

## Hőformázás a 21. század második évtizedében

A hőformázók 2019-ben az USA-ban, Milwaukee-ben tartott konferenciájukon, Európában a K 2019-es düsseldorfi vásáron mutathatták be újdonságaikat. A kiemelkedő termékeket az USA-ban iparáganként díjazták is. Az európai vásáron inkább a gépgyártók jelentek meg egyre többet tudó gyártóeszközökkel. A Stuttgarti Egyetem Műanyag-technológiai Intézetében inline vastagságelosztást mérő eljárás és ezt automatikusan szabályozó vezérlés megoldásán dolgoznak.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hőformázás; díjazott termékek; feldolgozógépek; falvastagság; inline vastagságmérés.*

## Újdonságok az SPE 2019-es milwaukeei konferenciáján

A Műanyagmérnökök Egyesületének hőformázással foglalkozó részlege [Thermforming Division of the Society of Plastics Engineers (SPE)] 2019. szeptember 9-11 között Milwaukee-ben (Wisconsin, USA) tartotta meg éves konferenciáját, amelyen a hőformázással foglalkozó műanyag-feldolgozók bemutathták legújabb termékeiket. A legkiválóbbakat arany-, ezüst- vagy bronzéremmel jutalmazták. Az orvostechnika, a járműgyártás, az élelmi-szercsomagolás és a 3D nyomtatás számára kifejlesztett új termékek egyaránt voltak a díjazottak között, amelyek eredetiségükkel, költségcsökkentésükkel, esztétikusságukkal érdemelték ki a kitüntetések.

### *Járműipar*

A *Plastics Unlimited* aranyéremmel kitüntetett traktortetője egy alsó és egy felső hőformázott részből áll (1. ábra), amelyeket ragasztással egyesítettek. A két elem közé többféle acélból készített és műanyagból hőformázott elemet építettek be. A megrendelő kívánságának megfelelően itt egy polctartó és egy levegővezeték is található. A tetőnek színes és fényes A-osztályú külső felülete van, anyaga akrillakkal fedett ABS, kezdeti vastagsága 4 mm volt. A belső felületet képező rész is ABS-ből készült, felülete texturált és fekete akrillakkal fújták le. Kezdeti vastagsága 4,75 mm volt. A megrendelő hangsúlyozottan kérte, hogy a gyártószerszám ne legyen drága. Az alsó és felső rész összeillesztése nagy figyelmet igényelt. A ragasztáskor hasonlóképpen nagyon kellett ügyelni arra, hogy megkötésig az összeragasztandó felületek mindenütt azonos nyomás alatt legyenek. A tető alsó és felső részét is egyfészkés szerszámban gyártották. A szerszám sokkal kevesebbe került, mint ha egy fröccsszerszámot vagy egy ikerlemezes hőformázó szerszámot kellett volna készíteni.



1. ábra A Plastics Limited aranyérmes traktortetője



2. ábra A Lindar egyszemélyes tapogatásmentes süteménycsomagolása

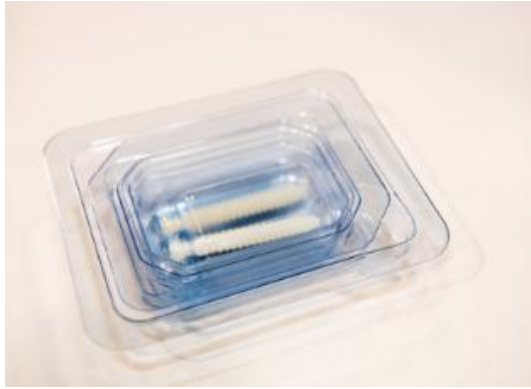
### Élelmiszercsomagolás

A Lindar az egyszemélyes pékáru vagy süteményféle tapogatás- vagy érintésmentes csomagolására fejlesztette ki a 2. ábrán látható, csuklós fedéllel lezárható dobozt. Az amorf poli(etilén-tereftalát)-ból (APET) készített, *Simply Secure* elnevezésű csomagolóeszköz akár a csomagolás helyszínén is automatikusan gyártható és automatikusan címkézhető.

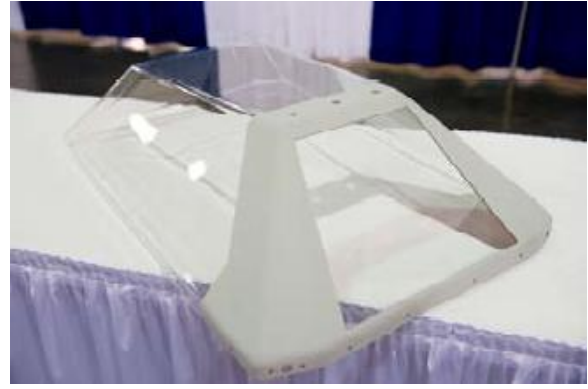
A Placon cég készülékek mikrohullámú melegítésre alkalmas új moduláris és egymásra halmozható csomagolóeszközöket mutatott be, amelyek újdonsága, hogy egy csövön keresztül a doboz lezárásakor a fedélbe épített szelepen keresztül eltávozhat a forró ételből elpárolgó gőz. Ugyanez a cső melegítésekor levegőt cirkuláltathat a csomagban. A csomagolóeszköz PP-ből készített ételtartálya elmosható, melegíthető és ismételten többször újra felhasználható, élettartama végén pedig anyaga visszaforgatható. A fedelet a Placon háztartási hulladékból visszanyert, élelmiszeripari minőségű PET-ből készített *Ecostar* márkanevű lemezből hőformázással állítja elő.

### Orvosi eszközök

A kitüntetett újdonságok között több az orvosi ellátást teszi könnyebbé vagy biztonságosabbá. Aranyérmet nyert a 3. ábrán látható hőformázott csomagolás, amelyet a már említett Placon cég egy orvosi eszközöket gyártó vállalat, az Orthofix számára készített. Ebben az ortopéd műtétekben alkalmazott műanyag rögzítő csavarokat szállítják a műtőbe. A csavarokat hidroxipapatittal vonják be, ez a bevonat segíti a csavar beépülését a csontba. A bevonattal ellátott csavarokat egy hüvelyben a fejüknél rögzítik, maga a csavar nem érintkezik hüvely falával, ezért semmiféle sérülés nem érheti. A hüvelyt egy bepattanó fedeles dobozba helyezik, ami dupla védelmet ad a csavarnak. Ezt két sterilizált dobozzal veszik körül. A csomagolás minden elemét glikollal módosított PET-ből, PETG-ből készítik. A Placon cég a sterilizált dupla védelmet további 2000 terméke csomagolásához alkalmazza.



3. ábra A Placon cég ortopédiai csavarokat tartalmazó aranyérmes csomagolása



4. ábra Profile Plastics aranyérmel díjazott, tökéletesen átlátszó inkubátorfedele

A *Profile Plastics* ugyancsak aranyérmet nyert a 4. ábrán látható inkubátorfedéért. A fedél tökéletesen átlátszó öntött akrilátlemezről készült. Előnye, hogy a sík oldalfalain keresztül az ápolószemélyzet torzulás nélkül látja az újszülött kisbabát. Az elhomályosított sarkokat hőformázás előtt, nyomtatással alakították ki, hogy a mögötte elhelyezett huzalok és elektronika ne zavarja a látást.

## Újdonságok a düsseldorfi K 2019-en

### *Hőformázó gépek és gyártósorok*

A 2016-es düsseldorfi vásáron feltűnően sok olyan kiállító jelent meg, amely a hőformázáshoz szükséges technikai eszközök fejlődését mutatta be.

Az amerikai *Commodore Technology* egy olyan hőformázó berendezést üzemeltetett, amelyen hús csomagolására ajánlott csomagolóeszközt állított elő. Ez PS habból formált tálcából, alaplapból és csuklós fedélből épült fel. A bemutatott gépet 5 méretben, 400–1120 mm közötti széles lemezek feldolgozására kínálja. Nagy előnyük, hogy a gyártószerszámok közöttük csereszabatosak, ami nagyon rugalmasá teszi a feldolgozást. A szerszámcsere rendkívül gyorsan elvégezhető rajtuk. Ha egy 560 mm széles lemez feldolgozásáról át kell állni egy 760 mm széles feldolgozására, ez a korábbi egy nap helyett 2,5 óra alatt elvégezhető.

A svájci *WM Thermoforming* cég *Flex 92* márkanévű gépén a kivágást tette a korábbinál sokkal rugalmasabbá. A szerszámok módosítása helyett a kivágást ún. steel-rule-die technológiával végzik (ennek elve azonos a pogácsa vagy a karácsonyi linzer kiszaggatásának elvével, azaz egy élesített acélszalaggal történik.) A *Flex 92* teljesen automatikusan dolgozik, és távolról is ellenőrizhető okostelefonnal, tablettel vagy szokásos számítógéppel. A cég a K 2019-en a gépen 24-fészkés szerszámmal fedeleket gyártott 450 µm vastag PP fóliából. Egy másik, lézeres kivágással működő gépén kávékapszulák hőformázását is bemutatta.

Az *Illig* cég hőformázás alatti címkézési – IML-T – technológiájának legújabb változatát mutatta be. A kiállításon hulladékból visszanyert rPET-ből készített poharakat, amelyek fedelére a formázás alatt könnyen leválasztható címkét vittek fel (5. ábra). A cég *IC-RDKL 80* márkanévű címkéző hőformázó berendezését a K 2019 látogatói láthatták elsőként működés közben. Ugyancsak ezen a rendezvényen mutatta be az *Illig* egy másik, *IC-RDM 76K*

márkanévű, „negyedik generációs” gépét, amelyet új hajtórendszerrel és nagyobb záróerővel láttak el. Az Illig cég jó úton halad előre a hőformázó gépek digitalizálásában. Ezek a gépek könnyen beilleszthetők lesznek egy olyan hálózatba, amely több hozzáadott értéket ad a terméknek.

Nem a K 2019-en, hanem a vékony falú csomagolóeszközök düsseldorfi konferencián mutatta be az Illig a BASF-fel közösen kifejlesztett újdonságát. A BASF egy korábinál nagyobb ömledékszilárdságú *Ultradur PBT*-t fejlesztett ki. A *B6560 M2 FC TF* márkanévű polimerből készített vékony lemezekből a konferencián IC-RDKL 80 hőformázó berendezésen orvosi poharakat készítettek. Az alapanyagot folyamatosan, közvetlenül a tekercsről vezették be a formázógépbe. A 185 mm magas poharakat 1 nyújtási aránnyal egyfészkes szerszámmal állították elő. Egy második kísérleti gyártáskor 120 mm magas tálcákat 0,2-es nyújtási aránnyal 10-fészkes szerszámban formáztak. A BASF fejlesztői egy újabb nagy záróképességű *Ultradur PBT* polimer előállításán dolgoznak, ennek oxigénáteresztése reményeik szerint 30-szor kisebb lesz a szokásos hőformázható típusokénál.



5. ábra Az Illig cég IML-T eljárással hőformázás közben felcímkezett pohárfedelei



6. ábra A Kiefel 100%-ban lakossági PET hulladékból gyártott, alul-felül átlátható tojástartója

A *Gabler* a K 2019 kiállításon mutatta be először *Swing 3* modelljét. Ez a gép a könnyű szerszámcsere miatt különösen rugalmas, emellett tartozéka a termék rakatolása (formázás utáni rendezett felhalmozása) – akár mély poharakat, akár lapos tálcákat gyártanak – és a darabok megszámlálása. A gép formázó felülete 600x270 mm, óránként 35 000 poharat tud megformázni. Kifejezetten PET és biodegradálható polimerek feldolgozására tervezték. Robusztus felépítésének köszönhetően bármilyen ipari környezetben felállítható.

A *GN Thermoforming Equipment* K 2019-en kiállított legújabb *GN 80*-as hőformázója a hőformázást, kivágást és rakatolást is elvégző gép, amelyet olyan kisebb vállalatok számára terveztek, ahol gyakran kell szerszámot cserélni. A formázó felület 580x465 mm, teljesítménye teljes terheléskor 45 ciklus percenként. A formázandó lemez alatt és felett 120 mm-es mélységig tudja nyújtani a meglágyult műanyagot. Kezelése könnyű, de távolról is irányítható és felügyelhető; emellett energia-visszanyerő rendszerrel is el van látva. Idegen szerszámok adapterlap nélkül is felszerelhetők rá. Ezért ha vásárolnak egy új gépet, nem kell a régi szerszámok helyett drága újakat csináltatni. A kiállításon rPET-ből minimális hulladékkal hús csomagolására használt tálcákat gyártottak.

A *Kiefel* cég *Speedformer KMD 78,2* márkanévű gépét állította ki. Ez a gép nagy teljesítmény mellett is energiatakarékosan, steel-rule kivágórendszerrel dolgozik. A gép kezelése egyszerű, speciális tréning nélkül is biztonságosan üzemeltethető. Fűtőrendszere nagyon rövid idő alatt eléri a beállított hőmérsékletértéket, de emellett 20%-os fűtőkapacitása is van amellett, hogy az energia egy részét visszaforgatja. A vásáron a géppel a 6. ábrán látható tojástartót gyártották PET regranulátumból, de ezzel a géppel valószínűleg poliaromás szénhidrogéneket (PAH) vagy poli(etilén-furanoát)-ot (PEF) is lehetne hőformázni.

## Alapanyagok

A *Processing Technology International (PTI)* extrudereket gyárt a hőformázható fóliák/lemezek gyártásához. Legújabb Nagy sebességű *Super-G HighSpeed* márkájú extrudere már PET lemezek extrudálására is alkalmas. Ezen a 75 mm átmérőjű csigát tartalmazó gépen olyan teljesítményt lehet elérni, mint általában csak a 150 mm átmérőjűekkel. Ezen a gépen korábban csak PP-t és PS-t extrudáltak, jelenleg ABS-t is dolgoznak fel rajta. Az ABS hasonlít a PS-re, de nagyobb figyelmet igényel. ABS-ből legtöbbször a PS-nél vastagabb lemezeket gyártanak.

A PTI stratégiai szerződést kötött egy kompaundáló céggel, a *Farrel Pominival*. Közös céljuk, hogy olyan kompondokat fejlesszenek ki, amelyeket kompaundálás után közvetlenül be lehet táplálni az extruderbe, majd a formázógépbe. Az ilyen folyamatos technológia költségta-  
karékosabb, termelékenyebb, és a termékek minőségét is jobban kézben lehet tartani. Előnyei főképpen a nagy mennyiségű ásványi töltőanyagot tartalmazó kompaundok feldolgozásakor érvényesülnek.

A *Renolit* cég megkezdte hőformázható *Tecnogor* kompozitjainak gyártását egy indiai üzemben is. Az üvegszál PP kompozitból az indiai és kelet-ázsiai gépkocsigyártóknak készítenek majd ragasztás és szerelés nélküli háromdimenziós hőformázott elemeket az belső terek kialakításához.

A már említett *Kiefel* cég az *SML*-lrel együtt hőálló, hőszigetelő és újrafeldolgozható háromrétegű hőformázható habosított lapokat állított elő. Ezek anyaga PET (vagy PP), a középső réteget enyhén habosítják. Meleg italok felszolgálására poharakat készítenek belőle. A poharak könnyen elviselik a forrásban levő vizet, de nem forrosodnak át. Emellett könnyűek, átlagos sűrűségük mindössze 0,65 g/cm<sup>3</sup>.

## Inline vastagságmérés ultrahanggal

A hőformázás elve szerint egy hőre lágyuló műanyag lapot vagy fóliát felmelegítés után háromdimenziós tárggyá alakítanak. A technológiának számos változata van, de mindegyik öt lépésből áll: be kell fogni a még hideg és rideg műanyag lapot (vagy fóliát), azt lágyulásáig fel kell melegíteni, ki kell alakítani a háromdimenziós formát; ezt le kell hűteni, majd szélei mentén ki kell vágni az eredeti lapból. Gyártás előtt be kell állítani a legfontosabb paraméte-  
reket: a hőszigetelő hőmérsékletét, a formázás nyomását vagy sebességét. A termék minőségét befolyásolhatja a környezet hőmérséklete, vagy a tételek közötti ingadozás. A minőséget a felület fényessége, hibátlansága vagy a termék falvastagság-eloszlása alapján értékelik.

A mérhető tulajdonságok között a legfontosabb a falvastagság eloszlása, amely a termék „ujjlenyomatának” tekinthető, és amelyet a gép paramétereinek beállításával vagy módosításával igyekeznek reprodukálni. A falvastagság eloszlásától függ ugyanis a darab teherhordó képessége, áteresztő képessége, de még optikája is. Emellett a falvastagság függvénye az anyagfelhasználás, azaz a gyártás költsége. Az optimális falvastagság és annak optimális eloszlásának stabilizálása ezért a gyártási folyamat ellenőrzésének és vezérlésének legfontosabb feladata.

Az alapanyagok egyes tételei közötti ingadozás vagy a környezetben bekövetkező változások miatt ez a stabilitás megszűnhet, a termék nem lesz kifogástalan. Minél korábban veszik ezt észre, annál gyorsabban tudják a paramétereket módosítani, és annál kevesebb lesz a selejt. A jelenlegi hőformázó üzemekben legtöbbször szűrőpróbaszerűen vesznek ki egy-egy darabot ellenőrzésre, de a köztes időben nagyszámú hibás termék jöhet le a gyártósorról. Ezen csak egy automatizált inline mérés és automatizált paraméterigazítás segíthet.

A falvastagság mérésére hosszú évek óta alkalmaznak ultrahangos eljárásokat. A Stuttgarter Egyetem Műanyagtechnikai Intézetében a Műanyag-feldolgozási osztály (Abteilung Verarbeitungstechnik am Institut für Kunststofftechnik – röviden IKT – der Universität Stuttgart) kutatói ezt a technikát próbálták meg alkalmazni a hőformázó gépeken. Ennek lényege, hogy egy ultrahangforrás hanghullámot (impulzus) bocsát ki a mérendő felületre, amely áthatol az anyagon, és az áthatoláskor érzékelt határfelületekről visszaverődve „visszhangot” küld a mérőeszköz érzékelőjébe. A visszhang megérkezésének időtartama a falvastagságtól függ. A kutatók által használt mérőeszközön az impulzus elindítása és a visszhang visszaérkezése  $10^{-7}$  s alatt következik be. Ilyen eszközzel kimutathatók a darab falában esetleg elrejtőzött üregek, repedések is.

A falvastagság mérésére kifejlesztett mérőeszközt a hőformázó szerszámba építették be úgy, hogy az a termék három kiválasztott kritikus pontján a hőformázás elvégzése után azonnal végezze el az mérést. A másodperc töredéke alatt elvégzett mérés nem érinti a formálás taktusidejét.

A falvastagság a hanghullámok anyagban haladó sebessége alapján a következő egyenlettel számítható ki:

$$s = \frac{1}{2} c \cdot t$$

ahol  $s$  a falvastagság,  $c$  a hullám terjedési sebessége,  $t$  a visszhang a hangjel visszatéréséig mért idő.

A hangterjedés sebessége egy anyagban függ a hőmérséklettől, és hosszirányban ( $c_L$ ), ill. keresztirányban ( $c_T$ ) nem azonos. A falvastagság mérésekor a hosszirányú sebességgel kell számolni, amely a következő egyenlettel határozható meg:

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1 - \mu}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}}$$

ahol  $E$  = E-modulus,  $\mu$  = az anyag Poisson tényezője,  $\rho$  = az anyag sűrűsége.

Az IKT-ben egy laboratóriumi hőformázó berendezésen PP és PS fóliákat különböző paraméterekkel hőformáztak. Az így kapott falvastagság-eloszlások a várakozásoknak megfelelően eltérőek voltak. A polimerek hangsebességének hőmérsékletfüggését előkísérletekkel



határozták meg. A hőformázott darabok ultrahangos inline mérési adatait a darabokon utólagosan Hall-effektuson alapuló kézi mérőeszközzel mért adatokkal hasonlították össze. Az eredmények nagyon hasonlóak voltak. Egy PP-ből készített darabon a kijelölt pontokon a következő vastagságokat mérték: 1. pont 0,224 mm, 2. pont 0,21 mm, 3. pont 0,24 mm. A kézi eszközzel utólag végzett három mérés átlagértéke: 1. pont  $0,245 \pm 0,004$  mm, 2. pont  $0,225 \pm 0,026$  mm, 3. pont  $0,255 \pm 0,015$  mm. A PS-ből készített darabokon inline mérésekkel ugyanez: 1. pont 0,15 mm, 2. pont 0,195 mm, 3. pont 0,227 mm. Kézi mérőeszközzel: 1. pont  $0,18 \pm 0,02$  mm, 2. pont  $0,222 \pm 0,026$  mm, 3. pont  $0,220 \pm 0,022$  mm.

A kutatók az ultrahangos mérés további pontosságán dolgoznak, és végső céljük, hogy ezt összekössék egy automatizált falvastagság-szabályozással.

Összeállította: Pál Károlyné

Golsberry, C. Sparrow, N.; Year's best in thermoforming = Plastics Today, 2019. szept. 23.

<https://www.plasticstoday.com/thermoforming/year-s-best-thermoforming>

Reade, L.: Drawing strength: recent advances in thermoforming = Film & Sheet Extrusion, 2020. márc. p. 13., 14., 16., 18., 20. [www.filmandsheet.com](http://www.filmandsheet.com)

Landsecker, K; Bonten, Ch.: Wanddicke nach Fledermaus-Art regeln = Kunststoffe, 106. k. 4. sz. 2016. p. 86–88.