

## PRERADA PLA KOD IZRADE BOCA "ISBM" POSTUPKOM Materijal i parametri prerade poli(laktidne kiseline)

### Svojstva materijala

Poli(laktidna kiselina) – PLA tip "NatureWorks 7032D", firme NatureWorks je namenjena proizvodnji duvanih šupljih tela tehnikom injekcionog duvanja sa istežanjem pri razduvavanju (ISBM). Tip "7032D" se može prerađivati na konvencionalnoj opremi za ISBM, pri čemu se obično primenjuju niže procesne temperature u odnosu na preradu PET-a istom tehnikom. Primenjuje se u jednostepenim ili dvostepenim procesima, a posebno je pogodan kada je potrebno toplotno podešavanje kod punjenja napitaka kao što su voćni sokovi i sportski napici.

Tabela 1. Neka svojstva PLA 7032D

Fizička svojstva	Vrednost za PLA 7032D	ASTM metod
Specifična masa	1,25 g/cm <sup>3</sup>	D792
Gustina rastopa (230 °C)	1,08-1,12	D1238
Temperatura Tg	55-60 °C	D3417
Topljenje kristalastih zona	160 °C	D3418
Propustljivost gasova:		
Kiseonik	550 c <sup>3</sup> -mil/m <sup>2</sup> /24 h-atm	D1434
Ugljen-dioksid	3.000 c <sup>3</sup> -mil/m <sup>2</sup> /24 h-atm	D1434
Vodena para	325 g-mil/m <sup>2</sup> /24 h-atm	E96
MFR (210 °C g/10 min.)	5-15	D1238

Dizajn predforme je kritičan za dobijanje posude sa dobrom prozirnošću i fizičkim svojstvima. Za početnu pretpostavku treba uzeti da ukupan odnos razduvavanja (poprečno x podužno) iznosi 8-11, odnosno, da je podužno istežanje 2-3, a poprečno 4-5, što omogućava dobijanje posuda željene forme i kvaliteta. Takođe, poželjno je projektovati predformu sa tanjim donjim delom, odnosno, osnovom, kako bi se sprečilo moguće nagomilavanje materijala u osnovi duvanog šupljeg tela.

Tabela 2. Nominalne procesne temperature

Temperatura	Vrednost
Temperatura rastopa	200-220 °C
Dozirni levak	20 °C
Sekcija doziranja	180 °C
Sekcija kompresije	210 °C
Sekcija istiskivanja	210-220 °C
Mlaznica	210-220 °C
Kalup	21-38 °C

### Injekciono presovanje predformi

Za preradu se preporučuje pužni vijak opšte namene, projektovan tako da omogući minimalno vreme zadržavanja materijala i minimalno smicanje. Predviđeno skupljanje u kalupu iznosi 0,004 mm/mm ±0,001.

Sve date vrednosti su samo početne i treba ih optimizovati tokom rada. Veoma je važno optimalno podesiti povratni pritisak, procesne temperature, temperaturu kalupa i brzinu ubrizgavanja na način da se vreme ciklusa i unutrašnja naprezanja u konačnom otpresku održe na minimalnoj vrednosti. Ovim će se održati skupljanje predforme kod ponovnog grejanja na najnižem mogućem nivou, uz

zadržavanje što više produktivnosti pri proizvodnji. Takođe se preporučuje i korišćenje toplih ulivnih kanala pri injekcionom presovanju, kako bi se napon smicanja i skupljanje predforme održali na minimumu.

Ponovno zagrevanje predformi je veoma važna faza u dobijanju

posude dobre prozirnosti i distribucije materijala. Uobičajene temperature predforme kod primene dvostepenog procesa iznose 80-100 °C. Ove temperature mogu da budu više ili niže, zavisno od dizajna preforme, dizajna boce ili opreme za podgrevanje koja se primenjuje.

Dizajn boce namenjene za toplo punjenje ima specifičnosti koje se ogledaju u ojačanjima, strukturi osnove boce, stabilnosti, težini, debljini zida i distribuciji materijala. Sva ova svojstva toplotno podešene boce poboljšavaju otpornost na vakuum, sprečavaju ugibanje zidova boca i krivljenje, umanjuju skupljanje i poboljšavaju čvrstoću pri vršnom opterećenju. Boce namenjene punjenju na toplo obično imaju visoko udubljenje u osnovi i rebrasta ojačanja za stabilizaciju. Ovaj tip PLA za boce se ponaša slično kao i boce od PET-a za iste namene. Osnova svake boce poseduje deblje distribuiran materijal u osnovi u odnosu na debljinu zidova. Kod ove donje zone je potrebna dobra distribucija i brzo hlađenje. Preporučuje se osnova koja uključuje rebrasta ojačanja i visoko udubljenje.

### Razduvavanje boca

Prerada "PLA 7032D" sa toplotnim podešavanjem radi punjenja na toplo zahteva posvećivanje pažnje temperaturi predforme, temperaturi kalupa i distribuciji materijala. U smislu veće proizvodnosti, maksimiziranje vremena zadržavanja u kalupu poboljšava svojstva boce za posebne namene. Potrebno je optimizovati proizvodnost, uz zadržavanje dimenzione stabilnosti pri procesu punjenja.

### Proces prerade

PLA je polimer koji nije kompatibilan sa velikim brojem materijala, pa je pre početka rada potrebno izvršiti specijalni proces pročišćavanja opreme.

Pri normalnim operativnim temperaturama za određeni polimer u mašini za injekciono presovanje treba izvršiti čišćenje mašine sa polipropilenom ili polietilenom, u početku poželjno sa navedenim materijalom niskog MFR-a (visok viskozitet), a zatim preći na visok MFR (nizak viskozitet) poliolefina. Nakon ove faze treba podesiti mašinu u pripravnost za preradu PLA, uz standardne operativne temperature date u tabeli 2, a pri tome i dalje propuštati





polipropilen kao sredstvo za pročišćavanje. Dozirni sistem, levak i sva druga eventualna mesta gde može da dođe do kontaminacije materijala treba da su pod vakuumom i zaštićena od spoljnih uticaja.

Sada se može PLA uvesti u preradu pri preporučenim temperaturama, a dokaz da iz mašine izlazi čisti "7032D" je kada se pojavi proziran rastop. Pri zaustavljanju mašine je potrebno izvršiti obrnut proces pročišćavanja mašine sa polipropilenom visokog viskoziteta.

Ukoliko se prelaz vrši sa PET-a na PLA, savetuje se da prvi korak bude prelaz na PP ili PE višeg

MFR, a zatim na isti materijal, ali sa višim MFR. U sledećem stepenu se predviđa smanjenje temperatura na opseg koji odgovara za PLA i počinjanje doziranja PLA u mašinu.

## Sušenje materijala

Sušenje u liniji je ključno za proces prerade "PLA 7032D" koji se isporučuje sa sadržajem vlage ispod 0,025% (250 ppm). Preporučeni sadržaj vlage u cilju sprečavanja degradacije viskoziteta i mogućeg predformiranja laktida iznosi manje od 0,010%, odnosno, 100 ppm. Tipični uslovi sušenja za ovaj tip podrazumevaju trajanje od 4 časa na temperaturi 60-90 °C. Materijal ne bi trebalo da bude izložen atmosferskim uslovima nakon procesa sušenja. Transportne linije i dozatori bi trebalo da budu zaptiveni ili u struji inertnog gasa. Upakovani materijal treba držati zatvoren neposredno do početka upotrebe i odmah ga zatvoriti u slučaju neiskorišćenog materijala.

## Kompostabilnost PLA

Za "PLA 7032D" je dokazano da je biodegradabilan, slično papiru, pod simuliranim uslovima kompostiranja (ASTM D5338 na 58 °C) i uklapa se u evropske standarde o kompostiranju.

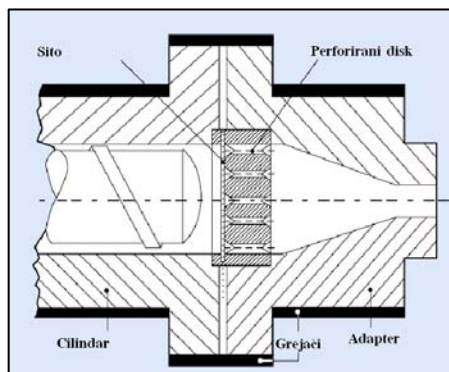
Naime, kompostiranje je metod odlaganja otpadnog materijala koji dozvoljava organskim materijama da se recikliraju u produkt koji se može koristiti kao koristan dodatak zemljištu. PLA je formirana od ponavljajućeg lanca laktidne kiseline i prolazi kroz dvostepeni proces degradacije. U prvom delu, vlaga i toplota u kompostu deluju na polimerne lance PLA i cepaju ih, stvarajući time manje segmente polimera i na kraju laktidnu kiselinu. Mikroorganizmi u kompostu i zemljištu konzumiraju fragmente polimera i laktidne kiseline kao hranljive materije. S obzirom da je laktidna kiselina široko rasprostranjena u prirodi, veliki broj organizama može da metabolički preradi ovaj materijal. U malom delu su u degradaciju PLA umešane gljivice i bakterije. Krajnji rezultat ovog procesa su ugljen-dioksid, voda i humus, hranljivi deo zemljišta. Ceo proces je u zavisnosti od temperature i vlažnosti, a po standardima PLA ispunjava postavljene zahteve pri debljinama do 1.650  $\mu\text{m}$  i nanesenim prevlakama do 37  $\mu\text{m}$ .

## Ekstrudiranje stirenskih polimera

Prerada stirenskih polimera ekstrudiranjem je zasnovana na konvencionalnim jednopužnim ekstruderima, gde se osnovna veličina definiše u funkciji veličine proizvoda i ukupnog projektovanog kapaciteta. Najpovoljniji uslovi prerade se postižu korišćenjem ekstrudera sa dvostepenim ili trostepenim ventovanim ekstruderima. Ventovani ekstruderi obezbeđuju mogućnost uklanjanja malih količina zaostalih isparljivih supstanci koje ostaju nakon sušenja i utiču na kvalitet ekstrudata. Kao prihvatljiva rešenja se uzimaju gornji ili bočno postavljeni sistemi za ventovanje, ali su poslednji lakši za kontrolu i čišćenje.

U primeni su različite dužine cilindara i prečnika pužnih vijaka. Kod dvostepenog ekstrudera (sa jednim otvorom za ventovanje) se preporučuje odnos  $L/D=24-32:1$ , dok je kod trostepenog (sa dva otvora za ventovanje) standard  $L/D=36-40:1$ . Bez obzira da li se radi o dvostepenom ili trostepenom ekstruderu, značajno je da cilindar bude otporan na abraziju ili da poseduje bimetalni sloj na površini.

Proizvodnja kvalitetnog ekstrudata sa stirenskim polimerima je u direktnoj vezi sa projektovanim rešenjem pužnog vijaka. Pravilno projektovan pužni vijak prihvata granule iz dozirnog levka i pokreće ih unapred kroz cilindar uniform-



### Tipično pakovanje sita

izlazi na mestu za ventovanje. Pužni vijak mora da prazni rastop na konstantnoj temperaturi i pritisku, kako ne bi dolazilo do variranja debljine zidova proizvoda i slabe uniformnosti.

Ukupno posmatrano, preporučuje se da kod dvostepenog jednopužnog ekstrudera odnos  $L/D$  bude najmanje 30:1. Poželjan je i kompresioni odnos u prvom stepenu u opsegu 2,5:1 do 3:1. Niži kompresioni odnos je bolji kod viskoznijih materijala, dok je niži kompresioni odnos povoljniji kod materijala sa manjim viskozitetom. Odnos pumpanja, odnosno, odnos dubine u zoni istiskivanja druge zone kroz dubinu u zoni istiskivanja u prvoj zoni, treba da se nalazi u opsegu 1,5-2,0:1.

Pored konvencionalnih merača pritiska rastopa na vrhu pužnog vijaka, poželjan je još jedan merač u blizini zone prelaza stepena kod ekstrudera. Pritisaci u glavi mogu da variraju u opsegu 7.000-40.000 MPa, sa ciljem da se regulišu na opseg 7.000-20.000 MPa. Značajnije fluktuacije pritiska u glavi alata ukazuju na potrebu smanjivanja temperatura u prednjoj zoni cilindra. Ukoliko se merenje pritiska obavlja sa obe strane pakovanja sita, povećanje razlike pritiska ukazuje na potrebu da se ono promeni.

Važan faktor je i pritisak u blizini čela prelaza prvog u drugi stepen. Njegovom kontrolom se postiže povoljan nivo, putem podešavanja temperature cilindra i brzine obrtaja pužnog vijaka za korišćeni tip pužnog vijaka.

nom brzinom, stvarajući dovoljnu količinu toplote trenjem na zidu cilindra. Tečenje rastopa između prve i druge zone mora da bude izbalansirano, kako bi se uspostavio odnos tečenja, a naredni stepen prenosio na vreme dovoljnu količinu rastopa, sprečavajući je da