

Nastajanje otpada kod injekcionog presovanja: Razmatranje uticajnih faktora – 1. Deo

Analiza najvećeg broja problema vezanih za injekciono presovanje se usmerava na vreme trajanja ciklusa. Obično se u ovakvim analizama obrađuju tri glavna elementa u ovoj tehnici prerade, a to su mašina za injekciono presovanje, kalup i materijal. Na ove operativne elemente utiču tri faktora koji se kontrolišu, odnosno, vreme, pritisak i temperatura. Svi ovi međuzavisni faktori podležu promenama, od kojih svaka promena utiče na kompletan proces. Problemi pri radu mogu biti vezani i za rad operatera na mašini. Sa druge strane, razvoj primene simulacija procesa, CAD/CAM tehnika i izrade prototipova smanjuju probleme vezane za kalup na minimum. Istraživanje sprovedeno na američkom University of Wisconsin daje veoma značajne rezultate uticaja svih ovih faktora, o čemu će biti reči u daljem tekstu.

Mašina. Osnovni procesni zahtevi koje mora da ispuni proces injekcionog presovanja su zasnovani na vremenu, temperaturi i pritisku. Međutim, karakteristike mašine se vremenom menjaju, pa može doći do stvaranja otpada usled neodgovarajućeg funkcionisanja mašine. Razlozi za to su različiti, a mogu biti neodgovarajući rad sistema doziranja, nejednako delovanje pužnog vijka, različita brzina obrtaja pužnog vijka, neodgovarajuće podešavanje povratnog pritiska, greške u radu sistema za regulisanje temperature, nedovoljni kapacitet plastifikacije, variranje dužine ciklusa, itd. Variranje kontrole mašine može da dovede do degradacije materijala, raslojavanja otpreska, nagorevanja, nedovoljnih ubrizgajaca, ulegnuća, itd.

Proces. Injekciono presovanje je proces pri kome se plastični materijal pretvara u upotrebljive proizvode uz uklapanje sa prihvatljivim standardima. Svaki plastični materijal, zavisno od vrste i tipa, može se ispravno preraditi u okviru određenog opsega temperatura i pritiska, što su ključni parametri za preradu plastičnih materijala. Temperatura rastopa je temperatura na kojoj materijal prelazi iz čvrstog stanja u tečno, a tada kristalasti regioni materijala omekšavaju i počinje proces tečenja. Uopšteno posmatrano, ovo se događa na temperaturama u opsegu 120-350 °C, a kontroliše se putem temperature cilindra, temperature mlaznice, brzine pužnog vijka, povratnog pritiska i vremena zadržavanja. Oko 70% toplote potrebne za topljenje plastičnog materijala se stvara grejanjem, usled trenja koje se dešava unutar samog materijala. Samim tim, teško je meriti temperaturu rastopa i ona se ne može direktno kontrolisati putem termostata na kontrolnoj tabli. Preostalih 30% toplote se obezbeđuje putem električnih grejača, čime se obezbeđuje zahtevana temperatura za tečenje plastičnog materijala.

Termodinamička svojstva rastopa plastičnog materijala, kao što su viskozitet, entalpija i specifična masa, menjaju se istovremeno sa temperaturom rastopa. Zato je veoma važno da se održi konstantna temperatura rastopa u procesu injekcionog presovanja, jer varijacije temperature rastopa dovode do nekih uobičajenih grešaka pri radu, kao što su nagorevanje, kratki ubrizgaji, loša površina, pojava mehurića, vidljive linije tečenja, itd.

Temperatura kalupa je ona koja je potrebna da održi površinu kalupne šupljine na temperaturi pri kojoj dolazi do hlađenja polimernog rastopa i prelaska u čvrsto stanje. Temperatura kalupa se kreću u opsegu od 0 do 150 °C i



zavise od temperature rashladne tečnosti, protoka, rasporeda rashladnih kanala u kalupu i stepena prenosa toplote plastičnog materijala. Transfer toplote može biti zadovoljavajući kada se radi o novom kalupu, ali opada vremenom usled delovanja korozije i stvaranja naslaga u kanalima. Transfer toplote sa plastičnog materijala varira, zavisi od lokacije i debljine dela, a temperatura zida kalupa nije istovetna, pa time ni stepen hlađenja nije ravnomeran. Ovi problemi mogu da uzrokuju razne defekte kod otpresaka. Kod mnogih mašina za injekciono presovanje se primenjuje hidraulični pritisak za potiskivanje pužnog vijka u odnosu na rastop materijala. Rastopljeni materijal se primorava da kroz mlaznicu, razvodne kanale i ušće zauzme kalupnu šupljinu, gde formira otpresak. Zavisno od puta, rastop puni i očvršćava u kalupnoj šupljini, ali pritisak nije ravnomeran u celom otpresku. Najveći pritisak je u ušću, dok je najniži na najudaljenijoj tački u kalupu koja se poslednja popunjava. Kako bi se obezbedila kompenzacija za skupljanje materijala, primenjuje se povratni pritisak koji nadoknađuje skupljanje. Istovremeno, da bi se smanjilo skupljanje u kalupu, pritisak se smanjuje do minimuma koji obezbeđuje dodatno tečenje, kako bi se smanjile mogućnosti grešaka na otpresku.

Materijali. Termoplastični materijali, u odnosu na duroplaste, čine oko 94% plastičnih materijala koji se prerađuju. Amorfni termoplasti poseduju širi opseg temperatura prerade, dok su opsezi kod kristalastih materijala znatno užii. Kod prerade injekcionim presovanjem, plastični materijal se zagreva do prelaska u tečno stanje, a zatim teče pod pritiskom u kalupnu šupljinu gde se vrši oblikovanje. Otpornost materijala na tečenje je u zavisnosti od viskoziteta.

Operater. Kako stručnjaci navode, "ukoliko se problem pojavljuje, nestaje ili menja u zavisnosti od toga ko je operater, treba sagledati razlike u delovanju onoga ko radi". Operaterovo delovanje se sastoji od metoda kojima obavlja svoj posao, a ove akcije mogu biti vezane za karakteristike mašine. U ovom istraživanju je odnos iskustvo-delovanje upotrebljeno kao sredstvo za analizu zavisnosti operatera i nivoa nastalog otpada. Jedini faktor u istraživanju koji je korišćen je radno iskustvo zasnovano na vremenu provedenom na određenom poslu. Radno iskustvo se najčešće definiše kao broj godina koje zaposleni provede na istom poslu u istoj firmi. Bolji pokazatelj bi bio broj radnih operacija koje se izvrše u određenom poslu, ali je jednostavnije meriti vreme provedeno na jednom poslu, nego brojati izvršene radne zadatke, tako da ovo ostaje merilo radnog iskus-

tva. Neke studije mere individualno radno iskustvo na bazi tipa. Naime, način merenja definiše iskustvo kao stepen sličnosti prethodnog i sadašnjeg posla, a što je prethodni posao sličniji sadašnjem, to je veće radno iskustvo.

Kod procesa injekcionog presovanja, postoje slučajevi kada operater na mašini mora ručno da interveniše tokom rada. Na primer, moraju se ručno otvoriti vrata da bi se izvukao deo iz kalupa. Takođe, nekad je potrebno da se postavljaju umetci ili nanese aditiv za lakše oslobađanje iz kalupa pre početka novog ciklusa. Ovakve akcije koje preduzima operater, mogu da utiču na izmenu vremena ciklusa, vremena zadržavanja, temperature ili viskoziteta materijala.

Rezultati istraživanja

Istraživanje je obavljeno u američkoj firmi Phillips Plastics u trajanju od nekoliko meseci, na ukupno 32 različite mašine za injekciono presovanje. Podaci su uključivali vrstu materijala i ključne parametre procesa, kao što su temperatura rastopa i kalupa, kao i pritisak. Obradena je veličina i starost svih mašina, kao i podaci o radnom iskustvu za operatere po smenama. Istraživanje je obavljeno uz saglasnost i podršku firme, tako da je postignut statistički zadovoljavajući karakter dobijenih rezultata. Podaci su prikupljeni i grupisani po kategorijama, kao što su mašina, proces, materijal i operater. Otpad je analiziran na bazi odgovarajućih zahteva svakog faktora, kako bi se dobili nivoi otpadnog materijala po kategorijama.

Mašina. U cilju analize otpada vezanog za mašine za injekciono presovanje, računat je procenat otpadnog materijala vezan za svaku pojedinu mašinu. Zatim su mašine sistematizovane u četiri grupe, zavisno od sile zatvaranja i starosti, uz zajednički nivo stvaranja otpada. Prva grupa se sastojala od mašina koje su stare dve godine ili manje, druga grupa su bile mašine stare 3-4 godine, a treća grupa mašine koje su u radu 5-8 godina. Poslednja grupa mašina po starosti je obuhvatala one koje su najstarije, odnosno sa 11-14 godina rada. Prosečni udeo otpadnog materijala je vezan za ove grupe, kako bi se uvidela zavisnost otpada od starosti mašine. Da bi se analizirao otpad vezan za silu zatvaranja mašine za injekciono presovanje, mašine su podeljene u pet grupa, i to: prva grupa (sile zatvaranja 20-40 tona); druga grupa (sile zatvaranja 55-80 tona); treća grupa (110-150 tona); četvrta grupa (200-300 tona) i peta grupa (sile zatvaranja 400 tona). Prosečan nivo otpadnog materijala je računat i prikazan vezano za grupe mašina sa rastućim silama zatvaranja i dat kao odnos od niskog otpada ka visokom.

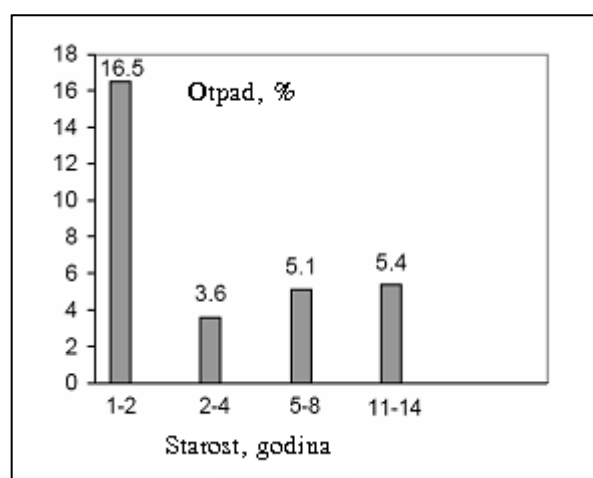
Proces. U ovoj oblasti je obraćena pažnja na ključne procesne parametre kod uslova injekcionog presovanja. Ovi parametri su uključivali temperaturu rastopa, temperaturu kalupa i pritisak. *Temperatura rastopa.* U ovom istraživanju je izvršena podela na tri nivoa, i to: ispod 260 °C, između 260 i 315 °C i preko 315 °C. Obradeni su nivoi otpada za svaku temperaturnu zonu, kako bi se pronašli trendovi. *Temperatura kalupa.* Temperature kalupa su podeljene u tri oblasti, i to: ispod 38 °C, između 38 i 90 °C i preko 90 °C. Nivoi otpadnog materijala su posmatrani po pojedinim grupama temperatura, kako bi se ustanovio njihov uticaj. *Pritisaci.* Pritisaci su podeljeni u tri opsega, i to: pritisci ispod 690 bara, između 690 i 1.380 bara i preko 1.380 bara. Izračunato je učešće dobrih i otpadnih materijala za svaku pojedinu kategoriju pritisaka, zavisno od radnih režima.

Materijal. Najveći deo materijala koji je istraživao u procesu (od preko 100 različitih vrsta i tipova) sastoji se od sledećih komercijalnih tipova: "Calibre" (polikarbonat), "Radel" (polietersulfon), "Ultem" (polieterimid) i "Cyclocac" (ABS). Pored njih, u manjoj meri su korišćeni i "Lexan" (PC), "Bayblend" (PC/ABS), "Zytel" (poliamid) i "Santop-

rene" (TPE). Analizirani su samo prvi materijali, a podaci su sistematizovani da bi se odredio specifični otpad pri korišćenju svakog od njih. Računat je i stepen otpada koji nastaje usled grešaka u preradi, kao što su zagađenje materijala, ulegnuća, nedovoljno punjenje kalupa, itd.

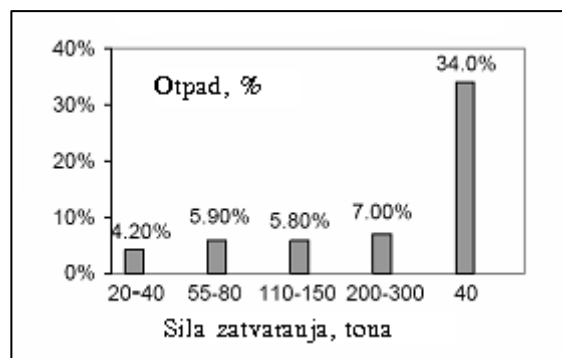
Operater. Da bi se analizirao otpad koji nastaje vezano za različite operatere na mašinama, oni su podeljeni na tri grupe, zavisno od iskustva pri radu. Prvu grupu su činili oni sa manje od jedne godine iskustva, drugu sa iskustvom između jedne i dve godine, a u trećoj grupi su bili operateri sa više od dve godine radnog iskustva.

Količine otpada vezane za starost mašine su date na slici 1. Količine otpada kod korišćenja najnovijih mašina za injekciono presovanje (1-2 godine) su bile veoma visoke. Najmanje količine otpada su zabeležene kod mašina koje su stare između 2 i 4 godine. Kod mašina starijih od 5 godina, količine otpada su bile veoma slične. Može se zaključiti da osim kod mašina ispod 2 godine starosti, količina otpada postepeno raste kako je mašina starija.



Slika 1. Učešće otpada (%) zavisno od starosti mašine

Rezultati koji su dati na slici 2 pokazuju da se količina otpada povećava sa porastom sile zatvaranja mašine. Mašine sa silom zatvaranja ispod 40 tona pokazuju najmanju količinu otpada. Kod mašina sa silom zatvaranja 55-80 tona se stvara 5,9% otpada, dok je kod mašina sa 110-150 tona ova količina 5,8%. Mašine sa 200-300 tona daju za rezultat otpad od 7%. Poseban slučaj je zabeležen kod mašina sa silom zatvaranja od 400 tona, gde je registrovan otpad od čak oko 34%, ali uzorak nije bio dovoljan da potvrdi pravilo. Uopšteno posmatrano, može se reći da sa porastom sile zatvaranja raste i količina otpadnog materijala.



Slika 2. Učešće otpada (%) zavisno od veličine mašine

(Nastavak u broju 1/2008)