

Hőformázás az eddiginél tudatosabban

Hőformázással nagyon sokféle csomagolóeszközt, egy idő óta műszaki cikkeket is gyártanak. A vékony falú csomagolóeszközök rövid élettartamú tömegtermékek, ezért nagy termelékenységgel és olcsón – emellett jó minőségben – kell őket előállítani. Több kutatóhelyen próbálják ezt a régi technológiát továbbfejleszteni. Az egyikben azt vizsgálják, hogy hogyan lehet a formázást adalékokkal befolyásolni, egy másikban lézersugaras kiegészítő melegítéssel próbálják a hőformázott darabok falvastagságát egyenletesebbé tenni és ezáltal anyagot megtakarítani.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hőformázás; fejlesztés; adalékok hatása; lézertechnika; falvastagság-eloszlás.

A hőformázás a csomagolóeszközök és a műszaki építőelemek előállításában gyakran alkalmazott műanyag-feldolgozó eljárás. Ez látszatra egyszerű módja az alakadásnak, de nagy hozzáértés kell hozzá, és az ilyen módon gyártott termékekre is vonatkoznak az olyan elvárások, hogy tulajdonságaik egyre jobbak, előállítási költségeik egyre alacsonyabbak legyenek. A műanyag-feldolgozással foglalkozó kutatóhelyeken ezért azon dolgoznak, hogy a hőformázás tudatosabb, a termékek minősége megbízhatóbb legyen, emellett kevesebb anyagból (kisebb falvastagsággal) lehessen őket gyártani.

Az aacheni Műanyag-feldolgozási Kutatóintézetben (IKV, Institut für Kunststoffverarbeitung) pl. azt tanulmányozzák, hogy hogyan hatnak a különböző adalékanyagok a félkész termékek, áttételesen a hőformázott formadarabok tulajdonságaira. A Stuttgarti Egyetem Műanyag-technikai Intézetében (IKT, Institut für Kunststofftechnik) pedig azt kutatják, hogyan lehetne formázás előtti előmelegítéskor a lemez vagy fólia hőmérsékletét kiegészítő lézersugárzással homogénebbé és ezáltal a formázott darabok falvastagságát egyenletesebbé tenni.

Adalékok hatása a hőformázásra

A hőformázott termék minőségét legtöbbször a falvastagság-eloszlás alapján ítélik meg, ez ugyanis kihatással van többek között a mechanikai tulajdonságokra, a felület minőségére és az áteresztőképességre, áttételesen a darab tartósságára és védőhatására.

A formadarab minőségét az előállítása közben alkalmazott valamennyi munkaművelet (anyagkiválasztás: amorf, kristályos, homo- vagy kopolimer-e az alapanyag;

extrudálás paramétereit: hőmérséklet, nyomás, kihozatal, hűtés, adalékok, töltőanyagok; hőformázásra szánt fólia tulajdonságai: kristályossági fok, szín, felületi fényesség, átlátszóság, sűrűség; hőformázás paramétereit: felmelegítés időtartama és hőmérséklete, nyomás; nyújtás, hűtés; a hőformázott termék jellemzői: kivétel a szerszámból, falvastagság, nyomószilárdság, áteresztőképesség, felület minősége, hegeszthetőség, nyomtathatóság) befolyásolja. Az extrudáláskor a műanyagömladékbe bekevert adalékok jelentősen befolyásolhatják a késztermék tulajdonságait. Az adalékok hatásának ismerete különösen fontos abban az esetben, ha az alapanyag-szállító módosítja termékét, és a feldolgozóknak adalékok alkalmazásával kell kompenzálnia az eltérést a korábbi anyagoktól.

Mivel az adalékok hőformázásra kifejtett hatásáról gyakorlatilag nincsenek adatok, az IKV ezen a területen próbált új ismereteket szerezni. Kísérleteiben részlegesen kristályos polimerként a Basell Polyolefine GmbH (Wesseling) *HP400H* típusú poli-propilénjét (PP), amorf műanyagként a Styrolution GmbH (Ludwigshafen) *186M* típusú erősen ütészálló és *165H* típusú nagy molekulatömegű polisztiroljának (PS) keverékét alkalmazta. Az adalékokat mesterkeverék formájában részben az A. Schulmann GmbH-től (Kerpen), részben a Clariant Masterbatch GmbH-től (Ahrensburg) szerezte be. Ezek a következők voltak:

PP-ben – *antisztatikum: Polybatch ASV 20 G (AS1), Polybatch ASPA 2446 (AS2)*
csúsztató: Polybatch SPER (GM1), CESA-slip PEA 0025148 (GM2)
antiblokkoló adalék: Polybatch ABPP 05 (AB1), CESA-block 1102 (AB2)
titán-dioxid: Remafin-weiss RCL-AE30 (TiO₂)

PS-ben – *antisztatikum: Polybatch ABPS 055 S (AS)*
antiblokkoló adalék: Polybatch ASP 066 (AB)
feldolgozást segítő adalék: Polybatch PS AMF 2002 S (AMF)
titán-dioxid: Renol-weiss R-CSNEU (TiO₂)

A különféle adalékokkal kevert ömladékekből 60 mm átmérőjű csigát tartalmazó 27 L/D-s extruderrel és 400 mm-es szélesrésű szerszámmal egyrétegű fóliákat állítottak elő. Valamennyi fóliát azonos paraméterekkel extrudálták. A fóliákból 60 mm átmérőjű, 40 mm magas, lefelé enyhén szűkülő csészéket készítettek nyújtóbélyeges (negatív) előnyújtással.

A kísérletekben elemezték az extrudálás paramétereit, a fóliák tulajdonságait (morfológia, kristályossági fok, sűrűlási tulajdonságok, zsugorodás), a hőformázás jellemzőit (a felmelegítés folyamata) és a formadarab jellemzőit (falvastagság-eloszlás, nyomás alatti viselkedés). A kísérletek egy részében az adalékok hatását egyenként, másik részében egymással kombinálva vizsgálták. Az utóbbi kísérletek eredményeit másutt korábban publikálták, az alábbiakban az adalékok egyedi hatásának megfigyelése található.

Az adalékok hatása a fólia felmelegedésére

Az adalékok bekeverésével megváltozhat a részlegesen kristályos PP fólia felmelegítésének időtartama. A felmelegedés időtartama a fólia hősugárzó alá helyezésétől a

hőformázásra alkalmas felületi hőmérséklet eléréséig terjedő idő. A PP-be adagolt mindkét antisztatikum kb. 13%-kal csökkentette ezt az időtartamot az adalék nélküli referenciafólia felmelegedési idejéhez viszonyítva. A Clariant csúsztatója és antiblokkoló adaléka (*GM2*, *AB2*) nem változtatta meg a felmelegedés időtartamát, az *ABI* ezzel szemben 17%-kal meghosszabbította, a *GMI* csúsztató 19%-kal megrövidítette azt. Az adalékok mennyiségének változtatása gyakorlatilag nem módosította a felmelegítés időtartamát.

A PS fóliák felmelegedésének időtartamát az adalékok nem befolyásolták, csupán a TiO₂ adagolásakor észleltek kb. 5%-os növekedést.

A hőformázott poharak tulajdonságainak változása az adalékok hatására

A falvastagság-eloszlásának mérésére a hőformázott csésze keresztmetszete mentén a pohár fenekének középpontjából kiindulva 5 mm-enként jelölték ki a mérési pontokat (*1/A ábra*). A falvastagságot roncsolásmentesen határozták meg. A PP csészék talpán mért értékeket (a fólia eredeti vastagságához viszonyítva) az *1/B ábra* mutatja. Látható, hogy az *ASI* antisztatikum, a *GMI* csúsztató, az *ABI* antiblokkoló adalék és a TiO₂ befolyásolja a falvastagság eloszlását. Az *ASI* adalék arányosan vékonyabbá teszi a csésze fenekét, a *GMI* és az *ABI* vastagítja, főképpen a középpontban. A többi adalék bekeverése nem változtatta meg a falvastagság eloszlását. A PS csészén a PP-hez viszonyítva csak kisebb változásokat észleltek.

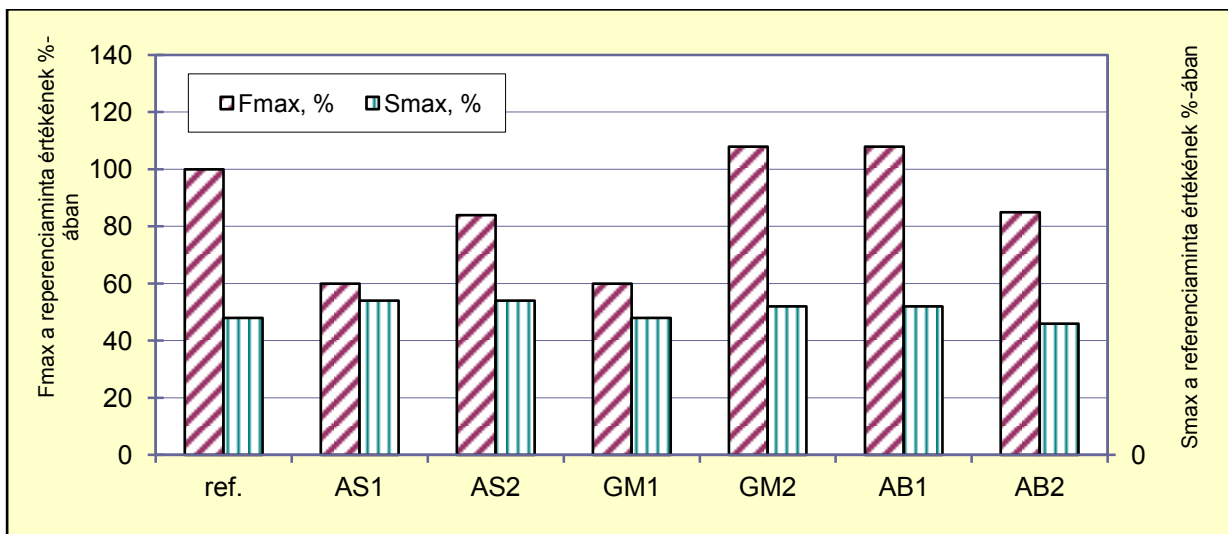
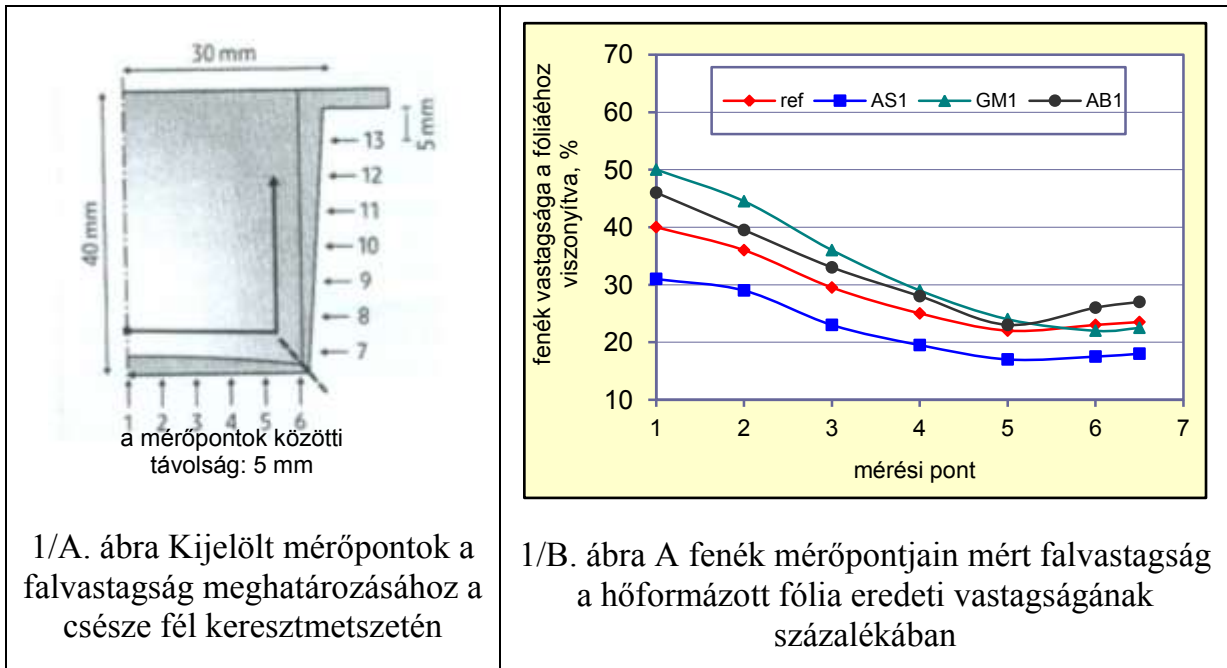
A csészék fontos tulajdonsága a terhelhetőség, egymásra halmozva az raktárban vagy szállítás közben nem rogyhatnak össze. Ezért a hőformázott csészéket, talpuk felől terhelve nyomáspróbának vetették alá. Mérték az összeroppantáshoz szükséges erőt, és az addig kialakult összenyomódást. Az eredményeket a referenciamintákéhoz viszonyítva a *2. ábra* mutatja. A PP csészék terhelhetőségét mindkét antisztatikum csökkenti, a csúsztatók és antiblokkolók hatása nem egyértelmű. Hatásukhoz valószínűleg hozzájárul a mesterkeverék mátrixpolimerje.

Érdekes megfigyelés, hogy kis mennyiségű (1%) TiO₂ 26%-kal növeli a terhelhetőséget, 2–3% ezzel szemben 10%-kal csökkenti azt a referenciapoharakéhoz képest.

A megfigyelések összegzése

A kutatók megállapították, hogy az extrudált fóliák és közvetve a hőformázott formadarabok tulajdonságait a bekevert adalékok módosíthatják. A vizsgált adalékok hatásának megfigyelt irányát az *1. táblázat* érzékelteti. A változások mértéke azonban előre nem becsülhető meg, mert az mindenkor az éppen alkalmazott mesterkeveréktől függ. További kísérletekben kellene megtapasztalni, hogy a kapott eredmények érvényesek-e más polimerekre. Az eddigiekből úgy tűnik, hogy az adalék mennyiségének nincs döntő szerepe a tulajdonságváltozások mértékében. A kívánt hatás már a gyártó által ajánlott mennyiségnél kevesebb adalékkal is elérhető, ami javíthatja a gazdaságosságot. Azokkal az adalékokkal, amelyek csökkentik a felfűtés időtartamát, hőener-

giát lehet megtakarítani. A részlegesen kristályos PP érzékenyebben reagált az adalékokra, mint az amorf PS.



A fólia vagy a kész formadarab tulajdonságváltozásának iránya
a vizsgált adalékok hatására

Polimer	Polipropilén							Polisztirol			
	AS1	AS2	AB1	AB2	GM1	GM2	Ti ₂ O	AB	AS	AMF	TiO ₂
Felmelegedés időtartama	-	+	+	0	-	0	+	0	0	0	+
Fenékvastagság közepén	-	0	+	0	+	0	+	+	+	+	-
Összeroppanáskor mért erő	-	-	+	-	-	+	0	+	+	0	+
Összeroppanáskor mért rövidülés	+	+	0	-	0	0	-	0	+	+	+

Változás iránya: – a referenciamintáénál kisebb érték, + a referenciamintáénál nagyobb érték, 0 a referenciamintáéhoz hasonló érték.

Kiegészítő lézersugaras előmelegítéssel egyenletesebbé tehető a falvastagság

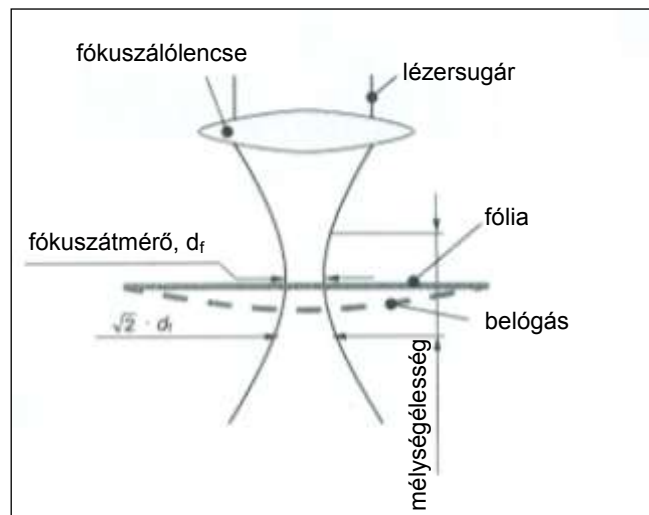
A hőformázásra szánt fóliát vagy lemezt a formaadás előtt termoelasztikus állapotáig fel kell melegíteni. Ehhez legtöbbször kétoldali (alsó-felső) hőszugárzót használnak, de konvekciós vagy kontakt fűtést is alkalmazhatnak. A fröccsöntőkhöz hasonlóan a hőformázók is törekszenek a termékek falvastagságának csökkentésére, mert a gyártási költségek kb. 80%-át az anyagköltség teszi ki. A csésze vagy pohár formájú csomagolóeszközök formázásakor azok falait igen nagy arányban nyújtják meg, és egyenetlen falvastagság kialakulásakor előfordulhat, hogy a túlnyújtott fal miatt a csomagolóeszköz használhatatlanná válik. Nyújtóbélyeges előnyújtással egyenletesebbé válik a falvastagság, de ennek az eljárásnak is megvannak a maga határai. Az egyenetlen falvastagságot a fólia jól szabályozott és homogén hőmérséklete is elősegíti, de az optimális hőmérsékletprofil kialakításával eddig csak nagy felületű termékek – fűrdőkádak, zuhanytálcák – formázásánál foglalkoztak. Kis felületű tömegtermékek gyártásakor kizárólag hőszugárzóval finom hőmérsékletprofil nem lehet beállítani.

Finomhangolás lézersugárral

A Stuttgarti Egyetem Műanyag-technikai Intézetében, az IKT-ben arra gondoltak, hogy a finom beállítást helyileg alkalmazott kiegészítő *lézersugaras hőforrással* lehetne megoldani, és ezt az eljárást kis felületű darabok gyártásakor is lehetne alkalmazni.

A kísérletekhez az intézet egy meglévő laboratóriumi hőformázó berendezését alakították át. Az infravörös fűtőberendezés fölé lézersugárforrást és sugárvezető rendszert építettek be. A megfelelő hőmérsékletprofil kialakítása érdekében a lézerrendszer szabályozórendszerét összekötötték a hőformázó gép szabályozórendszerével. A fólia előmelegítését két lépésben végzik. Az első lépésben bevezetik a fóliát a hőszugárzóba, amelynek alsó és felső részében 16–16 kerámiatest melegíti fel a fóliát a feldolgozási hőmérséklet alsó értékéig. Ezt követően a hőszugárzó oldalra csúszik, és a második lépésben a lézersugár az előre meghatározott helyeken további hőenergiát visz be a fóliába. Az így felmelegített fólia ezután a formaadó szerszámba kerül, és elindul az újabb ciklus.

A lézerrendszer levegőhűtéses CO₂-lézerből és síkoptikával felszerelt galvanométeres szkennerből áll, ezzel fókuszálják és irányítják nagy sebességgel a lézersugarat a fólia felületén. A lézersugár hullámhossza 10,6 μm, a sugárforrás teljesítménye 70 W, teljesítményfelvétele 1,1 kW, a galvanométeres szkennerek pásztázó sebessége 0–3,5 m/s, a síkoptika fókusztávolsága 435 mm, a fókusztátmérő 1,6 mm, a munkaterület 300 x300 mm. A síkoptika nagy fókusztávolsága 300 mm-es mélységélességet ad (3. ábra).

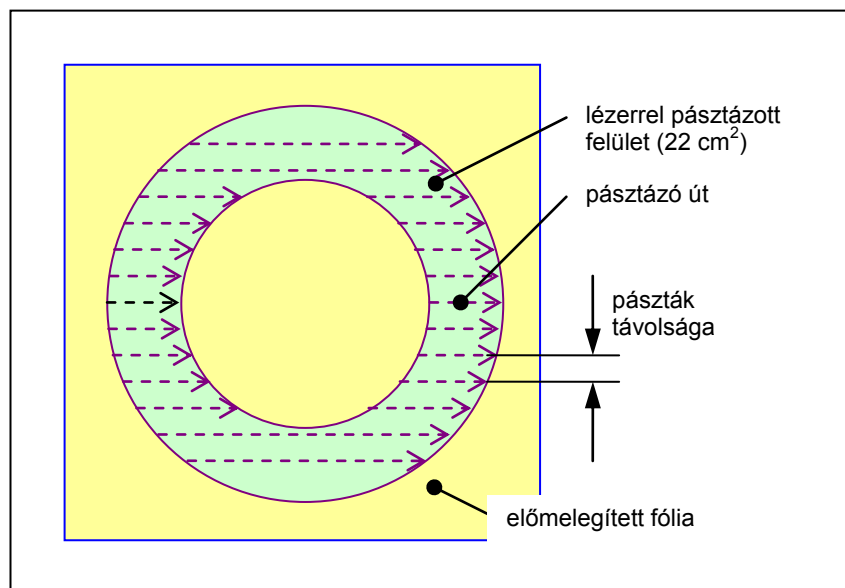


3. ábra A lézersugár fókuszálása a fóliára

A berendezésen polisztirolfóliából 69 mm átmérőjű, 75 mm magas poharakat készítettek nyújtóbélyeges (negatív) előnyújtással. Kétféle vastagságú, 1000 és 850 μm vastag PS fóliával dolgoztak, a nyújtási próbák során formázásuk jelentős hőmérsékletfüggést mutatott. Infravörös spektroszkópos vizsgálatok azt mutatták, hogy a lézersugár 100 μm-nél kisebb mélységig hatol be a fóliába, a fólia tehát jól abszorbeálja a lézersugár hőenergiáját.

A lézersugaras kiegészítő hőközlés hatása a falvastagság-eloszlásra

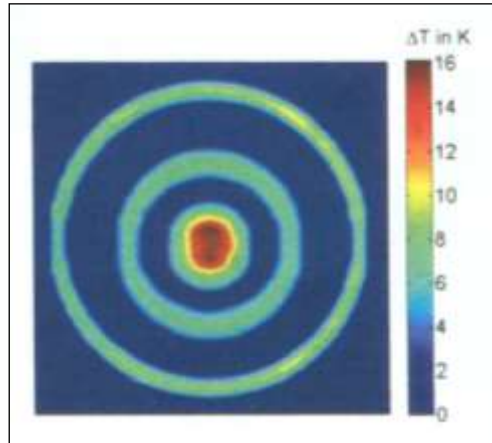
A másodlagos felmelegítéshez alkalmazott sugárvezető rendszer más lézersugaras eljárásoknál (pl. a lézersugaras feliratozásnál) megszokott fókuszátmérőnél nagyobb átmérőjű sugarat hoz létre. A lézersugár keresztmetszete a fókuszban a felmelegítendő felülethez viszonyítva így is nagyon kicsi. Nagy kihívást jelent, hogy a fólia egy kiválasztott részét gyorsan és egyenletesen kell csak az egyik oldal felől tovább melegíteni úgy, hogy az termikusan ne sérüljön, és a fólia a formázáskor teljes vastagságában egyenletes hőmérsékletű legyen. Előkísérletekben mérték ki, hogy maximálisan 3500 mm/s pásztázó sebességet és 40 W lézerteljesítményt alkalmazva kellően rövid a pásztázás időtartama ahhoz, hogy a felületen ne hagyjon nyomot. A kör keresztmetszetű pohár formázásához a fólia felületén gyűrű alakú területet jelöltek ki a másodlagos felmelegítésre (4. ábra). A pásztázás úthosszát és a pászták távolságát variálva a felső hőszugárzó felett és az alsó hőszugárzó alatt elhelyezett hőkamerával ellenőrizték a felmelegedés egyenletességét. Optimálisnak a 22 cm² területű gyűrűt és a pászták 1 mm-es távolságát ítélték. Ilyen paraméterekkel a pásztázás időtartama 0,8 s volt, a gyűrű hőmérséklete pedig 3,2 s-mal annak befejezése után alul-felül (ennyi idő kell a felmelegített fólia formázószerszámba helyezéséhez) közel azonos hőmérsékletű volt. A homogén felmelegedést elsősorban a pászták távolsága befolyásolta.



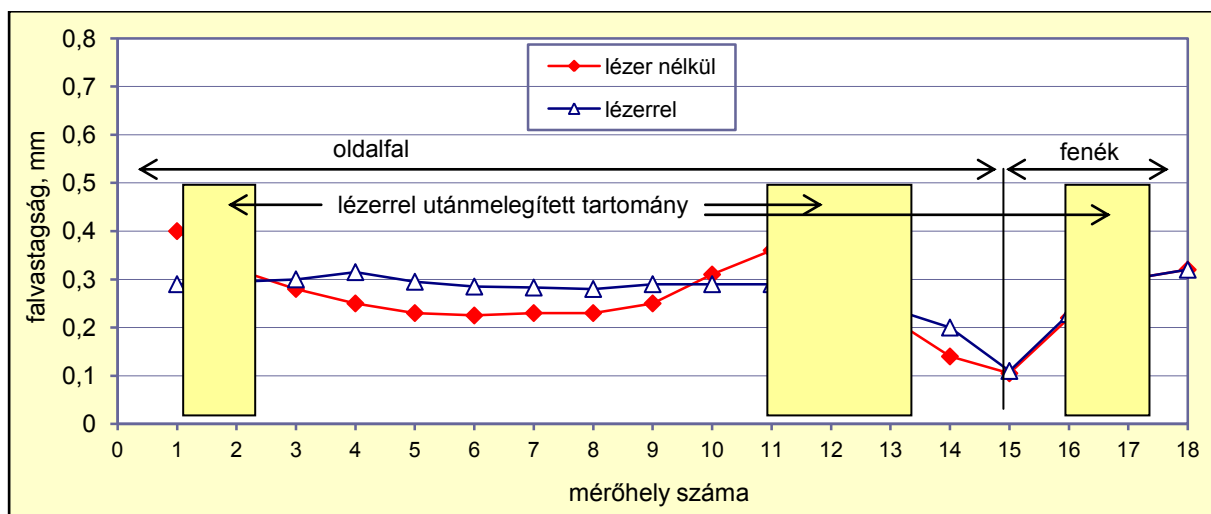
4. ábra Pásztázó utak a hőszugárzással előmelegített fólia felületén

Hőformázással poharakat készítettek csak hőszugárzóval és hőszugárzást követő lézeres besugárzással felmelegített fóliákból. A 2,1 s időtartamú lézeres utánmelegítés optimalizált hőkamerás képe az 5. ábrán látható. A nyújtóbélyeg sebessége és a szerzőnyomás minden esetben azonos volt. Az eredetileg 1000 μm vastag fóliából csak hőszugárzással és hőszugárzás után lézerral kiegészített felmelegítés után készített pohar-

rák falvastagság-eloszlását az 6. ábra mutatja. Az előmelegítés időtartama mindkét esetben 45 s, a nyújtóbélyeg és a szerszám fenekének távolsága 11 mm volt. A perem alatt kijelölt 1 mérőpont és a pohár pereme, továbbá a mérőpontok között 5 mm volt a távolság.



5. ábra A lézeres utánmelegítés hőkamerás képe

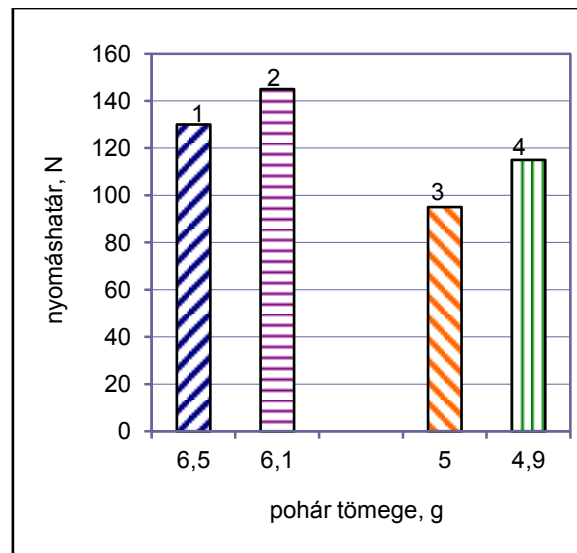


6. ábra 1000 μm vastag fóliából lézeres utánmelegítés nélkül és lézeres utánmelegítéssel hőformázott poharak falvastagság-eloszlása. (A mérőpontokat ugyanolyan elv szerint jelölték ki, mint az 1. ábrán, de ez esetben a pohár felső pereme alatt volt az 1., a pohár fenekének központjában a 18. mérőpont.)

A lézeres utánmelegítés nélküli poharak falvastagság-eloszlása jellemző a nyújtóbélyeg segítségével hőformázott poharakra. A pohár nyílásától lefelé a falvastagság először jelentősen csökken, majd egy viszonylag hosszú szakaszon állandósul. A fenék

felé a pohár fala ismét vastagabb lesz, amit a nyújtóbélyeg és a fólia között fellépő súrlódás okoz. Egy újabb vékonyodó szakasz után a pohár falvastagságának minimuma az oldalfal és a fenék átmeneténél mérhető.

A lézeres utánmelegítéssel hőformázott poharak falvastagsága sokkal egyenletesebb. A pohár oldalának és fenekének vastagsága hosszabb szakaszon alig változik. Az átmenetnél azonban a fal ugyanúgy elvékonyodik, mint a lézer nélkül formázott pohárré. Ez a jelenség a formadarab és a nyújtóbélyeg geometriájára vezethető vissza. A formázást befejező sűrített levegő befújásakor itt a legnagyobb mértékű a gyors megnyújtás.



7. ábra 1000 (1., 2. oszlop) és 850 (3., 4. oszlop) μm vastag fóliából lézer nélkül (1., 3. oszlop) és lézeres utánmelegítés után (2., 4. oszlop) hőformázott poharak tömege és összeroppanáskor mért nyomáshatárak

A továbbiakban azt vizsgálták, hogy hogyan vihetők át a kapott eredmények vékonyabb félkész fóliákra. Az azonos módon – lézersugárral vagy anélkül – utánmelegített 1000 és 850 μm vastag fóliából hőformázott poharak falvastagság-eloszlása nagyon hasonló volt. A vékonyabb fóliából készített poharak ugyanazokon a szakaszokon voltak vastagabbak vagy vékonyabbak és a lézeres kezelést kapott vékonyabb falú pohár falvastagsága is jóval egyenletesebb volt, mint az utánmelegítés nélkülié.

A 7. ábra a poharak nyomóvizsgálatának eredményeit mutatja. Látható, hogy lézeres utánmelegítéssel nemcsak egyenletesebb falú poharat lehet gyártani, hanem anyagot is meg lehet takarítani.

További tervek

Az IKT további tervei szerint azt fogja megvizsgálni, hogy alkalmazható-e a kiegészítő lézeres helyi utánmelegítés az extrúziós fúvóformázásban. Arra számítanak,

hogy egy rövidebb hullámhosszú lézerforrásból (pl. Nd:YAG lézerből) származó sugarak nagyobb mélységig tudnak behatolni a vastagabb falú vagy töltőanyagot tartalmazó félkész termékbe, és ezáltal egyenletesen fel tudják melegíteni azt. Tovább akarják fejleszteni a lézersugarat vezető berendezést is, hogy nagyobb félkész darabokat is a pillanat tört része alatt tudjanak helyileg felmelegíteni.

Összeállította: Pál Károlyné

Hopmann, CH.; Begemann, M.; Martens, J.: Formeigenschaften mit Additiven beeinflussen = Kunststoffe, 103. k. 2. sz. 2013. p. 30–32.

Neurig, B.; Bonten, Ch.: Laser verbessert Wanddickenverteilung = Kunststoffe, 103. k. 5. sz. 2013. p. 32–36.