

TRENDOVI I KRITERIJI U IZBORU TERMOPLASTIČNOG MATERIJALA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE

TRENDS AND CRITERIONS IN SELECTION OF THERMOPLASTIC MATERIAL FOR INJECTION MOULDING

Damir Ćurić

P.J. "Novi život", Zenica, BiH

Nermina Zaimović-Uzunović

Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, BiH

Fuad Ćatović

Građevinski fakultet u Mostaru, Mostar, BiH

Samir Lemeš

Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, BiH

Ključne riječi: injekciono presovanje, termoplastika

SAŽETAK:

Proizvodi od plastike se danas masovno upotrebljavaju i to prvenstveno kao supstitucija za skupe proizvode dobijene od nekih drugih materijala. Dijelovi mašina, npr. zupčanici, se već prave od plastike i to koristeći proces injekcionog presovanja termoplasta. Kvalitet alata za injekciono presovanje termoplasta i kvalitet izbora samog termoplasta su osnovni faktori koji utiču na dobijanje kvalitetnog proizvoda.

U ovom radu su prezentovani trendovi i kriteriji u izboru termoplastičnog materijala za proces injekcionog presovanja. Takođe su opisane i osnovne karakteristike različitih tipova plastike naročito materijala koji se koriste za dobijanje mašinskih dijelova.

Key words: plastic injection moulding, thermoplastics

ABSTRACT:

Plastic products nowadays are used more and more, previously as a substitution for expensive products made of other materials. Parts of machines like gears can be made of plastics by injection moulding process. Quality of the tools in the injection moulding process and quality of the material are main factors for a good product.

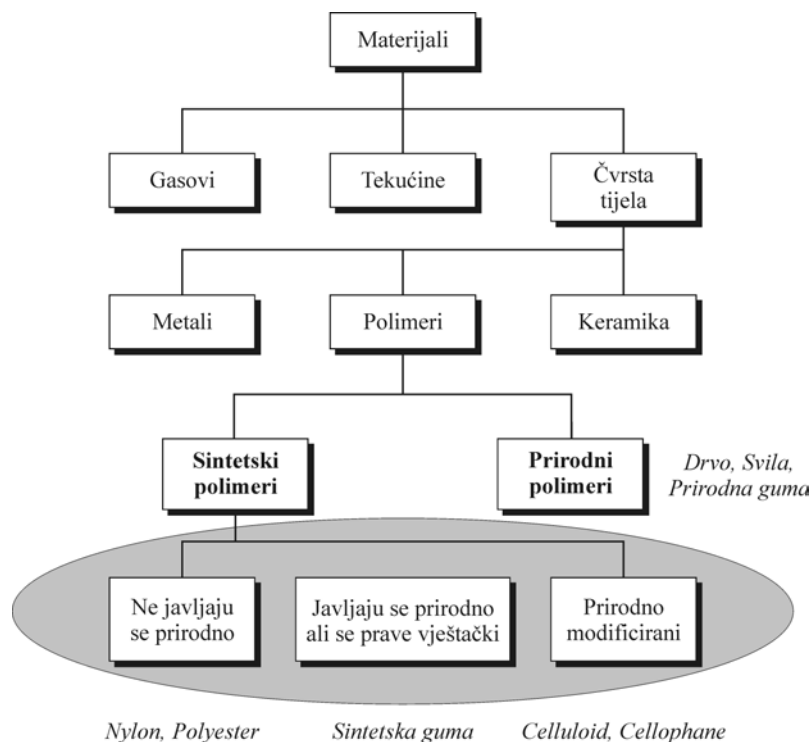
In this paper trends and criterions in selection of thermoplastic material for injection moulding are presented. The characteristics of different kinds of plastics are also described, specially for the materials for mechanical parts production.

1. UVOD

1.1. Osobine plastike

Šira primjena plastičnih materijala faktički je započela tek u drugoj polovini 20. vijeka. Jedan od razloga za to je i smanjenje izvora prirodnih materijala uz porast broja ljudi na Zemlji. Plastika i u pogledu zaštite čovjekove okoline ima svijetlu budućnost u smislu recikliranja, kao i biorazgradivih plastika. To je jedan od razloga sve veće primjene termoplasta. Tako naprimjer, prema članku "Potrošnja plastike u ekonomiji USA" [1], napravljenog od strane *Probe Economics* iz 1997. godine, potrošnja plastike se drastično povećava, pa npr. u 1996. godini je u USA potrošeno 95,6 mild. kubnih metara plastike. Najčešće korišćeni tipovi plastike su *Polypropylene*, *Polystyrene* i *PVC*. Od 1994. do 1996. godine porast potrošnje se kreće oko 6% godišnje, za razliku od perioda od 1989. do 1996. godine kada je rast proizvodnje bio 5,3% godišnje. Vrijednost ukupne isporuke plastike u 1996. godini je u USA bila 274,5 mild. US\$ i porasla je za 5,5% u odnosu na 1991. godinu. Broj zaposlenih radnika u industriji plastike je bio oko 1.400.000 u 1996. godini. Ovi podaci dovoljno govore o razvijenosti industrije plastike i daljim razvojnim tendencijama u najrazvijenijoj zemlji svijeta.

Na Slici 1. prikazana je generalna podjela svih materijala i unutar te podjele i mjesto plastike u odnosu na ostale materijale.



Slika 1. Podjela materijala [2]

Na osnovu prethodne podjele, plastike uključuju sve polimere koji se ne javljaju u prirodi, sve sintetske elastomere i sve visoko modificovane polimere. Sama riječ *polimer* potiče kao složena iz grčkih riječi *poly* i *meros* i predstavlja takvu tvar koja se sastoji od mnogo čestica sastavljenih na specifičan način. Polimeri su posebna grupa materijala koji su uglavnom sastavljeni od elemenata: ugljik, vodik i kisik a ponekad sadržavaju i hlor, fluor ili azot. Prema tehničkom ponašanju, polimerni materijali se mogu podijeliti na:

- termoplaste (*plastomere, termoplastike*),
- duromere (*duroplaste*),
- elastomere.

Ako se termoplastika zagrijava, ona doživljava promjenu stanja, postaje mekana ili rastopljena, dok ne postane fluid. Kada se termoplastika hladi, ona se ponovo stvrdnjava. Ovaj proces se može više puta ponavljati. Ovo je razlog što je, kada se radi sa termoplastikom, dio za plastifikaciju mašine za injekciono presovanje zagrijan a kalup hladan. Obično je razlika temperatura između dijela za plastifikaciju i kalupa viša od 100 °C.

Zato kalup mora brzo i stabilno odvesti toplotu tečne plastike, tj. neophodno je kvalitetno dizajnirati sistem za hlađenje. Sredstvo za hlađenje je obično voda, i ona teče kroz kanale kalupa sve dok je temperatura kalupa ispod 100 °C. Sredstvo za hlađenje cirkuliše ili se ugrađuje izmjenjivač toplote koji omogućuje hlađenje. Zato što je rastopljena termoplastika više ili manje fluid (u zavisnosti od tipa termoplastičnog materijala), vrh vretena za plastifikaciju treba biti opremljen sa povratnim ventilom.

1.2. Karakteristike, prednosti i nedostaci plastike

1.2.1. Prednosti plastike

Masa: Gustoća plastičnog materijala je približno 10% od gustoće čelika.

Kod transporta redukcija mase ima mnoge prednosti. Smanjenje mase vozila ili aviona utiče na ekonomičnost potrošnje goriva i performance. Smanjenje mase proizvoda koji se treba transportovati može biti takođe bitno. Ovo ima uticaj kako na ekonomičnost tako i na zaštitu čovjekove okoline. Smanjenje mase komada može takođe olakšati rukovanje (alati, obrada, itd.). Ovo može uticati i na ličnu sigurnost kod transporta proizvoda u pogledu samopovređivanja.

Tabela 1. Količina energije potrebna za dobijanje proizvoda [3]

Materijal	C_p (J/kg K)	T_m (°C)	Q (J/kg)
Al	895	700	611,331
Fe	450	1550	687,150
Čelik	480	1477	697,920
LPDE	230	120	223,100
PP	1800	180	282,600
PC	1250	282	323,750
ABS	1713	230	354,591

Lakoća oblikovanja u kompleksne oblike: Relativno nizak viskozitet i lagan tok plastike omogućava ekstrudiranje, puhanje, injekciono presovanje kompleksnih geometrijskih oblika. Ovi načini oblikovanja plastike omogućavaju lako ponavljanje operacija i jednostavan smještaj velike količine proizvoda. Određene konstrukcione karakteristike proizvoda od plastike kao rebra, zadebljanja, itd. smanjuju broj komponenti sklopa i zato minimiziraju dodatne operacije koje mogu dovesti do greške na proizvodu i povećati jediničnu cijenu komada.

Mogućnost dobijanja željenih osobina materijala: Plastični materijal se može relativno lako izabrati za specifične slučajeve. Ovo može uključiti modifikaciju molekularne strukture uključujući molekularnu masu, grananje lanca, kopolimerizaciju, usmjerenje polimernog lanca, itd. Osim toga polimeri se mogu kopolimerizovati da bi se iskombinovale željene karakteristike različitih polimera, ili se mogu jednostavno izmiješati. Bolje mehaničke osobine plastike se mogu dobiti upotrebom aditiva koji povećavaju čvrstoću, tvrdoću ili čvrstoću na udar. Aditivi takođe mogu poslužiti da zadovolje potrebe materijala u pogledu provođenja toplote, podmazivanja, otpornost na vatru, otpornost na temperaturu, itd.

Termički izolator: Plastike imaju relativno nisku toplotnu provodljivost što omogućuje izradu dijelova za alate, ručke za posude za kuhanje, posude za napitke, itd. Samo zrak i nekoliko egzotičnih materijala se mogu porediti sa plastikom kao termičkim izolatorom (Tabela 2.).

Tabela 2. Toplotna provodljivost plastika u odnosu na ostale materijale [3]

Materijal	K (W/m K)
Cu	400
PS	0,11
PC	0,192
Zrak	0,024
Staklo	5,5
Beton	7,5

Korozija/Hemijska otpornost: Većina plastika imaju otpornost na uticaj okoline i nemaju mogućnost korodiranja. Ova činjenica eliminiše potrebu za farbanjem ili nekom drugom površinskom zaštitom. Plastike koje nisu biorazgradive daju mogućnost primjene pod vodom/zemljom, kao npr. kablovi, čamci, dokovi, itd. Većina polimera imaju odličnu hemijsku otpornost. Polietilen (PE) npr. nema svog otapala. Sem toga plastike imaju otpornost na većinu kiselina i baza. *Koeficijent trenja:* Mnoge plastike imaju nizak koeficijent trenja što je bitno kod sklopova sa pokretnim dijelovima. Najlon i Acetal imaju odlično samopodmazivanje. Aditivi za samopodmazivanje se mogu dodavati većini polimera kod kojih je potrebno poboljšano samopodmazivanje.

1.2.2. Nedostaci plastike

Razvoj proizvoda: S obzirom na kompleksnost procesa i njegov uticaj na veličinu, oblik i mehaničke osobine proizvoda, mogućnost dobijanja kao i karakteristike plastičnog proizvoda nisu potpuno poznate dok se ne izradi alat i napravi probni uzorak proizvoda. Ovi alati znaju ponekad biti izrazito skupi i mogu zahtijevati značajnu doradu i vrijeme da bi se postigao cilj.

Tabela 3. Koeficijent termičkog širenja/skupljanja plastika i ostalih materijala [3]

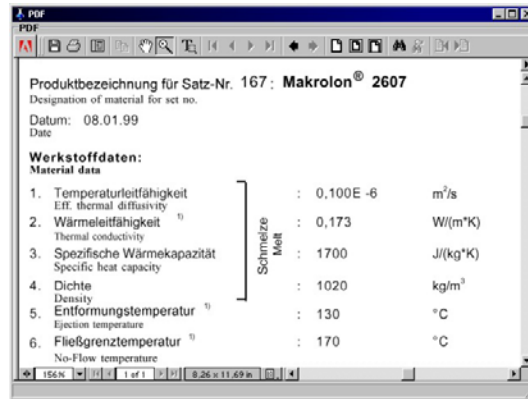
Materijal	Koeficijent termičkog širenja/skupljanja (10^{-6} M/M/K)
Staklo	8
Željezo	12
Al	25
Phenolic	68
PP	81–100
Nylon 66	80
PC	68

Visoki koeficijent termičkog širenja/skupljanja (Tabela 3.): Ovo stvara probleme naročito pri montaži dijelova od plastike i dijelova od drugih materijala. Vrijednosti termičkog širenja/skupljanja za plastike nisu konstantne kao za većinu ostalih materijala i mogu čak varirati u zavisnosti od uslova procesa dobijanja proizvoda.

2. IZBOR PLASTIKE I INJEKCIONO PRESOVANJE

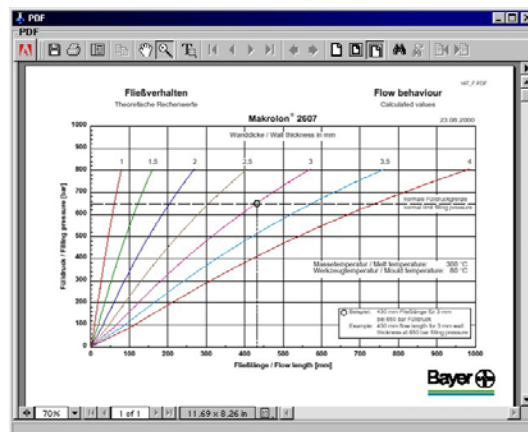
Ozbiljniji proizvođači peleta za injekciono presovanje daju podatke o tipovima plastika, njihovim osobinama, primjeni i procesnim uslovima za izabrani tip termoplasta. U radu će biti pri-

kazan jedan takav primjer [4]. U osnovi se radi o dva softvera: *Bayer Plastics Information i Campus*. Prvi softver služi za davanje reoloških i termičkih karakteristika plastika pomenutog proizvođača. Osim toga taj softver prikazuje i članke u vezi primjene odgovarajuće plastike u industrijskim aplikacijama. Jedan od interesantnih termoplastičnih materijala pomenutog proizvođača je i *Makrolon® 2607*.



Slika 2. Termičke i reološke karakteristike – Makrolon® 2607

Nakon izbora materijala omogućeno je dobijanje nekih osobina izabranog materijala. Na Slici 2. je prikazana forma dobijenih osobina za izabrani materijal. Radi se o osobinama koje su vezane za termičko i reološko ponašanje materijala tokom procesa injekcionog presovanja.



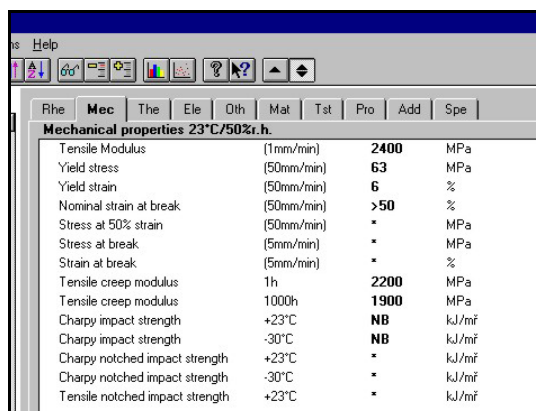
Slika 3. Krive: Dužina toka – pritisak injekcionog presovanja

Sem ovih osobina moguće je dobiti i krive viskoziteta za izabrani termoplast u zavisnosti od gradijenta brzine. Ove krive su jako bitne u pogledu mogućnosti presovanja kao i degradacije izabranog materijala. Slika 3. prikazuje ponašanje izabranog termoplasta u pogledu toka, i to vezu pritiska presovanja u zavisnosti od dužine toka. Na ovoj slici su dati bitni procesni parametri izabranog termoplasta.

Drugi softver CAMPUS daje podatke vezane za primjenu izabranog materijala u različitim postupcima prerade, kao i detaljnije osobine: reološke, električne, termičke, mehaničke, kao i neke funkcije ponašanja termoplasta u uslovima prerade.

Podaci o izabranom materijalu i preporukama koje idu uz njega predstavljaju korisne podatke kako u pogledu sagledavanja specifičnosti izabranog materijala prije ulaska u proces, tako i ulaz u simulacione softvere koji prikazuju ponašanje izabranog materijala tokom procesa injekcionog presovanja unutar zatvorenog kalupa. Ovakvim načinom prezentacije osobina materijala znatno

se olakšava dobijanje pravilnih režima procesa s obzirom na ogroman broj vrsta i tipova termoplasta.



Mechanical properties 23°C/50%r.h.			
Tensile Modulus	(1mm/min)	2400	MPa
Yield stress	(50mm/min)	63	MPa
Yield strain	(50mm/min)	6	%
Nominal strain at break	(50mm/min)	>50	%
Stress at 50% strain	(50mm/min)	*	MPa
Stress at break	(5mm/min)	*	MPa
Strain at break	(5mm/min)	*	%
Tensile creep modulus	1h	2200	MPa
Tensile creep modulus	1000h	1900	MPa
Charpy impact strength	+23°C	NB	kJ/m ²
Charpy impact strength	-30°C	NB	kJ/m ²
Charpy notched impact strength	+23°C	*	kJ/m ²
Charpy notched impact strength	-30°C	*	kJ/m ²
Tensile notched impact strength	+23°C	*	kJ/m ²

Slika 5. Forma softvera CAMPUS

3. ZAKLJUČAK

Proces injekcionog presovanja termoplasta je složen proces koji podrazumjeva mnoge predradnje i potpunu kontrolu procesa. Sastavni dio procesa je kalup za injekciono presovanje koji se postavlja na mašinu, kao i izabrani termoplastični materijal. Za pravilnu konstrukciju kalupa neophodno je poznavati dovoljnu količinu procesnih parametara izabranog materijala. Pošto se radi o ogromnom izboru termoplastičnih materijala, pravilan izbor je neophodan radi dobijanja osobina proizvoda koje su potrebne u eksploataciji.

U radu su date opšte karakteristike plastika sa naglaskom na termoplastične materijale. Ta grupa plastika se primjenjuje za dobijanje proizvoda postupkom injekcionog presovanja koji omogućava dobijanje složenog proizvoda obično u samo jednoj operaciji. Na takav način omogućeno je dobijanje velikih serija proizvoda čija je primjena sve veća kako u proizvodima opšte namjene tako i u industrijskoj primjeni.

U drugom dijelu rada dat je opis [4] softvera za dobijanje osobina izabranog termoplastičnog materijala. Termičke i reološke procesne osobine izabranog termoplasta predstavljaju osnovu za konstruktora kalupa za injekciono presovanje. Tendencije u pogledu dobijanja procesnih osobina termoplastičnog materijala su takve da su dobijene osobine sve tačnije u odnosu na stvarni proces, tako da se te osobine mogu pravilno iskoristiti pri simulaciji procesa odnosno samoj konstrukciji kalupa.

4. LITERATURA

- [1] W. J. Vining, R. S. Stein, Exploring the World of Plastics, CD, National Plastics Center & Museum, Leominster, USA, 2000.
- [2] D. Ćurić, Optimizacija konstrukcije kalupa za izradu plastičnih dijelova postupkom brizganja, Magistarski rad, stranice (5 do 10), septembar 2002.
- [3] J. P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman, Successful Injection Molding, Hanser, Munich, 2002.
- [4] Bayer AG, Bayer Plastics Information v. 5.0, CD, Bayer AG, 2001.