

**UTICAJ NAKNADNOG PRITISKA NA DIMENZIONALNU STABILNOST
GOTOVOG KOMADA****THE EFFECT OF HOLDING PRESSURE ON THE DIMENSIONAL STABILITY
OF THE INJECTED PART**

Valentina Cvjetković, Marko Vilotić, Jovan Dorić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Tema ovog rada jeste eksperimentalno ispitivanje uticaja naknadnog pritiska na dimenzionalnu stabilnost gotovog komada. Rad obuhvata i teorijske osnove procesa injektionog presovanja i uticaj osnovnih parametara na proces injektionog presovanja.

Ključne reči: *Injeksiono presovanje, Mašina za injeksiono presovanje, Temperatura, Naknadni pritisak*

Abstract – *The aim of this work is experimental examination of the influence of holding pressure on the dimensional stability of the finished part. The paper also includes the theoretical foundations of the injection molding process and the influence of basic parameters on the injection molding process.*

Keywords: *Injection molding, Machine for injection molding, Temperature, Holding pressure*

1. UVOD

Injeksiono presovanje je ciklični proces oblikovanja polimera koji se izvodi ubrizgavanjem rastopljenog polimera u temperirani kalup [1-3].

Postupak injektionog presovanja ima najveću upotrebu u industriji pakovanja, čak 35% postupaka koristi se za izradu ambalaže za pakovanje.

Koriste se biorazgradivi materijali zbog smanjenja zagađenja životne sredine [4,5]. Postupkom injektionog presovanja omogućena je izrada dijelova složene geometrije i tankozidnih komada visokog kvaliteta.

U radu su analizirani rezultati eksperimentalnog ispitivanja uticaja temperature i naknadnog pritiska na dimenzionalnu stabilnost i kvalitet gotovog komada.

**2. TEORIJSKE OSNOVE TEHNOLOGIJE
INJEKCIONOG PRESOVANJA**

Proces injektionog presovanja može se predstaviti u tri glavne faze:

- U prvoj fazi odvija se doziranje materijala u cilindar, zagrijavanje i transport materijala aksijalnim kretanjem puža do zone ubrizgavanja u kalupne šupljine.

- U drugoj fazi obradak se hladi putem posebnih kanala kojima cirkuliše rashladni fluid. Puž djeluje naknadnim pritiskom na rastopljeni polimer kako bi se nadoknadilo skupljanje materijala uslijed hlađenja komada.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marko Vilotić, vanr. prof.

- Poslednja faza injektionog presovanja je otvaranje alata i vađenje gotovog komada. Mlaznica se zatvara pomoću ventila a injeksiona jedinica se pomjera unazad.

2.1. Osnove injektionog presovanja, mašine, alati i pomoćna oprema

U cilju proizvodnje jednog ili više komada mašina za presovanje izvodi seriju sekvencijalnih koraka, omogućavajući plastici da se ohladi i očvrstne unutar alata, zatim slijedi vađenje dijela pomoću sistema izbacivača.

Prilikom dimenzionisanja mašine za injeksiono presovanje kao kriterijumi se uzimaju dimenzije komada, broj komada koji treba da se izradi u alatu u jednom ciklusu, vrsta materijala, masa komada, sila potrebna za izbaciti za otvaranje/zatvaranje alata.

Mašina za injeksiono presovanje sastoji se od jedinice za ubrizgavanje, jedinice za otvaranje/zatvaranje alata, sistema za izbacivanje, uređaja za temperiranje i upravljačke jedinice.

Jedinica za ubrizgavanje ima sledeće zadatke:

- da topi i plastificira materijal
- da približi mlaznicu alata i drži je naslonjenu na alat tokom dejstva pritiska
- da ubrizga materijal u alatnu šupljinu pod visokim pritiskom
- da drži materijal pod naknadnim pritiskom određeno vrijeme
- da obezbijedi rotaciju puža i priprema materijal za naredni ciklus

Pomoću uređaja za otvaranje/zatvaranje alata omogućeno je pomjeranje pokretnog dijela alata i zadržavanje u određenoj poziciji tokom procesa injektionog presovanja.

Zadatak izbacivačkog sistema je [13]:

- vađenje komada bez oštećenja
- da omogući što manju pojavu otisaka na komadu
- ravnomjerno izbacivanje komada

2.2. Glavni uticajni faktori kvaliteta injektionog presovanja**Temperatura**

Temperatura rastopa predstavlja temperaturu na kojoj se polimerni materijal održava tokom procesa injektionog presovanja.

Pritisak

Postoje dve oblasti mašine za injekciono presovanje koje zahtijevaju praćenje vrijednosti pritiska, a to su jedinica za ubrizgavanje i hidraulični sistem. Pritisak potreban za ubrizgavanje zavisi od viskoznosti materijala, temperature alata i materijala, brzine ubrizgavanja i mehaničkog dizajna alata. U okviru jedinice za ubrizgavanje, zavisno od faze procesa, deluju različiti pritisci, i to:

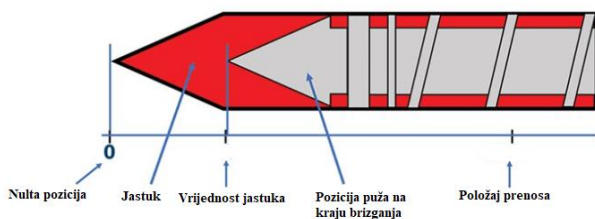
- pritisak ubrizgavanja
- pritisak zadržavanja/naknadni pritisak
- povratni pritisak

Vrijeme

Najznačajnije vrijeme u procesu injekcionog presovanja predstavlja vrijeme hlađenja. Predstavlja vrijeme potrebno da se plastika ohladi do temperature na kojoj očvršćava i vrijeme potrebno da plastični dio izdrži proces vađenja iz alata bez pojave krivljenja dijela.

2.3. Uticaj naknadnog pritiska na dimenzionalnu stabilnost otpreska

U procesu hlađenja komada potrebno je obezbijediti djelovanje naknadnog pritiska kako bi se kalup u potpunosti ispunio zbog nedostatka materijala uslijed skupljanja otpreska prilikom hlađenja. Podešava se veličina i dužina trajanja naknadnog pritiska. Potrebno je podesiti vrijednost prekopčanja. Tačka prekopčanja predstavlja trenutak prelaska na dejstvo naknadnog pritiska. Ispitivanja pokazuju da će materijal pokazati dobre fizičke osobine ukoliko je oblikovan na niskim temperaturama a visokim pritiscima. Postoje određeni problemi kod presovanja na visokim pritiscima a to su pojave ljepljenja materijala za alat. Provjera uticaja pritiska na polimer odvija se pomoću jastuka materijala. Jastuk predstavlja višak materijala koji se zadržava u cilindru (sl.1) nakon što su kalupne šupljine ispunjenje. Ukoliko jastuk materijala ne postoji, u cilindru neće biti pritiska na materijal i oblikovani komad može da se savije prilikom odstranjivanja iz alata.



Slika 1. Jastuk materijala injekcionog presovanja [2]

3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Eksperimentalnim ispitivanjem moguće je utvrditi efekat parametara presovanja na određene pojave. Tema rada bavi se eksperimentalnim utvrđivanjem uticaja naknadnog pritiska na dimenzionalnu stabilnost i kvalitet gotovog komada. Ispitivanje je izvedeno na Engel Victory mašini serije 160t.

U nastavku su prikazani parametri procesa ubrizgavanja eksperimentalnog ispitivanja (sl.2, 3).

Barrel heating 1		Barrel heating 1		Barrel heating 1	
Zones	Nozzle 1	Zones	Nozzle 1	Zones	Nozzle 1
Set value	290°C	Set value	290°C	Set value	290°C
Barrel zone 1		Barrel zone 1		Barrel zone 1	
Set value	280°C	Set value	270°C	Set value	270°C
Barrel zone 2		Barrel zone 2		Barrel zone 2	
Set value	270°C	Set value	270°C	Set value	260°C
Barrel zone 3		Barrel zone 3		Barrel zone 3	
Set value	30°C	Set value	30°C	Set value	30°C
Feedthroat		Feedthroat		Feedthroat	
Set value	50°C	Set value	50°C	Set value	50°C

Holding pressure time		Holding pressure time		Holding pressure time	
Holding pressure time	0 s	Holding pressure time	0 s	Holding pressure time	0 s
Shot volume		Shot volume		Shot volume	
Shot volume	15 cm ³	Shot volume	15 cm ³	Shot volume	15 cm ³
Weight		Weight		Weight	
Cavity 1	2.5 g	Cavity 1	3.6 g	Cavity 1	4.3 g
Cavity 2	3.8 g	Cavity 2	4.0 g	Cavity 2	4.0 g

Test 1

Test 2

Test 3

Barrel heating 1		Barrel heating 1		Barrel heating 1	
Zones	Nozzle 1	Zones	Nozzle 1	Zones	Nozzle 1
Set value	285°C	Set value	285°C	Set value	285°C
Barrel zone 1		Barrel zone 1		Barrel zone 1	
Set value	265°C	Set value	265°C	Set value	265°C
Barrel zone 2		Barrel zone 2		Barrel zone 2	
Set value	255°C	Set value	255°C	Set value	255°C
Barrel zone 3		Barrel zone 3		Barrel zone 3	
Set value	30°C	Set value	30°C	Set value	30°C
Feedthroat		Feedthroat		Feedthroat	
Set value	50°C	Set value	50°C	Set value	50°C

Holding pressure time		Holding pressure time		Holding pressure time	
Holding pressure time	0 s	Holding pressure time	0 s	Holding pressure time	0 s
Shot volume		Shot volume		Shot volume	
Shot volume	15 cm ³	Shot volume	18 cm ³	Shot volume	20 cm ³
Weight		Weight		Weight	
Cavity 1	4.5 g	Cavity 1	4.6 g	Cavity 1	4.8 g
Cavity 2	4.4 g	Cavity 2	4.5 g	Cavity 2	4.7 g

Test 4

Test 5

Test 6

Barrel heating 1		Barrel heating 1		Barrel heating 1	
Zones	Nozzle 1	Zones	Nozzle 1	Zones	Nozzle 1
Set value	285°C	Set value	285°C	Set value	285°C
Barrel zone 1		Barrel zone 1		Barrel zone 1	
Set value	265°C	Set value	265°C	Set value	265°C
Barrel zone 2		Barrel zone 2		Barrel zone 2	
Set value	255°C	Set value	255°C	Set value	255°C
Barrel zone 3		Barrel zone 3		Barrel zone 3	
Set value	30°C	Set value	30°C	Set value	30°C
Feedthroat		Feedthroat		Feedthroat	
Set value	50°C	Set value	50°C	Set value	50°C

Holding pressure time		Holding pressure time		Holding pressure time	
Holding pressure time	1.6 s	Holding pressure time	1.6 s	Holding pressure time	2.5 s
Specific hold pressure		Specific hold pressure		Specific hold pressure	
t	1.6 1.53 0.55 s	t	1.6 1.53 0.55 s	t	2.5 1.7 0.8 s
P	95 150 200 bar	P	150 200 300 bar	P	150 200 300 bar
Shot volume		Shot volume		Shot volume	
Shot volume	15 cm ³	Shot volume	15 cm ³	Shot volume	15 cm ³
Weight		Weight		Weight	
Cavity 1	5.3 g	Cavity 1	5.2 g	Cavity 1	5.2 g
Cavity 2	5.0 g	Cavity 2	5.1 g	Cavity 2	5.1 g

Test 7

Test 8

Test 9

Slika 2. Parametri testova 1 – 9

Barrel heating 1				Barrel heating 1			
Zones	Nozzle 1			Zones	Nozzle 1		
Set value	285°C			Set value	285°C		
Barrel zone 1				Barrel zone 1			
Set value	265°C			Set value	265°C		
Barrel zone 2				Barrel zone 2			
Set value	255°C			Set value	255°C		
Barrel zone 3				Barrel zone 3			
Set value	30°C			Set value	30°C		
Feedthroat				Feedthroat			
Set value	50°C			Set value	50°C		
Holding pressure time				Holding pressure time			
Holding pressure time 1.6 s				Holding pressure time 1.6 s			
Specific hold pressure				Specific hold pressure			
t	1.6	1.53	0.55 s	t	1.6	1.53	0.55 s
P	150	200	300 bar	P	100	150	200 bar
Shot volume				Shot volume			
Shot volume 20 cm ³				Shot volume 20 cm ³			
Weight				Weight			
Cavity 1 5.4 g				Cavity 1 5.4 g			
Cavity 2 5.3 g				Cavity 2 5.3 g			

Test 10

Test 11

Slika 3. Parametri testova 10 i 11

4. REZULTATI ISPITIVANJA

Testovi 1 – 4 podrazumijevaju podešavanje temperatura cilindra kako bi se pratilo ponašanje materijala i utvrdio razlog dobijanja nejednakih dimenzija gotovog komada. Podešavanjem vrijednosti temperatura utiče se na tečenje materijala. Pri većim vrijednostima temperature javljaju se veće brzine kretanja molekula materijala. Ukoliko jedan kavitet dobija znatno veću količinu toplote, postaje tečniji i ima veću brzinu tečenja kroz ulivni sistem u odnosu na drugi kavitet.

Podešavanjem veće vrijednosti temperature u prvoj zoni cilindra u odnosu na drugu zonu nastaju dimenzionalno nejednačeni komadi (slika 4). Kavitet jedan znatno je manji u odnosu na drugi kavitet.

Smanjenjem temperature na 270 °C u prvoj zoni cilindra kaviteti se ravnomjernije popunjavaju ali još uvijek su komadi nejednačeni (slika 5).



Slika 4. Rezultati ispitivanja Test 1



Slika 5. Rezultati ispitivanja Test 2

Ukoliko se javlja velika razlika u vrijednostima temperatura unutar cilindra, materijal u jednoj od zona apsorbira veću količinu toplote, postaje tečniji i brže ispunjava kalupne šupljine u odnosu na preostale zone. Smanjenjem temperature u drugoj zoni cilindra na 260 °C dobija se znatno veći prvi kavitet (slika 6).



Slika 6. Rezultati ispitivanja Test 3

Nakon ispitivanja uticaja temperature na ponašanje polimera u svim zonama cilindra, u testu četiri vrijednosti temperatura prve i druge zone iznose 260 °C i 255 °C. Nastali kaviteti su približnih dimenzija i masa (slika 7).



Slika 7. Rezultati ispitivanja Test 4

Podešavanja količine doziranja i uticaj na dimenzije gotovog komada predstavljeno je u petom i šestom testu (slike 8 i 9). Veličina udarca (*eng. shot volume*) predstavlja maksimalnu količinu materijala koja može da se ubrizga u jednom ciklusu. Cilj je dobijanje 90% ispunjenosti kalupa.

U petom testu postavljanjem vrijednosti doziranja na 18 cm³ dobijaju se nedovoljno ispunjeni komadi (slika 8). Niska vrijednost količine doziranja ne omogućava da materijal u potpunosti ispunji oba kaviteta prije nego očvrstne.



Slika 8. Rezultati ispitivanja Test 5

Nakon što se postigne 95-98% ispunjenosti kalupa određuju se vrijednosti naknadnog pritiska (slika 9). Podešava se vrijeme trajanja i veličina pritiska.



Slika 9. Rezultati ispitivanja Test 6

Kratko vrijeme djelovanja i niska vrijednost naknadnog pritiska u sedmom testu doveli su do izrade netransparentnih komada na kojima su još uvijek vidljive linije očvršćavanja (slika 10).



Slika 10. Rezultati ispitivanja Test 7

Prevelika vrijednost i vrijeme trajanja naknadnog pritiska doveli do sabijanja materijala u kalupu i kao rezultat toga nastaju neprozirni komadi (slike 11 i 12).

Posljednja dva testa (slike 13 i 14) pokazuju kako mala promjena vrijednosti naknadnog pritiska utiče na kvalitet gotovog komada. Dobijaju se popunjene kalupne šupljine ali visoke vrijednosti naknadnog pritiska dovode do sabijanja materijala u određenim zonama. Ubrizgani komadi posjeduju slabe osobine rasipanja svjetlosti (slika 13).



Slika 11. Rezultati ispitivanja Test 8



Slika 12. Rezultati ispitivanja Test 9



Slika 13. Rezultati ispitivanja Test 10

Promjenom vrijednosti naknadnog pritiska nastaju dimenzionalno stabilni komadi koji ispunjavaju zahtjevane osobine homogenosti i transparentnosti (slika 14).



Slika 14. Rezultati ispitivanja Test 11

5. ZAKLJUČAK

Postavljanjem manje vrijednosti vremena trajanja naknadnog pritiska i visokim vrijednosti djelovanja naknadnog pritiska postiže se najveći kvalitet gotovog komada. Male vrijednosti trajanja naknadnog pritiska omogućavaju uštedu u vremenu ciklusa injekcionog presovanja, a djelovanje naknadnog pritiska omogućava ravnomjerno popunjavanje kalupnih šupljina i nastanak dimenzionalno stabilnih komada bez pojave linija očvršćavanja.

6. LITERATURA

- [1] D.M. Bryce, "Plastic Injection Molding", Michigan, SME, 1996.
- [2] I. Čatić, "Proizvodnja polimernih tvorevina", Zagreb, Društvo za plastiku i gumu, 2006.
- [3] J. White, "Twin Screw Extrusion", Munich, Hanser Gardner Publications, 1991.
- [4] B. Nedić, "Tehnologije prerade plastičnih masa", Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac, 2008.
- [5] B. Nedić, V. Đukić, "Plastične mase", Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac, 2004.
- [6] E. Rudnik, "Compostable Polymer Materials", Warsaw, Elsevier Science, 2007.
- [7] H. F. Mark, "Encyclopedia of polymer science and technology", Hoboken, Wiley-Interscience, 2004.
- [8] D. Vilotić, "Mašine za injekciono presovanje – skripta", Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2008.
- [9] S. Kulkarni, "Robust Process Development and Scientific Molding", Munich, Hanser Publications, 2017.
- [10] <https://www.moldchina.com/post/holding-pressure/> (pristupljeno u januaru 2023).
- [11] B. Pilić, "Polimeri i polimerni materijali", Novi Sad, Tehnološki fakultet, 2022.

Kratka biografija:



Valentina Cvjetković rođena je 1998. godine u Derventi. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka, iz oblasti Mašinstva odbranila je 2022. godine. kontakt: valentina.cvjetkovic47@gmail.com



Marko Vilotić rođen je 1979. godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2015. godine. Radi kao vanredni profesor, a oblast interesovanja su mu plastično deformisanje metala i oblikovanje plastike. Kontakt: markovil@uns.ac.rs



Jovan Dorić rođen je 1983. godine, doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2012. godine, trenutno radi u zvanju vanrednog profesora i vrši dužnost šefa katedre za motore i vozila. Kontakt: jovan_d@uns.ac.rs