

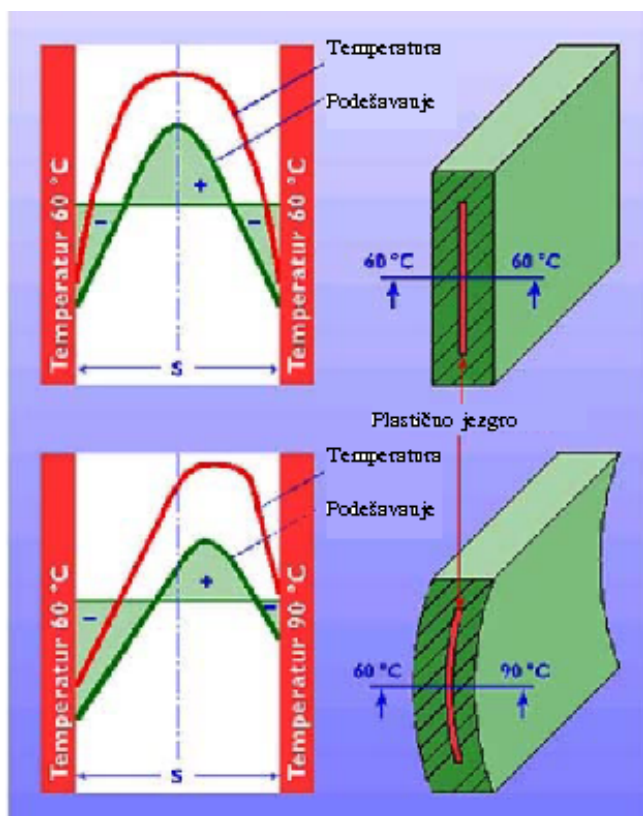
## Problemi skupljanja i uvijanja otpresaka (2. Deo)

### Uslovi prerade

Tokom prerade, period držanja i veličina pritiska držanja imaju najveći uticaj na ponašanje pri skupljanju otpreska. Tokom perioda držanja pod pritiskom, rastop nastavlja da se utiskuje u otpresak, odnosno u središnji deo koji je još uvek u stanju rastopa, čime se delimično kompenzuje ponašanje pri skupljanju. Ako su ušće i kalup projektovani optimalno, može se postići smanjenje skupljanja do 0,5% kod kristalastih termoplasta. U slučaju amorfnih materijala se mogu postići maksimalne vrednosti do 0,2%, što je posledica manje mogućnosti skupljanja. Pored temperature zidova kalupa, koja utiče na pozitivan ili negativan uticaj pritiska držanja, važna je i brzina hlađenja. Pri visokoj temperaturi zidova, otpresak se mnogo sporije hladi. Kod kristalastih materijala sporo hlađenje vodi ka produženom procesu kristalizacije i time do povećanja procesnog skupljanja.

### Tehnologija kalupa

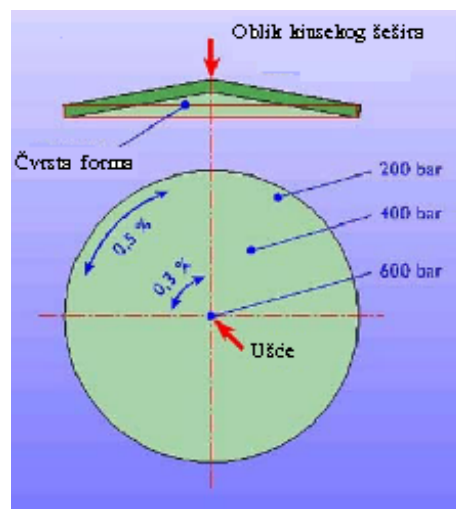
Različite temperature u različitim delovima kalupa vode ka različitom skupljanju i time se menjaju svojstva otpreska. U slučaju nejednake temperature kalupa između unutrašnje i spoljašnje strane otpreska, plastični materijal na toplijoj strani se skuplja više nego onaj na strani sa nižom temperaturom. Tokom nejednakog procesa hlađenja postoji razlika u temperaturnom profilu rastopa koji očvršćava, što rezultira u različitim vrednostima skupljanja i različitim naponu hlađenja otpreska.



Slika 1. Razlike u skupljanju usled varijacija temperature kalupa

### Projektovanje i lokacija ušća

Pozicija ušća je često veoma kritično mesto sa aspekta skupljanja. Kako bi se obezbedilo odvajanje sistema ulivnih kanala i ušća od otpreska bez problema, najčešće se izabira veoma malo ušće. To za rezultat daje poprečni presek koji veoma brzo očvršćava, tako da se za kratko vreme prekida mogućnost dovoda rastopa u kalupnu šupljinu. S obzirom da se radi sa malim protokom tokom perioda držanja u kalupu, toplota dobijena smicanjem nije dovoljna da održi



Slika 2. Uticaj pritiska držanja u najbližoj i najdaljoj tački od ušća

ušće prohodnim u ovoj fazi presovanja. Prerano zamrznuto ušće smanjuje efikasnost pritiska držanja, tako da dolazi do grešaka na površini otpreska i može se očekivati razlika u skupljanju u slučaju varijacija debljina zida. Dodatno, vezano za projektovanje ušća, lokacija ušća ima značajnu ulogu u ponašanju pri skupljanju. Isuviše dugački putevi tečenja rastopa utiču na efikasnost pritiska držanja i time na ponašanje pri skupljanju. Usled razlika pritisaka u otpresku, manje skupljanje se dešava u blizini ušća, nego u delovima koji su udaljeniji od mesta ulaska materijala.

## 10 (11) osnovnih principa ekstrudiranja

Osnovni principi ekstrudiranja, sažeti u 10 (11) tačaka, viđenje su jednog od eksperata iz ove oblasti, američkog konsultanta Allana Griffa. Oni predstavljaju pojmove koje uvek treba imati u vidu, jer koriste u postizanju većeg kvaliteta, efikasnijeg korišćenja opreme i ekonomičnog poslovanja.

**1. Mehanički princip.** Osnovni mehanički principi ekstrudiranja su jednostavni, naime, pužni vijak se okreće u cilindru i potiskuje plastični materijal napred. Pužni vijak je u suštini iskrivljena ploča, obmotana oko centralne osovine. Namera je da se uveća sila koja je potrebna da bi se prevazišao veliki otpor. U slučaju ekstrudera, potrebno je prevazići tri vrste otpora: trenje čvrstih čestica (u zoni napajanja) o zidove cilindra, kao i njihovo međusobno trenje pri početnim obrtajima pužnog vijka; adheziju rastopa na zidove cilindra; otpor tečenju unutar rastopa pri njegovom potiskivanju napred.

Još je Isak Njutn dao objašnjenje da ukoliko se stvar ne kreće u datom pravcu, to je posledica uravnoteženih sila koje deluju na stvar u tom pravcu. Tako se i pužni vijak ne kreće u aksijalnom pravcu, iako se okreće velikom brzinom u poprečnom smeru po obodu. U tom slučaju su aksijalne sile na pužnom vijku balansirane i, s obzirom na potiskiva-

nje rastopa napred, on vrši i potiskivanje unazad sa jednakom silom. Tako pužni vijak deluje pritiskom na ležajeve koji se nalaze iza dozirnog levka.

Najveći broj pužnih vijaka je sa desnim navojem, kao što su vijci koji se koriste kod mašina ili stolarije. Oni se okreću suprotno od smeru kazaljke na časovniku, gledano odpozadi, kao da "pokušavaju" da uviju sami sebe u cilindar. Kod nekih dvopužnih ekstrudera se dva pužna vijka okreću u suprotnim smerovima u dvostrukom cilindru i međusobno se prožimaju, tako da se jedan okreće udesno, a drugi ulevo. Kod drugih samoprožimajućih dvopužnih ekstrudera oba pužna vijka se okreću u istom smeru i moraju da imaju istu orijentaciju. U svim slučajevima, međutim, ležajevi primaju povratnu silu i time održavaju Njutnov princip.

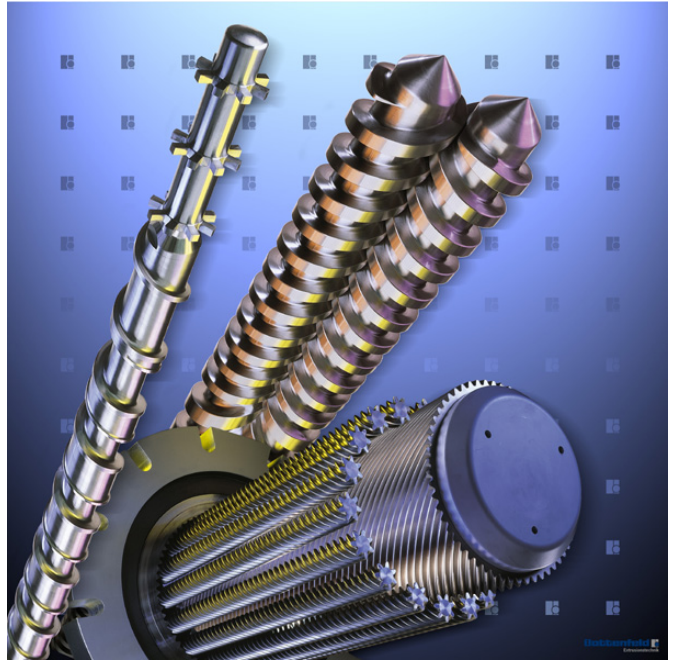
**2. Termički princip.** Plastični materijali koji se ekstrudiraju su termoplasti i oni se tope pri zagrevanju i ponovo očvršćavaju pri hlađenju. Ključno pitanje je odakle dolazi toplota koja je potrebna da se istopi plastični materijal. Predgrevanje i grejači postavljeni u cilindru imaju svoj doprinos i ključni su pri startovanju. Međutim, energija koju daje motor je daleko najvažniji izvor toplote, usled stvaranja toplote trenjem unutar cilindra, kada motor pokreće pužni vijak nasuprot otporu viskoznog rastopa. Ovo nije slučaj samo kod veoma malih sistema, pužnih vijaka koji se sporo obrću, plastičnih materijala koji se tope na visokim temperaturama i primena za ekstruziono prevlačenje.

Važno je shvatiti da grejači u cilindru nisu primarni izvor toplote tokom rada i time imaju mnogo manji efekat na ekstrudiranje, nego što bi se moglo očekivati (princip 11). Temperatura cilindra u napojnoj zoni može da bude važna, jer utiče na količinu čvrstog materijala koji se transportuje pri doziranju. Kod glave alata uobičajeno treba da budu temperature koje su potrebne za topljenje materijala, osim ako se ne radi o specifičnim namenama, kao što su sjaj, distribucija tečenja ili kontrola pritiska.

**3. Princip smanjenja brzine.** Kod najvećeg broja ekstrudera se brzina pužnog vijka menja modifikovanjem brzine elektromotora. Motor se uobičajeno okreće sa 1.750 o/min, pri punoj brzini, ali je to previše brzo za pužni vijak ekstrudera. Ukoliko bi se okretao toliko brzo, stvorilo bi se previše toplote trenja, a vreme zadržavanja plastičnog materijala u ekstruderu bi bilo suviše kratko, da bi se formirao uniformni i dobro izmešani rastop. Obično je odnos redukcije brzine između 10:1 i 20:1. Prvi stepen redukcije obično uključuje zupčastu menjačku kutiju ili kaišni prenosnik, dok drugi stepen redukcije uvek koristi zupčasti menjač, a pužni vijak je postavljen u centralni poslednji zupčasti prenosnik.

Kod mašina sa malim brojem obrtaja (kao što su dvopužni ekstruderi za kruti PVC) mogu da postoje tri stepena redukcije, a brzina može da bude tako mala kao što je 30 o/min. ili manje, sa odnosnom smanjenja brzine 60:1. Na drugoj strani, neki veoma dugački dvopužni ekstruderi za kompaundiranje mogu da rade sa brzinom od 600 o/min. ili više, tako da je potreban veoma mali odnos smanjenja brzine, ali i veoma intenzivno hlađenje.

**4. Dozirani materijal se ponaša kao rashlađivač.** Ekstrudiranje je transfer energije od motora, i ponekad od grejača, na hlađan plastični materijal, čime se postiže njegovo pretvaranje iz čvrstog stanja u rastop. Dozirani materijal je hladniji u odnosu na cilindar i površinu pužnog vijka u napojnoj zoni. Međutim,



površina cilindra u zoni doziranja je skoro uvek iznad opsega topljenja plastičnog materijala. Hladi se putem kontakta sa doziranim materijalom, ali se uvek održava toplom putem kontrolisanog grejanja cilindra. Čak i kada se izlazni deo cilindra održava toplim usled trenja i nije potrebno grejanje, prednji grejači moraju da budu uključeni. Najvažniji izuzetak od ovog pravila je cilindar sa nažljebljenom napojnom zonom, koji se koristi pretežno kod polietilena visoke gustine.

Površina osovine pužnog vijka se takođe hladi od strane doziranog materijala i izolovana je od zida cilindra doziranim plastičnim materijalom, kao i vazduhom između njega. Ukoliko se pužni vijak iznenada zaustavi, zaustavlja se i doziranje i površina pužnog vijka postaje toplija u napojnoj zoni, jer se toplota sprovodi sa toplijeg izlaznog dela. Ovo može da prouzrokuje lepljenje čestica materijala na osovinu pužnog vijka.

**5. Lepljenje na cilindar i klizanje po pužnom vijku u napojnoj zoni.** Kod maksimalnog transporta čvrstog materijala u napojnoj zoni sa glatkim cilindrom kod jednopužnog ekstrudera, može da dođe do lepljenja čestica na cilindar i proklizavanja na pužnom vijku. Ukoliko se čestice zalepe na osovinu pužnog vijka ne postoji ništa što će ih odatle skloniti, pa se time zapremine kanala i doziranje čvrstih čestica smanjuje. Lepljenje na osovinu je takođe nepoželjno, jer na tom mestu može da dođe do pregrevanja materijala i stvaranja gela i sličnih čestica koje vrše kontaminaciju. Takođe, ovo može da prouzrokuje i smanjenje kapaciteta.

Najveći broj plastičnih materijala po prirodi stvari kliza po osovinu jer dolazi u hladnom stanju, a osovina pužnog vijka se ne zagreva trenjem toliko koliko se zagreva zid cilindra. Neki materijali imaju tendenciju većeg lepljenja od drugih, kao što su na primer PVC sa visokim sadržajem plastifikatora, amorfni PET i određeni kopolimeri poliolefina sa adhezivnim svojstvima koja su poželjna za njihovu krajnju primenu.

U slučaju cilindra, plastični materijal se takođe lepi, ali biva skinut i potisnut putem navoja pužnog vijka. Potreban je visok koeficijent trenja između materijala i cilindra, koji je pod značajnim uticajem temperature cilindra u napojnoj zoni. Ukoliko ne dolazi do lepljenja materijala, on vrši samo kružno kretanje i ne pomera se napred. Površinsko trenje nije jedina stvar koja ima uticaja na doziranje. Mnoge čestice nikada ne dođu u kontakt sa cilindrom ili osovinom



pužnog vijka, tako da je trenje neophodno, kao i mehaničko i adhezivno povezivanje unutar mase granula.

Ožljebljeni cilindri su poseban slučaj. Žljebovi se nalaze u napojnoj zoni koja je termički izolovana od ostatka cilindra i intenzivno se hladi vodom. Navoj na pužnom vijku pritiska granule unutar žljebova i time razvija veoma visok pritisak na veoma kratkom rastojanju. Ovim se omogućava manji broj obrtaja pužnog vijka za isti kapacitet, ali se stvara manje toplote trenjem, što daje nižu temperaturu rastopa. Ovo može da doprinese bržoj proizvodnji kod linija sa ograničenim hlađenjem, kao što je proizvodnja duvanog filma. Žljebovi su posebno pogodni za PE-HD, koji najviše proklizava od svih visokotonažnih plastičnih materijala, osim fluoropolimera.

*Nastavak u sledećem broju.*

### Optimizacija procesa injekcionog duvanja poliolefina

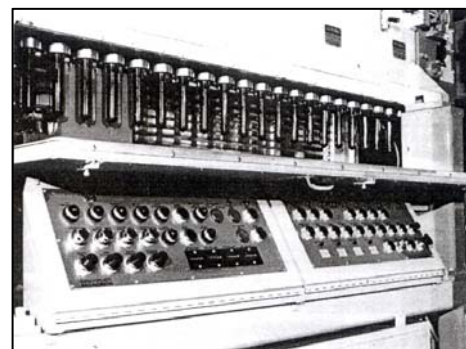
**D**a bi se postigli najbolji mogući otpresci u procesu izrade predformi za razduvanje, u najkraćem vremenu, sa najnižim troškovima, potrebno je izvršiti balansiranje dve osnovne promenljive: temperature i pritiska ubrizgavanja. U ovom tekstu će se dati neke važne napomene vezane za preradu poliolefina (polietilena i polipropilena) ovom tehnikom.

S obzirom da poliolefini postaju sve više tečljivi sa porastom temperature, pritisak koji je potreban da napuni kalup sa rastopom materijala zavisi u velikoj meri od temperature rastopa. Četiri osnovne promenljive vezane za mašinu za injekciono presovanje treba da budu podešene, kako bi se obezbedilo punjenje kalupa predforme, a to su: **temperatura, pritisak, brzina ubrizgavanja i vreme ubrizgavanja**. Ukoliko je potrebno postizanje tzv. "kratkih" ubrizgaja, rešenje može da bude: povećanje temperature (kako bi se dobio materijal nižeg viskoziteta), povećanje pritiska ili povećanje brzine i vremena ubrizgavanja, što sve zajedno rezultira u željenom punjenju kalupa predforme.

Veća vrednost masenog protoka rastopa (MFR, MI) čini boljim svojstva tečljivosti poliolefina, i potreban je niži pritisak ubrizgavanja i/ili niža temperatura cilindra, kako bi se izvršilo punjenje kalupne šupljine. Tako, smanjenje pritiska ubrizgavanja, bez povećanja vrednosti MFR-a ili veće tečljivosti, mora da bude praćeno povećanjem temperature cilindra. Obrnuto,

povećanje pritiska bez promene vrednosti MFR-a mora da bude praćeno smanjenjem temperature, kako bi se sprečilo stvaranje viška materijala na predformi.

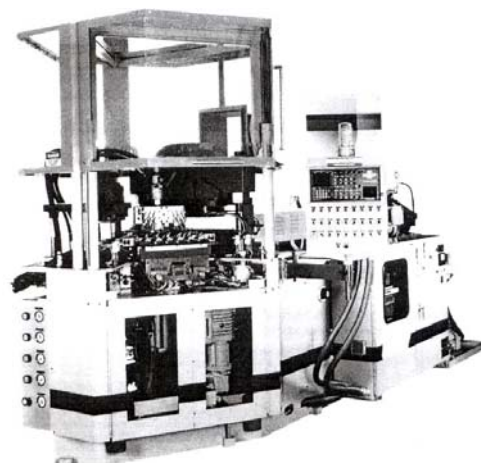
Upotreba polietilena visoke gustine (PE-HD) može značajno da skрати



Slika 1. Predforme u mašini za injekciono duvanje

vreme trajanja ciklusa, zahvaljujući većoj krutosti i većoj temperaturi omekšavanja. Ovo svojstvo znači da se PE-HD

predforme mogu prebacivati u kalup za razduvanje na višim temperaturama. Vreme koje se može uštedeti zavisi od veličine i oblika otpreska, kao i od brzine mašine.



Slika 2. Mašina za injekciono duvanje

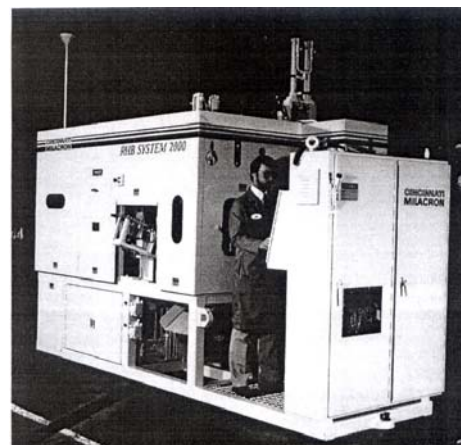
Da bi se postigla maksimalna proizvodnja, brzine ubrizgavanja moraju da budu velike, a temperatura ubrizgavanja što je moguće niža. Donje ograničenje je fiksirano zahtevom da predforma ne sme da očvrstne kada se prebacuje u kalup za razduvanje. Međutim, nepravilno zamrznuta površina artikla ukazuje na to da je temperatura ubrizgavanja suviše niska. Ove linije mogu da budu posledica i raslojavanja koje se dešava kada se materijal potiskuje kroz mlaznicu ili ušće. Povećanjem temperature ubrizgavanja (radi smanjenja viskoziteta rastopa) i smanjenjem pritiska se mogu eliminisati ovakve nepravilnosti.

Hrapavost površine se takođe pojavljuje ako se materijal na mlaznici mašine za injekciono presovanje suviše ohladi između pojedinih ciklusa. To se može eliminisati instaliranjem grejača na konvencionalnoj mlaznici ili neznatnim suženjem ušća.

Spoljni površinski defekti mogu da budu prouzrokovani i defektima u kalupu za predformu ili u kalupu za razduvanje predforme, pri čemu se u oba slučaja problem rešava poliranjem kalupa. Kao i kod ekstruzionog duvanja, ispusti za ventovanje u kalupu za razduvanje omogućavaju da izađe zarobljeni vazduh, čime se sprečava pojava drugih defekata na površini artikla.

Temperature ubrizgavanja moraju da budu dovoljno visoke da spreče loše spajanje materijala. Za svaki tip poliolefina, najpodesnija temperatura razduvanja mora da se odredi u funkciji od brzine razduvanja. Na toj temperaturi razduvanje predforme je minimizirano, kao i tanke tačkice na gotovom proizvodu.

Ako se na zidu injekciono duvanog artikla pojavljuju tanke mrlje, to znači da je temperatura predforme suviše visoka u momentu kada se vazduh ubacuje u kalup za razduvanje. Uniformne debljine se mogu dobiti ili sniženjem temperature ubrizgavanja ili, ako to nije moguće, obezbeđenjem više vremena za hlađenje predforme pre razduvanja.



Slika 3. Dvostepena mašina za injekciono duvanje

*Quantum*