

# PREPORUKE ZA INJEKCIONO PRESOVANJE POLIOLEFINA - 7. Deo

## Krivljenje proizvoda

**K**rivljenje (vitoperenje) proizvoda je posledica **neravnomernog skupljanja** otpreska usled neuniformnog hlađenja. Kada se otpresak krivi nakon vađenja iz kalupa, on poprima svoj "prirodni" oblik oslobađanjem napona koji su se razvili za vreme hlađenja otpreska u kalupu. Problem koji je često teško rešiti je u tome da se minimiziraju tzv. "zamrznuti" naponi, pri čemu otpresak može kasnije da ih "zapamti" i oslobodi za vreme hlađenja do sobne temperature. U slučajevima kada su otpresci očvrsteli nakon izbacivanja iz kalupa, određeno izlaganje većim temperaturama može da dovede do relaksacije i krivljenja. Artikli koji su projektovani tako da imaju znatne razlike u debljinama poprečnih preseka su mnogo više skloni krivljenju u odnosu na one sa uniformnijim debljinama, zbog većih zaostalih temperatura u debljim sekcijama.

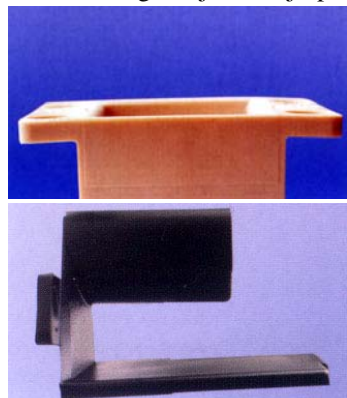
Osim neuniformnog hlađenja, zamrznuti naponi se generišu u kalupu putem parametara procesa, kao što su: preveliki pritisak presovanja, sporo punjenje kalupa, nedovoljni povratni pritisak ili suviše niska temperatura rastopa.

Ne postoji jedno jedino, jasno rešenje za sprečavanje krivljenja. Podešavanjem uslova inekcionog presovanja, redefinisanjem projektnog rešenja artikla ili kalupa, izborom materijala uže raspodele molekulskih masa, ili kombinovanjem ovih parametara, mogu se smanjiti unutrašnji naponi. Generalno, najmanje krivljenje će se odigrati kada je: temperatura rastopa podešena na maksimum, temperatura kalupa visoka, pritisak ubrizgavanja na minimumu i kada je vreme ubrizgavanja kratko.

Odnosno, neki načini za smanjenje krivljenja su:

- **Uslovi presovanja** – Treba koristiti visoku temperaturu cilindra i visoku temperaturu kalupa; koristiti niske temperature u blizini ušća i glavnog dovodnog kanala; upotrebiti minimalno hlađenje udaljenih delova kalupa; upotrebiti niži pritisak ubrizgavanja; vreme ubrizgavanja treba da bude kratko; koristiti duže vreme zadržavanja;
- **Konstrukcija kalupa** – Koristiti adekvatan položaj ušća;
- **Svojstva plastičnog materijala** – Koristiti plastični materijal manje gustine; koristiti materijal veće vrednosti masenog protoka rastopa (MFR).

Injekciono presovanje na **visokim temperaturama** omogućava da se naponi koji su indukovani (proizvedeni) za vreme ubrizgavanja umanje pre nego što se otpresci izvade iz kalupa.



Slika 21. Krivljenje u rubnim oblastima (gore) i krivljenje usled razlika temperatura kalupa (dole)

Rad sa **toplim kalupom** takođe omogućava relaksaciju napona pre otvaranja kalupa. Često je potrebna razlika u hlađenju između polovina kalupa, kako bi se proizveli delovi bez krivljenja, posebno oni koji poseduju velike ravne sekcije.

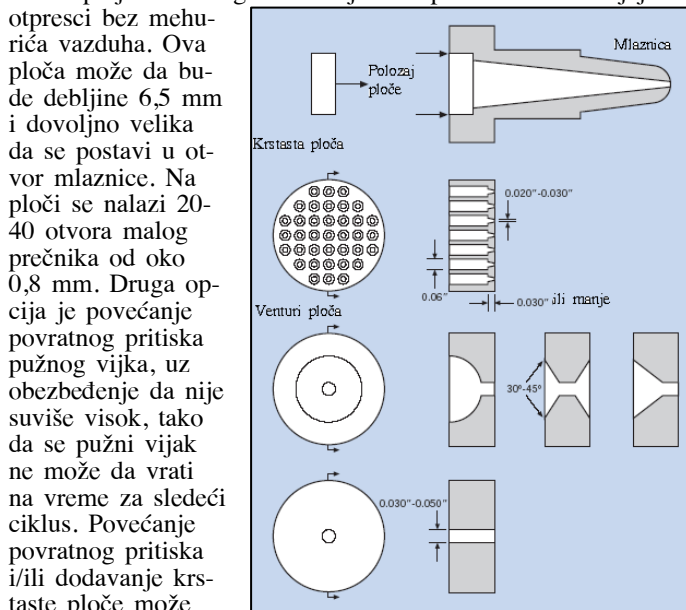
**Pritisci ubrizgavanja i punjenja** treba da budu odgovarajući, tako da osiguraju lako punjenje, ali ne bi trebalo da budu podešeni isuviše visoko, kako bi se omogućilo da se neki naponi oslobode pre izbacivanja iz kalupa.

Povećanje **brzine ubrizgavanja** će smanjiti vreme ubrizgavanja, što će omogućiti da se kalup brže puni, pre nego što dođe do znatnijeg hlađenja udaljenih delova. Time se daje mogućnost celokupnom otpresku da se uniformnije hladi, što smanjuje krivljenje.

Neki od ovih pomoćnih načina, kao što su visoka temperatura rastopa ili niži pritisak ubrizgavanja, mogu da povećaju vreme trajanja ciklusa. Rešenje u kome se koristi materijal sa višom vrednošću MFR-a može da poništi povećanje vremena ciklusa. Materijali sa većom tečljivošću će omogućiti niže pritiske ubrizgavanja, koji mogu da skrate vreme trajanja ciklusa. Dodatno, materijali sa većom tečljivošću obično pokazuju manju "memoriju" elastičnosti, što takođe može da smanji krivljenje. Materijali manje gustine (kod polietilena) su samo nešto malo podložniji krivljenju u odnosu na materijale veće gustine. Razlike između skupljanja u pravcu tečenja i skupljanja u poprečnom pravcu mogu da rezultiraju krivljenjem. Polietilen visoke gustine je poznat kao materijal koji ima veliku razliku između skupljanja u ova dva pravca, dok je polipropilen bolje izbalansiran u ovom smislu. S obzirom da su i krivljenje i skupljanje pod jakim uticajem načina hlađenja otpreska i njegove geometrije (uniformnost debljina i putevi tečenja), veoma je važno da se prouče ovi faktori u ranim fazama projektovanja proizvoda i kalupa.

## Disperzija obojenja i zarobljeni vazduh

Efikasno sredstvo za poboljšanje disperzije i sprečavanje da mehurići vazduha uđu u kalup zajedno sa rastopom je korišćenje krstaste ploče na kraju cilindra, između vrha pužnog vijka i mlaznice (sl. 22). Povratni pritisak koji deluje na rastop, u najvećem broju slučajeva, istiskuje sav vazduh napolje između granula koje se tope i time se dobijaju otpresci bez mehurića vazduha. Ova ploča može da bude debljine 6,5 mm i dovoljno velika da se postavi u otvor mlaznice. Na ploči se nalazi 20-40 otvora malog prečnika od oko 0,8 mm. Druga opcija je povećanje povratnog pritiska pužnog vijka, uz obezbeđenje da nije suviše visok, tako da se pužni vijak ne može da vrati na vreme za sledeći ciklus. Povećanje povratnog pritiska i/ili dodavanje krstaste ploče može takođe da bude od koristi za disperziju obojenja i homogenost temperature rastopa.



Slika 22. Izgled i položaj krstaste ploče od koristi za disperziju obojenja i homogenost temperature rastopa. Pri radu sa visokim procesnim temperaturama, povratni pritisak treba da se drži na minimumu, kako bi se sprečila degradacija materijala.

Nastavak u Biltenu 2/2007

# Ekstrudiranje ploča na bazi polietilena visoke gustine

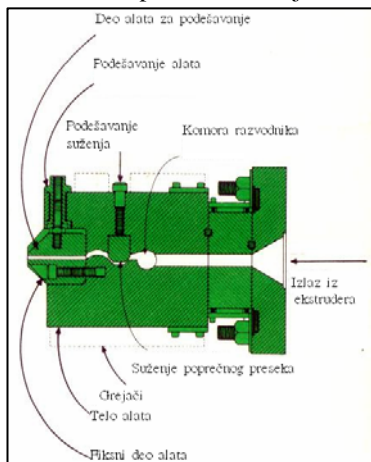
## Materijali

Ploče se mogu ekstrudirati korišćenjem polietilena visoke gustine (PE-HD) u širokom opsegu masenog protoka rastopa (MFR), ali samo oni materijali koji imaju vrednosti MFR-a blizu donjeg limita se generalno preporučuju za ekstrudiranje ploča. Sa gustinom od 960 kg/m<sup>3</sup> za etilenske homopolimere i 950 kg/m<sup>3</sup> za etilen-butenske kopolimere, preporučuju se nominalne vrednosti MFR-a u opsegu 0,1-3. Ploče proizvedene od materijala veće vrednosti MFR-a mogu da imaju veći sjaj, ali se može javiti prekomerno savijanje, kao i drugi problemi za kasnije eventualno termoformiranje ovih ploča. Osim na svojstva optimalnog oblikovanja, niža vrednost MFR-a takođe obezbeđuje maksimalnu žilavost i najbolju otpornost na lom u medijumu (ESCR), pri bilo kojim vrednostima gustine. U primenama gde je ESCR od ključne važnosti, izabira se butenski kopolimer gustine 950 kg/m<sup>3</sup>. S druge strane, homopolimer gustine 960 kg/m<sup>3</sup> se izabira kada se želi postići maksimalna krutost.

## Oprema

Polietilen se može ekstrudirati u ploče debljine 0,4-13 mm na suštinski istoj opremi koja se koristi za ekstrudiranje polistirena otpornog na udar (PS-HI), uz neke izmene.

**Ekstruder.** Preporučuje se L/D odnos 20:1 ili više. Pužni vijak treba da ima duboke kanale, konstantan korak, i treba da ima kompresionu sekciju. Kompresioni odnos treba da bude između 3:1 i 4:1.



### Glava ekstrudera.

Može da se koristi glava za ekstrudiranje PS ploča.

**Jedinica sa poliranim valjcima.** Sastoji se od tri polirana valjka i dodatnih valjaka (opciono) za dodatno hlađenje. Visoko polirani, hromirani valjci imaju prečnike od najmanje 200 mm, pri čemu se sa većim prečnicima postižu veće proizvodne brzine.

### Jedinice za kontrolu

**temperature.** Potrebna je po jedna jedinica za kontrolu temperature svakog valjka. Svi treba da budu snabdeveni tečnošću za hlađenje velikog kapaciteta, koja cirkuliše kroz valjke koji su na temperaturama do 124 °C. Ako se koristi voda, apsolutno je neophodno da se koriste sistemi pod pritiskom.

**Transporter za hlađenje.** Smešten je između jedinice sa poliranim valjcima i jedinice sa gumiranim valjcima za izvlačenje, i omogućava da se ploča ravno kreće i dodatno hladi. Treba da bude dugačak više od 3 metra i da obezbedi finalno hlađenje putem vazдушnih duvaljki, raspršavanja vode, ili na neki drugi način. Oprema koja ima integrisane polirane valjke i gumirane valjke i koja obično ima transporter za hlađenje dužine 1,5 metar ima ograničenja u pogledu kapaciteta proizvodnje.

**Gumirani valjci za izvlačenje.** Oba valjka su gumirana, kako bi se postiglo dobro vučenje, i njihova brzina je za 20% veća ili za 10% manja u odnosu na polirane valjke.

**Rezanje i namotavanje.** Postoji veći izbor opcija za ove operacije.

## Kontrola kvaliteta

Uniformnost dimenzija ploče po širini i dužini je od ekstremne važnosti za postizanje dobrog izgleda površine i najboljih karakteristika za eventualno termoformiranje. Bilo kakve teškoće vezane za neujednačeno grejanje ili krivljenje za vreme procesa oblikovanja obično su posledica loše kontrole dimenzija prilikom ekstrudiranja.

Kada se ekstrudira nepigmentirana PE-HD ploča, vizuelna indikacija uniformnosti debljine ploče je senka i izgled ploče u centru zida na poliranom valjku. Tanka oblast na ploči će izgledati kao tamna mrlja na poliranom valjku, a površina ploče će biti mat. Deblje sekcije će biti preterano polirane u poređenju sa ostatkom ploče. Iz tog razloga, najbolje je započeti rad sa pločom u prirodnoj boji, pre nego što se počne prerada sa obojenim kompaundima. Međutim, i nakon toga će ipak biti potrebno neko malo podešavanje, zbog razlika u tečenju pigmentiranog materijala.

Uobičajena praksa je podešavanje debljine ploče suženjem poprečnog preseka u glavi ekstrudera kod debljih ploča (preko 1,5 mm). Podesiva oštra ivica matrice ekstruzione glave se češće koristi za ploče manje debljine. Takođe je veoma praktičan rad sa samo tri podešavanja ivice, i to: 6,35 mm za sve ploče u opsegu debljina 6,35-2,54 mm; 3,18 mm za ploče debljina 2,54-0,8 mm i 0,8 mm za sve ostale manje debljine ploče.

Otpad koji ne sme da bude zaprljan i koji treba da je usitnjen na iste dimenzije kao što su originalne granule materijala, može da se blenduje sa čistim materijalom i dodaje u levak ekstrudera. Međutim, treba imati u vidu da će prevelike količine dodatog regenerata umanjiti savijanje ploče za vreme termoformiranja. Iz tog razloga, treba uvek koristiti konstantnu količinu dodatog regenerata, kako bi se osigurao uniformni kvalitet ploče. Takođe, za kritično termoformiranje sa dubokim izvlačenjem, ploča treba da sadrži malo ili nimalo regenerata. U tim slučajevima, otpadni materijal može da se sačuva za dobijanje plitkih artikala velike površine, jer će tu umanjeno savijanje grejane ploče biti dodatna prednost.

Savijanje za vreme termoformiranja može dodatno biti umanjeno korišćenjem maksimalnog otvora glave i najveće temperature rastopa koja odgovara dobrom kvalitetu ploče.

### Tipični uslovi ekstrudiranja PE-HD ploča

Parametar/PE-HD*	1	2	3	4	5
Debljina ploče, mm	1,5	3,12	4,68	1,5	3,12
Temp. cilindra, °C					
Zona 1	188	188	188	188	188
Zona 2	193	193	193	193	193
Zona 3	199	199	199	199	199
Zona 4	204	204	204	204	204
Temperatura u glavi, °C	204	204	204	204	204
Pritisak u glavi, MPa	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
Temperatura mlaznice, °C	204	204	204	204	204
Inicijalni otvor alata, mm	3,1	6,3	6,3	3,1	6,3
Temp. polir. valjaka**, °C					
Na vrhu	99	99	99	99	99
U sredini	110	110	110	104	104
Na dnu	107	107	107	99	99
Četvrti (dodatna oprema)	88	88	88	88	88
Peti (dodatna oprema)	65	65	65	65	65
Otvor poliranih valjaka, mm	1,5	3,12	4,68	1,5	3,12

\*Legenda: 1 – PE-HD homopolimer gustine 960 kg/m<sup>3</sup> i sa vrednošću MFR-a 0,1 g/10 min.; 2 – homopolimer sa MFR 0,2 g/10 min.; 3 – homopolimer sa MFR 0,3 g/10 min.; 4 i 5 – PE-HD butenski kopolimer gustine 950 kg/m<sup>3</sup> i sa MFR 0,3 g/10 min.

\*\*Temperature tečnog rastopa. Temperature na površini su za oko 15 °C niže pre nego što ploča prođe kroz sistem valjaka. Ove temperature veoma mnogo zavise od kapaciteta