

Zdravko Schauerl, Boris Perić, Gojko Marić

ISSN 0350-350X

GOMABN 47, 4, 319-332

Izlaganje sa skupa/Conference Paper

UDK 621.774.7 : 669.15'24'26-194.3 : 621.892.09 : .002.3

RJEŠENJE PROBLEMA PODMAZIVANJA KOD KALIBRACIJE CIJEVI OD NEHRĐAJUĆEG ČELIKA

Sažetak

Kod operacije kalibriranjem prilikom provlačenja osnovnog materijala kroz matricu akumulira se energija u rešetci osnovnog materijala. Zato pred ulje postavljamo određene zadatke kao što su dovoljno brzo odvođenje topline kako hlađenjem osnovnog materijala ne bi dolazilo do pojave pukotina, a ujedno ulje mora služiti za podmazivanje matrice. Dakle, osnovna funkcija ulja kod kalibriranja je podmazivanje matrice u cilju smanjenja trošenja te odvođenje topline zbog mogućnosti pojave pukotina.

1. Uvod

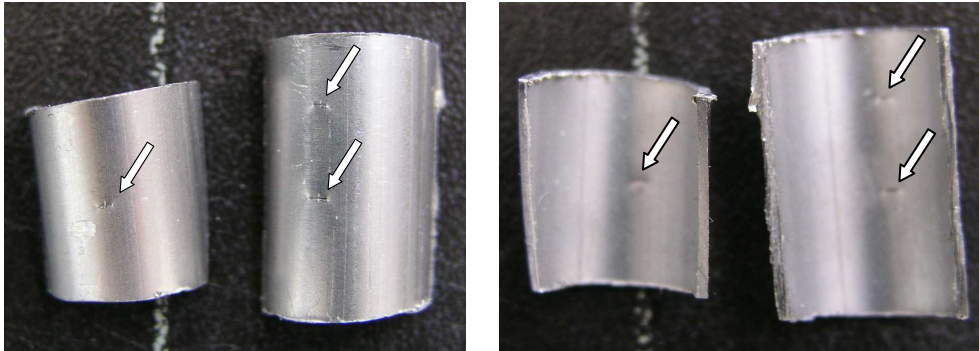
Primjena nehrđajućeg čelika je vrlo raširena, a nezamjenjiv je materijal u procesnoj, prehrambenoj, farmaceutskoj i drugim industrijama. Naime, cijevi izrađene od tog materijala postaju nezamjenjiv i vrlo tražen proizvod u tim industrijskim sektorima. Stoga je jeftina, kvalitetna i učinkovita proizvodnja cijevi od nehrđajućeg čelika jedan od izazova s kojima se susreću proizvođači kako bi bili što konkurentniji na tržištu. Te zahtjeve prati razvoj i usavršavanje tehnologije za proizvodnju cijevi. Danas se najčešće koristi postupak koji se sastoji od savijanja lima, zavarivanja i toplinske obrade, te kalibriranja cijevi na željeni promjer. Tim postupcima i redoslijedom moguće je s istim ulaznim materijalom i istim parametrima savijanja i zavarivanja, a promjenom kalibara kontinuirano proizvoditi cijevi različitih promjera.

U tom postupku kritično mjesto je svakako sam postupak kalibriranja, gdje se zbog velikog stupnja deformacije akumulira energija u kristalnoj rešetci materijala i postoji velika opasnost od pojave pogrešaka na cijevima. Stoga svi tehnološki parametri kontinuirane proizvodnje šavnih cijevi moraju biti usklađeni i dobro podešeni kako bi postupak tekao kontinuirano, bez zastoja i pogrešaka.

2. Opis problema

U procesu proizvodnje cijevi od nehrđajućeg čelika oznake 304L pojavljuju se oštećenja u obliku poprečnih pukotina, slika 1 a i b.

Slika 1: Dijelovi cijevi s pukotinama: a) vanjska strana, b) unutarnja strana



a)

b)

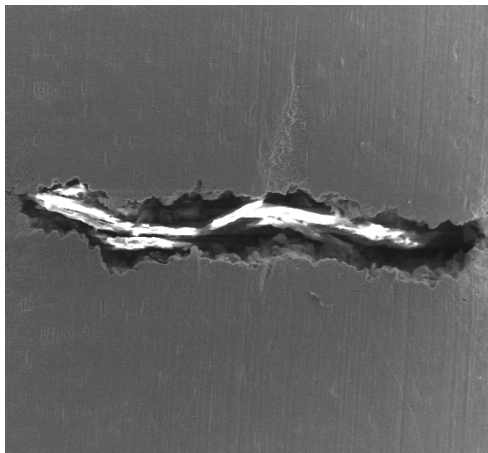
Pukotine se javljaju u nepravilnim razmacima nakon postupka kalibriranja i nisu uočene nikakve zakonitosti njihovog pojavljivanja. Istovremeno pojava pukotina i njihovo detektiranje povlači za sobom zaustavljanje kompletnog procesa proizvodnje tijekom kojeg se oštećeni dijelovi cijevi režu i bacaju. Time se, osim gubitka materijala i vremena, gubi i kontinuitet cijevi koje često moraju biti određene dužine u jednom komadu. S obzirom na direktne i indirektno troškove uzrokovane tim pogreškama i zastojsima proizvođaču je stalo da se pronađe uzrok i spriječi njihova daljnja pojava.

Analizom pukotina izdvojila su se dva moguća uzroka njihove pojave. Jedan uzrok može biti pogreška u strukturi materijala, a drugi uzrok problemi u podmazivanju prilikom kalibracije cijevi.

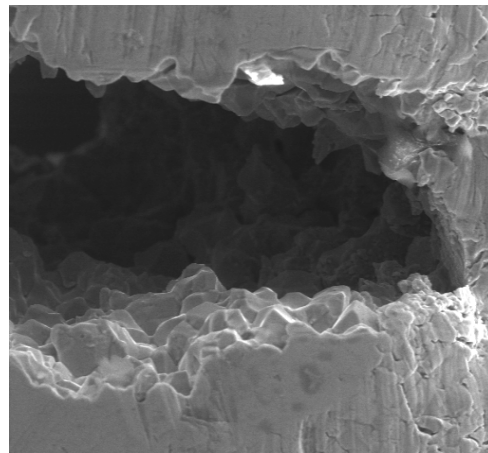
3. Ispitivanje materijala cijevi

Kako bi se utvrdilo postoje li pogreške u strukturi materijala koje su uzrokovale pojavu pukotina oštećeni dijelovi su ispitani laboratorijski. Ispitivanja su obuhvatila analizu pomoću skening elektronskog mikroskopa, analizu mikrostrukture te ispitivanje mikrotvrdoće. Ispitivanjima je prethodila priprema uzorka koja je obuhvatila izrezivanje dijela cijevi s pukotinama te pranje u ultrazvučnoj čistilici u alkoholu u trajanju od 5 min. Oštećeni dijelovi analizirani su uz pomoć skening elektronskog mikroskopa TESCAN VEGA TS5136LS na visokom vakuumu uz napon od 30 kV uz korištenje SE detektora (detektor sekundarnih elektrona). Karakterističan izgled pukotine i detalja površine oko nje prikazuju sl. 2a, 2b, 2c, 2d.

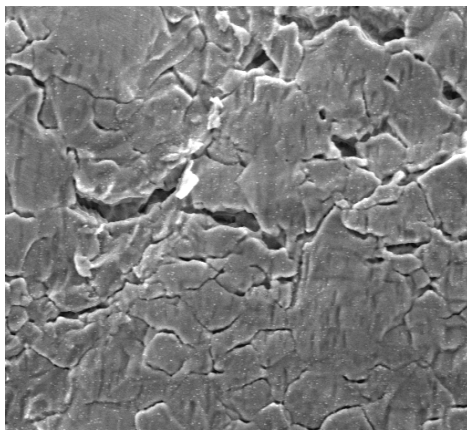
Slika 2: SEM slike pukotine, SE detektor: a) cijela pukotina, b) rub pukotine, c) rub pukotine, veće povećanje, d) osnovni materijal u blizini pukotine



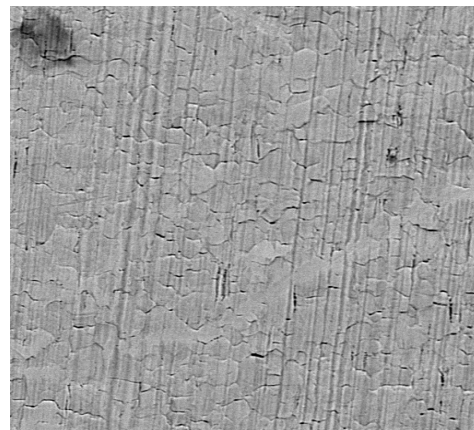
a)



b)



c)

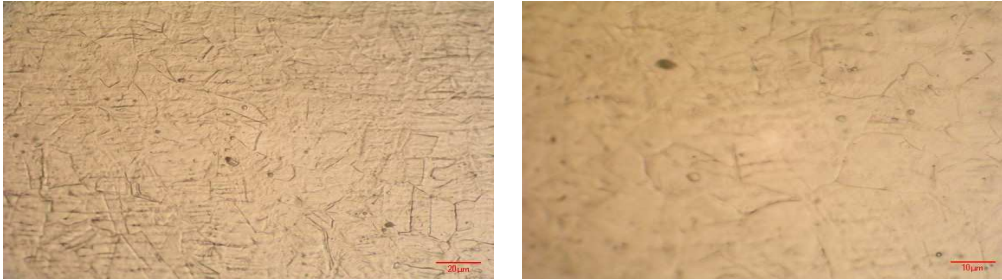


d)

Analizom oštećenih površina cijevi vidljive su poprečne pukotine dužine do 1,2 mm koje se protežu po granicama zrna. Kod svih pukotina na oba kraja je vidljiva deformacija materijala u obliku ulegnuća. Od kraja pukotine prema osnovnom materijalu vidljiva je površina s mrežom pukotina koje se protežu nekoliko milimetara

od pukotine i vidljive su na cijeloj površini koja je deformirana. Nakon površinske analize uzoraka pomoću SEMa analizirana je i mikrostruktura materijala dostavljenih uzoraka cijevi s pukotinama i bez pukotina u poprečnom presjeku. Uzorci su pripremljeni za analizu u skladu s preporukama za nehrđajuće čelike: prerezani su uz intenzivno hlađenje, grubo i fino brušeni, polirani te nagriženi elektrolitski u kromnoj kiselini.

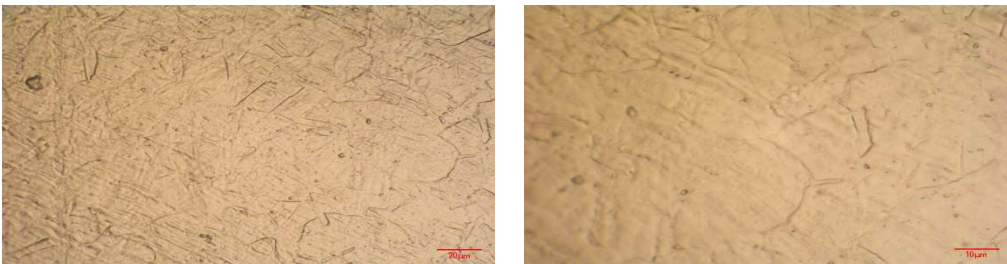
Slika 3: Mikrostruktura cijevi s pukotinama u poprečnom presjeku: a) manje povećanje, b) veće povećanje



a)

b)

Slika 4: Mikrostruktura cijevi bez pukotina u poprečnom presjeku: a) manje povećanje, b) veće povećanje



a)

b)

Mikrostrukture materijala cijevi s pukotinama u poprečnom presjeku prikazane su na slikama 3a i b, a materijala cijevi bez pukotina na slikama 4a i b. Analizom mikrostrukture materijala oštećenih i neoštećenih cijevi u poprečnom presjeku nisu vidljive značajne razlike. Kod oba uzorka vidljiva je homogena, austenitna mikrostruktura uobičajena za tu vrstu materijala.

Na oba uzorka izmjerena je i mikrotvrdoća materijala. Mjerenje je provedeno na poprečnim presjecima dostavljenih cijevi uz vanjsku površinu, u sredini presjeka, te uz unutarnju površinu cijevi. Postupak mjerenja proveden je na uređaju za mjerenje tvrdoće po metodi Vickers (HV) s opterećenjem 1N što odgovara HV 0,1. Srednje vrijednosti pet mjerenja prikazane su u tablici 1.

Tablica 1: Srednje vrijednosti pet mjerenja tvrdoće na dostavljenim uzorcima cijevi

Uzorak	HV 0,1		
	Uz vanjsku površinu	U sredini	Uz unutarnju površinu
Cijev s pukotinama	185	188	185
Cijev bez pukotina	154	157	157

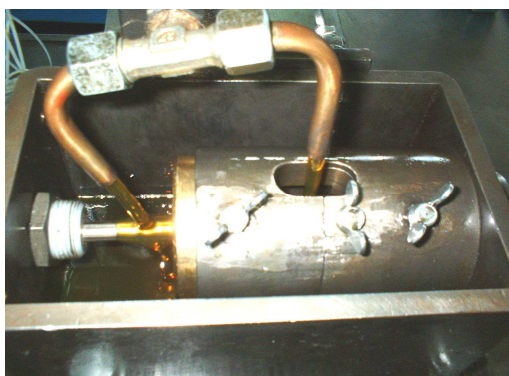
Mjerenjem mikrotvrdoće nisu uočene razlike u ovisnosti o mjestu mjerenja na poprečnom presjeku cijevi: mikrotvrdoće uz vanjsku površinu, u sredini uzorka te uz unutarnju površinu cijevi su približno jednake. Mikrotvrdoća cijevi bez pukotina je značajno niža, što može biti posljedica razlike u stupnju deformacije prilikom kalibriranja te temperature naknadne toplinske obrade cijevi.

Provedena ispitivanja materijala cijevi pokazala su da u materijalu ne postoje nepravilnosti ili strukturne pogreške koje bi uzrokovale pojavu pukotina. Rezultati analize pomoću SEMa te vrijednosti mikrotvrdoće ukazuju da pukotine imaju napetosni karakter, tj. da je do je njihove pojave došlo zbog vanjskog opterećenja koje je postalo veće od čvrstoće materijala. To znači da se uzrok pojave pukotine nalazi u tehnologiji proizvodnje cijevi i to u najkritičnijem postupku njihove izrade, kalibraciji cijevi.

4. Podmazivanje tijekom kalibracije cijevi

Tehnološki proces proizvodnje cijevi uključuje izradu cijevi početnog promjera 10 mm te naknadno smanjivanje promjera, tzv. kalibraciju, na promjer koji traži kupac. Za uspješnu kalibraciju potreban je kvalitetan materijal matrice, tj. kalibra, te izuzetno dobro podmazivanje; slika 5. Zbog iznimno velikog stupnja deformacije kojem je materijal tijekom kalibracije izložen nužno je dobro podmazivanje kojim se osigurava postojanje filma između materijala matrice i materijala cijevi i sprječava trošenje materijala i istovremeno se odvodi razvijena toplina.

Slika 5: Detalj kalibracije cijevi



Vrlo visoke zahtjeve na mazivo korišteno u tom procesu može podnijeti samo ono mazivo koje je specijalno razvijeno za tu tehnologiju. Do sada se koristilo originalno mazivo koje je preporučio proizvođač linije za izradu cijevu. Međutim, pojava pukotina na cijevima potaknula je razmišljanje o ispitivanju učinkovitosti tog originalnog maziva te traženje zamjenskog s boljim svojstvima. Osim efikasnosti podmazivanja razlog za traženje supstitucijskog maziva je i ekološka osviještenost, s obzirom da originalna maziva sadrže aditive koji su dokazano ekološki štetni.

U tablici 2 prikazana su osnovna svojstva maziva koje se koristi od početka proizvodnje cijevi i koje je preporučio proizvođač opreme za tu proizvodnju.

Tablica 2: Osnovna svojstva referentnog (korištenog) maziva

SVOJSTVO		SASTAV	
Kin. visk. 40 °C mm ² /s	170	Sumpor (S)	
Uređaj sa 4 kugle, ASTM D 2783:			
Točka zavarivanja, N	8000	Fosfor (P)	
Sred. prom. istrošenja, mm	0,86	Klor (Cl)	
Površina istrošenja, mm ²	2,1	Prirodni ester	
		Sintetički ester	

Tablica 3: Osnovne karakteristike novih formulacija maziva

SVOJSTVO	FORMULACIJA ULJA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kin.visk. 40 °C mm ² /s	90	130	170	160	150	160	160	160	160
Uređaj sa 4 kugle, ASTM D 2783:									
Točka zavarivanja, N	8000	8000	>8000	>8000	>8000	>8000	>8000	5000	5000
Sred.prom.istroš.,mm	0,56	1,19	0,35	0,98	1,08	1,21	1,12	0,46	0,46
Površina istroš, mm ²	2,2	4,3	3,2	3,6	3,85	3,15	4,15	2,8	2,8
SASTAV									
Sumpor (S)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Fosfor (P)	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Klor (Cl)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prirodni ester	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Sintetički ester	-	-	-	-	-	-	-	+	+

Na temelju zahtjeva iz proizvodnje, znanja i dobre prakse napravljeno je devet novih formulacija ulja čije su osnovne karakteristike prikazane u tablici 3. Sve formulacije ulja su ispitane u realnim uvjetima u proizvodnji cijevi. Od svih formulacija najboljom se pokazala označena brojem 2 koja je bez problema izdržala izradu cijelog koluta cijevi (500 m) dok su se kod svih drugih pojavila oštećenja, brazde i naljepljivanje već kod izrađenih 60 m cijevi. Naknadno je mjerena hrapavost površine izrađenih cijevi, a rezultati su prikazani u tablici 4.

Tablica 4: Hrapavost površine cijevi kod pojedine formulacije ulja

	FORMULACIJA ULJA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ra, μm	1,05	0,31	0,45	0,58	0,68	0,38	1,19	1,75	1,01

Zaključak

Pri proizvodnji cijevi od nehrđajućeg čelika uočena je pojava pukotina u nepravilnim razmacima nakon postupka kalibriranja i nisu uočene nikakve zakonitosti njihovog pojavljivanja. Analizom pukotina izdvojila su se dva moguća uzroka njihove pojave. Jedan uzrok može biti pogreška u strukturi materijala, a drugi problemi u podmazivnju prilikom kalibracije cijevi.

Provedena ispitivanja materijala cijevi pokazala su da u materijalu ne postoje nepravilnosti ili strukturne pogreške koje bi uzrokovale pojavu pukotina. Rezultati analize pomoću SEMa te vrijednosti mikrotvrdoće ukazali su da pukotine imaju napetosni karakter. Kao kritično mjesto za nastajanje pukotina definirano je kalibriranje, tj. podmazivanje prilikom deformacije.

Ispitano je devet novih formulacija ulja, od kojih je ulje oznake 2 pokazalo iznimno dobre karakteristike za taj tehnološki proces: dobro odvođenje topline, dobro podmazivanje, visoku kvalitetu površine cijevi, tj. niska hrapavost. Uz to je nova formulacija ulja ekološki prihvatljiva.

UDK	ključne riječi	key words
621.774.7 : 669.15'24'26- 194.3	kalibracija cijevi od legiranog nehrđajućeg Cr-Ni čelika	calibration of alloy Cr-Ni inox steel tubes
621.892.09	mazivo prema grani namjene	Lubricants according to sort of application
.002.3	gledište formulacije sastava	formulation of constituents viewpoint

Autori

dr.sc. Zdravko Schauerl, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, zschau@fsb.hr
Boris Perić, dipl.ing., Maziva Zagreb d.o.o., Zagreb

dr.sc. Gojko Marić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

Primljeno

24.6.2008.