

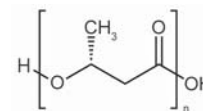
Bioműanyagok feldolgozása forrócsatornában

A biomassából előállított, biológiailag lebomló polimerek fenntartható anyagok tervezését teszik lehetővé, hővel és nyírással szembeni érzékenyséjük miatt azonban nem egyszerű a feldolgozásuk. A cikkben különböző cégek megoldásait mutatjuk be arra, miként lehet elkerülni a hőérzékeny anyagok degradációt forrócsatornás szerszámokban.

Tárgyszavak: bioműanyag-feldolgozás, forrócsatorna, nyitott forrócsatorna-fűvőkák, tűszelepes forrócsatorna-fűvőkák

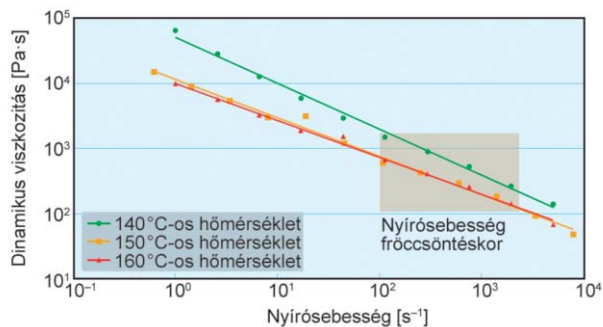
Természetes szállal erősített biológiailag lebomló mátrixú kompozitok feldolgozása forrócsatornás módszerrel

A kölni **Compoundeur Bio-Fed** és a frankenbergeri (Hessen) **Günther Heißkanaltechnik GmbH** közös kísérleteket végzett a **Bio-Fed** által szállított poli-hidroxi alkanoát (PHA) alapú (1. ábra), komposztálható, (természetes szállal erősített) *M-Vera GP1012* és *GP1045* típusúval, amelyek 100%-ban megújuló nyersanyagokból állnak, és egyidejűleg a nagyon magas hőmérsékleteknek is ellenállnak (HDT >100 °C), továbbá élelmiszerekkel is érintkezhetnek, így csomagolásra és evőeszközök készítésére is használhatók. A két cég együttműködésének fő célja az új fejlesztésű PHA-kompozitok folyási viselkedésének és feldolgozásuk stabilitásának elemzése két forrócsatorna-típusban.



1. ábra. A poli-(R)-3-hidroxibutirátt (P3HB) szerkezeti képlete.

Az *M-Vera*-kompozitok feldolgozhatók hagyományos fröccsöntő gépeken univerzális csigakonfiguráció mellett. A PHA-kompozitok mérsékelt feldolgozási hőmérsékleteket igényelnek, és az olvadék hőmérséklete nem lépheti túl a 165 °C-t. Az alacsony feldolgozási hőmérsékletek növelik az olvadék viszkozitását, így a folyási ellenállást is, ezért magasabb fröccsöntési nyomásokra lehet szükség a standard hőre lágyuló műanyagokhoz képest. Ugyanakkor kerülni kell a magas nyíróerőket és a hosszú tartózkodási időket. A kapilláris reométerrel végzett vizsgálat eredménye szerint az *M-Vera GP1012* típus viszkozitását befolyásolja az olvadék hőmérséklete (2. ábra), mechanikai tulajdonságai viszont nem függenek a szerszám hőmérsékletétől (1. táblázat).



2. ábra. Az *M-Vera GP1012* nyírás-viszkozitás viszonyának kapilláris reométerrel végzett elemzése különböző hőmérsékleteken.

A feldolgozást segítik a speciális forrócsatorna-fűvőkák

A termikus károsodások elkerülése érdekében megfelelő hőmérsékleti viselkedést mutató forrócsatorna-rendszereket célszerű használni, ami egyrészt a kedvező fűtés kialakítást jelenti, másrészt a temperált szerszám és a melegített forrócsatorna-fűvőka termikus elválását. A **Günther**-féle forrócsatorna-fűvőkák ezt a termikus elválást két részre osztott, részben titánötvözetből, részben acélból készült

1. tábla. Az M-Vera GP10112 mechanikai tulajdonságai különböző formahőmérsékletek mellett.

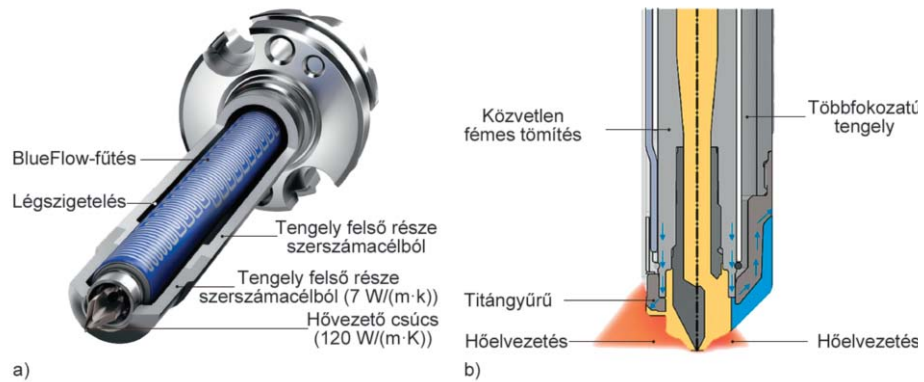
Vizsgálat	Egység	40 °C-os szerszám-hőmérséklet	60 °C-os szerszám-hőmérséklet	90 °C-os szerszám-hőmérséklet
E-modulus (5 mm/min)	MPa	2330	2270	2300
Folyási feszültséghez tartozó nyúlás (5 mm/min)	%	3,1	3,3	2,9
Folyási feszültség	MPa	18,5	18,3	18,2
Szakadási nyúlás	%	4	4,8	5
Szakítószilárdság	MPa	17,8	17,5	17
Charpy ütőmunka 23 °C	kJ/m ²	12,9	14,1	11,2

tengellyel, valamint a fűtési teljesítmény célzott elosztását biztosító BlueFlow-fűtés alkalmazásával érik el (3a. ábra). A BlueFlow forrócsatornás technikánál vastagréteg-technikával gyártott fűtéselemeket használnak, és a dieletrikumrétegek és a fűtés vezetőpályája tisztatér-körülmények között szitanyomásal kerülnek felhordásra.

A piacon kapható forrócsatorna-fűvókák között olyanok is találhatóak, amelyeket közvetlenül az anyagcsővel vagy titánygyűrű közvetítésével a formabetétnél centríroznak (3b. ábra), ami a hővezetés alapján azt eredményezi, hogy a forrócsatorna-fűvókában a tényleges hőmérséklet sokkal magasabb a jelzetnél. Ez pedig az érzékeny polimereket vagy adalékanyagokat termikusan károsíthatja.

A **Günther HeiBkanaltechnik GmbH**-nál az *M-Vera* típus feldolgozhatóságát vizsgálták nyitott, illetve túszelepes forrócsatorna-rendszerekben, és az eredményt több szempont alapján értékelték.

A kísérletekhez a **Günther** kétfészkes kísérleti szerszámát (4. ábra) használták az **Arburg** által gyártott *Allrounder 520A 1500-400* típusú fröccsöntő gépen. A nyitott forrócsatornás kísérleteket 2 darab



3. ábra. BlueFlow-fűtésű csúcsos forrócsatorna-fűvóka (a) és hőelvezetés a fűvóka és a formabetét fémes összekapcsolásával (b).



4. ábra. A Günther cég kétfészkes kísérleti szerszámába cserélhető betétek építhetők be a különböző próbatestek számára, a fűvókák oldalán pedig választható módon csúcsos nyitott fűvókákkal vagy túszelepes fűvókákkal lehet felszerelni.

BlueFlow-fűtésű 6SHF80 típusú fűvókával végezték 1,2 mm befecskendezéspont-átmérővel rendelkező próbatesteket (5. ábra) alkalmazva. A töltési tanulmányt azonos fűvókahőmérsékletek mellett lehetett elkészíteni.

A túszelepes fűvókával végzett kísérletekben két darab 8NHT2–80LA típusú fűvókát és kopásálló acélból készült LA típusú tüvezetést (6. ábra) használtak a pálcaalakú próbatesteken (7. ábra). A 2,0 mm-es befecskendezési pontot tartalmazó záró tűket pneumatikus túszelepek mozgatják max. 800 N tűzáróerővel.

Az eredmények összefoglalása

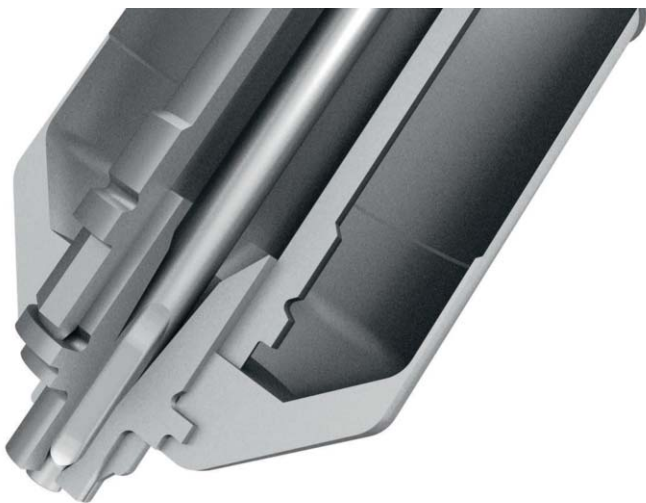
Mindkét *M-Vera* típus feldolgozható volt stabil folyamatban 150 °C-os forrócsatornahőmérsékleten és 40 °C-os szerszámhőmérsékleten. A két *PHA* típusnál az olvadéknak a túszelepes rendszerekben általános dermedési viselkedése miatt korlátozott volt az utónyomás időszaka az esetleges túlterhelés vagy eldugulás elkerülése érdekében. 15 perces szimulált folyamatmegszakítás után a folyamat korlátozások nélkül újraindítható volt mindkét anyagtypusnál, bár az első darabok enyhe elszíneződést mutattak. Mindkét *M-Vera* típus 3 másodperces hűtési idő után probléma nélkül kiemelhető volt a formából. Max. 6 másodperces hűlési idő mellett kidobó stiftek által okozott benyomódások, illetve deformáció figyelhető meg. Kb. 2 mm-es falvastagságú darabok deformáció- és benyomódásmentes kiemeléséhez 6 másodpercnél hosszabb hűlési idő ajánlott. Ezenkívül érdemes külön működtethető temperálást is alkalmazni a beömlés közelében. A fröccsöntés lefutása nem mutat semmi feltűnő jelenséget, a feldolgozhatóság egy órás munkavégzés során stabil maradt.

A Husky cégnél alkalmazott „trükkök” bioműanyagok fröccsöntésénél

A fokozódó környezettudatosság ébren tartja a biológiai eredetű és biológiailag lebontható anyagok iránti érdeklődést. Mivel ezek speciális feldolgozást követelnek, ez a feldolgozóipar (benne a fröccsöntés) számára is új kihívásokat jelent. Mivel a nem megfelelő feldolgozás tulajdonságromlást eredményez, nagy tapasztalat és feldolgozási szimuláció szükséges a megfelelő körülmények kiválasztásához. Az anyagok hőérzékenysége miatt egyedi forrócsatornás megoldásokat kell használni, esetenként az egész berendezést az adott alkalmazáshoz kell igazítani.



5. ábra. A tárcsaalakú próbatestek löketsúlya: 3 g, átmérője: 60 mm, falvastagsága 1 mm.



6. ábra. A fűvókában mozgathatóan elhelyezett, a befecskendezési pontot is magában foglaló LA típusú tüvezetés, ami szükség esetén a formabetétnél utómunka nélkül kicserélhető.



7. ábra. A pálcaalakú próbatestek löketsúlya: 4 g, folyási út hossza: 90 mm, falvastagsága: 2 mm.

Tekintettel arra, hogy a biológiai eredetű és biológiai úton lebontható műanyagok elnevezésével kapcsolatban van némi zűrzavar, nem árt tisztázni néhány fogalmat. *Recikálható* anyagról akkor beszélünk, ha régi termék új termékké alakítható és nem kerül a lerakóba. A *biodegradálható* anyag a természeti környezetben vízzé és széndioxiddá bomlik le – belátható időn belül. A *komposztálható* anyag a talajban (ugyancsak belátható időn belül) lebomlik anélkül, hogy toxikus maradékot hagyna hátra. A bioalapú, vagy megújuló nyersanyagból készülő műanyagok egészében vagy részben természetes nyersanyagforrásokból készülnek. Ilyen például a cukornádból kapott cukorból készülő polietilén, amely ugyan megújuló nyersanyagból készül, de nem biodegradálható. Ugyanígy például a polietilén-furanoát is 100%-ban természetes nyersanyagokból készül, de nem biodegradálható. A biodegradálhatóság a komposztálhatósággal sem azonos. A komposztálhatóság specifikus körülmények közti lebonthatóságot jelent. A műanyag újrafeldolgozók idegenkednek a biodegradálható és komposztálható anyagoktól, mert azok „beszennyezik” az egyébként jól újrahasznosítható PET anyagáramot. A biodegradálható és komposztálható anyagok megkülönböztetése a felhasználók oktatását igényli, különben előfordulhat, hogy biodegradálható, de nem komposztálható műanyagok szennyeznek a komposztáló helyeket.

Jelenleg három fontosabb biológiai eredetű nyersanyagokból álló műanyag van, amely kereskedelmi forgalomba került. A politejsav (PLA) hőre lágyuló poliészter, amely többféle megújuló nyersanyagból készíthető, pl. kukoricakeményítóből, tapiókából, burgonyából, keményítóből vagy cukornádból. A PLA a legnagyobb mennyiségben felhasznált megújuló nyersanyagból készülő polimer, bár a politejsav elnevezés nem felel teljesen a IUPAC nevezéktannak, hiszen nem polisavról van szó, hanem poliészterről. (A polilaktid elnevezés már jobban visszaadja a valós szerkezetet, hiszen a dilaktid gyűrűfelfnyílásos polimerizációjával készíthető). A másik nagy csoport a polihidroxi-alkanoátok (PHA), amelyek ugyancsak poliészterek, különböző baktériumokban keletkeznek. Fermentációs módszerrel állítják elő cukrokból vagy zsirokból, a baktériumok „éheztetésével”. A PHA vegyületek energiatároló vegyületként és szénforrásként képződnek ilyen körülmények között. Mivel a számba jövő baktériumok nem egyformák, mintegy 150 féle monomer képződhet és ezek kopolimerjei, egymástól lényegesen eltérő jellemzőkkel. Az így kapható bioműanyagok biodegradálhatók is. A cellulóz-acetát (CA) már régen ismert – a meg nem olvadó cellulóz jelentős mértékű acetilézésével állítható elő (celluloid), és akkor ömledékként feldolgozható. Gyúlékonysága miatt csomagolási célra nem használják. A cellulóz más észterei is ismertek, de ezeket sem elsősorban hőre lágyuló műanyagként dolgozzák fel.

A műanyag hulladék csökkentésének egyik módja a biológiailag lebomló műanyagok használata, és az alkalmazásukra szorító jogi környezet legerősebben az EU-ban, a Közel-Keleten és Ázsiában jelentkezik, de az Egyesült Államokban is nő a vásárlói nyomás a karbonlábnyom csökkentésére és a körkörös gazdaság irányában való elmozdulásra. Az egyik legnagyobb mennyiségben előállított és felhasznált lebontható műanyag a politejsav (PLA) viszonylag könnyen hozzáférhető nyersanyagbázisa miatt. A PLA a polietilén-tereftaláthoz (PET) és a polibutilén-tereftaláthoz hasonlóan poliészter, bizonyos feldolgozhatósági jellemzőik is hasonlóak, de a késztermék mechanikai jellemzői jobban emlékeztetnek a polisztirolra. Jelenleg a PLA az egyetlen olyan lebontható, megújuló forrásból előállítható műanyag, amely labdába tud rúgni a tömeggyártás és csomagolás terén.

A biológiailag lebomló műanyagok feldolgozása többek között azért nehéz, mert a PLA erősen viszkozus ezért nagy fröccsnyomást igényel. Mivel viszonylag kevés reológiai adat áll rendelkezésre, tapasztalati alapon állítják be a feldolgozási paramétereket, de például a forrócsatornás rendszerek fejlesztéséhez föltétlenül szükség van kísérletekre és a mért értékekre épülő szimulációra. Az általános gépészeti és feldolgozási tapasztalatokon túl a bioműanyagok feldolgozásakor a hőérzékenységet is figyelembe kell venni, és a végeelem módszert kiterjedten kell használni a hőmérsékleteloszlás meghatározására a teljes feldolgozási út mentén. Az elosztócsatornák tervezésekor ezt az eszközt használják a csatornák hőmérsékletének számításához, a fűtőzónák és a fűtőtestek burkolatának tervezéséhez éppúgy, mint a folyási csatornák alakjának kialakításához, vagy a szabályozó hőelemek elhelyezéséhez, vagy hőelnyelők tervezéséhez. A folyási csatornák megválasztásához speciális szoftverre van szükség, hogy a megfelelő nyírési sebesség kialakuljon. Erre az egyenletes ömledékelosztás miatt van szükség. A beömlő

gátakat viszont alacsonyabb hőmérsékletűre kell tervezni, hogy jó tömítést biztosítsanak a hőtágulással szemben.

Fontos továbbá a forrócsatornák tervezésekor a korrózióálló anyagok használata és szelepgát alkalmazása annak érdekében, hogy csökkentsük a gátnál a nyíróhatást, jó legyen a gát minősége és nőjön a feldolgozhatósági „ablak”. A bioműanyagok feldolgozásakor optimalizálni kell a forrócsatorna és a szerszámfelfogó lap hűtését is. Annak érdekében, hogy egyenletes legyen a hőmérséklet eloszlása a forrócsatornás rendszerben, a bevezető csatornák mindkét oldalán hűtőcsatornákat kell elhelyezni. Ez megakadályozza a szerszámlap meghajlását, egyenletessé teszi a hőtágulást, a bevezető csatornák egyformaságát, optimalizáltja a fűvóka és a szerszámlemez közti határfelületet, kiegyensúlyozza a bevezető csatornákat és konzisztens termékjellemzőket biztosít.

A forrócsatornák falát olyan anyagból kell tervezni, amely nem reagál el az ömledékkal, mert csak ezekkel érhető el, hogy a bioműanyagok ne korrodálják őket. Ez feltétele annak is, hogy tökéletesen ellenőrizzük hőmérsékletprofilját (vagyis ne változzon a hőátadás a felületen a lerakódások miatt). Az ilyen rendszerekkel érhető el, hogy ne degradálódjon, oxidálódjon, vagy ne színeződjön el a feldolgozott anyag. A hőmérsékletszabályozót úgy kell megválasztani, hogy kívülről is készenléti helyzetbe állítható legyen (remote standby), zárt ciklusú visszacsatolást biztosítva a szabályozó és a fröccsgép között, ezzel akadályozva a műanyag degradációját.

Minden forrócsatornás rendszernek kell, hogy legyen hőmérsékletszabályzója, amely a hőmérséklet és a mechanikai beállítások stabilitásáért felel. A bioműanyagok esetében olyan szabályozókra van szükség, amelyek nagy pontossággal szabályozzák a hőmérsékletet, a szervomotorokat és a gátat, amely könnyen kezelhető és áttekinthető érintőképernyős megoldásokat alkalmaz, különböző konfigurációkban kapható, és amely bármely fröccsöntési környezetbe hozzáigazítható. A pontos és reprodukálhatóan működő szabályzó kiküszöböli az ingadozásokat és javítja fészkek közötti reprodukálhatóságot. Használjunk „aktívan gondolkodó” (ART = Active Reasoning Technology, a Husky cég szabadalmazott technológiája) szabályzókat, amely szorosabb hőmérsékletszabályozást tesz lehetővé, és minimalizálja a változásokat azzal, hogy teljesen különválasztja a termoelem bemeneteket és azok mintavételi sebességét, ezzel biztosítva a leolvasott hőmérsékletek és jelek integritását. Ha a szabályzó azt érzékeli, hogy megszakadt a ciklus, távezérléssel készenléti állapotba kerül, ezzel csökkenti az ömledékhőmérsékletet és megakadályozza annak degradációját.

Összeállította: Szarvasné Molnár Ágnes és dr. Bánhegyi György

Essinger J., Puentes A., Gaul I.: Biokunststoffe im Heißkanal verarbeiten = Kunststoffe, 2022. november, p. 46–49.
Alexander S., Forgan C.: How to solve hot runner challenges when molding with bioresins = MoldMaking Technology, 2022. október

<https://www.moldmakingtechnology.com/articles/how-to-solve-hot-runner-challenges-when-molding-with-bioresins->