

## Injekcijsko prešanje za praktičare\*

John GOFF, *G&A Moulding Technology*

Privedila: Đurđica ŠPANIČEK

### *Injection moulding for practitioners*

*Continuing the series of moulding expert John Goff articles from journal Injection world on process optimisation we select some interesting topics.*

*One of them is the important controllable process parameter of screw back pressure. Its selection is critical to optimising product quality and minimising cycle time.*

*Next article discusses why it is important to have a fast injection time. The injection speed that is selected to produce the component dictates the molecular structure that is created. Hence, the correct selection of this value is very important for both process consistency and moulding capability. It is explained how to use the relative viscosity-shear rate curve to determine the right injection time.*

*Cooling time, rather than moulding setting, is regarded by most as the more significant part of the moulding cycle. Therefore, the greater focus is given to cooling time optimisation.*

### Određivanje optimalnoga uspornog pritiska (e. screw back pressures)

Plastificiranje taljevine temelji se na učinkovitom dovođenju toplinske energije. Uobičajen je omjer energije unosa 70 : 30 u korist tarne energije u odnosu na dovedenu energiju grijalima. Usuglašenost odabrane obodne brzine vijka za kombinacije materijal – kalup – ubrizgavalica i odabrane vrijednosti obodne brzine vijka odlučujuća je za postizanje potrebnog unosa energije povezane s konzistencijom volumena ubrizgaja.

Usporni pritisak je kontrolabilni parametar procesa koji se često zanemaruje. To je pritisak koji je generiran na kraju pužnog vijka zbog njegove vrtnje. On uvjetuje potiskivanje toplinom omekšanoga, plastificiranog materijala duž sekcije pužnog vijka i kroz nepovratni ventil. Zbog nakupljanja materijala stvara se pritisak i kada dosegne dovoljnu vrijednost, tjera rotirajući vijak naprijed-natrag do dozirnog uređaja. Dok se rotirajući vijak kreće unatrag, materijal ulazi i povećava volumen na čelu rotirajućeg vijka te se to punjenje nastavlja sve dok vijak ne postigne položaj za ubrizgavanje.

Način vrtnje vijka je najvažniji za osiguranje konzistentnosti volumena materijala koji se ubrizgava u kalup u svakom ciklusu. Vrlo je važan odabir ispravne vrijednosti otpora povrata vijka bilo hidraulički ili na neki drugi način.

Posebice kod ubrizgavalica na hidraulički pogon, ograničavanje dotoka ulja iz ulaznog otvora cilindra ubrizgavalice povećava pritisak zbog otpora između glave pužnog vijka koji djeluje kao klip i cilindra. Što je već ograničavanje dotoka ulja, generira se veći otporni pritisak pa vijku treba više vremena za povratak do položaja vraćanja u početni položaj, što dovodi do porasta tarne energije.

Kod ubrizgavalica s električnim servouređajem usporni pritisak određuje se mjerenjem stvarne sile vijka za punjenje kalupne šupljine. Sila kojom djeluje vijak izravno je proporcionalna stvarno narinutom uspornom pritisku.

\* Izvorno objavljeno na engleskom u časopisu *Injection World*. / First published in English in *Injection World* magazine.

S obzirom na to da je usporni pritisak važan procesni parametar, odabrana vrijednost treba biti optimirana. Tradicionalno se usporni pritisak određuje zbog različitih razloga kako bi se:

- uklonile hlapive komponente, uključujući zrak iz cilindra za taljenje
- jednoliko raspodijelili dodaci u polimernoj taljevini
- postiglo ujednačeno plastificiranje plastomera, a time i preciznija kontrola mase ubrizgaja te
- pobrinulo za promjene u stvarnom ili radnom putu vijka tijekom njegova povratka.

Rezultat određivanja bilo kojeg od navedena četiri čimbenika pridonosi dobivanju homogene taljevine. Određivanje ispravnoga uspornog pritiska pužnog vijka usuglašenoga s njegovom ispravnom obodnom brzinom dovodi do sinergističkoga poboljšavajućeg učinka na homogenizaciju taljevine. Previsok usporni pritisak uzrokuje variranja volumena ubrizgaja zbog nedostatka kontrole povrata vijka. Na to utječe viskoelastično ponašanje plastike.

Prenizak usporni pritisak uvjetuje povrat vijka do njegove zaustavne pozicije bez dostatnog miješanja materijala, što dovodi do slabog plastificiranja.

Usporni pritisak povisit će temperaturu taljevine zbog dodatnog smicanja (trenja) pa što je veći usporni pritisak, bit će i viša temperatura. Svaki signifikantni porast temperature treba ukloniti hlađenjem, stoga treba optimirati usporni pritisak tako da se postigne optimalna homogenost taljevine, a da se pritom ne produlji vrijeme ciklusa.

Dodavanje matične smjese (e. *masterbatch*) rezultira nekonzistentnošću taljevine ili promjenom intenzivnosti boje pa se često zbog toga povisuje usporni pritisak. No povišenje uspornog pritiska povećava unutarnju varijabilnost zbog viskoelastičnosti taljevine. Zato umjesto povišenja uspornog pritiska treba odabrati druge načine za postizanje bolje dispergiranošću, kao što je npr. filtrirajuća mlaznica, ili promijeniti sastav matične smjese.

Usporni se pritisak može prikazati na dva načina, kao:

- hidraulički usporni pritisak i
- specifični usporni pritisak.

Razlika se odnosi, posebice kod hidrauličnih ubrizgavalica, na omjer područja gdje pužni vijak djeluje kao klip za ubrizgavanje i pužnog vijka i mogućega djelotvornog pritiska upumpavanja. Pritisak taljevine i, drukčije rečeno, specifični usporni pritisak uvijek je viši od hidrauličkoga uspornog pritiska, obično u omjeru 10 do 15 : 1.

Primjer izračuna specifičnoga uspornog pritiska za neku novu ubrizgavalicu koja ima radni hidraulički pritisak 160 bara za promjer pužnog vijka od 40 mm i promjer dijela za ubrizgavanje od 125 mm. Radni hidraulički pritisak od 8 bara treba promijeniti u specifični usporni pritisak od 78 bara, prema računu:

- područje klipa: 122,73 cm<sup>2</sup>
- područje vijka: 12,57 cm<sup>2</sup>
- maksimalni radni pritisak: 160 bara hidrauličkih

$$\text{maksimalni mogući radni specifični pritisak} = \frac{122,73}{12,57} \times 160 = 1\,562 \text{ bara}$$

$$\text{specifični pritisak} = \frac{8}{160} \times 1\,562 = 78 \text{ bara}$$

Zbog toga vrijednost specifičnoga upornog pritiska treba uvijek odrediti. Općenito se obično upotrebljavaju vrijednosti od 40 do 180 bara specifičnog pritiska, najčešće u rasponu od 50 do 120 bara. Obično se previsoki uporni pritisak odražava u prekoračenju temperature u zonama zagrijavanja duž cilindra, što je rezultat grijanja zbog trenja koje izaziva pužni vijak.

### Optimalno vrijeme ubrizgavanja

Pri odabiru brzine ubrizgavanja potrebne za praoblikovanje plastomernih taljevina injekcijskim prešanjem stvarna brzina treba biti što viša, vodeći računa o materijalu koji se praoblikuje te kompleksnosti oblika otpreska i kalupa. Riječ *brz* postala je vrlo važna i godinama traju rasprave o tome što je optimalna brzina ubrizgavanja.

Po građi plastomeri sadržavaju velik broj fleksibilnih lanaca koje treba orijentirati kako bi se postigla optimalna tecivost. Odabrana brzina ubrizgavanja treba osigurati da se tijekom prerade ne utječe na strukturne karakteristike materijala. Kao glavno pravilo vrijedi da pri opterećenju orijentirane strukture pokazuju bolja mehanička i optička svojstva te uporabna svojstva izratka od onih kod kojih su lanci stlačeni. Na postizanje potrebne orijentiranosti izravno utječe odabrana brzina ubrizgavanja.

Provjera ispravne brzine ubrizgavanja može se provesti jednostavnim pokusom dvoloma. Pri višoj brzini ubrizgavanja makromolekule su istegnute u smjeru tečenja, dok su pri nižim brzinama sklupčane. Promatranjem otpreska između polarizirajućih filtara vidljiva je morfologija otpreska. Svaka promjena valne duljine zbog unutrašnje refrakcije i/ili refleksije ovisno o zaostalom naprezanju u otpresku može se ustanoviti prema promjeni boje.

Nadalje, što su bliže vrpce i intenzivnost boja, to je viši stupanj interferencije svjetlosti, ovisno o razini naprezanja. Kada su molekularni lanci istegnuti, nema pojave spektra boja, što upućuje na neznatna zaostala naprezanja ili da naprezanja uopće nema.

Kod istegnutih lanaca dominantna je crna boja. Ako su lanci sklupčani, prema boji se može odrediti stupanj zaostalih naprezanja.

Svakako da je previsoka brzina ubrizgavanja jednako štetna kao i preniska jer su molekularni lanci oštećeni zbog previsoke tarne topline. Odabir brzine ubrizgavanja za određenu kombinaciju kalupa, materijala i ubrizgavalice ovisi o različitim zahtjevima kako bi se preradom postigla željena estetska, dimenzijska i funkcionalna svojstva.

Najpopularniji način kontrole za fazu punjenja jednog ciklusa je prema volumenu, hodu ili pozicioniranju pužnog vijka. Odabrana brzina ubrizgavanja za određeni hod kojim se postiže popunjenost od 95 do 98 % izravno je razmjerna vremenu potrebnom da se pužni vijak pomakne od položaja doziranja do položaja preklapanja. Jednostavnije rečeno, što je viša brzina ubrizgavanja, to je kraće vrijeme ubrizgavanja, i obrnuto.

Za korekciju svojstava otpresaka i praćenje procesnih parametara važno je vrijeme ubrizgavanja, a ne brzina ubrizgavanja. To je posebice važno kada se već dobro procijenjene vrijednosti prenose s jedne ubrizgavalice na drugu, čak i kada su istog tipa i istog proizvođača.

Prije razmatranja dostupnih metoda za određivanje ispravnog vremena ubrizgavanja za određeni proizvod treba ukloniti zrak iz svake jezgre pužnog vijka i sustava za punjenje. Signifikantni udio problema pri punjenju posljedica je načina učinkovitog uklanjanja zraka. Manipulacije vremenom ubrizgavanja često su posljedica nastojanja da se prevladaju pogreške kao što su zagorine, nepotpun otpresak ili problemi s površinom otpreska zbog neodgovarajućeg odzračivanja kalupa. Takve promjene vremena ubrizgavanja dovode do loše kvalitete površine, loših optičkih svojstava i stvaranja visokih zaostalih naprezanja.

Neodgovarajuće uklanjanje zraka iz kalupne šupljine uobičajen je problem i, suprotno uvriježenomu mišljenju, uklanjanje zraka jednako je problematično kod malih i velikih otpresaka, posebno kod ubrizgavalica s više kalupnih šupljina. Prisutnost zraka može dovesti do usporavanja kretanja čela taljevine pri punjenju kalupne šupljine, što izaziva pojavu defekta tečenja.

Pri određivanju optimalnog vremena ubrizgavanja za određeni kalup treba se držati dobre alatničarske prakse, a to je da se ventil ostavi otvoren prije negoli se započne proba s kalupom kako bi se odredio stvarni položaj koji omogućuje učinkovito uklanjanje zraka.

Iako se taj postupak temelji na dobrim načelima, ipak ima nedostataka. Suočen s prisutnošću zraka ili plina, prerađivač će smanjiti brzinu ubrizgavanja kako bi prevladao problem zagorijevanja, ali time ne rješava izravno problem. Pri uhodavanju proizvodnje problem otplinjavanja se vraća, što znači da su promjene parametra vremena uzrokovale promjenu kvalitete proizvoda.

Snizanjem brzine ubrizgavanja uklanja se pojava zagorijevanja, ali često se previdi činjenica da je zrak, koji je bio prethodno stlačen, zbog viskoznosti čela taljevine, još uvijek prisutan u kalupnoj šupljini. Taj je zrak potisnut natrag u otpresak. Zbog toga su često na onim dijelovima otpresaka gdje se kalupna šupljina puni na kraju i gdje dolazi nakupljeni uklopljeni zrak ili plin mnogo lošija mehanička svojstva, što dovodi do zakazivanja proizvoda tijekom uporabe.

Gledajući takve dijelove pod mikroskopom, uočljive su poroznosti, struktura je nalik na pjenu, što znači da zrak nije potpuno uklonjen tijekom faze punjenja kalupne šupljine. Nadalje, sniženje brzine ubrizgavanja izaziva nestabilnosti u prerađivanome materijalu. Zbog promjena viskoznosti polimerne taljevine dolazi do promjena u smjesi ili do promjene boje, ili promjena viskoznosti pri ulasku u kalupnu šupljinu uzrokuje variranje dimenzija i/ili problem kvalitete otpreska. Zato je imperativ pri određivanju optimalnog vremena ubrizgavanja da se integrirano promatraju odzračivanje, veličina i položaj ušća te konstrukcija uljevnog sustava. Svaki problem povezan s time treba riješiti prije redovite proizvodnje.

Učinkovito predviđanje količine uklopljenog zraka moguće je danas s pomoću dostupnih softverskih programa, ali treba napomenuti da svi programi ne predviđaju i gdje je zrak uklopljen.

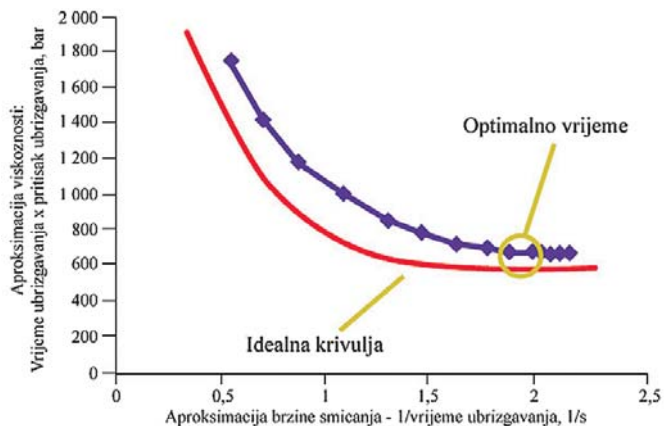
Određivanje vremena ubrizgavanja temelji se uglavnom na prethodnim znanjima i iskustvu. Uvođenjem računalno vođenih ubrizgavalica, koje prikupljaju i pokazuju stvarne procesne parametre, moguće je odrediti vrijeme ubrizgavanja i nadopuniti iskustvene podatke. Općenito gledajući, određivanje vremena ubrizgavanja samo na temelju iskustva traje dulje nego ono na temelju tehničkih podataka.

S obzirom na to da je viskoznost (tecivost) plastomera dominantno vezana uz odabranu temperaturu taljevine i narinuto smično naprezanje (brzinu ubrizgavanja), potrebno je za punjenje kalupne šupljine poznavati jednostavnu krivulju *relativna viskoznost – smična brzina*, koju je moguće odrediti za svaku kombinaciju *kalup – materijal – ubrizgavalica*, ali ta krivulja daje samo grafički prikaz načina ponašanja rastaljenog materijala tijekom punjenja kalupne šupljine.

### Umijeće odabira ispravnog vremena ubrizgavanja

Odabir ispravnog vremena ubrizgavanja relativno je jednostavan ako se rabe podaci o karakteristikama ubrizgavalice. Moderne ubrizgavalice mogu biti tako programirane da mjere i pokazuju specifični pritisak ubrizgavanja za određivanje optimalnog vremena. No za svaku brzinu ubrizgavanja treba snimati i specifični pritisak i vrijeme ubrizgavanja.

Nakon popunjavanja 95 do 98 % kalupne šupljine pri određenoj brzini ubrizgavanja može se, uz odgovarajući pritisak i vrijeme ubrizgavanja, dobiti grafički odnos viskoznosti i smicanja (slika 1).



SLIKA 1 – Krivulja relativna viskoznost – brzina smicanja kao pomoć pri određivanju optimalnog vremena<sup>3</sup>

Takvi grafovi omogućuju prerađivačima da između ekstremnih vrijednosti odaberu one pogodne za punjenje kalupne šupljine s odgovarajućim volumenom potrebnim za zadovoljavajuću kakvoću proizvoda. Kako bi se postigla najbolja uporabna svojstva od ulaznih komponenti, kao i stabilan proces prerade, potreban je odabir odgovarajuće vrijednosti s krivulje viskoznost – smicanje. Ali što znači najbolji odabir?

Glavni kriterij za injekcijsko prešanje je primjena najučinkovitijega i najkraćeg vremena punjenja ubrizgavalice za kombinaciju materijal – kalup – ubrizgavalica. To se temelji na sljedećim elementima: da unutrašnja struktura otpreska zadovoljava tražena uporabna svojstva proizvoda, zahtjeve na površinu, konzistenciju i mogućnost procesa da prevlada variranja od šarže do šarže materijala, uključujući i variranje boje.

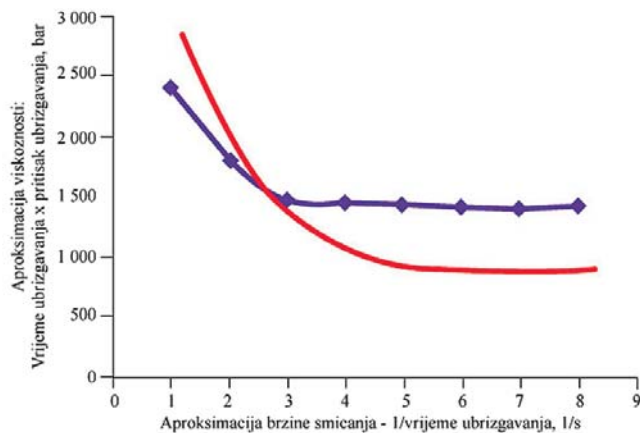
Interpolacija na krivulji vremena ubrizgavanja pokazuje da dulje vrijeme uvjetuje znatne promjene viskoznosti. To znači da se variranje smične viskoznosti polimerne taljevine odražava na kvalitetu proizvoda i dimenzijsku stabilnost.

Sa stajališta optimalnih karakteristika procesa konstruiranje krivulje relativna viskoznost – smicanje može biti pomoć pri rješavanju problema. Pregled krivulja različitih vremena ubrizgavanja pokazuje da rezultat ovisi o kalupu ili ubrizgavalici. Slika 2 opisuje krivulju vremena ubrizgavanja gdje maksimum postignutoga mogućeg tlaka ubrizgavanja i odabrana brzina ubrizgavanja od 80 do 102 mm/s (maksimalno moguća za tu ubrizgavalicu) ne stvara razlike u vremenu ubrizgavanja, ali to dovodi do promjene načina kontrole brzine (pritisak diktira brzinu). Takvi slučajevi uzrokuju slabu kvalitetu otpreska, a predugo vrijeme ubrizgavanja rezultira njegovom lošom površinom.

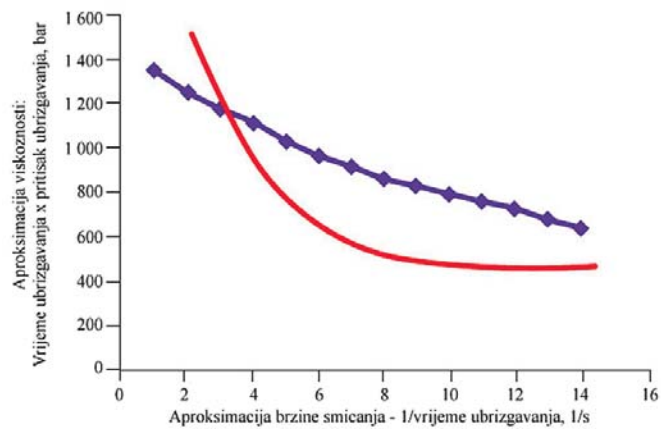
Slika 2 također prikazuje idealnu krivulju koja dopušta da volumen taljevine bude kontrolirano ubrizgan u kalup te pokazuje da je područje ulaza optimalno za taj materijal i izradak.

Krivulja na slici 3 pokazuje upravo obrnuto. Nakon skraćivanja vremena ubrizgavanja odgovarajuća viskoznost znatno pada i uzrokuje preveliko smicanje materijala.

Ovakvi profili upućuju na to da je skraćivanje prisutno u sustavu za grijanje ili hlađenje ili da je premalen otvor. Krivulja *relativna viskoznost – smicanje* može se konstruirati radi poboljšanja postojećeg proizvoda ili na novim strojevima.



SLIKA 2 – Idealna krivulja viskoznost – brzina smicanja<sup>3</sup>



SLIKA 3 – Skraćivanje vremena injektiranja uzrokuje preveliko smicanje materijala<sup>3</sup>

Procesi kojima se određuje optimalno vrijeme ubrizgavanja provode se *pod opterećenjem*. To znači da su pužni vijak i cilindar za taljenje puni taljevine i čvrstog materijala, a rastaljeni materijal provodi se kroz mlaznicu, puni uljevni sustav, uključujući i ušća prije ulaska taljevine u kalupnu šupljinu(e). Zbog toga je ustanovljeno vrijeme ubrizgavanja ovisno o mogućnosti taljevine da svlada otpor prilikom prolaska kroz kalup.

Jednostavan test za određivanje kako *hardver* ubrizgavalice korelira sa *softverom* sustava kontrole je provedba *zračnog izbacivanja* (e. *air shot*). To je isti način provedbe ispitivanja, ali se taljevina ubrizgava iz pužnog vijka i cilindra za taljenje kroz otvor mlaznice u slobodni prostor koji se nalazi unutar zaštitne naprave ubrizgavalice.

Ponovnim punjenjem pužnog vijka i cilindra za taljenje pri specifičnoj brzini ubrizgavanja može se odrediti par: vrijeme ubrizgavanja i vrijeme djelovanja uspornog pritiska. Diskrepancija između dva vremena ubrizgavanja pod opterećenjem i onoga sa zrakom često se koristi da se razluče sposobnosti različitih tipova i modela ubrizgavalica.

Prerađivači se često pitaju zašto je vrijeme ubrizgavanja važnije od brzine ubrizgavanja. Jedan od najvažnijih parametara prijenosa kalupa s jedne ubrizgavalice na drugu je vrijeme ubrizgavanja jer ubrizgavalica može imati drukčiji promjer puža i cilindra ili drukčiju obodnu brzinu pužnog vijka. To znači da za postizanja originalnog vremena ubrizgavanja na novoj ubrizgavalici treba drukčija brzina ubrizgavanja.

U nekim okolnostima ta razlika nije problem. Dapače, prerađivaču će odgovarati skraćivanje vremena da se nadoknadi manji broj otpresaka po



ciklusu. No u nekim uvjetima skraćeno vrijeme ubrizgavanja može dovesti do pada kvalitete nekih ili čak svih preostalih sedam gnijezda (ako se radi o kalupu s osam gnijezda), što nije slučaj ako je u uporabi svih osam. Kraće vrijeme ubrizgavanja može izazvati veće smicanje taljevine, koje utječe na viskoznost i izaziva probleme dimenzijske stabilnosti, površine i variranja boje preostalih sedam gnijezda.

Takve su pojave to češće što je više gnijezda u kalupu.

Za optimalan proces potrebno je ne samo namjestiti volumen nego i brzina ubrizgavanja mora zadržati jednake vrijednosti i pri proizvodnji manjeg broja proizvoda.

### Izazov hlađenja otpreska

Nakon rasprave o problemima vezanima uz dobivanje taljevine i popunjavanje kalupne šupljine važno je posvetiti pozornost načinu otvaranja i zatvaranja kalupa te brzini hlađenja tijekom koje taljevina prelazi u čvrsto stanje unutar kalupne šupljine, jer su obje aktivnosti podjednako kritične za dobivanje dobrog otpreska.

Odabir visine otvaranja kalupa i odgovarajuće posredne vrijednosti, posebice odgovarajuće vrijednosti brzine i sile podešavanja, često kulinira skraćanjem vremena hlađenja otpreska. Na individualni pristup podešavanju ubrizgavalice utječe tip ubrizgavalice, njezina veličina, proizvođač te masa i kompleksnost kalupa, te podešavanje temperirala, uređaja koji znatno varira od prerađivača do prerađivača.

Vrijeme hlađenja otpreska jedan je od najutjecajnijih dijelova ciklusa injekcijskog prešanja. Treba imati u vidu da dok je u fokusu optimizacija vremena hlađenja, vrijeme kretanja kalupa pridonosi ukupnom vremenu koje je na raspolaganju za uklanjanje topline.

Pretvaranje čvrstih plastičnih granula u taljevinu jednolične temperature zahtijeva ulaz obiju vrsta toplinske energije, dovedene i tarne topline nastale zbog trenja. Količina toplinske energije potrebna da se plastomer s temperature okoline ili temperature sušenja podigne do vrijednosti pri kojoj dolazi do tečenja znatno varira od vrste do vrste plastomera. Ta se toplinska energija prenosi s pužnog vijka i cilindra za taljenje na kalup nakon popunjavanja kalupne šupljine do količine od 95 do 98 % i djelovanja pritiska.

Kalup se može promatrati kao izmjenjivač topline u kojem se apsorbira dovedena toplina. Ona se mora i odstraniti, što se najčešće postiže tečenjem medija za temperiranje oko otpreska i ploča kalupa kroz kanale za temperiranje. Ti se kanali obično buše u kalupu, i to kružno po presjeku. Pa ipak, suvremena izradba kalupa koja uključuje i šupljinu i jezgru dopušta različite konfiguracije i oblike kanala za temperiranje.

Uklanjanje topline treba biti jednoliko i učinkovito kako bi otpresci nakon vađenja zadržali oblik bez deformiranja. Kada taljevina dodirne hladniju površinu kalupa, dolazi do očvršćivanja i stvara se čvrsta kožica (usporediva sa zamrznutim slojem). Kada je jednom rastaljeni materijal doveden u kalupnu šupljinu, potrebno je neko vrijeme da se taljevina ohladi do temperature vađenja iz kalupa, a to se svakako odražava i na ukupno odabrano vrijeme hlađenja otpreska. Pri uklanjanju toplinske energije iz kalupa ona mora proći kroz zamrznuti sloj u dodiru s graničnom metal-

nom površinom, kroz ukupnu debljinu rastaljenog materijala i konačno kroz medij za temperiranje u kanalima kalupa.

Da bi se toplinska energija učinkovito prenijela kroz zamrznuti sloj, potreban je pritisak prema metalnoj površini kalupa, koji se postiže djelovanjem naknadnog pritiska. To potvrđuje praktično opažanje; prerađivači koji rade s tipičnim kristalastim materijalima kao što su acetali, poliamidi, polipropilen i polietilen visoke gustoće zapazili su da su otpresci bez djelovanja naknadnog pritiska tijekom hlađenja nakon vađenja iz kalupa mnogo topliji nego ako se narine optimalni naknadni pritisak.

Kako se dio očvršćivanja odvija već tijekom faze naknadnog pritiska, zbroj vremena držanja naknadnog pritiska i ostatno vrijeme hlađenja otpreska često se uzima kao ukupno vrijeme potrebno za uklanjanje topline iz kalupa. Svakako da stupanj i tip uporabljenog materijala za pravljenje kalupa, kao i medij za temperiranje, zajedno s brzinom prolaska oko kalupa znatno utječu na odabrano vrijeme hlađenja. Nadalje, tip i broj mjesta kontrole temperature za određeni kalup važni su pri brzom uklanjanju topline potrebne da bi se skratilo vrijeme hlađenja otpreska.

### Važnost ispravne konstrukcije kalupa

Vrlo često pri konstruiranju kalupa za plastomere konstruktori zanemare činjenicu da su plastični materijali uglavnom izolatori i loši vodiči topline. Kako bi se ubrzalo odvođenje topline, često se rabe temperature medija za temperiranje ispod preporučenih. To je osobito često kod kalupa s malim brojem kanala za temperiranje ili loše konstruiranim kanalima, što neizbježno rezultira lošijom površinom otpreska, povišenjem zaostalih naprezanja i povećanom sklonošću deformiranju i vitoperenju, poglavito kod kristalastih plastomera.

Brzina kretanja medija za temperiranje ovisi o dimenzijama kanala, uključujući duljinu i promjer, o sposobnosti tečenja tog medija i pritisku pumpe. Što je manji promjer kanala i dulji put tečenja, to je potreban veći pritisak pumpe za održavanje brzine tečenja medija za temperiranje. Kako bi se postigla dobra uporabna svojstva otpreska i postigla željena produktivnost, treba u potpunosti ukloniti toplinu iz otpreska u svakom ciklusu. Od velike je važnosti točna kontrola temperature površine kalupa.

Grubo uzevši, postavljanje toplinskih kontrolnih uređaja bez prethodnog ispitivanja njihove stvarne djelotvornosti može smanjiti dobit do 20 %.

#### KORIŠTENA LITERATURA

1. Goff, J.: *Determining optimum screw back pressures*, Injection World, (2010)7/8, 35-37.
2. Goff, J.: *Optimum injection time*, Injection World, (2011)3, 35-38.
3. Goff, J.: *The art of selecting the correct injection time*, Injection World, (2011)4, 25-27.
4. Goff, J.: *Rise to the cooling challenge*, Injection World, (2011)11-12, 43-45.