

Dušan Čurčić, Ilija Mamuzić

ISSN 0350-350X

GOMABN 48, 1, 3-28

Izvorni znanstveni rad/ Original scientific paper

UDK 621.774.36 : 621.891.275.001.24 : 518.12

PRORAČUN MAZIVOGA SLOJA KOD VALJANJA CIJEVI U KAVEZIMA

Sažetak

Daju se približna analitička rješenja proračuna mazivoga sloja kod konti-valjanja bešavnih cijevi u radnim kavezima. Debljina proračuna mazivoga sloja je u mikro i nano području a teče preko Reynoldsove diferencijalne jednadžbe za podmazivanje. Rješenje je izvedeno za glatke površine alata i cijevi bez uzimanja u obzir inercijskih sila maziva pri velikim radnim brzinama. Analizirane su reološke karakteristike maziva i geometrijska karakteristika alata. U više matematičkih programa testirana su izvedena analitička rješenja i uspoređena s metodom Monte-Carlo u programu Mathematica.

Uvod

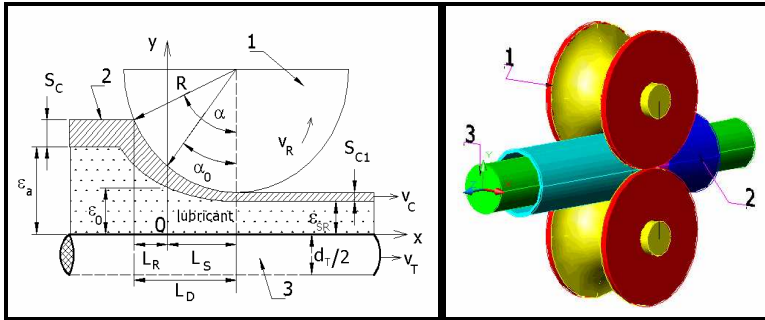
Valjanje cijevi u okruglim kalibrima [1] je varijanta uzdužnoga valjanja, gdje zonu deformacije u pravilu stvaraju dva radna valjka i trn prema slici 1. Valjanje cijevi na dugačkom plivajućem trnu primjenjuje se kod konti-stana koji u svom sastavu imaju 7 do 9 radnih kaveza. Prije ulaganja cijevnice među valjke u nju se uvodi dugački cilindrični trn koji se giba u zoni deformacije zajedno s cijevnicom. Brzina kretanja trna manja je od brzine kretanja prednjega kraja cijevi na izlazu iz valjaka, ali je veća od brzine kretanja zadnjega kraja cijevi na ulazu među valjke. Posebnosti brzinskih uvjeta valjanja u kalibrima dovode do toga da su brzine cijevi i valjaka u svakome poprečnome presjeku zone deformacije jednake samo u dvije točke žlijeba kalibra.

Na taj način, krivulja jednakih brzina cijevi i valjaka razgraničava na površini kalibra zone relativnoga klizanja kovine-zonu preticanja i zonu zaostajanja. Eksperimentalno je dokazano da kod valjanja cijevi u kalibrima u tjemenu kalibra nastaje preticanje a u zazoru valjaka, kao u pravilu, zaostajanje (slika 2).

Zadnjih godina razrađeni su načini realizacije procesa valjanja cijevi u konti-stanu uz primjenu dugoga nepomičnoga cilindričnog, konusnog ili stupnjevitoga trna.

Posebnost ovoga valjanja je prisutnost u zoni deformacije dviju subzona: zone redukcije promjera i zone redukcije stijenke cijevi prema slici 1. U vanjskome kontaktu [2,3] cijevi i valjaka gdje se ne razmatra dodavanje maziva, vladaju zakoni

trenja po Kulon-Amontonu, dok između trna i unutrašnje površine cijevnice, zbog prisutnosti maziva, vladaju zakoni tekućinskoga trenja po Newtonu.



Slika1: Shema valjanja bešavne cijevi (2) između valjaka(1) i trna (3)

Veličine tangencijalnih napona u mazivome sloju [4,5] opisuju se diferencijalnom jednačbom (1):

$$\tau_x = \mu * (v_C - v_T) \frac{1}{\varepsilon(x)} - \frac{1}{2} \varepsilon(x) * \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

Promjena gradijenta tlaka u mazivome sloju [4,5,6,7] opisuje diferencijalna jednačba (2), volumnu potrošnju maziva po perimetru [6,7] cijevi daje izraz (3).

$$\frac{dp}{dx} = \frac{6\mu(v_C + v_T)}{\varepsilon^2(x)} - \frac{12\mu Q}{\varepsilon^3(x)} \quad (2)$$

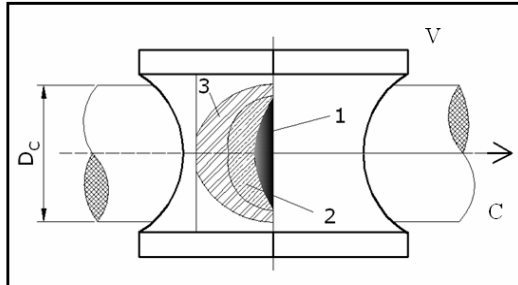
$$Q(x) = \int_0^{\varepsilon(x)} u dy = -\frac{1}{12\mu} \frac{dp}{dx} \varepsilon^3(x) + \left(\frac{v_C + v_T}{2} \right) \varepsilon(x) \quad (3)$$

Geometriju kontakta maziva [8,9,10] opisuje izraz (4), dužinu mazivoga klina (5)

$$\varepsilon(x) = \varepsilon_0 + R_0 \left[\cos \alpha_0 - \sqrt{1 - \left(\sin \alpha_0 - \frac{x}{R_0} \right)^2} \right] \quad (4)$$

$$a = R_0 \left[\sqrt{1 - \left(\cos \alpha_0 - \frac{\varepsilon_a}{R_0} + \frac{\varepsilon_0}{R_0} \right)^2} - \sin \alpha_0 \right] \quad (5)$$

$$\varepsilon(x) = \varepsilon_0 - \alpha_0 x + \frac{x^2}{2R_0} - \frac{\alpha_0 x^3}{2R_0^2} + \frac{x^4}{8R_0^3} \quad (6)$$



Slika 2: Razmještaj zona relativnog klizanja u okruglim kalibrima: 1-mala zona pretjecanja, 2-srednja zona neutralnoga presjeka, 3-pretjecanje po čitavoj dužini zone deformacije u tjemenu kalibra

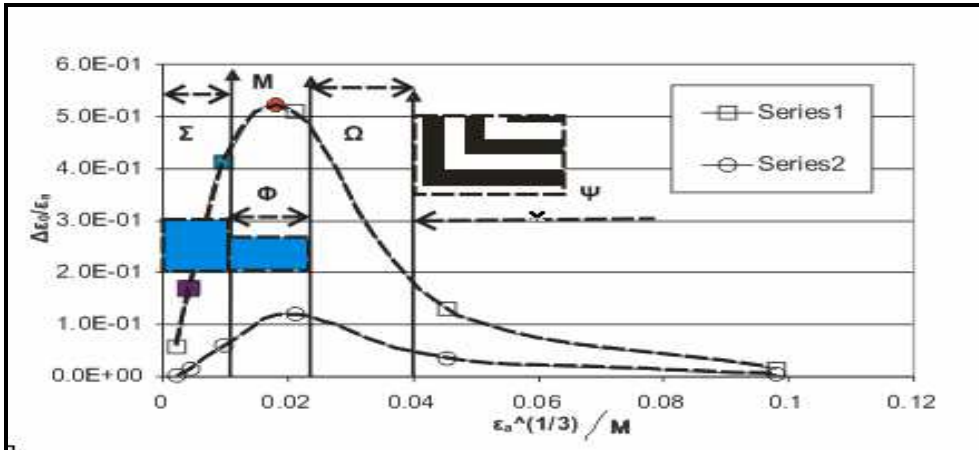
Izraz (6) je razvoj [11,12,13] formule (4) u Mac-Laurinov red. Karakteristike maziva za teorijska istraživanja i geometrija procesa, uzete su iz literature dosadašnjih radova prema rusko-ukrajinskim autorima i predstavljene su u tablici 1.

Tablica 1: Uobičajene karakteristike maziva za teorijska izračunavanja

Parameter	Vrijednost	Jedinica
γ -piezo koeficijent viskoznosti	2,18E-7	Pa ⁻¹
p_0 -pritisak valjanja	20E6	Pa
V_C -brzina gibanja cijevi	8,5	m/s
V_T -brzina gibanja trna	7,5	m/s
R-radijus cijevi	0,197 (0.50)	m
S_{C2}	0,003 (0.0271)	m
μ_0 -dinamička viskoznost maziva $\mu = \mu_0 \exp(\gamma^* p_0)$	0,024-0.048	Pas
α_0 -kut zahvata	0-0,02	rad
ε_a -visina maziva na trnu	0,001- 0,0000001	m
A-tehnološki parametar	1,965512E6	m ⁻¹
$A = [1 - \exp(-\gamma^* p_0) / 6\mu_0 \gamma (v_C + v_T)]$		
Glatka površina cijevi i trna su pretpostavljene $R_0 = R + S_{C2}$		

2. Rješenja diferencijalnih jednadžbi

U radu će se predstaviti približna analitička rješenja diferencijalne jednadžbe (2), dalje data u tablici 2. Rješenja su izvedena u matematičkome programu MathCad Profesionalu i razvrstana su prema zonama slike 3.



Slika 3: Sistemizacija analitičkih rješenja u tablici 2 preko relativnih debljina mazivoga sloja. Točka M u maksimumu grafičkoga prikaza kontrolira numeričku metodu Monte-Carlo.

Series 1- $(\varepsilon_0^I - \varepsilon_0^{0.1}) / \varepsilon_a$; $\varepsilon_0^{0.1}$ - visina maziva za zahvatni kut 0,1 rad

Series 2- $(\varepsilon_0^I - \varepsilon_0^*) / \varepsilon_a$

U tablici 3 daje se usporedba metode Monte-Carlo uzete iz matematičkoga programa Mathematica i analitičkih rješenja po tablici 2 .Neka od rješenja u tablici 3 kontrolirana su preko Solvera u matematičkome programu MATLAB i Excelovim Solverom za $D=0$ izraza (6), dakle kada se mogu izvesti približna analitička rješenja preko kvadratnoga trinoma. U ovim programima kontrolirana su daleko složenija analitička rješenja (koja nisu pogodna za brze praktične proračune) i uspoređena s numeričkom metodom Monte-Carlo, a onda su simplificirana i tako predstavljena u tablici 2.

Rješenje u točki M s dovoljnom preciznošću može kontrolirati numeričku metodu Monte-Carlo, a u zonama Φ i Σ rješenja su sve bliža kako nastupa intenzivnije "glodanje maziva" u kavezima i ono se može predstaviti izrazom (7).

Tablica 2: Približna analitička rješenja diferencijalne jednačbe (2) prema slici 3

Zona slike 3	Približna analitička rješenja
Ψ	$\varepsilon_0^* = 0.7726 \varepsilon_0^I \quad \varepsilon_0^* = 0.5 R_0 (\alpha^*)^2 \quad \alpha^* = \sqrt[3]{\frac{8}{15 R_0 A}}$
Ω	$\alpha^* = 2 \sqrt[3]{\frac{\varepsilon_a \sqrt{2 R_0 \varepsilon_a}}{10 R_0^2 + 15 R_0 A \varepsilon_a \sqrt{2 R_0 \varepsilon_a}}} \quad \varepsilon_0^* = \frac{R_0 (\alpha^*)^2}{2}$
M	$\alpha_0^* = \left(\frac{2}{5}\right)^2 \frac{1}{A \varepsilon_{aMAX}} \quad \varepsilon_0^* = \frac{R_0 (\alpha_0^*)^2}{2} \quad \varepsilon_{aMAX} = 0.28674 \sqrt[3]{\frac{R_0}{A^2}}$
Φ Σ	$\varepsilon_0^I = \varepsilon_a \left(1 - \frac{0.57348 \varepsilon_a}{\varepsilon_{aMAX}}\right) \quad \varepsilon_{aMAX} = 0.28674 \sqrt[3]{\frac{R_0}{A^2}}$
Napomena: indeksi (0 i *) se odnose na diskriminantu trinoma u izrazu (6) koji teži nuli. Indeksi (0 i 1) kada zahvatni kut $\alpha_0 \rightarrow 0$ rad. ε_{aMAX} =visina mazivoga sloja na trnu kada se postiže maksimum na slici 3 već pojašnjenje u tablici 1 $R_0=R+S_{C2}$	

Tablica 3: Usporedba numeričke metode Monte-Carlo i analitičkih rješenja diferencijalne jednačbe prema tablici 2 i slici 3

ε_a / m	Monte-Carlo ε_0^* / m	Zone Ω ε_0^* / m	Point M ε_0^* / m	Zone Φ i Σ ε_0^I / m
9.420E-04	1.225E-05	1.225E-05	-	-
8.735E-05	1.136E-05	1.129E-05	-	-
1.069E-05	5.801E-06	-	5.801E-06	-
7.425E-06	4.618E-06	-	-	4.466E-06
6.849E-06	4.373E-06	-	-	4.332E-06
1.210E-06	1.065E-06	-	-	1.081E-06
2.456E-07	2.362E-07	-	-	2.404E-07
1.205E-07	1.178E-07	-	-	1.192E-07
3.846E-08	3.809E-08	-	-	3.833E-08
1.046E-08	1.042E-08	-	-	1.045E-08
7.986E-09	7.962E-09	-	-	7.981E-09
4.123E-09	4.115E-09	-	-	4.121E-09
9.682E-09	9.676E-09	-	-	9.676E-09
3.141801E-10	3.1409E-10	-	-	3.1417E-10
3.141590E-11	K=K(ε_0)			

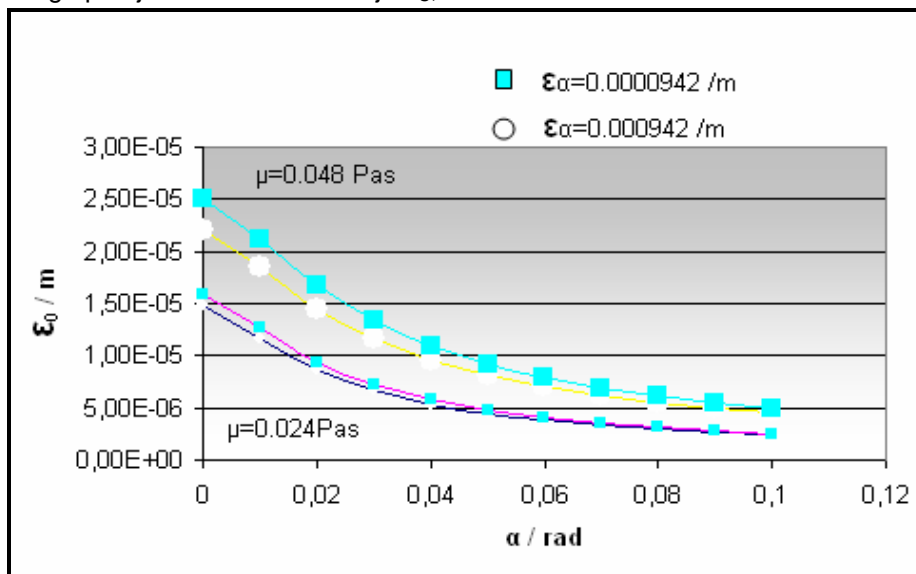
$$\varepsilon_0^I = \varepsilon_a \left(1 - \frac{0.57348 * \varepsilon_a}{\varepsilon_{aMAX}} \right) \quad \varepsilon_{aMAX} = 0.28674 * \sqrt[3]{\frac{R_0}{A^2}} \quad (7)$$

$$R_0 = R + S_{C2}$$

Ako geometriju promijenimo novim radijusom valjaka i debljinom stijenke cijevi, opet je podudarnost analitičkoga rješenja po tablici 2 i numeričke metode Monte-Carlo dobra. Tada za točku M dobivamo: $R_0 = 0.5 + 0.0271 = 0.5271$ m, $\varepsilon_0^* = 8.014 \text{ E-6}$ m po tablici 2, dok je $\varepsilon_0^* = 8.013 \text{ E-6}$ po metodi Monte-Carlo.

Na slici 4 mijenjana je dinamička viskoznost maziva gdje je vidljiva jača diferencija mazivoga sloja pri povišenoj dinamičkoj vrijednosti maziva u funkciji ε_a , rezultati su dobiveni numeričkom metodom Monte-Carlo. Na slici 5 daje se utjecaj ε_a na ε_0 .

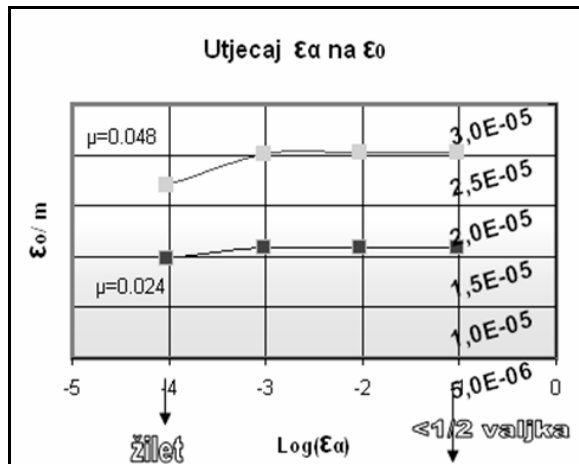
Slika 6 daje uvid u Contour Graphics po diferencijalnoj jednadžbi (1). Slika 7 daje promjenu gradijenta pritiska u mazivome sloju po diferencijalnoj jednadžbi (2) ispred ulaznoga presjeka zone deformacije L_S , slike 1.



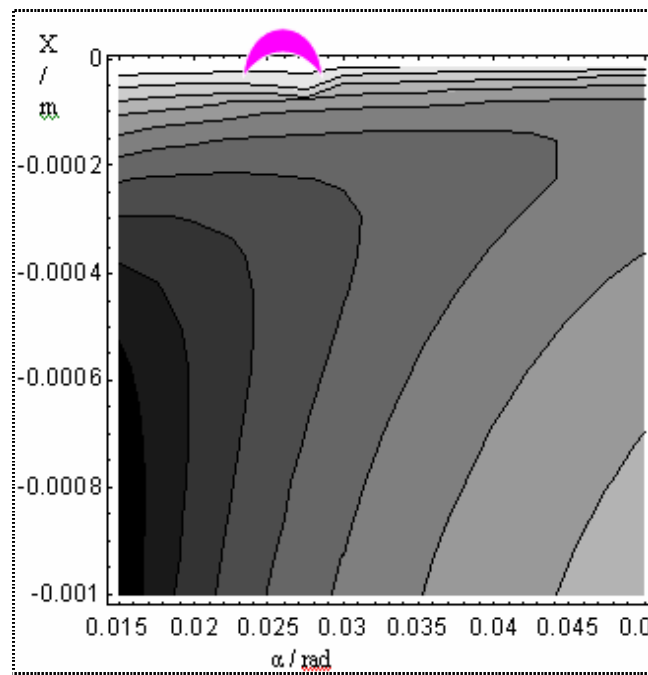
Slika 4: Utjecaj dinamičke viskoznosti maziva i kuta zahvata na visinu maziva na ulaznome presjeku zone redukcije stijenke. Metoda Monte-Carlo.

Series 1- $\mu = 0,024$ Pas

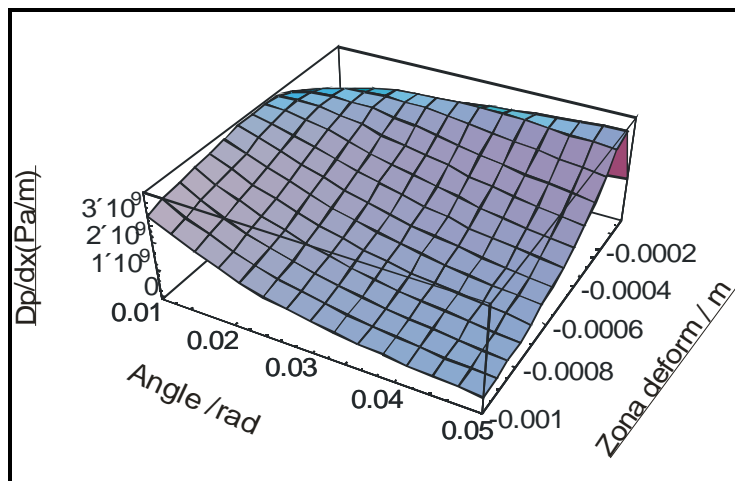
Series 2- $\mu = 0,048$ Pas



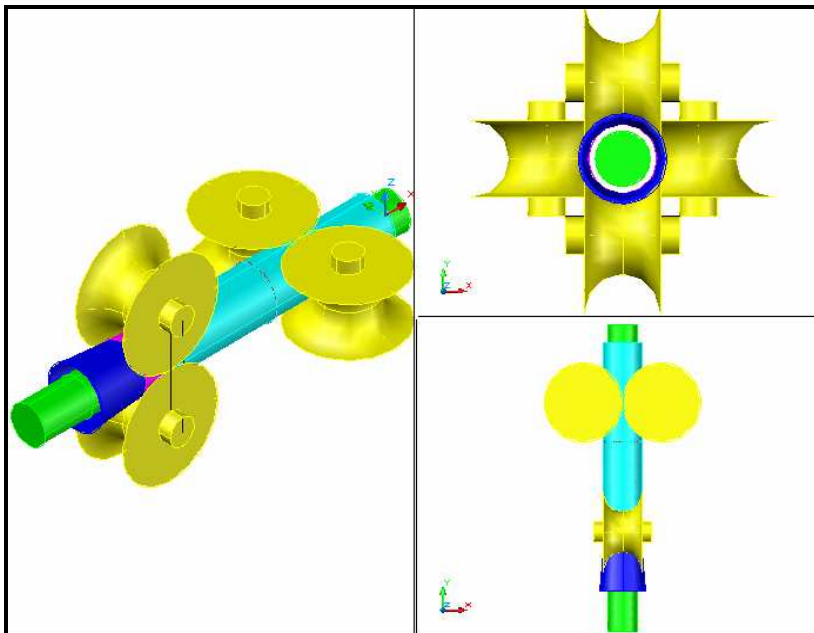
Slika 5: Utjecaj ϵ_a na ϵ_0 . Vidljivo je da kada ϵ_a pada ispod 1 mm, počinje utjecaj ϵ_a na ϵ_0 . Metoda Monte-Carlo



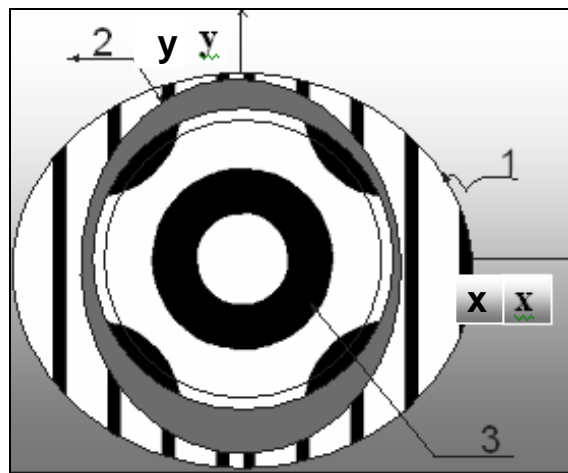
Slika 6: Contour Graphics tangencijalnih napona u mazivome sloju uzduž apscise u zonama L_R i L_S slike 1, računato po diferencijalnoj jednadžbi (1) met. Monte-Carlo.



Slika 7: Dijagram gradijenta pritiska za $x=0$, dp/dx je nula (približno) odakle slijedi poznata formula Naddaia za tekućinsko trenje kod valjanja



Slika 8: Pogledi na raspored duo-valjaka pri kontinuiranom valjanju bešavnih cijevi na trnu



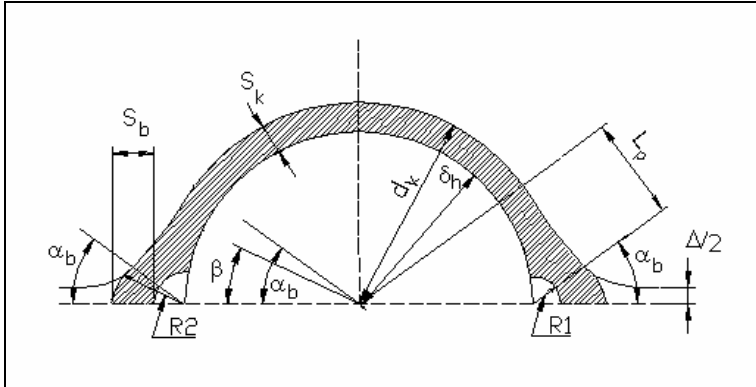
Slika 9: Ovalni (elipsni) sloj maziva na trnu kao rezultat konstrukcijske karakteristike kalibra (slika 10, R_1 i R_2 ispusni radijusi kalibra), i rezultata zakretanja kalibra za 90 stupnjeva u kavezu (slika 8), kao i rezultata ovalnosti cijevi u završnim kavezima stanova. 1 i 2 - Pretpostavljeni ovalni sloj maziva na trnu 3 nakon prolaza kroz prve i druge duo valjke kaveza na slici 8.

Slika 7 daje prikaz gradijenta pritiska u mazivome filmu u zoni L_S (slika 1) u ovisnosti o parametru: apscise i kutu redukcije stijenke α_0 . Reološke karakteristike maziva i geometrija tehnološkog procesa je uzeta po vrijednostima tablice 1. Pri porastu kuta α_0 maksimum gradijenta miče se prema ulaznom presjeku zone deformacije. Slično se ponašaju i tangencijalna naprezanja u mazivom sloju na slici 6. Uočljive nepravilnosti grafa kada kut zahvata teži oko 0.025 rad i dok apscisa teži nuli rezultat su aproksimacije polinoma (6) gdje rješenja bježe u kompleksno područje. Ta nepovoljna okolnost pratit će i matematički aparat u metodi Monte-Carlo pa je otuda vidljiva važnost približnih analitičkih rješenja sadržanih u tablici 2.

Slika 8 daje uvid u mehanizam tehnološkoga procesa gdje se unutar kaveza svaki naredni par valjaka zakreće za 90° .

Ta tehnologija teži smanjenju ovalnosti cijevi a samim tim i smanjenju ovalnosti tehnološkoga maziva na trnu što ilustrira slika 9. Imajući u vidu da su valjci za kalibraciju cijevi strogih dimenzija i različitih tipova ostaje mogućnost (koja je s aspekta podmazivanja dobro došla ali ne i za konstruktivne karakteristike izvaljanih cijevi) stvaranje džepova za nauljavanje u narednom paru valjaka gdje se mazivo u nešto većoj količini provlači preko trna. Podrazumijeva se da se efekt dodira između kalibra i vanjske stijenke cijevi reflektira i na dodir trna i unutrašnje stijenke cijevi koja je razdvojena mazivom. U okruglim kalibrima povećava se točnost valjanih cijevi ali se otežava izvlačenje trna dok je kod primjene ovalnih kalibara obrnuto. Stvaranje džepova za nauljavanje je intenzivnije kod ovalnih kalibara. To

omogućavaju ispusni radijusi kalibra R_1 i R_2 na slici 10. Mada ovaj efekt nije širokog opsega, on ukazuje na samo neku od konstruktivnih karakteristika tehnološkoga procesa koju u strogom matematičkome proračunu treba uzeti u obzir.



Slika 10: Kalibri koji se upotrebljavaju pri izradbi cijevi: 1-okrugli s ravnim ispustima (na slici 10), 2-okrugli sa zaobljenim ispustima, 3-ovalni

Praktična ispitivanja su pokazala da i geometrija trna bitno utječe na kontaktno trenje i to u većem opsegu nego spomenuta geometrija ispusta na kalibrima i ovdje se vrše ubrzana istraživanja.


3. Zaključak

Temeljna preokupacija rada bila je pronalaženje približnih analitičkih rješenja za mazivi sloj kod kontinuiranoga valjanja bešavnih cijevi u kavezima, koja nedostaju u literaturi. Kako je istaknuto zbog otežanoga pristupa nanošenju maziva na trn, postoji tendencija glodanja maziva pa teorijski proračuni ukazuju na mogućnost prijelaza stabilnoga hidrodinamičkoga podmazivanja na prvim parovima valjaka u granično podmazivanje (trenje nedovoljno navlaženih površina) na zadnjim parovima valjaka kaveznog stana.

Izvedena analitička rješenja (7) u zoni Ω i točka M u zoni Φ slike 3 pogodna su za kontrolu numeričke metode Monte-Carlo i usklađivanje rezultata kada ona daje rješenja u kompleksnom polju (prije svega usklađivanje polazne nulte aproksimacije). U nemogućnosti dodavanja maziva na zadnjim izlaznim parovima valjaka unutar kaveza, rješenja se mogu pronalaziti u reološkim karakteristikama maziva (povećanjem dinamičke viskoznosti) ili novim konstrukcijama stupnjovitoga trna koji će mijenjati kinematiku prolaza cijevi unutar kaveza. Moguća rješenja mogu biti i u nanošenju usmjerene hrapavosti na trn ili stvaranju ovalnih ispusta kalibara koji služe kao džepovi za dopunsko napajanje mazivom. Izlaz može biti i u pronalaženju podmazivanja pod visokim pritiskom unutar cijevnice i trna.

4. Popis simbola u formulama i pojašnjenja slika

T_x	Tangencijalno naprezanje u mazivom sloju
μ	Dinamička viskoznost maziva
μ_0	Dinamička viskoznost pri atmosferskom pritisku
γ	Piezokoeffcijent viskoznosti maziva
v_T	Brzina gibanja trna
v_C	Brzina gibanja cijevnice
v_R	Obodna brzina valjaka
$Q(x)$	Potrošnja maziva po perimetru cijevi
$\varepsilon(x)$	Visina mazivoga sloja ispred ulaza u zonu deformacije
ε_a	Visina maziva na trnu ispred ulaza u zonu deformacije
ε_0	Visina maziva na ulaznom presjeku zone deformacije cijevi
$\varepsilon_0^{0.1}$	Visina maziva za zahvatni kut $\alpha_0 = 0.1$ rad
ε_0^1	Visina maziva kada kut zahvata teži nula
ε_0	Visina maziva za $D=0$
ε_{SR}	Prosječna visina maziva nakon prolaza kroz valjke
ε_{aMAX}	Visina maziva koja određuje točku M, slika 3, tablica 2
A	Tehnološki parametar, tablica 1
D	Diskriminanta pripadnoga kvadratnoga polinoma u (6)
d_k	$d_k = \delta_n + 2S_k$, visina kalibra, slika 10
$\partial p / \partial x$ (dp/dx)	(Parcijalni) gradijent pritiska u mazivom sloju
α_0	Kut deformacije stijenke cijevi
α^*	Kut zahvata kada je $D=0$
α_b	Kut ispusta kalibra, slika 10
α	Kut redukcije promjera cijevi
$\alpha_b - \beta$	Konstruktivni kut ispusta, slika 10
ρ	Polumjer ispusta, slika 10
x,y	Koordinate Decartesovog sustava
u	Brzina gibanja maziva uzduž osi x
R_0	$R_0 = R + S_{C2}$
R	Radijus valjaka
R_k	Polumjer kalibra, slika 10
R_1 i R_2 - ravni ispust	Slika 10. $R_1 = \rho - (\rho - R_k) \sin \alpha_b / (\sin \beta)$; $R_2 = R_1 - S_b$
S_{C2}	Debljina stijenke cijevi za kut α_0
S_{C1}	Debljina stijenke cijevi nakon prolaza kroz valjke
S_C	Debljina stijenke cijevi prije valjanja
S_b	Debljina stijenke u ispustu s obzirom na stanjenje, slika 10.
L_D	$L_D = L_R + L_S$
L_R	Projekcija zone redukcije cijevi po promjeru na osi x

L_s	Projekcija zone deformacije cijevi po stijenci na osi x
L_p	Dužina pravocrnog dijela ispusta, slika 10
D_c	Vanjski promijer cijevi, slika 2
p_0	Pritisak valjanja
$d_T/2$	Radijus trna, slika1
Ψ	Oblast slike 3 za slučaj $\varepsilon_a \gg \varepsilon_0$
Ω	Oblast rješenja u tablici 2 kada $\alpha_0 \rightarrow 0$
Φ, Σ	Oblast rješenja u tablici 2. kada $\varepsilon_a \rightarrow \varepsilon_0$, »glodanje maziva« [Napomena: ovaj ε_0^1 treba razlučiti od ε_0^1 u zoni Ψ jer se taj računa za slučaj $\varepsilon_a \gg \varepsilon_0$. Budući da $\varepsilon_a \rightarrow \varepsilon_0$ teorijski dosežemo u trojnu točku : $\varepsilon_a \rightarrow \varepsilon_0^1 \rightarrow \varepsilon_0$]
M	Kontrolna točka prolaza za numeričku metodu Monte-Carlo. Ujedno je pokazatelj pojave zona Φ i Σ . slika 3 i tablica 2
Žilet i <1/2 valjka	Slika 5. Slikovito se uspoređuje ε_a za ova dva slučaja
$\text{Log}(\varepsilon_a)$	Brigsov logaritam
exp	Baza prirodnog logaritma ($e \approx 2.718 \dots$)
$\Delta\varepsilon_0$	Diferencija određenih visina mazivoga sloja na slici 3. Pri tome se točka M realno postavlja u maksimum grafikona.
$\Delta/2$	Zazor kalibra, slika 10
$E^{-6}, \rightarrow, *, [1-13], \gg$	10^{-6} , teži, znak množenja u formulama (1) i (7), referencije[1-13], Mnogo veće od ...
	Na slici 6 ukazuje se na pojavu konjugirano-kompleksnih rješenja po ε_0 , pa je potrebno pojačati razvoj polinoma u izrazu (6) u primjeni metode Monte-Carlo. [$x \rightarrow 0; \alpha_0 \rightarrow 0.025$ rad]. Radni primjer prema tablici 1.
$K=K(\varepsilon_0)$	Konjugirano-kompleksnih rješenja po ε_0 (tablica 3)
V i C	Valjak i cijev [slika 2]
$\varepsilon_0 = \varepsilon_0(\varepsilon_A)$	Utjecaj visine maziva na trnu na visinu maziva na ulaznome presjeku zone deformacije metala, slika 5 grafički prikaz na slici 1- lijevo

Literatura

1. I.Mamuzić, V.M.Drujan, Teorija, Materijali, Tehnologija čeličnih cijevi, Hrvatsko metalurško društvo, Zagreb **1996**, 137-275
2. S.V.Mazur, Postanovka zadači i zakonomernosti tečenja smazki v očage deformaciji pri prokatke trub, Sučasni problemi metalurgii, **8**, 447-452 Nacionalna Metallurškičeskaja Akademia Ukraine,Dnepropetrovsk **2005**, Ukrajina
3. D.Čurčija, I.Mamuzić, Materiali in Tehnologije, 39 (**2005**) 3, 61-77
4. O.P. Maksimenko, A.A. Semenča, Issledovanie kontaktno-gidrodinamičeskoj smazki pri prokatke. Sučasni problemi metalurgii, **8**, s. 99-103 Nacionalna Metallurškičeskaja Akademia Ukraine, Dnepropetrovsk **2005**
5. P.L. Klimenko, Kontaktniie naprjaženija pri prokatke s tehnologičeskoj smazkoj, Sučasni problemi metalurgii, **8**, 44-49 , Nacionalna Metallurškičeskaja Akademia Ukraine, Dnepropetrovsk **2005**
6. D.Čurčija, *Materiali in tehnologije*, 37 (**2003**) 5, 237-251
7. D. Čurčija, I. Mamuzić, *Metalurgija* 44 (**2005**) 3, 221-226
8. D. Čurčija, I. Mamuzić, *Metalurgija* 44 (**2005**) 4, 295-300
9. D. Čurčija, I. Mamuzić, Oblik mazivog sloja kod dresiranja trake , 38. simpozij Maziva 2005, Rovinj 19.-21.10. **2005**.
10. D.Čurčija, I.Mamuzić, *Metalurgija* 43 (**2004**) 249
11. D.Čurčija, I.Mamuzić, *Goriva i Maziva* 46 (**2007**) 1, 34-44.
12. D.Čurčija, I.Mamuzić , F.Vodopivec, *Metalurgija* 45 (**2006**) 3, 250.
13. D.Čurčija, I.Mamuzić, *Materiali in tehnologije*, 41 (**2007**)1, 21-27.

UDK	ključne riječi	key words
621.774.36	valjanje bešavnih cijevi	rolling of seamless pipes
621.891.275	mazivi sloj	lubricating film
621.891.275	Reynoldsov hidrodinamički raspored pritiska	Reynolds hydrodynamic pressure distribution
.001.24	gledište tehničkog proračuna	technical calculation viewpoint
518.12	numeričke metode	numeric methods

Autori

Dušan Čurčija, dipl.ing.; e-mail: plutonijanac21@net.hr
 prof.dr.sc. Ilija Mamuzić, dipl.ing.; Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet Sisak

Primljeno

06.9.2007.

Prihvaćeno

9.2.2009.