

Fejlesztések a hőformázásban: új gépek, új szoftverek

A hőformázók a pohár, csésze vagy doboz alakú csomagolóeszközök millióit állítják elő világszerte. A hőformázó gépek fejlesztésétől azt várják, hogy azok termelékenysége a termékek minőségének egyidejű javulása mellett növekedjék. Ezt az igényt elégíti ki az Illig cég harmadik generációs gépeivel. Az aacheni Műanyag-feldolgozó Intézetben pedig szimulációs program kifejlesztésén dolgoznak, amellyel költséges és anyagigényes kísérletek helyett számítással lehetne megítélni egy anyag hőformázhatóságát.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hőformázás; gépgyártás; fejlesztés; vizsgálati módszer; szimuláció; szoftver.

Harmadik generációs hőformázó gépek

A hőformázás alapelve változatlan: a formázás hőmérsékletére felmelegített műanyag fóliát a fészket tartalmazó alsó szerszámfél peremére helyezik, a rázáruló felső szerszámfél pereme rögzíti a fólia széleit és egyúttal tömíti a szerszámüreget. Egy felülről lefelé mozgó bélyeg előnyújtja a fóliát, majd az üregbe bevezetett túlnyomásos levegő rásimítja azt a szerszám belső felületére. Lehűlés után a üreg formáját felvett késztermék kivethető a szerszámból. A hőformázott termék legfontosabb minőségi jellemzői a tömeg, az oldalak falvastagsága, a merevség (a függőleges terhelhetőség maximális értéke, az ún. „top load”), amelyeket ciklusról-ciklusra sokfészkes szerszámokban is pontosan reprodukálni kell.

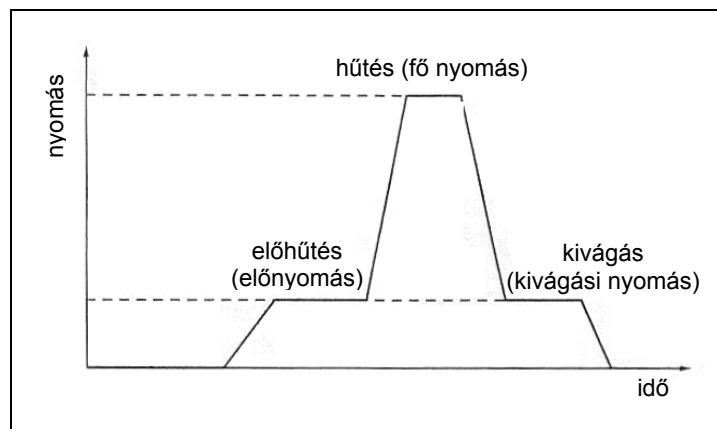
A hőformázás folyamatának elemzésekor azt állapították meg, hogy a *sűrített levegő bevezetésének optimalizálásával* további eredményeket lehetne elérni. A jelenleg üzemben lévő második generációs hőformázó gépeken a levegőt egy központi fúvókán keresztül vezetik be a szerszámba, és abban oszlik el az egyes fészkek között. A hőformázó gépeket gyártó **Illig Maschinenbau GmbH & Co. KG** (Heilbronn) első lépésként a szerszám oldalán, fészeksoronként vezette be a levegőt, amelynek nyomását így soronként tudta szabályozni. Ezzel javult a termékek egyenletessége, de a nyomás kialakulásának kis időbeli eltolódása az egyes fészkekben apró eltéréseket okozott. A továbbiakban ezért a levegővezetékeket a bélyegekbe építették be, és *harmadik generációs RDM típusú gépeikben minden egyes fészekbe külön fúvókán keresztül jut be a szabályozott nyomású levegő*. Ezáltal minden egyes hőformázott pohár jellemzői azonosak lesznek.

További újításuk, hogy 50%-kal csökkentették a formázáshoz felhasznált levegő térfogatát, ami által megrövidült a ciklusidő. Ezt az előmelegített fólia magasabb hő-

mérséklete tette lehetővé, amely plasztikusabb állapota következtében még élesebben veszi fel a szerszám kontúrjait.

Átalakították a szerszámok hűtőrendszerét is. Új szerszámaikba négy hűtőkört építenek be (a szerszám felső részébe, a szerszám alsó részébe, a szerszám leszorító peremébe és a kidobóba), amelyek mindegyikét külön-külön szabályozzák. Hogy az újítások miatt megrövidülő ciklusidőt a hűtéssel ki tudják használni, azaz a hőt a lehető leggyorsabban el tudják vezetni, a csatornák a szerszám belső felülete alatt, a kontúrokat követve futnak, és átmérőjüket az adott helynek megfelelően méretezték. A gyorsabb hűtés miatt nem kell a víz hőmérsékletét csökkenteni – ellenkezőleg a korábban alkalmazott 12 °C-os víz helyett 16–18 °C-osat használnak, amivel nemcsak energiát takarítanak meg, hanem csökken a kondenzvíz képződésének veszélye is.

A szokásos szerszámokban a két szerszámfél záráskor azonnal a teljes záróerőt fejt ki. Ennek következtében a hőformázott terméken a perem alatt anyagfelhalmozódás, sorjaserű kiboltozódás képződik, amelynek tömege kiteheti a termék teljes tömegének 10%-át. Az Illig cég ezért a szerszámzárás nyomását is szabályozta; a két szerszámfél találkozásakor először kisebb, a formázás alatt nagyobb, a kivágás alatt ismét kisebb záróerőt alkalmaz (1. ábra). Ezzel az eljárással az előformázáskor a perem alatti anyag is meg tud nyúlni, beépül a termék falába, ami által nő a termék merevsége, és a falvastagság is egyenletes lesz. A szabályozott szerszámzárás egyúttal azt is biztosítja, hogy a sokfészkes szerszám valamennyi üregében azonos nyomáslefutással készül el a termék.



1. ábra A szerszám zárónyomásának szabályozása a hőformázás különböző szakaszaiban

Az Illig cég harmadik generációs *RDM-K* típusú hőformázó gépein megvalósított újítások eredményeképpen megnőtt azok termelékenysége. Egy *RDM 70K* típusú gépen 24-fészkes szerszámmal 73 mm átmérőjű, 1,25 mm falvastagságú PS poharakat a második generációs gépek percenként 22 taktusos teljesítményével szemben 36 taktussal tudtak gyártani (63%-os növekedés); 73 mm átmérőjű, 0,5 mm falvastagságú ivó-

poharaknál 25-ről 37-re nőtt a taktusszám (48%), 75 mm átmérőjű, 1,2 mm vastag falú PP poharaknál 28 helyett 38 taktust értek el (28%).

A megnövekedett taktusszám miatt a cég továbbfejlesztette rakatolóberendezéseit is. A kiegészítőberendezés a nehezen összerakható alacsony és széles poharakat is emberi beavatkozás nélkül, biztonságosan csúsztatja egymásba a megadott darabszámban.

A cég *RDM-K* típusú harmadik generációs hőformázó gépeit jelenleg négyféle méretben forgalmazza (1. táblázat).

1. táblázat

Az Illig cég harmadik generációs hőformázó gépeinek jellemzői

Géptípus	Formázó felület mm x mm	Záróerő kN	Max. taktusszám/min üresjáratban
RDM 54K	520 x 300	230	56
RDM 70K	680 x 280	320	51
RDM 75K	735 x 465	600	42
RDM 78K	760 x 420	550	45

Vizsgálták a sokfészkés szerszámban készített joghurtos poharak néhány jellemzőjének szórását. A poharak előírt értéktartományai és a mért értékek (zárójelben) a következők voltak: tömeg 4,5–5,1 g (4,7–4,9); perem vastagsága 0,9–1,1 mm (0,93–0,97); magasság 72 mm (71,96–72,00); rakatoláskor 45 poharat kell egymásba csúsztatni (egy ilyen pohársor összmagassága $276 \pm 0,0$ mm volt). Látható, hogy a szórás jóval kisebb a megengedettnél; a perem vastagságánál a megengedett 0,2 mm-es szórás helyett mindössze 0,04 mm.

Fontos minőségi jellemző a poharak hegesztőperemének sík volta, ettől legfeljebb 5° eltérés engedhető meg. A nagy taktusszámmal gyártott poharak biztonságosan ezen a határértéken belül voltak. Alakhűségüket a rakatolt poharak egységes összmagassága bizonyítja. Kifogástalan volt a poharak felülete, tamponnyomással éles, élénk színű mintázatot lehetett rájuk vinni.

Az Illig cég 2008-ban heilbronn-i üzemében mutatta be harmadik generációs hőformázó gépeit az érdeklődőknek. A túlnyomással dolgozó *RD* típusú gépek mellett láthatók voltak a vákuummal formázó *RV* típusú gépek és újabb tekercskezelő automaták. Emellett láthatók voltak kaszkádvezérlésű legújabb alsó és felső feszítőkereteik. Az *RV53-as* géptípusban a korábbi vezérlőrendszert *Simatic S7-re* cserélték, amivel a gépek kényelmesebben kezelhetők és nagyobb taktusszámot érhetnek el. Ezek a gépek PS, PVC, PET és PP is 1,5, esetleg 2 mm-es vastagságban dolgozható fel. Egy *RDM 78K* típusú gépen 45-fészkés szerszámmal 40/min taktussal *óránként 108 ezer PS joghurtos poharat sikerült gyártani.*

A gyors szerszámcsere érdekében az *RV* típusú gépek vezérlésébe beépítettek egy programot, amely a mindössze néhány lépésből álló szerszámcsere után automati-

kusan igazodik az új fóliaszélességhez, és automatikusan állítja be a kivágó- és a rakatolóberendezés pozícióját.

A szervohajtás következtében a formázóasztal és az előformázó bélyeg mozgása nagyon finoman hangolható össze, de ugyanilyen hajtás teszi lehetővé a kivágóberendezés szinkronmozgását.

A gépek modulszerű felépítése lehetővé teszi a gyártósorok tetszőleges felépítését a mindenkori igényeknek megfelelően. (Az Illig cég gépeiről lásd még MISZ 2007/6. p. 34.)

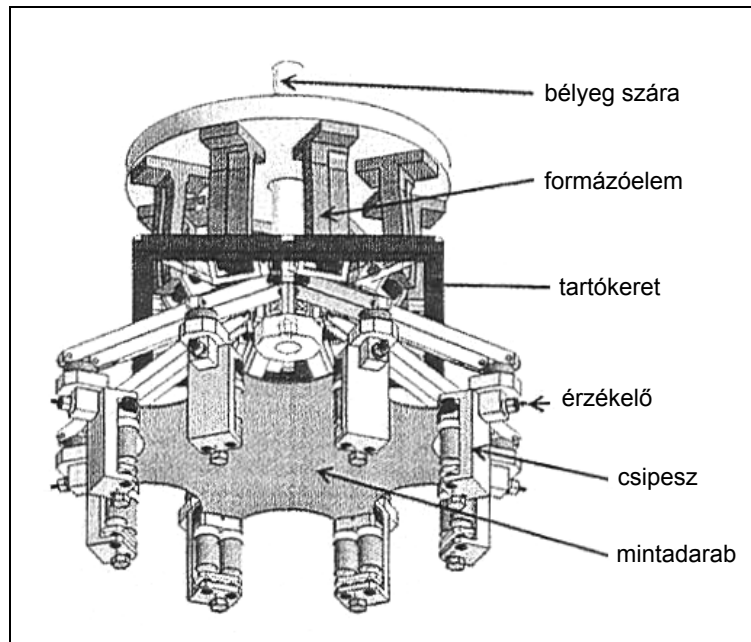
A hőformázhatóság szimulálása

A hőformázással előállított műszaki és csomagolástechnikai eszközökhöz gyakran alkalmaznak *többrétegű félkész termékeket*, amelyek habréteget vagy textílféleséget is tartalmazhatnak. Annak megítélésére, hogy egy félkész termék alkalmas-e hőformázásra, ma különböző formák előállításával időigényes és költséges kísérleteket végeznek, de így is előfordul, hogy a gyakorlat nem igazolja a kísérletek biztató eredményeit. *Sokkal egyszerűbb volna a hőformázhatóságot egy végeselemes (FEM) szimulációs programmal ellenőrizni.* A többrétegű termékekre azonban ilyen program egyelőre nincs, és nincs olyan egyszerű és költségtakarékos eljárás sem, amellyel az anyagmodell kalibrálásához szükséges feszültség/nyúlás értékeket a hőformázásnak megfelelő körülmények között mérni tudnák.

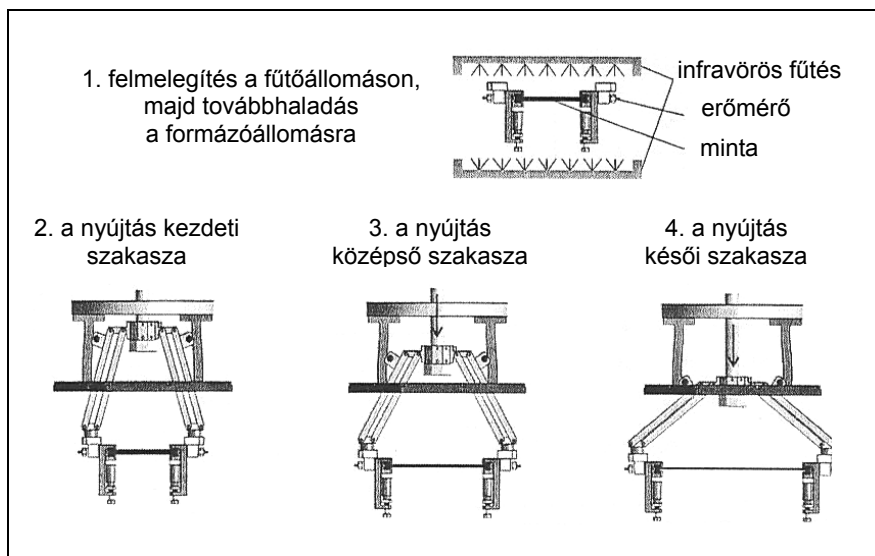
Mérőeszköz az előnyújtás vizsgálatára

Az aacheni Műanyag-feldolgozó Intézet (**Institut für Kunststoffverarbeitung, IKV**) vállalkozott arra, hogy kifejleszt egy olyan vizsgálóberendezést, amelyen az anyagmodell, majd a szimulációs program elkészítéséhez szükséges paramétereket meg lehet határozni. A berendezés leglényegesebb része a kör alakú félkészmintát előnyújtó szerkezet, amely nyolc rugós csipesszel a középponttól kifelé sugárirányban húzva végzi a nyújtást (2. ábra). A rugók arra szolgálnak, hogy ellensúlyozzák az anyag nyúlás okozta ellenállás-változását. Mindegyik csipesz a húzás irányában ható erőméréssel van felszerelve.

A csipeszekkel megfogott mintát mágnesekkel tartószerkezetbe helyezik, amelyekkel együtt az infravörös fűtőállomásra megy (3. ábra 1. lépés). Amikor a minta elérte a formázás hőmérsékletét, a tartókeret továbbhalad a formázóállomásra (3. ábra 2. lépés). Az előnyújtó szerkezet felső része lesüllyed, és elektromágnesek veszik át a csipeszeket a tartószerkezetből. Ennek következtében a minta megnyúlik (3. ábra 3. lépés). A formázóelemek a mozgást úgy szabályozzák, hogy a bélyeg szárának 1:1 arányú süllyedése a csipeszeket vízszintes irányban mozdítja el (3. ábra 4. lépés). A maximális nyújtási arány 1:3, a nyújtás sebessége 0–0,5 m/s között tetszős szerint változtatható. A vizsgálat eredményeképpen meghatározhatók a félkész termék feszültség/nyúlás tulajdonságai a félkész termék anyagának, a fűtőteljesítménynek, a formázási hőmérsékletnek és az előnyújtási sebességnek a függvényében.



2. ábra A félkész termékek hőformázhatóságának vizsgálatára szolgáló berendezés nyújtószerkezete

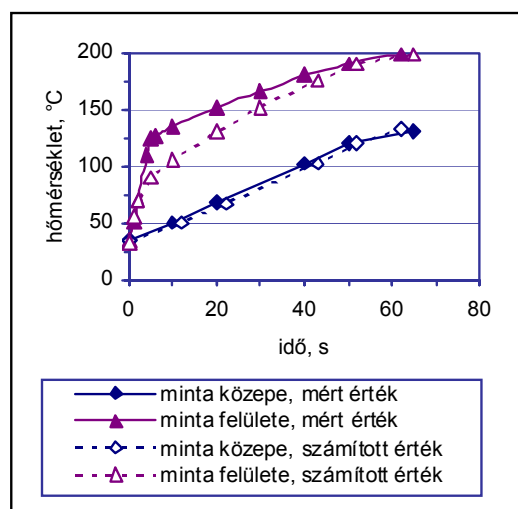


3. ábra Az előnyújtó szerkezet működése

A minta felmelegítésének szimulálása

Mivel a mai hőformázandó anyagok között nem ritka a többrétegű, és némelyikükben habosított műanyag vagy textilréteg is található, amelyek termikus tulajdonságai erősen eltérnek egymástól, nem egyértelmű, hogy hogyan viselkedik a félkész ter-

mék a fűtőállomásban. Az IKV korábban már kifejlesztett egy szoftvert a hőformázható anyagok fűtésének szimulálására, de meg kellett vizsgálni, hogy ez hogyan alkalmazható az összetett rendszerekre. Ezért egy tömör PP rétegből, habosított PP rétegből és vékony termoplasztikus poliolefinelasztomer (TPO) fedőrétegből felépülő félkész termék két rétege közé hőelemet építettek, tömör PP rétegének felületét pedig optikai pirométerrel mérték a fűtőállomásban, és felvették az idő-hőmérséklet görbéket. Ugyanezeket a „Heizung” elnevezésű szoftverrel is szimulálták. Az eredményeket a 4. ábra mutatja. A hőformázás szempontjából döntően fontos belső hőmérséklet mért és számított görbéi gyakorlatilag fedik egymást. A felületi hőmérséklet különbségei abból adódnak, hogy a pirométer nemcsak a minta felületének, hanem a környezetnek a hőszugárzását is észleli. A felmelegítés időtartamának végére azonban a különbségek kiegyenlítődnek.

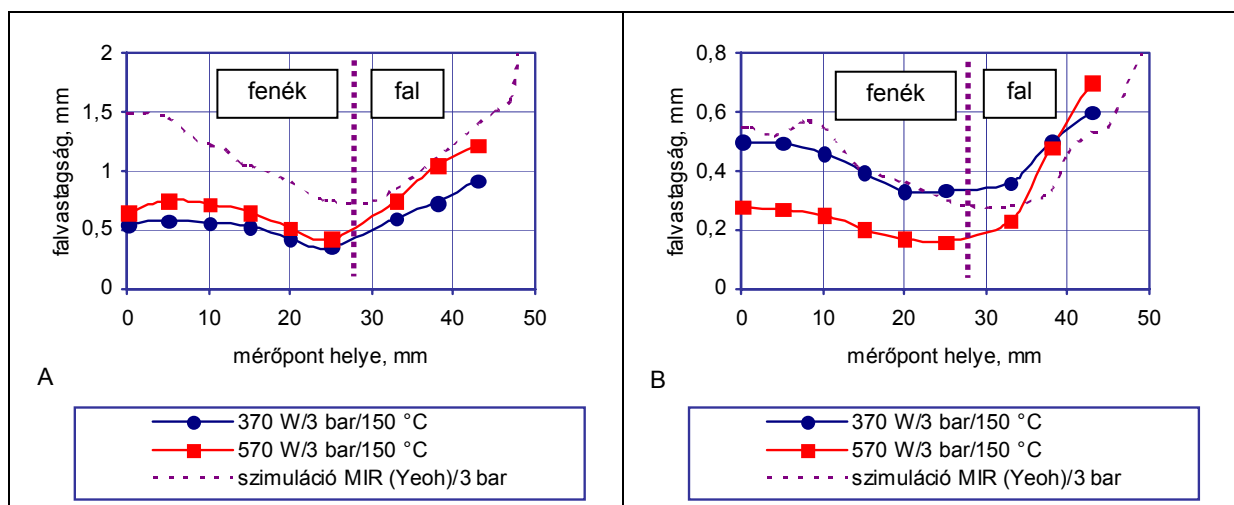


4. ábra A háromrétegű félkész termék középső rétegében és felületén mért és szimulált hőmérsékletértékek a fűtőállomásban az idő függvényében

A hőformázhatóság megítélése FEM segítségével

Az előnyújtó szerkezet kifejlesztése alatt a kutatók tapasztalatokat szereztek arról, hogy hogyan lehet a szimulációhoz szükséges anyagmodelleket és -paramétereket az anyagokra vonatkozó adatokból előállítani. Az anyagi tulajdonságok meghatározásához felhasználták a *membrán-inflációs reométert (MIR)*. Ez elismert eszköz a nyúlás alatti reológiai tulajdonságok megismerésére. A vizsgálat során a temperált félkész terméket olajfürdőben olajárammal formázzák. Az eljárás hátránya, hogy a temperálás körülményei nem azonosak a hőformázás temperálásával, és hogy csak átlátszó anyagok vizsgálatára alkalmas, de az általa kapott mérési adatok nagyon jól megközelítik a Yeoh és Ogden által hiperelasztikus anyagokra készített modellel számított adatokat.

Hasonló számítások elvégzése érdekében a kutatók körszimmetrikus poharakat állítottak elő negatív hőformázó eljárással. A kísérletek során változtatták a húzás mélységét, a fűtőteljesítményt, a formázás hőmérsékletét és nyomását. Roncsolásmentesen mérték a gyártott poharak falvastagság-eloszlását. Ugyanezt számítással is meghatározták a szimulációs szofverrel is. Az 5. ábrából látható, hogy a kompakt, vékony többrétegű (PP-EVOH) fóliából húzott poharak mért és számított értékei jól egyeznek. A TPO és habrétegből felépülő félkész termék adatai nem ilyen egységesek. Míg a falvastagság adatai közötti különbségek nem túlságosan nagyok, a pohár fenekén a mért és számított értékek jelentősen eltérnek egymástól. A szimulációs program ugyanis feltételezi az anyagok állandó térfogatát, a habszerkezet viszont melegítéskor meglágyul, majd a levegőnyomás hatására összenyomódik, térfogata tehát változik. A MIR módszer és a szimuláció ezeket a jelenségeket nem tudja megjeleníteni. Az IKV új előnyújtó szerkezete erre ad lehetőséget.



5. ábra Kétféle félkész termékből különböző hőteljesítménnyel, 3 bar nyomással és 150 °C hőmérsékleten hőformázott valódi poharakon mért vastagságeloszlás és ugyanilyen poharakra és gyártási körülményekre szimulációval számított értékek. (A félkész termékek felépítése: A kép - TPO + habréteg; B kép - PP + EVOH)

A habszerkezetű félkész termék első vizsgálati eredményei az előnyújtó szerkezettel arra engedtek következtetni, hogy az kielégíti a hőformázható anyagokra vonatkozó követelményeket (amit a gyakorlati próbák igazoltak). Egy-egy mérés az előkészítéssel együtt öt percig tartott. A továbbiakban sokféle hőformázásra szánt félkész terméket fognak ezen a berendezésen vizsgálat alá vetni. A MIR adatok révén nyert felismeréseket hasznosítani fogják az új mérési eljárásban, és újabb hőformázási szimulációs számításokat végeznek majd. A hőformázással elkészített valódi poharak és a MIR eljáráson alapuló szimulációs számítások falvastagság-eloszlásra vonatkozó adatai mutatják majd meg a mérőmódszer teljesítőképességét.

Összeállította: Pál Károlyné

Weinert, C.; Konrad, W.: Durch ein Minus zum Plus = Kunststoffe, 99. k. 8. sz. 2009. p. 46–50.
Konrad, W.: Zielgenau gesteuert = Plastverarbeiter, 60. k. 1. sz. 2009. p. 44–45.
Michaeli, W.; Begemann, M.; Ederleh, L.: Gut simuliert ist besser als aufwändig experimentiert = Plastverarbeiter, 60. k. 8. sz. 2009. p. 22–24.