagyon jók a mechanikai tulajdonságai. A részlegesen kristályos PEKK termékek szobahőmérsékleten megőrzik rugalmasságukat, rugalmassági modulusuk 3,6 GPa, húzófeszültségük 110 MPa. 150 °C-on a részlegesen kristályos PEKK 25%-kal merevebb, mint a PEI, és 280-szor merevebb, mint a polikarbonát (PC).

Nagy kristályossági sebessége miatt PAEK-ből mindeddig nem tudtak nagyméretű termékeket elfogadható költséggel előállítani. Egy 40x30x5 mm-es PEAK blokkból gépi forgá-

csolással készítettek el egy gépelemet, amelyhez 8 kg anyagot használtak fel. Ugyanezt az elemet PEKK-ból hőformázással 350 g ból, hulladék nélkül sikerült létrehozni.



3. ábra Négy nagy teljesítményű műanyag feszültségrepedezésre érzékenységének (ESCR) vizsgálati eredményei. A próbatesteket egy hétig teljesen bemelegítve különböző szobahőmérsékletű folyadékokba 40 MPa feszültséggel 1,1%-kal meghajlították. A grafikonon feltüntetett fokozatok jelentése: 1: feloldódott, 2: 1 órán belül eltört, 3: 1 napon belül eltört, 4: megduzzadt, 5: ESC 1 órán belül, 6: ESC 1 napon belül, 7: ESC 3 napon belül...10: 1 héten belül ESC nem volt megfigyelhető.

A vizsgált polimerek: PEI (Ultem), PPSU (Radel), amorf PEKK (Kepstan), kristályos PEKK (Kepstan). Az alkalmazott folyadékok: PDI Sani Cloth QAC fertőtlenítő; 100%-os etanol; Jet A kerozin; Skydrol LD-e hidraulikaolaj; 100%-os toluol; 100%-os metil-etil-keton (MEK); 100%-os 1,1,1-triklór-etán.

Az új technológiának nemcsak az az előnye, hogy nagy méretű, bonyolult formákat is meg lehet vele valósítani, hanem az is, hogy egy nagyobb PEKK lemezből egyszerre több kisebb terméket is lehet egyszerre formázni. A mélyhúzás költségei a fröccsöntéshez képest jóval kisebbek, emellett könnyen lehet vele fémből készített elemeket műanyagból gyártottakkal helyettesíteni. Az acél 8 g/cm<sup>3</sup> fajsúlyával ellentétben a PEKK fajsúlya mindössze 1,3 g/cm<sup>3</sup>, ezért a költségesen megmunkált acél alkatrészekkel szemben ebből a polimerből sokkal könnyebb és olcsóbb, emellett sokkal vegyszerállóbb elemeket lehet készíteni.

Összeállította Pál Károlyné

Press briefing: last advances in thermoforming = Film & Sheet Extrusion, 2021. márc. p. 15,16, 18, 20, 21. [www.filmandsheet.com](http://www.filmandsheet.com)

Bussi, PH; Gonnetan, P.; Möller, E.; Opinkowski, B.: Teilkristallin und dennoch themoformbar = Kunststoffe, 2020. 12. sz. p. 52–53.

PEKK vs. PEEK in FFF = <https://www.extremematerials-arkema.com/export/sites/-technicalpolymers/.content/medias/downloads/brochures/kepstan-brochures/kepstan-br-pek-pek-vs-peek-for-fff-optimized.pdf>