

32. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA

PROCEEDINGS

25. simpozijum
**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA**



19. simpozijum
CAD/CAM

28. simpozijum
NU – ROBOTI –FTS

34. simpozijum
**UPRAVLJANJE PROIZVODNOM U
INDUSTRIJI PRERADE METALA**

12. simpozijum
MENADŽMENT KVALITETOM

Organizator:

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

Zlatibor, maj 2006.

32. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA

Organizator:

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

Adresa:

Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija i Crna Gora

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364

El. pošta: jupiter@mas.bg.ac.yu

Tehnički urednici:

Prof. dr Ljubodrag Tanović

Doc. dr Radovan Puzović

Mr Mihajlo Popović

Nenad Nešić, dipl. maš. ing.

Zlatibor, maj 2006.

Tiraž: 200 primeraka

Štampa: **Planeta print**,

11000 Beograd, Ruzveltova 10, tel.: 011 3088 129

ISBN 86-7083-557-6

NU – ROBOTI – FTS
NC - ROBOTS – FMS

Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S. TROOSNI PARALELNI MEHANIZAM SA SPECIFIČNIM REŠENJIMA PASIVNOG TRANSLATORNOG ZGLOBA	3.1
Lukić, L., Jaraković, I. RAZVOJ FORMING MAŠINA SA MIKROPROCESORSKIM UPRAVLJANJEM	3.5
Lazarević, I., Miljković, Z. PRIMENA OPC SERVERA U AKVIZICIJI STANJA TEHNOLOŠKIH SISTEMA	3.9
Mijanović Markuš, M. PROGRAMABILNI AUTOMATIZACIONI KONTROLER BUDUĆNOST U INDUSTRIJSKOM UPRAVLJANJU	3.13
Nedić, N., Dihovični, Đ. STABILNOST SISTEMA SA RASPODELJENIM PARAMETRIMA NA KONAČNOM INTERVALU OPISANIH JEDNAČINAMA OBLIKA	3.17
Dihovični, Đ., Nedić, B. STABILNOST SISTEMA NA KONAČNOM PROSTORNOM INTERVALU SISTEMA SA RASPODELJENIM PARAMETRIMA SA DISTRIBUIRANIM UPRAVLJANJEM	3.21
Lazarević, M. MODELIRANJE I SIMULACIJA ELEKTROMEHANIČKIH ROBOTSkih SISTEMA POGONJENIH JEDNOSMERNIM MOTORIMA U MATLAB OKRUŽENJU	3.25
Petrović, P., Jakovljević, Ž. OPTIMIZACIJA GEOMETRIJE PUŽNOG VRETENA EKSTRUDERA ZA ISTISKIVANJE ELASTOMERA - DEO I: Analitički model	3.29
Petrović, P., Jakovljević, Ž. OPTIMIZACIJA GEOMETRIJE PUŽNOG VRETENA EKSTRUDERA ZA ISTISKIVANJE ELASTOMERA - DEO II: Primer optimizacije pužnog vretena ekstrudera D250	3.39
Jakovljević, Ž., Petrović, P. PREPOZNAVANJE PREKIDA U PROCESU STRUGANJA PRIMENOM LINEARNOG KLASIFIKATORA	3.47
Slavković, R., Jugović, Z., Golubović, D. PRIMER REŠENJA FUNDIRANJA TEHNOLOŠKE OPREME U SPECIFIČNIM USLOVIMA RADNE SREDINE	3.51
Vasić, Ž., Kalajdžić, M. UTICAJ ZAVOJNE BURGJE NA DINAMIČKO PONAŠANJE MAŠINSKOG SISTEMA	3.55

NU – ROBOTI – FTS - 2. STRANA

← NAZAD



P.B. Petrović, Ž. Jakovljević¹

OPTIMIZACIJA GEOMETRIJE PUŽNOG VRETENA EKSTRUDERA ZA ISTISKIVANJE ELASTOMERA - DEO II: Primer optimizacije pužnog vretena ekstrudera D250

Rezime

U okviru ovog rada izložen je postupak optimizacije geometrije pužnog vretena toplo hranjenih ekstrudera za istiskivanje elastomera na bazi dinamičkog modela toka elastomera kroz zavojne kanale pužnog vretena. U prvom delu ovog saopštenja, izložen je postupak dinamičkog modeliranja toka elastomera. U drugom delu je izložen postupak optimizacije konkretnog pužnog vretena na bazi postavljenog dinamičkog modela.

Verifikacija dinamičkih modela postavljenih u okviru prvog dela ovog saopštenja, sprovedena je na jednovretenom toplo hranjenom ekstruderu engleskog proizvođača Francis Shaw, nominalnog prečnika vretena D250. Razvijeni analitički modeli iskorišćeni su za modifikaciju geometrije postojećeg vretena u cilju rešavanja problema prevelike temperaturne disipacije i konsekvantno, nedozvoljenog pregrevanja elastomera u zahvatu pužnog vretena.

1. UVOD

Razvijeni dinamički modeli toka elastomera u zavojnim kanalima pužnog vretena iskorišćeni su rešavanje problema prevelike temperaturne disipacije jednog konkretnog ekstrudera. U pitanju je jednovreteni toplo hranjeni ekstruder poznatog svetskog proizvođača Francis Shaw, koji radi na liniji za proizvodnju protektora u okviru Fabrike industrijske i teretne pneumatike Traylor korporacije iz Kruševca. Rešavanje ovog problema sprovodi se u sklopu projekta TR-6362A² gde se jedna od istraživačko-razvojnih aktivnosti odnosi na modernizaciju postojeće linije protektora i njeno dovođenje na nivo savremenih linija, koje su potpuno automatizovane i na kojima postoje sistemi za kontinualno praćenje kvaliteta ukupnog procesa i proizvoda.

Problem prevelike temperaturne disipacije postoji od samog početka, kada je davne 1984. godine ova liniju puštena u rad. Rešenje ovog problema traženo je u modifikaciji reoloških svojstava smeše elastomera iz koje se izrađuje protektor. Svi pokušaji su ostali bez očekivanih efekata. Temperatura ekstrudiranog elastomera je uvek bila izvan dozvoljenih granica. Vremenom, sa degradacijom geometrije pužnog vretena i radnog cilindra, situacija je postajala sve gora, tako da je krajem 2005. godine, tokom redovnog zastoja proizvodnih kapaciteta fabrike u cilju sprovođenja planskih aktivnosti održavanja, izvršena identifikacija stanja ekstrudera, koja je obuhvatila i detaljnu demontažu kompletnog ekstrudera. Ova delikatna operacija je uspešno realizovana i tom prilikom je izvršeno snimanje složene geometrije profila zavojnog kanala primenom tehnike reverznog inženjerstva. Za te potrebe korišćen je 3d skener antropomorfne konfiguracije, sa rezolucijom 0.3 mm u celom radnom prostoru. Pored toga, izvršena su odgovarajuća metalurška ispitivanja u cilju utvrđivanja stanja materijala pužnog vretena i eventualnog otkrivanja oštećenja koja mogu da dovedu do katastrofičnih otkaza (ekstruder je pogonjen DC motorom snage 150 kW). Na slici 1 prikazan je ekstruder u demontiranom stanju (a i b), detalji oštećenja radnih površina pužnog vretena i radnog cilindra, kao i postupak snimanja geometrije pužnog vretena 3d skenerom (g i h). Uočljiva su intenzivna razaranja vrhova rebara zavojnica, koja su nastala kao posledica neposrednog metalnog kontakta između radnog cilindra, ili posrednog kontakta, kada su u zazor zahvaćeni manji komadi metalnih delova kojima se često kontaminira nevulkanizovana smeša elastomera (plastične deformacije (c) i krti lom (d)). Takođe, u korenoj zoni kanala, uočljivi su tragovi pitting erozije (f), koja je nastala u

¹ Prof. dr Petar B. Petrović, Mr. Živana Jakovljević, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija; e-mail: pbpetrovic@mas.bg.ac.yu

² U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja se sprovode na projektu TR-6362A: Revitalizacija i informaciona integracija proizvodnih resursa u cilju podizanja konkurentnosti Traylor korporacije na međunarodnom tržištu, koji finansijski podržava Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

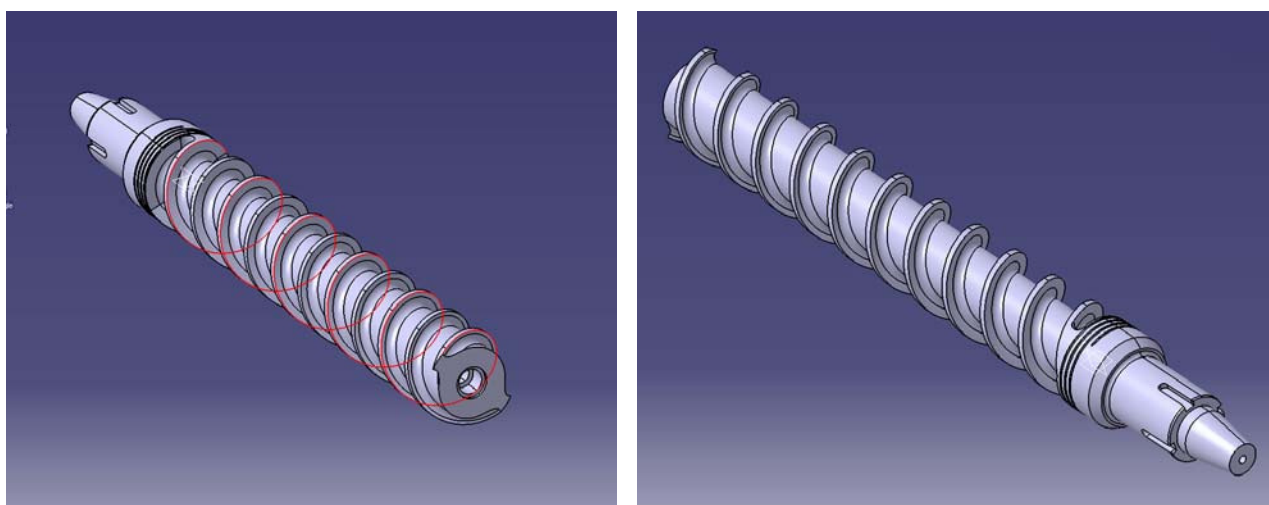
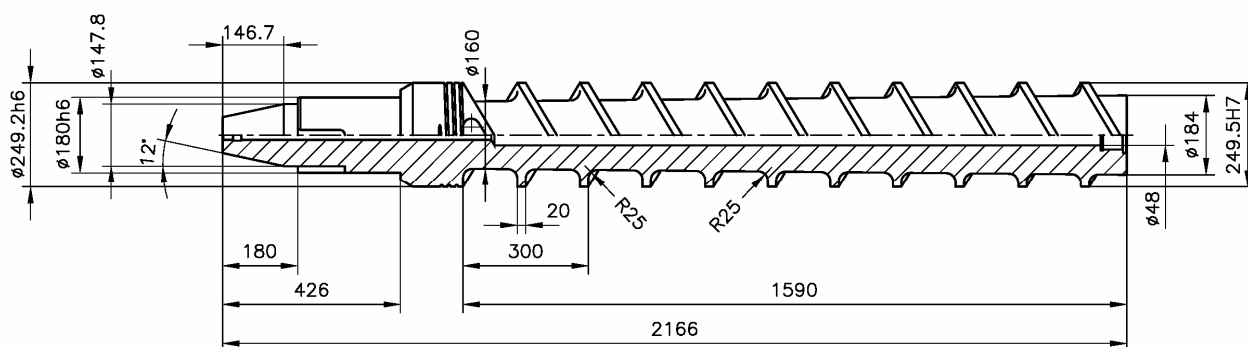
kombinaciji dejstva visokog pritiska i abrazivnih aditiva (čad i slično), koji se normalno dodaju smesi za izradu protektora.



Slika 1: Identifikacija stanja ekstrudera Francis Shaw D250 [1].

Posle izvršene identifikacije stanja pužnog vretena izvedene su određene korektivne intervencije u cilju otklanjanja drastičnih oštećenja koja otežavaju tok tečnog elastomera u toku procesa njegove ekstruzije. Osnovne geometrijske karakteristike pužnog vretena prikazane su na slici 2 tabelarno i uprošćenom radioničkom crtežu, gde se može uočiti da je u pitanju pužno vreteno konstantnog koraka i progresivno opadajuće dubine. Step en sabijanja ovog vretena je $s = 1.28$, što je tipična vrednost za ovu klasu pužnih

vretena prečnika $D = 250$ mm. Nasuprot tome, dužina vretena je $6.36D$, što je značajno van uobičajenih proporcija - 3 do $5D$.



Geometrijski parametar	Oznaka	Interval	Relativna vrednost u odnosu na D
Ukupna dužina zavojnice	L	1590 mm	$6.36 D$
Dužina zone hranjenja	Lh	360 mm	$1.2 D$
Korak	P	300 mm	$1.2 D$
Broj hodova zavojnice	i	2	
Širina rebra zavojnice	w	20mm	$0.08 D$
Dubina zavojnog kanala	hl	44mm	$0.176 D$
Zazor pužnog vretena	δ	0.35mm	$0.0014 D$
Stepen sabijanja	s	1.28	

Slika 2: Osnovni elementi identifikovane geometrije pužnog vretena ekstrudera Francis Shaw D250 i generisan 3d model [2].

Zbog intenzivnog habanja vrhova zavojnih rebara i radnog cilindra, došlo je do povećanja zazora pužnog vretena. Najveća promena registrovana je na izlazu ekstrudera gde je izmeren zazor od 3 mm što je daleko van dozvoljenih granica i pored smanjivanja produktivnosti ekstrudera, utiče preko povećanog povratnog toka na dodatnu disipaciju i zagrevanje smeše elastomera. Ovakvo vreteno i radni cilindar se normalno repariraju, ili se izrađuju novi. Donošenje odluke u ovom slučaju je povezano sa prekomernim zagrevanjem gumene smese i rešavanjem tog problema. Zadržavanje postojeće geometrije nije racionalno rešenje, jer se time samo smanjuje a ne rešava postojeći problem. Iz tih razloga je donešena odluka da se izvrši reinženjering ekstrudera i da se razvije pužno vreteno nove geometrije, prilagođeno konkretnim uslovima primene na liniji za izradu protektora.

2. MODIFIKACIJA POSTOJEĆE GEOMETRIJE PUŽNOG VRETENA

Na osnovu razvijenog modela u prvom delu ovog saopštenja, uočava zavisnost između količine generisane toplotne energije i nekih geometrijskih parametara pužnog vretena. Karakteristična je sledeća relacija:

$$U_E = q_s V = q_s \pi D h L_d = \frac{m L_d (\pi D)^{n+2} N^{n+1}}{h^n} \quad (1)$$

na osnovu koje se može izvesti zaključak da su količina disipirane energije, a na osnovu toga i generisane temperature, fenomeni direktno proporcionalni dužini vretena i obrnuto proporcionalni dubini vretena sa eksponentom n (reološki parametar). Eksponent n je uvek manji od jedinice, najčešće manji od 0.5. Odavde se mogu izvesti osnovna aproksimativna pravila za redukciju disipirane energije koja glase:

Disipirana energija je:

$$\begin{aligned} &\text{direktno proporcionalna dužini vretena } l_d \text{ (Pravilo 1)} \\ &\text{obrnuto proporcionalna kvadratu dubine zavojnog kanala (Pravilo 2)} \end{aligned} \quad (2)$$

Direktna primena navedenih pravila bi dovela do rešavanja problema pregrevanja, ali se otvara pitanje ostalih radnih performansi pužnog vretena koje su povezane sa procesima homogenizacije i disperzije smeše, plastikacije i samog procesa istiskivanja. Modifikaciju zato treba razmatrati sa aspekta protoka, pritiska, ukupnog stepena smicanja i mehaničke nosivosti.

2.1 Modifikacija sa aspekta protoka

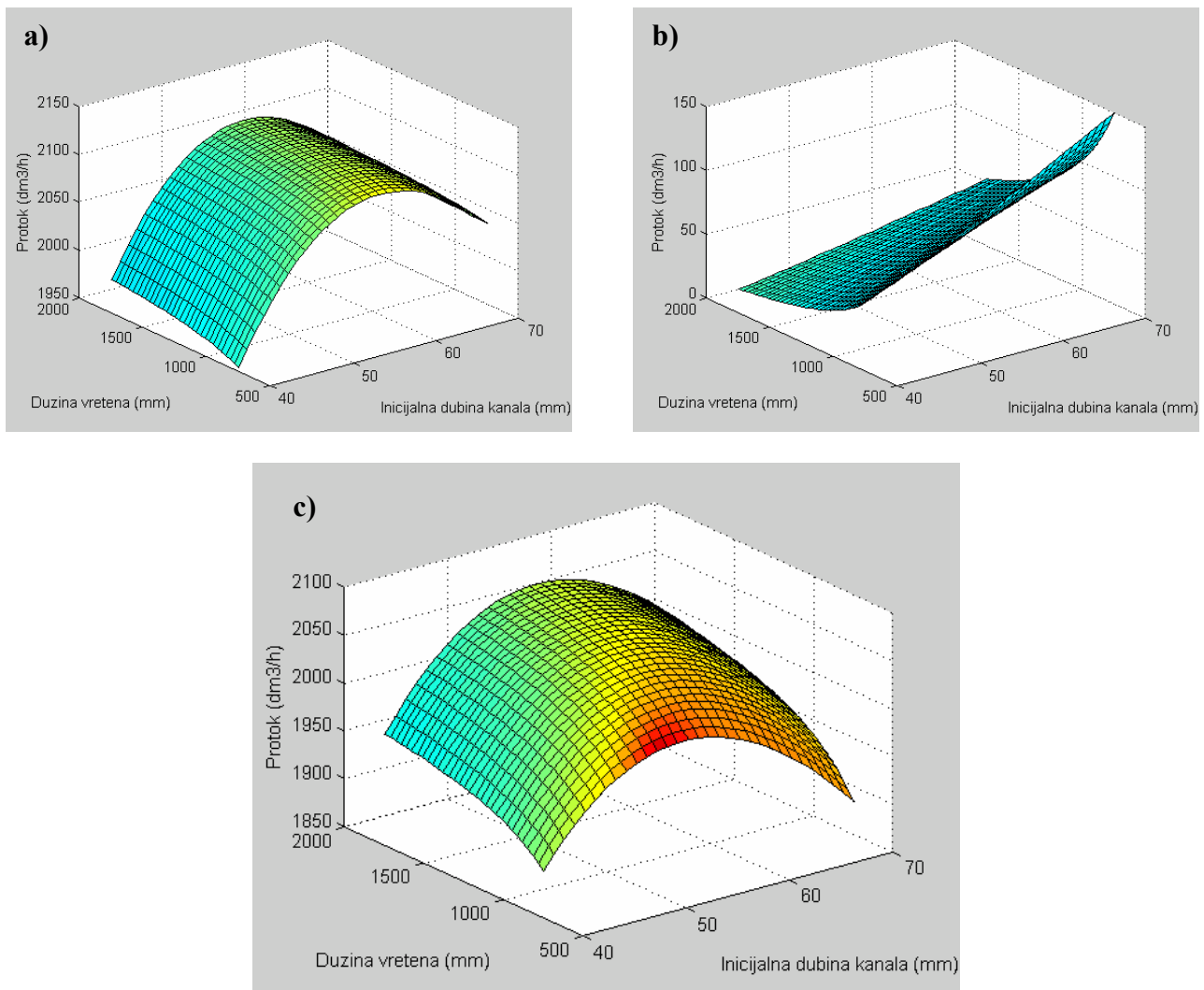
Kao polazna osnova za optimizaciju protoka može se iskoristiti jednačina protoka vretena sa konstantnom geometrijom, relacija (8) u [3], koja zbog svoje jednostavnosti omogućava lako sagledavanje uticaja dužine zone doziranja, dubine i koraka. Komponenta direktnog toka je direktno proporcionalna širini i dubini kanala. Komponenta povratnog toka je direktno proporcionalna širini kanala i direktno proporcionalna trećem stepenu dubine.

Racionalan pristup je da se protok zadrži konstantnim, što znači da povećanje dubine kanala mora da prati smanjenje njegove širine. Analiza jednačine protoka vretena sa konstantnim korakom i progresivno opadajućom dubinom je vrlo složena u analitičkom obliku zbog njene matematičke kompleksnosti (dobar primer netraktabilnog modela). Ovaj problem se može rešiti na dva načina. Prvi način je da se postojeća matematička formulacija (relacije (23), (24) i (25) u okviru [3]) aproksimiraju nekom matematički jednostavnijom formulacijom, sa željenom tačnošću, a onda da se za takvu formulaciju pronađu željeni ekstremumi. Drugi pristup je da se izvrši vizuelizacija ovog modela za poznate parametre zavojnog vretena koje se optimizira, uz variranje parametara koji nose dominantne efekte u nekom apriori definisanom domenu. U okviru ovog rada izabran je drugi pristup: korak vretena je redukovano na 250 mm, širina rebra je smanjena na 12 mm i zadržan je stepen sabijanja originalnog vretena; varirani su dubina (h) i dužina vretena (L) za konstantnu vrednost zone hranjenja (l_h). Grafik koji definiše protok pod ovim uslovima prikazan je na slici 3.

Na osnovu grafika navedenih na slici 3 može se konstatovati da dužina pužnog vretena nema dominantan uticaj na protok. Ovo generalno nije slučaj, ali zbog izuzetno velike viskoznosti elastomera, komponenta povratnog toka izazvana dejstvom pritiska u glavi ekstrudera je vrlo mala, pa je samim tim i pad protoka koji se javlja sa smanjenjem dužine vretena mali. Sva izračunavanja su izvedena za pretpostavku pritiska u glavi ekstrudera $\Delta p = 30 \text{ bar}$ i broj obrtaja pužnog vretena $N = 30 \text{ min}^{-1}$.

Nasuprot dužini vretena, dubina kanala ima veliki uticaj na protok. U početku, sa povećanjem dubine, ukupni protok naglo raste i svoj maksimum dostiže na inicijalnoj dubini zavojnog kanala od $h_1 = 55 \text{ mm}$. Zatim dolazi do monotonog opadanja protoka. Ovakvo svojstvo je dominantno uslovljeno direktnom komponentom toka. Komponenta povratnog toka pokazuje sasvim drugačije ponašanje (slika 3b), ali je ono u ovom slučaju potisnuto uticajem velike viskoznosti smeše elastomera za izradu protektora i ne odražava se značajno na ukupni protok. Ipak, ovde treba biti obazriv, jer razvojem temperature, dolazi do naglog pada viskoznosti, što može da značajno izmeni režim rada ekstrudera.

Merenjem je utvrđeno da je kod izrade protektora najvećeg poprečnog preseka koji u proizvodnom programu kompanije Traylor iznosi 1.18 dm^2 brzina istiskivanja 2.5 m/min pri broju obrtaja pužnog vretena $N = 25 \text{ min}^{-1}$, što daje zapreminski protok od $Q_m = 1770 \text{ dm}^3/\text{h}$. Na osnovu sprovedenog proračuna za postojeće pužno vreteno izračunat je protok od $Q_{pp} = 2273 \text{ dm}^3/\text{h}$, što se može smatrati sasvim kvalitetnom predikcijom, pa se na osnovu toga grafik 3c može smatrati dobrom opštom procenom uticaja dužine vretena i dubine kanala na ukupni protok ekstrudera.



Slika 3: Uticaj dužine zavojnog vretena i dubine zavojnog kanala na ukupni protok za smešu elastomera za izradu protektora sa reološkim parametrima: $m = 2.8e6\text{Pas}$ i $n = 0.24$ na $T = 90^\circ\text{C}$ [4]. Grafik a) prikazuje komponentu direktnog toka, grafik b) komponentu povratnog toka, a grafik c) sumarni protok sa uračunatim povratnim tokom kroz zazor pužnog vretena.

2.2 Modifikacija sa aspekta pritiska

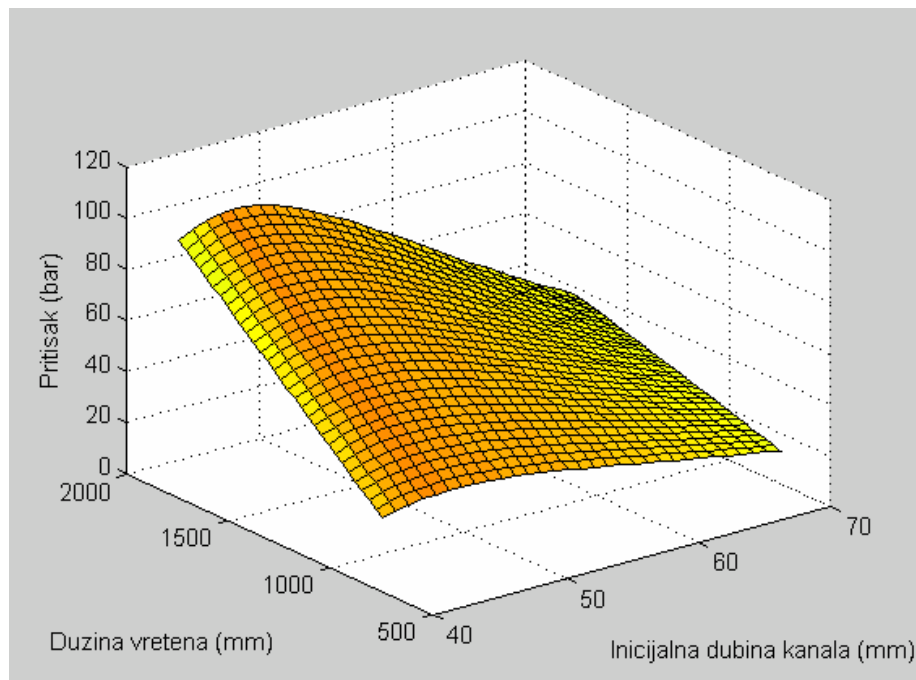
U glavi ekstrudera vrši se oblikovanje smeše elastomera u željeni prostorni oblik. U slučaju izrade protektora, kružni oblik poprečnog preseka na ulazu glave se transformiše u obliku ribljeg repa, gde se povećava širina a smanjuje visina i to tako da se na izlazu dobije trakasti otvor, male visine i širine koja iznosi oko 3.5 do 4 D . Ova transformacija oblika uz dodatni uticaj profilnih letvi koje na izlazu glave fino modifikuju profil poprečnog preseka i tako ga dovode na željeni oblik, dovodi do pojave velikih otpora, što za posledicu ima generisanje velikog pritiska u masi elastomera. Kod ekstrudera sa pužnim vretenom 250mm ovaj pritisak iznosi i do 90 bar, a za slučaj zatvorenog izlaza, njegova vrednost dostiže 300 do 400 bara. Sposobnost generisanja pritiska je osnovno svojstvo zone doziranja, pa se ona često iz tog razloga u anglosaksonskom žargonu naziva i zona pumpanja. Procena uticaja geometrije pužnog vretena na generisani pritisak u glavi ekstrudera je zato vrlo bitna, jer ona značajno utiče na radne performanse ekstrudera u celini.

Procena sposobnosti generisanja pritiska se može sprovesti na osnovu relacija (23), (24) i (25), navedenih u okviru [3], ali se one moraju transformisati u novi oblik, gde je protok poznata veličina, Q_o , a nepoznata veličina postaje pad pritiska Δp . Ova relacija glasi:

$$\Delta p = \frac{\mu(Q_o - \alpha_1 N)}{\beta_1} \quad (3)$$

Sprovođeci postupak ekvivalentan postupku koji je sproveden kod analize protoka, na slici 4 je prikazan grafik zavisnosti generisanog pritiska u glavi ekstrudera u funkciji dužine vretena i dubine kanala za uslov zadatog protoka $Q_o = 1800 \text{ dm}^3/\text{h}$. Na ovom grafiku se jasno vidi da sposobnost generisanja pritiska opada

sa smanjenjem dužine i porastom dubine. Ova promena nije monotona, već ona poseduje svoje lokalne ekstremume. Vrlo je interesantno da se maksimalni pritisak generiše za inicijalnu dubinu zavojnog kanala od približno 45 mm, što je vrlo blisko dubini kanala postojećeg pužnog vretena koja iznosi 44 mm. Konstruktor ovog pužnog vretena je najverovatnije optimizirao ekstruder za istiskivanje profila malih poprečnih preseka, koji zahtevaju velike radne pritiske. Takođe, najverovatnije je postojeća geometrija optimizirana za smese elastomera sa malom vrednošću viskoznosti, pa odatle dolazi velika dužina radnog vretena, značajno veća od uobičajenih proporcija za ovu klasu ekstrudera.



Slika 4: Uticaj dužine zavojnog vretena i dubine zavojnog kanala na sposobnost generisanja pritiska u glavi ekstrudera za zadati protok od $Q_0 = 1800 \text{ dm}^3/\text{h}$.

2.3 Modifikacija sa aspekta ukupnog stepena smicanja

Smicajni naponi koji nastaju u elastomeru tokom njegovog prolaska kroz zavojni kanal pužnog vretena su od posebnog značaja za proces homogenizacije, disperzionog mešanja i plastikacije. Kada smeša elastomera dođe u glavu za brizganje, ona mora da bude potpuno homogena i dovoljno plastikovana da dozvoli precizno oblikovanje profilnim letvama na izlazu glave ekstrudera.

Ukupni stepen smicanja podrazumeva sumarnu srednju vrednost smicajnih napona koji su delovali na ukupnoj trajektoriji elastomera kroz zavojno vreteno. Zbog složene trajektorije kretanja, njihovo precizno određivanje je praktično nemoguće, ali se mogu izvesti aproksimativne relacije koje daju kvantitativni uvid u stepen izloženosti elastomera smicajnim naponima. Ta relacija se može izvesti iz Couette-ove aproksimacije srednjeg gradijenta brzine [3] i ukupne dužine zavojnog kanala u zoni doziranja i plastikacije, pa sledi:

$$ss = m \left(\frac{v_{cz}}{h} \right)^{n-1} \frac{l_d}{\cos \varphi} \quad (4)$$

Relacija (4) pokazuje da je stepen smicanja proporcionalan dužini zone doziranja vretena, da je obrnuto proporcionalan koraku vretena (preko kosinusa ugla zavojnice) i da je približno obrnuto proporcionalan kvadratu dubine kanala. Dakle, smanjivanjem dužine i povećanjem dubine i koraka, smanjuje se ukupni stepen smicanja kome je izložen elastomer tokom procesa ekstruzije. Ipak, ovaj kriterijum se kod toplo hranjenih ekstrudera ne treba smatrati dominantnim, jer se prethodnom preradom na setu dvovaljaka, postižu potrebni efekti mehaničke destrukcije makromolekula elastomera.

2.4 Modifikacija sa aspekta nosivosti

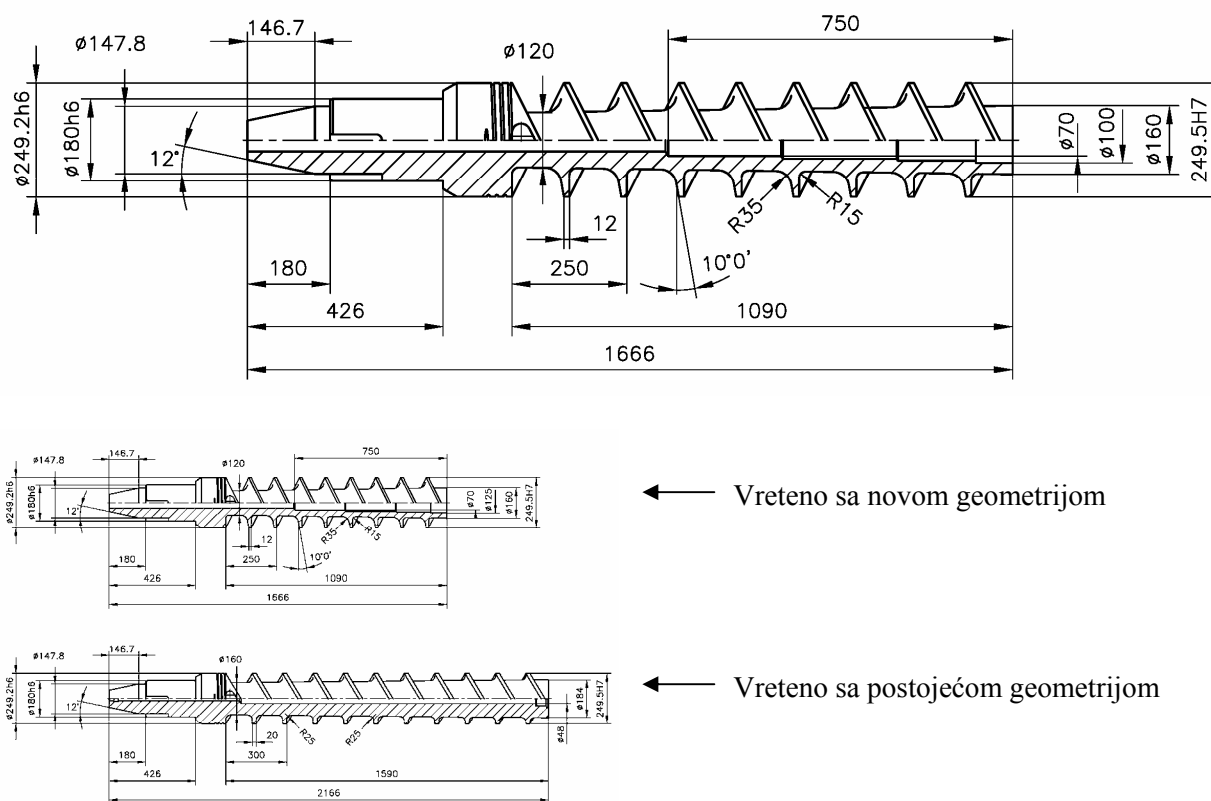
Proračun čvrstoće pužnog vretena se sprovodi za kritičan presek na uvijanje koji se nalazi na samom početku zone hranjenja. Ovaj presek je dominantno određen početnom dubinom kanala h_1 i unutrašnjim otvorom za dovod tečnosti za hlađenje. Ovaj proračun se ne navodi u okviru ovog rada, jer se smatra da su tehnike proračuna prstenastih preseka na uvijanje rutinski problem. Značajno je obratiti pažnju na to da prevelika

dubina pužnog kanala u zoni hranjenja može da bude kritična zbog nelinearnosti polarnih momenata inercije po spoljašnjem prečniku prstena.

3. NOVA GEOMETRIJA PUŽNOG VRETENA

Uzimajući sve prethodno navedene aspekte optimizacije parcijalnih uticaja geometrije pužnog vretena na njegove funkcionalne performanse i mehanički integritet, predložena je nova geometrija pužnog vretena koja će postojeće pozitivne performanse zadržati uz minimalnu degradaciju i istovremeno obezbediti novi temperaturni nivo termičkog balansa u zoni optimalne tehnologije prerade elastomera.

Rešenje novog pužnog vretena je prikazano na slici 5. Novo pužno vreteno je značajno kraće, kanal je izveden sa značajno većom dubinom, korak je sa 300 mm redukovan na 250 mm, širina rebara zavojnice je na vrhu redukovana sa 20 na 12 mm, a u cilju obezbeđenja nosivosti na savijanje pasivna strana rebara je zakošena pod uglom od 10° . Da bi se obezbedila povećana potisna komponenta i manji otpori kretanja elastomera u pasivnoj zoni zavojnog kanala, modifikovani su koreni radijusi. Povećanje korenih radijusa ima uticaj i na ukupno poboljšanje uslova prelaza toplote sa elastomera na pužno vreteno. Da bi se prenos toplote učinio što efikasnijim (idealni ekstruder ima 'hladno' vreteno i 'topao' radni cilindar), otvor za hlađenje je izveden sa maksimalnim prečnikom, posebno u zoni doziranja.



← Vreteno sa novom geometrijom

← Vreteno sa postojećom geometrijom

Geometrijski parametar	Oznaka	Interval	Relativna vrednost u odnosu na D
Ukupna dužina zavojnice	L	1090 mm	$4.36 D$
Dužina zone hranjenja	Lh	360 mm	$1.2 D$
Korak	P	250 mm	$1.0 D$
Broj hodova zavojnice	i	2	
Širina rebara zavojnice	w	12 mm	$0.048 D$
Dubina zavojnog kanala	hl	65 mm	$0.26 D$
Zazor pužnog vretena	δ	0.25mm	$0.001 D$
Stepen sabijanja	s	1.28	

Slika 5: Osnovni elementi modifikovane geometrije pužnog vretena ekstrudera Francis Shaw D250 sa aspekta minimizacije temperaturne disipacije uz održavanje funkcionalnih parametara originalnog vretena proizvođača (gore: radionički crtež vretena, sredina: uporedni prikaz nove postojeće geometrije, dole: tabelarni pregled parametara novog vretena).

Prema proračunu ukupni protok sa vretenom prikazanim na slici 5 je nešto manji od onog koji generiše vreteno originalne geometrije i iznosi $Q = 2030 \text{ dm}^3/\text{h}$.

Efekte na redukciji disipacije koji su postignuti modifikacijom geometrije vretena mogu se u relativnom smislu proceniti na osnovu relacije koja definiše ukupnu disipiranu energiju (relacija (27) u okviru [3]), odakle se izvodi:

$$RU = \frac{L_{dp}}{L_{dn}} \left(\frac{h_{1n}}{h_{1p}} \right)^n * 100\% = 0.5935 * 0.6769^n * 100\% \quad (5)$$

gde indeksi p i n označavaju postojeće i novo vreteno respektivno. Na osnovu (5) može se zaključiti da je relativna redukcija ukupno disipirane energije pored geometrijskih parametara pužnih vretena zavisna i od reoloških svojstava smeše elastomera, odnosno od indeksa tečenja u eksponencijalnom modelu viskoznosti. Za indeks tečenja u intervalu $n = (0.2 \text{ do } 0.5)$ na osnovu (5) sledi da se sa novim vretenom može očekivati temperaturna disipacija od 49 do 55% vrednosti disipacije postojećeg vretena. Ovakav stepen redukcije disipacije se realno mora smatrati delotvornim za rešavanje postojećeg problema. Interesantno je da se zbog reoloških svojstava elastomera dominantni efekat redukcije disipacije ostvaruje kroz redukciju dužine pužnog vretena (u ovom konkretnom slučaju to je preko 40%). Doprinos dubine kanala je znatno manji, suprotno onome što bi se moglo očekivati na osnovu smanjenja gradijenta smicajnih napona.

Pored izmena pužnog vretena sprovedene su odgovarajuće izmene radnog cilindra i agregata za termoregulaciju, ali se detalji ovih intervencija ne navode u ovom saopštenju zato što izlaze izvan osnovnog tematskog konteksta rada.

4. ZAKLJUČAK

U radu je izložena praktična verifikacija i implementacija razvijenog dinamičkog modela procesa ekstrudiranja elastomera na primeru jednovretenog toplo hranjenog ekstrudera nominalnog prečnika vretena 250 mm, engleskog proizvođača Francis Shaw, koji je instaliran na liniji za izradu protektora u okviru Fabrike teretnih i industrijskih pneumatika Traylor korporacije iz Kruševca. Problem previsoke temperature i nemogućnosti njenog regulisanja promenom parametara režima rada ekstrudera sistematski je rešen reinženjeringom postojećeg vretena, uz fokusiranje na temperaturne aspekte procesa ekstruzije. Istovremeno je posebna pažnja poklonjena održavanju postojećih vrednosti ostalih funkcionalnih parametara (proizvodnost i pritisak u glavi ekstrudera) uz oprez od mogućeg mehaničkog preopterećenja i loma vretena.

5. LITERATURA

- [1] Identifikacija stanja ekstrudera Francis Shaw D250, Interni izveštaj projekta TR-6362A, Mašinski fakultet u Beogradu, 2005.
- [2] Modernizacija ekstrudera Francis Shaw D250 – Preliminarno rešenje geometrije vretena sa redukovanom temperaturnom disipacijom, Interni izveštaj projekta TR-6362A, Mašinski fakultet u Beogradu, 2005.
- [3] P.B. Petrović, Ž. Jakovljević, Optimizacija geometrije ekstrudera za istiskivanje elastomera - Deo I: Analitički model, 32. JUPITER konferencija, Zlatibor, 2006.
- [4] K. Miles, L. Dock, P. Poole, Rheology of Uncured Rubber for Material characterization and Flow Simulation, Internal report, ERC Program of National Science Foundation – EEC 9731680, Clemson University and Benedict College, 2005.

OPTIMAL SCREW DESIGN FOR ELASTOMER EXTRUSION

Part II: Case Study of 250mm Hot Feed Rubber Extruder

Abstract

This paper presents an optimization procedure of hot feed extruder screw based on dynamic model of two-dimensional elastomer flow through screw helix channel. The paper consists of two parts: Part I – Melt flow modeling, and Part II – Case study of 250 mm hot fed rubber extruder.

The developed dynamical model, which is presented in Part I was evaluated using hot fed 250 mm single screw rubber extruder produced by Francis Shaw Company. The geometry of this extruder was not optimally matched to the extruded material properties (tread manufacturing line). Therefore total dissipation is very high and consequently the generated temperature is at unacceptable level, close to the curing temperature. The solution for the problem at hand was to redesign the screw geometry, which was done applying procedure based on developed melt flow dynamical model. This paper presents some of the most important steps of this procedure.