

Újra divatosak lesznek a hőre keményedő műanyagok?

A sokoldalú és könnyen feldolgozható hőre lágyuló műanyagok az elmúlt évtizedekben erősen kiszorították az 50-60 évvel ezelőtt széles körben alkalmazott hőre keményedő műanyagokat. Úgy tűnik, hogy az utóbbiak újra divatba jönnek. Egy kutatóintézetben pl. (a világon elsőként) bebizonyították, hogy a fenoplasztokat igenis lehet folyamatosan extrudálni. Egy másik kutatóintézetben epoxigyantából öntött szerszámbetétekkel készítették olcsó fröccszerszámokat kis sorozatban megrendelt termékek gyártásához.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hőre keményedő műanyagok; fenoplaszt; extrudálás, gyantaöntés; epoxigyanta; szerszámgyártás.

A világon első folyamatosan extrudált fenoplaszt csövek

A hőre keményedő műanyagokban kikeményedés (térhálósodás) után a polimerláncokat sűrű, háromdimenziós keresztkötések tartják össze. Ennek köszönhető kiemelkedő termomechanikus tulajdonságaikat, méretállandóságukat és vegyszerállóságukat. A hőre keményedő műanyagok egyes fajtáit szilárd halmazállapotban, granulátum vagy por formájában forgalmazzák. Ezek nagymennyiségű töltő- vagy erősítőanyagot tartalmazó anyagok, amelyeket kötőanyagként a hőre keményedő gyanta tart össze. Ezek a gyanták eredetileg kis molekulatömegű, könnyen megolvasható polimerek, amelyek nagyon jól nedvesítik a töltőanyagokat, ezért igen magas százalékban lehet ilyeneket hozzájuk keverni. Az keverékeket korábban sajtolóanyagoknak nevezték, mert eleinte kizárólag sajtolással dolgozták fel őket [és szokás volt őket „bakelit”-ként emlegetni egyik korai márkanevük után, hasonlóan a poliamidhoz és a poli(tetrafluor-etilén)-hez, amelyeket a pongyolább szaklapokban még ma is nylonnak vagy teflonnak hívnak]. Ma inkább a „Formmasse” (formázóanyag) megnevezést használják, mert ezeknek a műanyagoknak ma már fröccsönhető változatai is vannak. Műszaki célokra leginkább a fenol-formaldehideket (fenoplasztok), a telítetlen poliésztereket és öntőgyantaként az epoxigyantás készítményeket alkalmazzák.

Ezeknek az anyagoknak a feldolgozás alatt az idő függvényében nagyon más-képpen alakul a viszkozitása, mint a hőre lágyuló műanyagoké. Míg a hőre lágyuló műanyagokat tetszőlegesen hosszú ideig lehet ömledékformában tartani, a hőre keményedő formázóanyagokban feldolgozáskor bizonyos idő után (a feldolgozási hőmérséklettől és reaktivitásuktól függően) megindul a térhálósodás, amitől gyorsan növekszik a viszkozitás. Emiatt nagyon szűk az a feldolgozási ablak, amelyen belül meg kell

történnie a formaadásnak. A feldolgozási folyamatban ezért nagyon pontosan kell beállítani a tartózkodási időt és a hőmérséklet lefutását.

Fenoplasztok folyamatos feldolgozása – a világon elsőként

Hőre keményedő műanyagokból eddig is gyártottak csöveket és profilokat száltekeressel és szálimpregnálásos profilhúzással (pultrúzióval). Ezekben az eljárásokban a végtelen szálkötegeket (rovingokat) folyékony gyantával itatták át, majd az impregnált szálköteget a kívánt formának megfelelő szerszámba helyezték és ebben térhálósították. Ezek – és lényegében a fröccsöntés is – szakaszos eljárások. A hőre keményedő granulátumok folyamatos extrudálását eddig senki sem oldotta meg.

A Chemitzi Műszaki Egyetem Könnyűszerkezeti és Műanyag-feldolgozó karán (Professur für Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung) kutatói bebizonyították, hogy nem lehetetlen a reaktív fenoplasztokból folyamatos extrudálással csövet gyártani, és ez által a hőre keményedő műanyagok kitűnő tulajdonságait és a folyamatos extrudálás előnyeit egyesíteni.

Ehhez természetesen egy egészen újszerű extrúziós technológiát kellett kifejleszteni, amelyben a hőmérséklet lefutását és a műanyag haladási útját és idejét nagy pontossággal összehangolják a hőre keményedő anyagok sajátos termikus érzékenységgel és reaktivitásával.

Az eljárás alapját a hőre lágyuló műanyagok klasszikus extrudálása képezi. A granulátum formájú formázóanyagot az extruderbe adagolják, amelyben az megömlik, az ömledéket a csiga a kihordó zóna felé szállítja, ahol a szerszámba jut, ott bekövetkezik a formázás, a kalibrálás és a térhálósodás, A szerszámból kilépő, teljesen kikeményedett cső ezután szobahőmérsékletre hűl le, majd a vágószerkezet a megfelelő hosszúságban levágja.

A gyártórendszer

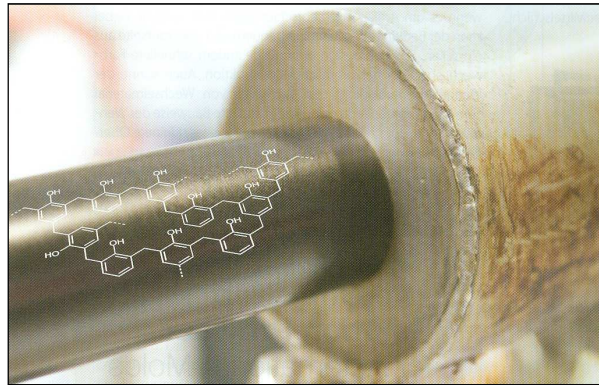
A kutatók a kísérleteket a Noris Plastic GmbH (Altdorf/München) NPE30 típusú extrudersorán végezték. Ez 30 mm átmérőjű egycsigás hengert, kalibráló és hűtőszakaszt, hernyótalpas elhúzó és nyújtóegységet tartalmazott. A benne lévő csigát a hőre keményedő műanyagok megolvasztásához jobban illeszkedő, korszerű csigára cserélték.

Az igazi újdonság az extruderszerszám. Ez két zónából áll. Az első zónában kitágítják és formázzák az ömledéket (ebben egy mélyen az ömledékáramba nyomuló tüske is részt vesz), a második zónában következik be a kalibrálás és a térhálósodás. Ezzel a szerszámmal 40 mm külső átmérőjű, 3 mm vastag falú csöveket gyártottak. A kísérletekben a Hexion GmbH (Iserhorn-Letmathe) különböző fenol-formaldehid formázóanyagait dolgozták fel.

A kísérleti munka

A kísérletek fő célja az volt, hogy tisztázzák, *lehetséges-e egyáltalán hőre keményedő műanyagokat extrudálni és hogy az extrudálást lehet-e folyamatosan végezni.*

Nagyszámú kísérletet végeztek különböző henger- és szerszámhőmérséklettel, illetve munkaponttal (csigafordulatszámmal), és ezekből fontos ismereteket szereztek. A legnagyobb kihívást a szerszám szabályozása jelentette, hogy a folyamatosan áramló anyag megfelelően formázódjék az első zónában és elérje a magas térhálósági fokot a második zónában. Egy hibás folyamatvezérlés túl korán indíthatja meg a térhálósodást a szerszámban, a hirtelen viszkozitásnövekedés pedig leállíthatja az egész folyamatot. Ha viszont a cső gyengén térhálósodott, a szerszámból kilépve nem lesz formastabil. Voltak olyan anyagok, amelyek tapadtak a szerszám falához, ami fluktuáló kiáramlást eredményezett, néha pedig meg is akasztotta azt. Végül két olyan formázóanyag maradt (jelük *A* és *B*), amelyeket optimalizált folyamatparaméterekkel folyamatosan – több órán át változatlan ömledéknyomással és ömledék-hőmérséklettel – tudtak extrudálni. Egy extruderszerszámból kilépő fenoplasztcső az *1. ábrán* látható.



1. ábra Egy extruderszerszámból kilépő fenoplasztcső a térháló rárajzolt sematikus kémiai képletével

A csövek minőségének ellenőrzésére elsőként keresztmetszetükből vágtak le gyűrű alakú szeleteket és fénymikroszkóppal vizsgálták őket. Sem az *A*, sem a *B* anyagból készített csövek mintáin nem észleltek összecsapási varratot. Mindkét anyag csöveinek külső felülete tökéletesen sima volt. A belső felületen azonban láttak különbségeket. Az *A* anyag csöveinek belső felületén repedést formázó levegőzárványokat találtak, a *B* anyag csövein ilyenek nem voltak. Feltételezték, hogy *A* anyag térhálósodási reakciójában kondenzációs gázok képződtek, amelyek nem tudtak eltávozni.

A kutatók legnagyobb eredményüknek azt tartják, hogy sikerült bebizonyítaniuk a hőre keményedő formázóanyagok extrudálhatóságát. Ennek a feldolgozási eljárásnak több előnye volna. A hőre keményedő műanyagokból készített csövek külső és belső felülete sokkal simább, mint a hőre lágyulóké, emellett nincs szükség az utóbbiaknál

alkalmazott vákuumos kalibrálásra, mert a csövek a szerszámból kilépve már kellően alaktartóak.

Ami az extrudált csövek minőségét illeti, meg kell jegyezni, hogy a felhasznált granulátumokat eredetileg fröccsöntésre szánták. Mire a hőre keményedő műanyagok extrudálása már a feldolgozó üzemek napi gyakorlatává válik, bizonyára lesznek extrudáláshoz ajánlott, erre a technológiára optimalizált alapanyagok is.

Epoxigyantából készített fröccsszerszám-betétek

Ha egy fröccsöntő üzemtől egy termékből csak kis sorozatot rendelnek meg, kérdéses, hogy az ehhez szükséges acélszerszám ára nem nagyobb-e, mint az üzem gyártásból származó bevétele, különösen akkor, ha a termék még utólagos kézi megmunkálást is igényel. Ilyenkor szóba jöhet egy alumíniumszerszám, esetleg egy öntött szerszám vagy a 3D-s nyomtatás. Ezeknek a lehetőségeknek az előnyeit és hátrányait az 1. táblázat érzékelteti.

1. táblázat

Kis sorozatok gyártására alkalmas költségtakarékos fröccsszerszámok jellemzőinek összehasonlítása

Jellemzők	Alumíniumszerszám	Nyomtatott szerszám	Öntött szerszám
Tartósság	nagy	csekély	közepes
Hővezető képesség	nagy	csekély	csekély
Kézi megmunkálhatóság	nagy	csekély (nyomás minőségétől függő)	jó előforma esetén szükségtelen
Beruházás*	nem szükséges	nagy	csekély
Technológia*	ismert	új	új
Megjegyzés*	költségmegtakarítás**	lásd a szövegben	a célnak megfelelő összetételű öntőgyanta szükséges

* A szokásos acélszerszámhoz viszonyítva.

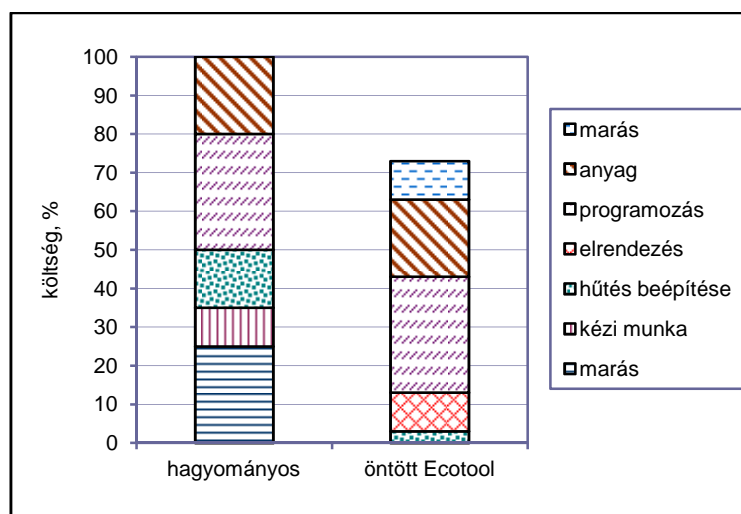
** Az acélszerszámhoz viszonyított költségmegtakarítás főképpen a megmunkálásra fordított idő függvénye.

A gyors prototípusgyártáshoz alkalmazott 3D-s nyomtatás a kis sorozatú gyártásban nem jelent igazi alternatívát, mert az egyes darabok gyártási ideje többszöröse a fröccsöntésnek, emellett a nyomtatott termékek nem a sorozatgyártásban használt anyagból készülnek. Erre a célra csak olyan fröccsszerszámok alkalmazása jöhet szóba, amelyek kidobót és hűtőrendszert is tartalmaznak és automatikus rendszerekben is működtethetők.

Egy ausztriai műanyag-technikai kutatóközpont (TCKT, Transfercenter für Kunststofftechnik, Wels) *Ecotool* nevű kutatási projektje keretében az öntött szerszámok elve alapján készített kis sorozatok gyártásához kis befektetést igénylő szerszám-

mokat. A szerszámgyártáshoz nincs szükség másra, mint egy alkalmas keverőre, amely töltő- és erősítőanyagot homogenizál műanyaggyantával, továbbá egy mérlegre és egy olyan eszközre, amellyel a keverék gázmentesíthető. Az eljárás lényege, hogy egy alapformába fépporral kevert műanyaggyantából készített betéteket építenek be.

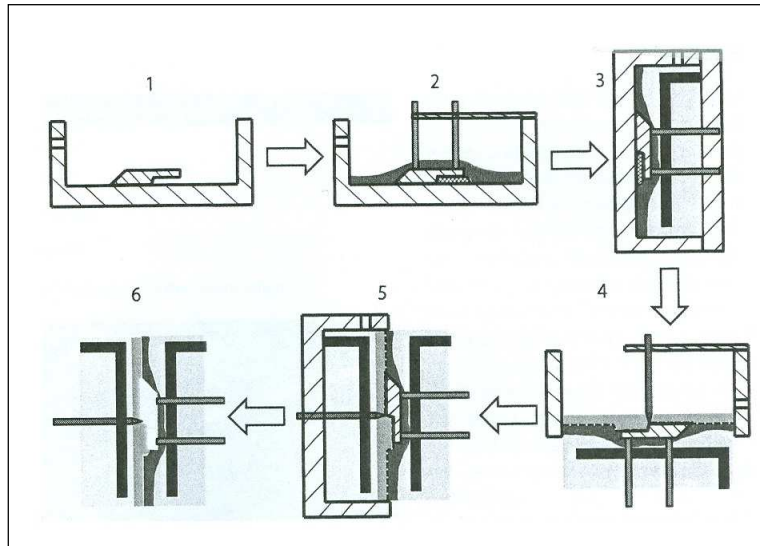
Egy meglévő alapszerszám kis sorozatok gyártásához használható 30x20 cm-es külső méretű betétjeinek gyártási költségei egy acélszerszám költségeit 100%-nak véve a 2. ábrán látható módon oszlanak meg. Az anyagköltség, a programozás és az elrendezés a szerszámok teljes költségének mintegy felét teszik ki. Az öntött szerszámok nem igényelnek gépi megmunkálást, és kézi utómegmunkálásra sincs szükség, ha az ősfomat megfelelő gondossággal készítették el. A hűtőrendszer beépítése is egyszerűbb, bár ennek van egy csekély költsége. Az alapforma különböző anyagokból készíthető el, akár 3D-s nyomtatással is. Az öntött szerszám teljes költsége kb. 25%-kal kisebb, mint egy ugyanilyen méretű acélszerszámé. Nagyobb szerszámnál a különbség tovább nőhet.



2. ábra Egy öntött (jobb oldalon) és egy hagyományos fémszerszám (bal oldalon) költségeinek összehasonlítása

Az öntött betétek elkészítése

A TCKT kísérleteihez az öntőformát alumíniumból készítették el, moduláris felépítéssel, ami lehetővé tette, hogy a fröccsbetétet több lépcsőben alakítsák ki. Ez különösen a hűtővezeték beépítésekor volt nagyon hasznos. Az egyes lépcsők a 3. ábrán láthatók. A kiöntéseknél kritikus tényező az öntőforma belső felületének minősége; előkezelése megfelelő leválasztóval elengedhetetlen. Hasonlóan fontos – mint általában a szerszámgyártásban – a beépített jó minőségű elemek lehető legegyszerűbb elrendezése.



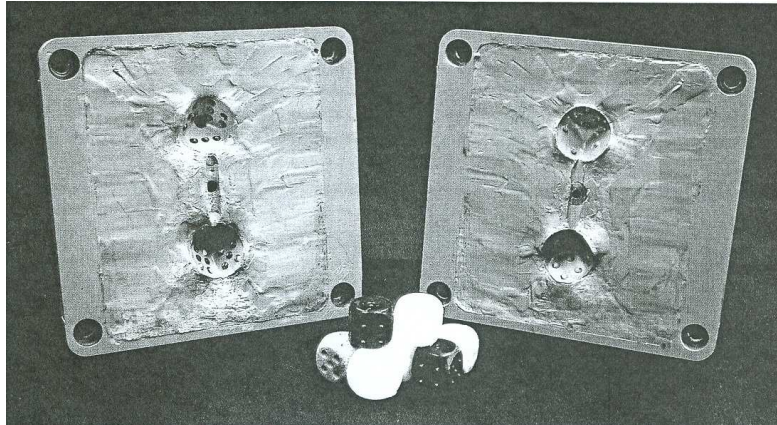
3. ábra Az Ecotool szerszámok elkészítésének sematikus folyamata.

1. lépés az alapformát meghatározó öntőforma elkészítése. 2. lépés a kidobók rögzítőelemének beépítése és a párnázómassza beöntése az öntőformába. 3. lépés a hűtés beépítése és az első szerszámfél kiöntése. 4. lépés az ömledékbeömlő rögzítőelemének beépítése és a beömlő körülöntése. 5. lépés a hűtést tartalmazó második szerszámfél kiöntése. 6. lépés a kész fröccsszerszám kivétele az öntőformából.

A kísérletekben alumíniumporral és üvegszállal töltött epoxi öntőgyantát használtak. Az alumíniumpor jelentősen megnöveli az epoxigyanta hővezető képességét, de azzal számolni kell, hogy a ciklusidő valamivel hosszabb lesz, mintha acélszerszámmal fröccsöntenének. A tiszta epoxigyanta hővezető képessége W/mK-ben 0,2; az 55% alumíniumport tartalmazó gyantáé 1,25; a szerszámalumíniumé 130–160, a szerszámacélé 25–30.

Első demonstrációs szerszámként egy dobókockák gyártására tervezett betétet készítettek. Ez viszonylag egyszerű szerszám, nem tartalmaz tolattyút vagy más hasonló elemet, de van benne hűtés és kidobó. (Ezt a szerszámot mutatja a 3. ábra). A dobókockák fészket a párnázó rétegbe süllyesztették (4. ábra). A kockák anyaga PP, habosított PP, 30% üvegszálat tartalmazó PP és WPC (wood plastic compaund) volt.

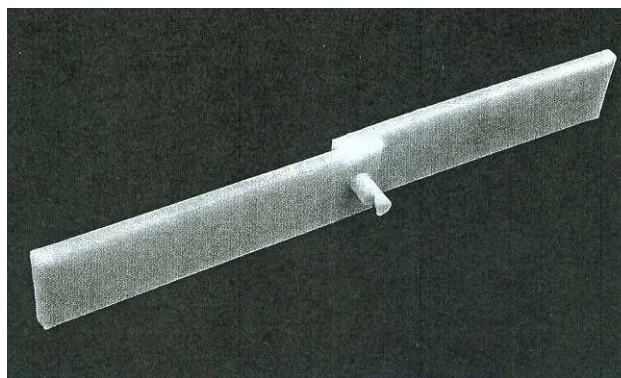
A két kocka térfogata a beömlőcsonkkal együtt összesen 23 cm³ volt. A szerszámot PP-vel 1000 ciklusig üzemeltették. A szerszámon a beömlő melletti csekély kimosódás mellett más elváltozást nem észleltek. Egy vékony sorját kivéve a kockák kifogástalanok voltak. Ezeket az apró hibákat a nem optimális öntőgyantának tulajdonítják.



4. ábra A dobókockák fröccsöntéséhez használt szerszámbetét két része

A szerszám tartósságának vizsgálata

A kockák pontos méretének meghatározása az erősen lekerekített élek miatt nehézkes. Ezért egy másik öntött szerszámbetéttel a ragasztással átlapolt próbatestekhez hasonló formadarabokat fröccsöntöttek (5. ábra). Az „összeragasztott” formadarab teljes hossza 184 mm, a pálcák vastagsága 4 mm, az átlapolás hossza 8 mm volt, de készítettek 8 mm vastag darabokat is 12 mm-es átlapolással. Az ömledéknek a központi beömléstől mindkét irányban 9 cm volt a folyási hossza. Itt a kockákénál nagyobb záróerőt kellett alkalmazni, és a fröccsadag is nagyobb volt. A pálcák kis falvastagsága miatt arra számítottak, hogy az öntőgyanta korlátozott hővezető képessége miatt az könnyen túlmelegszik. A gyártáskor elért 50 s ciklusidő elfogadható. A fészek mögött 8 cm távolságban beépített hőérzékelő azt mutatta, hogy rövidebb ciklusidővel dolgozva a szerszám hőmérséklete 10 ciklus után 10 °C-kal melegszik fel.



5. ábra Az „átlapolt” formadarab

Ezzel a szerszámmal is több száz PP formadarabot készítettek. 100 ciklus után az egyik kidobó mellett kisebb meghibásodást észleltek, amelyet újabb 100 ciklus után mikroszkóppal vizsgáltak meg. 500 ciklus után a hibahely további változást nem mutatott. Feltételezik, hogy okozója egy felszín alatti apró üreg volt, amelynek kitörése után az öntőgyanta tovább már jól tűrte a fröccsöntés terhelését.

Összeállította: Pál Károlyné

Päßler, E; Knipper, S. stb.: Duroplast-Rohre extrudieren = Kunststoffe, 107. k. 4. sz. 2017. p. 86–88.

Burgstaller, Ch.; Moser, K.M.; Ladner, H.: Kostengünstiges Spritzgießen von Kleinserien = Kunststoffe, 105. k. 3. sz. 2015. p. 89–91.