

Hőformázott csomagolóeszközök politejsavból

Tárgyszavak: polilaktid; biológiai lebomlás; komposztálhatóság; megújuló nyersanyagforrás; feldolgozás; tulajdonságok.

A politejsav mint biológiailag lebontható hőre lágyuló műanyag

A polilaktidok (PLA), a politejsav származékai, olyan biológiailag lebontható, hőre lágyuló műanyagok, amelyeket megújuló nyersanyagforrásokból lehet gyártani. Tulajdonságaik jól beváltak mélyhűzött termékek, pl. poharak vagy gyümölcsdobozok készítésére.

A **Cargill Dow** cég hollandiai gyárában nagy molekulatömegű, tartós terméket állít elő oldószermentes, környezetbarát technológiával. Jelenleg kukoricából indulnak ki, de más haszonnövények, pl. búza, cukorrépa vagy más, természetes cukrot tartalmazó mezőgazdasági termékek is szóba jönnek. A kukorica 65%-os keményítőtartalmát dextrózzá alakítják, majd tejsavvá fermentálják a dextrózt, amelyet kondenzációval és észteresítéssel gyűrűs dilaktiddá (dimerre) alakítanak. Ebből katalitikus gyűrűfelynyílásos polimerizációval készítik a polilaktidot. A tejsav két izomer formájában fordul elő, D- és L-tejsavként. A két monomer aránya a kész polimerben változtatható.

Fizikai jellemzők

Szobahőmérsékleten a PLA üvegszerűen átlátszó polimer, amelynek üvegesedési hőmérséklete 55 és 65 °C között van. A PLA fizikai jellemzői javulnak, ha az anyagot orientálják, pl. ha szálát, két irányban nyújtott fóliát vagy mélyhűzött terméket készítenek belőle. Ha a PLA 8%-nál kevesebb D-tejsavizomert tartalmaz, göcképzés, temperálás vagy nyújtás hatására részlegesen kristályosodik. A kristályossággal együtt nő a merevség és a hőállóság. Ha csökken a D-izomer aránya a láncban, a PLA olvadáspontja nő, és elérheti a 130–175 °C-ot. A PLA felületi feszültsége 38 mN/m, ami tartós hatású koro- nakezelést tesz lehetővé, ezért az anyag nyomtatása vagy fémbevonása viszonylag egyszerű.

Komposztálhatóság

A PLA komposztálhatósága csökkenti a hulladékkezelési költségeket – legalábbis ott, ahol van szelektív hulladékgyűjtés. A komposztálhatóság és lebonthatóság oka a hidrolitikus hajlam, a főláncban levő észtercsoportok felbonthatósága. A molekulatömeg fokozatosan addig csökken, amíg a polimerlánc tejsav vagy ennek oligomerjeire tördelődik, és ezeket a természetes mikroorganizmusok el tudják fogyasztani. A lebontás végterméke szén-dioxid és víz. A komposztálás körülményei között (nagy nedvességtartalom mellett, 55–70 °C-on) a PLA viszonylag gyorsan lebomlik. Kisebb nedvességtartalom mellett és alacsonyabb hőmérsékleten (azaz a felhasználás körülményei között) a lebomlás sebessége elhanyagolható. Az 1. táblázatban látható néhány jellemző lebomlási idő a körülmények függvényében.

1. táblázat

A PLA lebomlási ideje különböző hőmérsékleten és nedvességtartalom mellett

Hőmérséklet, °C	Páratartalom, %	Tördelődés kezdete	Teljes lebomlás
4	100	5,3 év	10,2 év
25	20	2,5 év	4,8 év
25	80	2 év	3,1 év
40	80	5,1 hónap	10 hónap
60	20	1 hónap	2,5 hónap
60	80	0,5 hónap	2 hónap

A PLA fóliák feldolgozása

A PLA-t alapvetően háromféle terméké dolgozzák fel: készülnek belőle nagy értékű fóliák, fúvott termékek és mélyhúzott élelmiszer-csomagoló eszközök. Ezek előnyös tulajdonságai, hogy merevek, fényesek, átlátszóak, hajtogathatók és csavarmenet alakítható ki bennük.

A PLA mechanikai tulajdonságai más poliészterekéhez hasonlóan romlani kezd hidrolízis hatására. A PLA granulátumot ezért óvni kell a nedvességtől, és extrudálás előtt 200 ppm (0,02%) alá kell csökkenteni a víztartalmát. A PLA-t célszerű a PE-hez ajánlott ömledék-hőmérséklet alatti hőmérsékleten extrudálni.

A PLA hőformázáskor mutatott viselkedését széles körű vizsgálatokban vetették össze más műanyagokéval (PS, PP, PET-A). A kiértékelés során tekintetbe vették az anyagtulajdonságokat, a hőformázhatóságot, a létrejött fólia továbbíthatóságát, a kivághatóságot (stancolhatóságot), a kivágás utáni fóliamaradék tekerceselhetőségét, a késztermék halmozhatóságát és a halmozott

áru szétszedhetőségét, valamint a hulladék darálhatóságát. A kísérletekhez *NatureWorks PLA 2002D* granulátumot használtak (némi kék mesterkeverék és blokkolásgátló hozzáadásával), a hőformázási kísérleteket az Adolf Illig Maschinenbau GmbH egyik berendezésén végezték. A fóliákat tekercs formájában dolgozták fel. A fóliát 90 mm átmérőjű, kétlépcsős, általános PS/PET csiga segítségével extrudálták. A fóliaszélesség 500 és 750 mm között, a vastagság 0,5 és 1,2 mm között változott.

Átlátszóság és sűrűség

Ivópoharaknál és bizonyos zöldség/gyümölcs csomagolásoknál követelmény a nagyfokú átlátszóság. Ilyen esetekben gyakran amorf poliésztert, biaxiálisan orientált polisztirolt vagy sztirol-butadién-sztirol kopolimert használnak alapanyagként. *A PLA csak valamivel kevésbé átlátszó, mint a PET-A, de átlátszóbb, mint a PP, a SBS vagy akár az OPS. A PLA sűrűsége (1,25 g/cm³) kisebb a PET-A sűrűségénél (1,34 g/cm³), de nagyobb, mint a PS-é (1,05 g/cm³) vagy a PP-é (0,91 g/cm³).* Néha az alapanyag vagy a késztermék tömege dönt az anyagválasztásnál, pl. a szállítási költségek miatt.

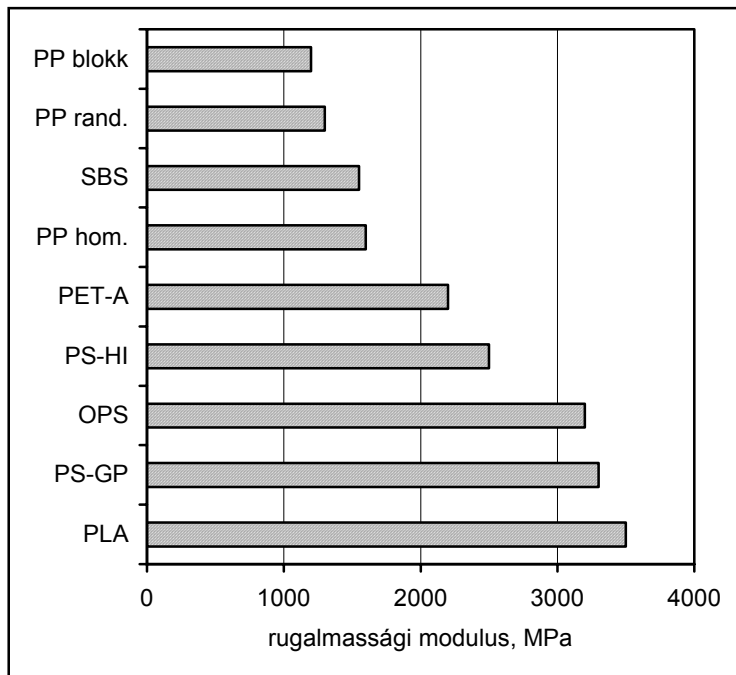
Mechanikai tulajdonságok

Az alkalmazott műanyag merevsége (rugalmassági modulusa) alapvető jelentőségű a csomagolás mechanikai stabilitása szempontjából. A merevebb műanyagokból ugyanis kisebb falvastagsággal ugyanolyan jó csomagolást lehet készíteni, ami tömegcsökkentést és költségmegtakarítást eredményez. A csomagolásokban használt különféle műanyagok modulusát a *1. ábra* hasonlítja össze. A sztirolalapú polimerek közül legmerevebb az általános célú polisztirol, de ez éppen ridegsége miatt csak közvetlenül extrúzió után (ún. inline módszerrel) hőformázható. *A PLA modulusa még ennél is nagyobb, ami lehetővé teszi a csomagolások automatikus halmazolását.* Ahhoz azonban, hogy az egymásra rakott (halmazolt) csomagolásokat biztonsággal szét is lehessen szedni, blokkolásgátlókat is használni kell.

Termikus viselkedés és zsugorodás

A hőformázásnál az egyik legfontosabb jellemző a lágyulási hőmérséklet. A PP-é 150 °C körül van, ezt követi a PET-A a maga 86 °C-os értékével. A PS Vicat módszer szerint 80 °C-on, a PLA 58 °C-on lágyul. A PP blokkopolimerek széles alkalmazhatósági hőmérséklet-tartománnyal jellemezhetők (-30 °C-tól +100 °C-ig). A PS és a PET-A alkalmazhatósági hőmérséklet-tartománya is sok feladathoz elegendő. *A PLA maximális tartós terhelési hőmérséklete mindössze 45 °C, tehát forró folyadékok nem tölthetők bele. Hi-*

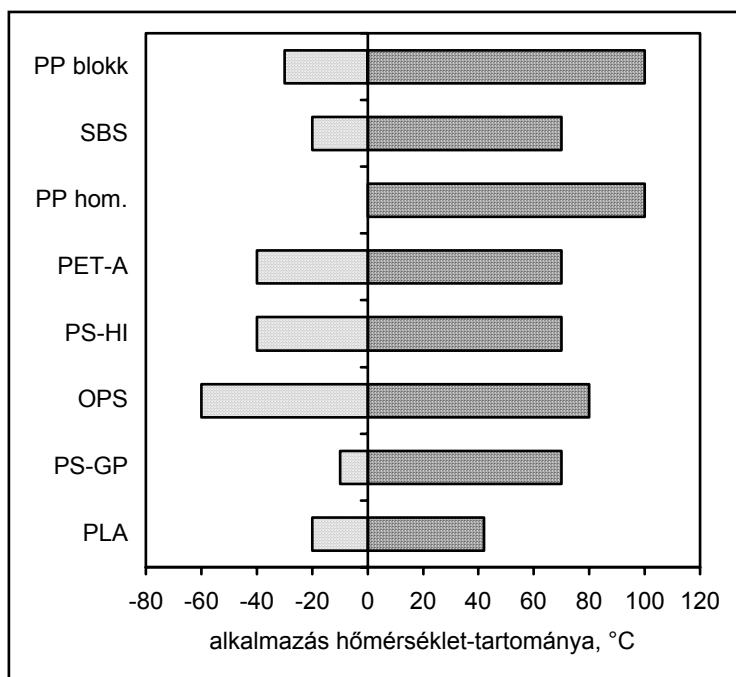
degben viszont $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig használható (2. ábra). A PLA csomagolóeszközök ezért pl. üdítőkhöz, zöldség, gyümölcs vagy mélyhűtött áruk csomagolására ajánlható.



1. ábra

Az összehasonlító kísérletekben használt polimerek rugalmassági modulusa.

[Rövidítések: PLA polilaktid; PS-GP általános célú polisztirol; OPS biaxiálisan orientált polisztirol; PS-HI ütészálló polisztirol; PET-A amorf poli(etilén-tereftalát); PP hom. polipropilén homopolimer; SBS sztírol-butadién-sztírol kopolimer; PP rand. PP random kopolimer; PP blokk PP blokk kopolimer]



2. ábra

Különböző műanyagok tartós alkalmazásának hőmérséklet-tartománya

[Rövidítések: mint az 1. ábrában]

A részlegesen kristályos polimerek általában erősebben zsugorodnak, mint az amorf polimerek. A vizsgált polimerek közül a legnagyobb a PP zsugo-

rodása (1,5–1,8%). Az amorf polimerek (PET-A, PS) és a PLA zsugorodása 0,5% körül van. A PLA normál extrúziós és hőformázási körülmények között nem kristályosodik, tehát amorf polimerként kezelhető, ezért a PS vagy PET-A alkalmazásra kidolgozott szerszámok PLA esetében is használhatók.

A PLA hőformázhatósága

A PLA-ból készült fóliákat vákuummal, túlnyomásos levegővel/vákuummal vagy csak túlnyomásos levegővel lehet hőformázni. A PLA-t hőszugárzással viszonylag alacsony hőmérsékletre melegítik elő. Tulajdonképpen nincs is szükség előmelegítésre, vagy ha igen, akkor csak azért, hogy egyenletes legyen a hőmérséklet. A PP-vel szemben a PLA fólia állapotában és feldolgozhatóságában nem áll be lényeges változás az előmelegítés során, hiszen a feldolgozást is viszonylag alacsony hőmérsékleten végzik. A PLA-ból készült tárgyakat viszonylag sokáig kell hűteni a szerszámban. A PLA-ból készült poharak jól peremezhetők. A szerszámból való kivétel időpontját a fólia felületi hőmérséklete határozza meg. Ez a hőmérséklet más műanyagokhoz képest viszonylag alacsony (80–110 °C). A PET-A feldolgozásakor ez a tartomány 110–120 °C, az ütészálló PS-nél 120–160 °C, a PP-nél pedig közvetlenül a kristályosodási hőmérséklet alatt (150–165 °C) van. Ha valaki először dolgoz fel PLA-t, célszerű alacsony előmelegítési és szerszámkivételi hőmérsékletekkel kezdeni, és alulról közelíteni az optimumot.

A feldolgozást végezhetik két lépésben (formázás + kivágás) de lehet a két lépést egy berendezésben egyesíteni. A forró huzalos kivágásnál a huzal hőmérséklete 120 °C.

A fólia mozgatása

A hőformázó tekercselő berendezésén az anyagtovábbítást két párhuzamosan működő, motorikusan meghajtott körmös lánc végzi. A körmök a fóliák szélébe kapaszkodnak, és így továbbítják az anyagot a hőformázó egységbe. Mivel a PLA fólia meglehetősen rideg, a körmök kis darabokat szúrnak ki a fólia széléből, ami zavarhatja magát a termelési folyamatot is. Ezért az off-line eljárásokban a fóliák szélét enyhén megmelegítik, ilyenkor a lágyulás miatt elkerülhető a darabkák kiszúrása. A melegítést végezhetik érintkezéssel vagy sugárzással.

A gépek kivágás miatti állásidejét úgy kell megválasztani, hogy a fólia közben ne merevedjen meg, ez ugyanis kisebb hajlítási sugár esetén megakaszthatja a berendezés működését. A PLA lemez merevsége miatt a kivágás utáni fóliamaradék felcsévéléskor el is törhet. Ha ezt a maradékot nem darálják meg, célszerű olyan felcsévélő berendezést alkalmazni, amely kétféle sebességgel forog: a fólia egy-egy ciklust követő továbbvitelekor gyorsabban, a továbbított szakasz felcsévélésekor pedig lassabban. Ha PLA-t megfelelő

hőmérsékleten dolgozzák fel, a maradék problémamentesen megőrölhető és visszadolgozható. Az őrléskor is tekintettel kell lenni a fólia merevségére.

A PLA egy konkrét alkalmazása

Az olasz ISAP cég *élelmiszer-csomagolásokat és gyorsétkezéshez szolgáló eszközöket* (pl. *poharakat, evőeszközöket*) gyárt. Termékei között szerepelnek természetes alapú zöldség- és gyümölcs-csomagolások is. Mivel a Cargill Dow cég által gyártott PLA fóliából készült termékek árban is versenyképesek más anyagokkal, a cég megkezdte átlátszó mélyhűzött tojástartók készítését ebből a nyersanyagból.

Dr. Bánhegyi György

Bosiers, L., Engelmann, S.: Thermogeformte Verpackungen aus PLA. = Kunststoffe, 93. k. 12. sz. 2003. p 48–51.

Naturprodukt für Naturprodukt. = K-Zeitung, 2004. 3. sz. febr. 5. p. 24.

MŰANYAG ÉS GUMI

a Gépipari Tudományos Egyesület,
a Magyar Kémikusok Egyesülete
és a magyar műanyag- és gumiipari vállalatok
havi műszaki folyóirata

A 2004. márciusi tartalmából:

Terméktervezési példa a műanyagipar területéről
Innovatív terméktervezés a műanyagiparban
A Rapid Prototyping és a 3D-s szkennelés a terméktervezés
szolgálatában
Új formájú polimer kompozit kerékpárváz tervezése és megvalósítása

A 2004. áprilisi tartalmából:

Speciális polimerek a szenzorikában – az „elektronikus orr”
Műanyag-feldolgozó gépészmérnökök képzése a Kecskeméti Főiskolán
Szerszámfelületi struktúrák hatásának vizsgálata a termékre
Gondolatok a műanyaghegesztésről
Teach Line – oktatásban jeles I.

Szerkesztőség: 1371 Budapest, Pf. 433.
Telefon: (36-1) 201-7819, 201-2011/1451
Telefax: (36-1) 202-0252