

SVOJSTAVA LEŽAJA PROIZVEDENIH NALIVANJEM I NAVARIVANJEM KLIZNOG SLOJA BELOG METALA

CARACTERISTICS OF WHITE METAL SLIDE LAYER BEARINGS PRODUCED BY CAST CLADDING AND WELD CLADDING

MILOŠ MIĆIĆ¹, MIĆA ĐORĐEVIĆ², GROZDANA ĐAJIĆ³

¹ VPTŠ Užice, ² Tehweld doo Loznica, ³ Sinter, Prvi Partizan, Užice

Primljeno: 25. 09. 2005.

IZVOD

U radu je dato teorijsko razmatranje bitnih svojstava ležaja od belog metala (kalajnog babilita). Izvršeno je poređenje pojedinih elemenata važnih za ležaj koji su u vezi sa uticajem dve različite tehnologije izrade ležaja – nalivanje, odnosno navarivanje mekog kliznog sloja na osnovu visoke čvrstoće (čelik). Data je analiza eksperimentalnih rezultata za dve proizvodne tehnologije, i to: makro i mikrostrukture, tvrdoće, poroznosti, spoja belog metala i čelika, kao i pojava segregacija. Osim toga, praćen je i uticaj većeg broja pretapanja belog metala i tehnologije proizvodnje polaznog materijala na kvalitet navarenih ležaja.

Ključne reči: Beli metal, kalajni babbit, nalivanje, navarivanje, struktura, svojstva.

ABSTRACT

Theoretical considerations of some important properties of white metal slide bearings (tin babbitt) are described in this paper. The comparison of parameters connected with two production technologies (cast cladding and weld cladding) of soft slide layer on a high strength based metal (steel) is discussed. Experimental data for these two technologies, such as: macro and microstructure, hardness, porosity, bonding between white metal and steel base and appearance of segregations are analyzed. In addition, the effect of the previous number of remelting of white metal rods together with production technology of the primary bearing materials on the quality of weld cladding are also considered.

Key words: White metal, tin babbitt, cast cladding, weld cladding, structure of white metal, white metal properties.

UVOD

U proizvodnji kliznih ležajeva od belog metala (tzv. kalajni babbit) tehnologijom nalivanja na osnovu od čelika, sivog liva ili bakra kao paralelna pojavljuje se i tehnologija navarivanjem.

Korisnici kliznih ležaja susreću se sa dilemom kakve su ukupne karakteristike ležaja proizvedenog navarivanjem u odnosu na ležaj proizveden nalivanjem i da li proizvod dobijen tehnologijom navarivanja prate neke skrivene mane i nedostaci koji se možda ne mogu otkriti na prijemnoj kontroli.

Imajući ove činjenice u vidu cilj rada bio je da:

- razmotri bitna svojstva ležaja i materijala za ležaj kao i uticaj pojedinih elemenata tehnologije proizvodnje koji su od značaja za poređenje svojstava, i

- izvrši poređenje eksperimentalno dobijenih rezultata koji su bitni za ocenu kvaliteta ležaja sa košuljicom od belog metala navarenog, odnosno nalivenog na osnovu od čelika.

Cilj ovoga rada i nije bio da izvrši neku opštu ocenu kvaliteta ležajeva od belog metala, jer su ovi ležajevi odavno primenjeni u praksi, već samo da uporedi neke više ili manje bitne karakteristike ležajeva proizvedenih različitim tehnologijama.

TEORIJSKE OSNOVE

Strukturne i mehaničke karakteristike sloja belog metala

Opšte postavke vezane za osobine kliznog sloja bimetalnih ležaja slične su onim za monometalne klizne ležaje, s tim da vrednosti mehaničkih svojstava kliznog sloja mogu biti niže zbog postojanja noseće komponente u bimetalnom ležaju. To omogućava primenu nekih drugih materijala za klizni sloj koji poseduju druge povoljnije karakteristike.

Klizni sloj u svom strukturnom sastavu mora sadržati mikrokonstituent koji može da primi i prenese pritisak rukavca vratila kao i jedan sa nižim otporom deformaciji u kome je prvi raspoređen. Ovo nije i dovoljno za dobar klizni ležaj jer oba mikrokonstituenta moraju posedovati i druga svojstva. Potrebno je da oba mikrokonstituenta kliznog sloja imaju nizak koeficijent trenja u paru sa rukavcem i da mekši mikrokonstituent odgovori svojoj osnovnoj nameni da se brzo prilagodi rukavcu vratila i da primi i sebe sve strane čestice i otkinute mikrodeline rukavca i ležaja koji bi mogli povećati trenje i izazvati habanje i dalje oštećenje.

Svako povećanje trenja dovodi do porasta temperature ležaja što izaziva promenu osobina kliznog sloja koji je u kontaktu sa rukavcem i to od nosivosti samog sloja do promene koeficijenta trenja, što bi na kraju izazvalo i razaranje samog ležaja. Iako se ne može osporiti činjenica da bi sa porastom temperature došlo do boljeg prilagođavanja kliznog sloja rukavcu, ipak bi ukupan efekat porasta temperature bio negativan zbog opadanja mehaničkih karakteristika sloja, tj. smanjenja njegove nosivosti. S obzirom da se mora računati da je dimenziona stabilnost jedna od važnih karakteristika ležaja, viša temperatura bila bi uzrok promeni dimenzija, a uzimajući u obzir postojanje različitih preseka i materijala sa različitim koeficijentima linearnog širenja, pojavili bi se novi odnosi u dimenzijama u poređenju sa početnim.

Bitno svojstvo ležaja je toplotna provodljivost. Sa povećanjem toplotne provodljivosti ostvaruju se stabilnije karakteristike sloja u kontaktu sa rukavcem. Oblik i raspored mikrokonstituenta koji obezbeđuju mehaničku čvrstoću sloja, tj. prihvataju i ravnomerni i promenljivi pritisak rukavca takođe su jedna od važnih karakteristika sloja. Osim toga, mikrokonstituenti treba da učvrste (armiraju) osnovu i istovremeno prihvate opterećenje. Pri tome, zapreminski udeo mikrokonstituenta u dodiru sa rukavcem treba bude optimalan, tj. da se ne izazove habanje rukavca, ali i da se ne umanjuje nosivost

ležaja. Takođe, odstupanje od optimalnog oblika i rasporeda dendrita noseće faze moglo bi da umanju neka pozitivna svojstva ležaja.

S druge strane, promenjena veličina zrna noseće faze u odnosu na optimalnu poremetila bi i odnos ukupne površine mikrokonstituenta koji su u dodiru sa rukavcem. Prema tome, veličina kristalnih zrna takođe je jedna od važnih karakteristika ležaja. Optimalna veličina zrna postoji kao teorijska veličina, ali se u praksi veličina zrna menja za različite uslove eksploatacije. Praksa, naime, pokazuje da je u izboru optimalne veličine zrna problem često jednosmeran, na taj način što su ostvarene veličine zrna skoro uvek iznad onih koje bi se mogle smatrati optimalnim kada se sagledaju sve posledice krupnog i sitnog zrna na kvalitet ležaja. Zbog toga se, ne retko, i u literaturi i standardima smatra da sitnije zrno istovremeno označava i kvalitetniji ležaj.

Debljina sloja belog metala na osnovi od čelika je sastavni deo karakteristika ležaja, jer određuje namenu, dimenzije i očekivano opterećenje koje ležaj može da primi. Slojevi su najčešće debljine između 2 i 6mm. Od načina proizvodnje, parametara procesa i dimenzija zavisi i dodatak namenjen za obradu nakon nalivanja ili navarivanja. Slojevi manje debljine imaju manju dinamičku izdržljivost, zbog toga što se materijal suviše deformiše pri čemu sa površine započinju procesi loma koji se dalje prenose kroz materijal. Visoka vrednost koeficijenta trenja može prouzrokovati smicanje metala unutar zapremine sloja pri čemu može doći do pojave prskotina koje će se dalje širiti i izazvati lom. Ako je sloj dovoljno tanak dinamička opterećenja se prenose i na podlogu od čelika. Međutim, smicajni naponi mogu izazvati odvajanje sloja belog metala od osnove, a uzrok može biti nedovoljna čvrstoća spoja, ali i postojanje tvrde i krte faze u prelaznom tankom sloju između belog metala i čelika koja ne može da podnese ni manje elastično – plastične deformacije u uslovima kad se u maloj debljini kliznog sloja generišu naponi.

Prskotine ne moraju nastati samo u procesu eksploatacije ležaja, već mogu nastati i u procesu proizvodnje nalivanjem ili navarivanjem. Prskotine se mogu pojaviti duž granica zrna, zatim duž dendrita ili kao rezultat grešaka u obliku nespojenih mesta između belog metala i osnove.

Fizičko-hemijsko, mehanička i mikrostrukturalna svojstva legure BM83

Prema zahtevu korisnika ležaja [1] potrebno je da klizni sloj poseduje sledeća svojstva:

Mehaničko-tehnološke karakteristike:

- gustina:..... $\rho=738\text{kg/m}^3$
- temperatura topljenja: 370°C
- linearno skupljanje:..... $0,65\%$
- zatezna čvrstoća $R_{m\text{ zat}} = 90\text{MPa}$
- pritiska čvrstoća: $R_{m\text{ prit}} = 115\text{MPa}$
- tvrdoća na 20°C : $\text{HB}=30$
- koeficijent trenja u kontaktu sa vratilom:
- a)sa podmazivanjem..... $\mu=0,005$
- b)bez podmazivanja $\mu=0,28$

Hemijski sastav (mas.%): 10-12 Sb; 5,5-6,5 Cu; ostatak Sn+primeše. Zahtevani hemijski sastav je vrlo blizak sastavu legure B83

Osnovni mikrokonstituent legure je gusto pakovana heksagonalna Cu_6Sn_5 faza, najčešće označena kao γ , čiji su primarno izdvojeni kristali igličastog oblika i izdvajaju se na temperaturama od 400 do 350°C. Prema nekim navodima [2] bakar-kalaj kristali se ne izdvajaju samo kao Cu_6Sn_5 , već i kao Cu_3Sn faza koja ima ortorombičnu kristalnu rešetku [3]. Nema podataka da se stvara i $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ faza (δ) koja se pojavljuje u binarnom sistemu bakar-kalaj pri brzinama hlađenja koje su iznad ravnotežnih. Ova faza se odlikuje izuzetno visokom tvrdoćom.

Nakon izdvajanja primarnih kristala Cu_6Sn_5 faze izdvajaju se SbSn kristali kubnog oblika sa 47-50% kalaja najčešće označeni kao β -faza, čija je kristalna rešetka romboedarska i tipa NaCl. Smatra se da se u ovom jedinjenju 8% kalaja može zameniti sa 8% antimona i obrnuto, a da se ne izazove bitna promena kristalne strukture i svojstava jedinjenja. Poslednji očvršćava čvrsti rastvor antimona u kalaju koji se često označava kao α -faza, mada, zavisno od sistema, ovaj čvrsti rastvor ima i druge oznake.

U nekim varijantama sastava u kojima se pojavljuje smanjenje sadržaja kalaja, čvrsti rastvor nastaje i peritektičkom reakcijom na 246°C. U legurama sa nižim sadržajem antimona primarno se izdvaja čvrsti rastvor antimona u kalaju, a tek sa daljim hlađenjem i padom rastvorljivosti antimona u kalaju moguće je izdvajanje i sekundarnih SbSn kristala. U posmatranoj leguri do ovoga uglavnom ne dolazi. Međutim, pri hlađenju ove legure trebalo bi da opada sadržaj antimona u čvrstom rastvoru koji je nastao peritektičkom reakcijom i da se u ravnotežnim uslovima pojavi manja količina sekundarne SbSn faze.

Temperatura do koje je izvršeno zagrevanje istopljenog metala i brzina hlađenja imaju veliki uticaj na veličinu i oblik faza koje se pojavljuju u leguri. Pregrejeni rastop ne sadrži klice potrebne za rekristalizaciju pa stoga postoji i veća mogućnost za pothlađenje nego u slučaju rastopa koji sadrži izvestan broj klica. Ako se ostvare uslovi da se rastop bez klica jako pothladi tako da dođe do spontanog stvaranja klica, tada se u celoj zapremini rastopa može dobiti fina ravnoosna struktura. Livenjem u metalne kalupe, kada se odvija brže hlađenje, moguće je dobiti finije zrno nego livenjem u pešćane kalupe jer je hlađenje tada sporije. Pri bržem odvođenju toplote kristali su utoliko sitniji ukoliko je viša temperatura livenja. Pri sporom hlađenju ne dolazi do većeg pothlađenja pa se stvaraju krupniji, ali malobrojniji primarni kristali, jer pri ovim uslovima nema spontanog stvaranja klica.

Različite faze koje imaju različite gustine i temperature na kojima nastaju mogu da budu uzrok pojavi segregacija. Bakar u ovoj leguri upravo i služi da bi se stvorilo intermetalno jedinjenje Cu_6Sn_5 koje gradi igličaste kristale na temperaturama kad još nije započelo izdvajanje SbSn faze. Kristali koji su se prvi izdvojili stvaraju mrežu koja sprečava likvaciju kasnije stvorenih faza. Međutim, pri sporom hlađenju ili zadržavanju na temperaturi kada su stvoreni kristali Cu_6Sn_5 , a još uvek nije došlo do stvaranja drugih mikrokonstituenata, može doći do taloženja bakrom bogate faze na dnu sloja belog metala. Zbog toga je potrebno da vreme očvršćavanja bude što brže. Osim toga, pri bržem hlađenju obrazuje se sitnozrna struktura.

Tvrdoća kliznog sloja

Tvrdoća koja se postiže kod legura ovog tipa iznosi maksimalno 30HB [3]. Sa porastom temperature ležaja tvrdoća opada i na 150°C iznosi svega 12HB. Prema tome, svaki parametar koji dovodi do porasta temperature, a u prvom redu trenje, može da bude uzrok neželjenih efekata na kliznoj površini, čak i do njenog topljenja. Prskotine

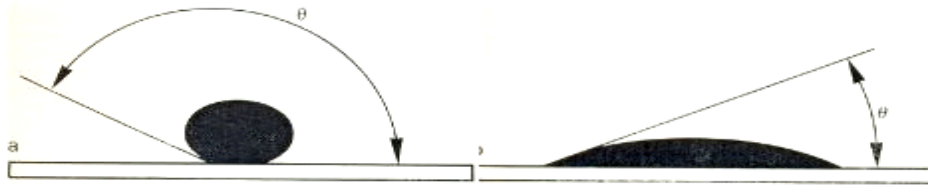
koje se pojavljuju na površini ne retko prodiru kroz ceo sloj, a kada dođu do granice spoja sa osnovom prskotina se dalje rasprostire između sloja belog metala i osnove. Zbog toga je čvrstoća spoja osnove i belog metala važna veličina.

Formiranje spoja i njegova čvrstoća

Za kvalitetan spoj bitna su dva elementa: da na površini spajanja nema nespojenih mesta i da je čvrstoća spoja dovoljno visoka da ne dođe do razdvajanja već spojenih površina.

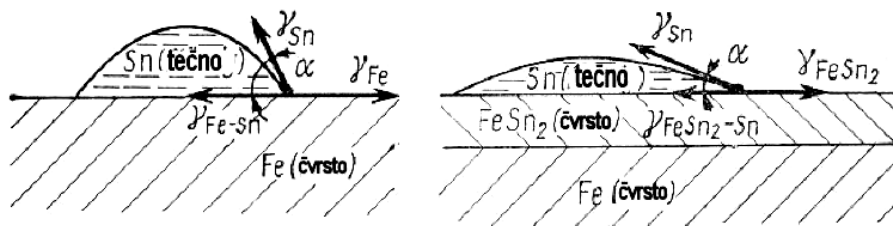
Na nespojenim mestima, ukoliko se nađu na površini spoja belog metala i čelika, javlja se koncentracija napona. Napon je na ovim mestima veći od nominalnog i odatle počinje odvajanje ležaja od osnove bez obzira da li spojena mesta imaju čvrstoću koja bi bila dovoljna da nema uticaja faktora koncentrisanja napona. Pojava nespojenih delova između osnove i belog metala uglavnom je vezana za mehaničke nečistoće, oksidisana mesta, delove zaprljane masnoćom i vlagom, kao i za uključke na površini. Zbog toga je priprema površine osnove izuzetno važan element procesa i nalivanja i navarivanja.

Tehnologija navarivanja obično uključuje pripremu površina kako za odstranjenje nečistoća tako i za aktiviranje površina za bolje kvašenje pri navarivanju prvog sloja. Prihvatanje nanetog sloja zavisi od kapilarnih sila, odnosno od ugla pod kojim je delić tečnog metala u interakciji sa čvrstom podlogom (slika 1).[4]



Sl. 1. Interakcija tečnog metala i čvrste podloge: (a) loše i (b) dobro kvašenje
Fig.1 - Interaction of liquid metal and a hard base: (a) poor and (b) adequate wetting

Danas su razvijeni brojni dobri fluksevi koji ne samo da omogućavaju dobro kvašenje već čiste površinu, prečišćavaju rastope koji se nanose navarivanjem, poboljšavaju antikorozivne osobine i dr.[5]



Sl. 2 - Površinski naponi na granicama tečno-čvrsto-gas na površini čelika i čelika sa slojem $FeSn_2$.

Fig.2 - Surface tension at the boundary liquid-solid-gas on the steel surface and in the case of steel with the $FeSn_2$ layer

Smatra se da su površine na koje je bio nanošen kalaj pogodne za dalje navarivanje belog metala. Prema Knauschner-u [6] pri toplom kalaisanju čeličnih limova dolazi do stvaranja jedinjenja $FeSn_2$ koje pri zagrevanju ne menja sastav već samo tip kristalne re-

šetke. Pojava ovog jedinjenja je od koristi zato što omogućava bolje kvašenje površine kao što se vidi na slici 2. Pojava ovog jedinjenja je poželjna jer omogućava lakše nanošenje sloja bez grešaka. Uzimajući u obzir ponašanje belih limova očigledno je da ovo jedinjenje ne stvara probleme time što bi izazvalo krtost pri pojavi smicajnih napona.

Poredeći tehnologije nalivanja i navarivanja ležaja Golovanenko [7] smatra da pri proizvodnji svih bimetala bolji spoj daju navareni slojevi drugog metala na osnovu prvog nego oni spojevi koji su naliveni.

Oksidi, uključci i poroznost

U belom metalu nije isključena pojava kalajnog oksida SnO_2 koji nastaje apsorpcijom kiseonika pri topljenju i livenju pri čemu gradi skelet od vrlo tvrdih kristala sa oštrim ivicama. Takođe, oksid može dospeti u liv pri topljenju strugotine ili korišćenju pregorele kalajne bronzne kao legirajuće komponente. Kada se oksid kalaja nađe na kliznoj površini može doći do znatnog oštećenja rukavca i povećanja trenja.

Pri topljenju kalaja i njegovih legura zaštita se najčešće vrši drvenim ugljem [8]. Za degazaciju se može koristiti inertni gas tako što se gas nalazi iznad rastopljenog metala i, shodno Daltonovom zakonu, gasovi iz rastopa difunduju u zaštitni gas. Istovremeno gas štiti rastop od kiseonika iz atmosfere. Čišćenje rastopa od drugih nemetalnih uključaka vrši se produvanjem gasovima ili primenom hlorida, najčešće u obliku soli koje rastvaraju uključke ili sa njima stvaraju hemijska jedinjenja. Hloridi su najčešći rafinatori za kalaj i njegove legure [8].

Do gasne poroznosti najčešće dolazi periodu kristalizacije kada rastvorljivost gasa opada. Pojava dendrita često sprečava isplivavanje gasnih mehurića, a osim mehaničkog zarobljavanja veliku ulogu igraju i površinske sile. Ako je površinski napon na granici kristal-rastop veći nego na granici kristal-gas tada će gas više kvasiti kristal nego rastop. U tom slučaju mehurić se ne odvaja od kristala i ne isplivava što rezultira pojavom poroznosti.

EKSPERIMENTALNI DEO

Uzorci za ispitivanje

Uzorak br. 1. Komad belog metala uzet je sa ležaja koji je bio proizveden nalivanjem. Priprema čelične osnove i način i parametri procesa nalivanjem su nepoznati. Poboljšanje mehaničke veze belog metala i čelika ostvareno je preko "lastinog repa". Ležaj je bio prihvaćen kao dobar.

Uzorak br. 2. Komad belog metala uzet je sa ležaja koji je bio proizveden tehnologijom navarivanja. Priprema čelične osnove sastojala se od: žarenja na 250°C , mehaničkog čišćenja, odmaščivanja, tretmana sa hloridima i kalajisanja. Materijal za navarivanje: šipka belog metala proizvedena livenjem u metalni kalup. Ležaj je bio prihvaćen kao dobar. Navarivanje je izvedeno pod zaštitom argona.

Uzorak br. 3. Proizveden je navarivanjem livene šipke u istim uslovima kao uzorak br.2.

Uzorak br. 4. Proizveden je navarivanjem u uslovima sličnim kao i za uzorke 2 i 3. Šipka je prethodno pet puta pretopljena pod zaštitom argona, odnosno navarena je u petom pretapanju.

Uzorak br. 5. Uzorci belog metala navareni su sa šipke proizvedene presovanjem. Ostali uslovi bili su kao za uzorke 2, 3 i 4. Presovana šipka pri ranijim pokušajima nije davala dobre rezultate zbog pojave poroznosti.

Hemijska analiza ispitivanih uzoraka određena je na kvantometru [RFA] a mikristruktura je razvijena nagrivanjem poliranih uzoraka u 10% vodenom rastvoru amonijumpersulfata u vremenu od 5s. Tvrdoća je merena po Brinelu, sa kuglicom prečnika 2.5 mm, pri opterećenju od 15.6 kg u vremenu od 15 s prema zahtevu [1].

REZULTATI I DISKUSIJA

Uticao različitih parametara na poroznost i spajanje ležaja

U tabeli 1. prikazani su promena tvrdoće i hemijskog sastava u zavisnosti od mesta ispitivanja a istovremeno su označena mesta na kojima su izvršena metalografska ispitivanja, dok su u tabeli 2 prikazane karakteristike različitih spojeva.

Tabela 1 - Promena tvrdoće i hemijskog sastava u zavisnosti od ispitivanog mesta na ležaju

Table 1 - Change of hardness and chemical composition as a function of chosen bearing area.

Uz. br.	Tvrdoća* (HRB)			Mikrostruktura**						Hemijski sastav (mas.%)*** Sn+Prim=R				
	Mesto ispitivanja			Mesto ispitivanja						Mesto ispitivanja				
				Povećanje 200x			Povećanje 500x			1		2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Cu	Sb	Cu	Sb	
1	26,7	-	-	Sl.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	26,7	-	-	Sl.3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	26,7	26,7	26,7	Sl.3.3	Sl.3.5	-	Sl.3.7	-	-	6,9	11,28	7,2	11,39	
4	27,4	26,7	28,2	Sl.3.4	-	Sl.3.6	-	-	-	6,7	11,21	7,1	11,30	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* Tvrdoća uzorka ispitivana na površini u tabeli 1 je data pod brojem 1, mesto br. 2 je na prvoj trećini debljine, a mesto br. 3 blizu spoja čelik beli metal.

** Mikrostruktura je ispitivana na površini i u tabeli 1 je data pod brojem 1, na polovini po debljini pod br.2 i u spoju pod br.3.

*** Hemijski sastav ispitivan na površini i u tabeli 1 je dat pod brojem 1, a nakon skidanja sloja debljine oko 2mm pod br.2.

Kao što se iz tabele 1 vidi, ispitivanja su sprovedena na različitim vrstama uzoraka. Naime, jedan broj uzoraka bio je uzet sa ležaja i bez potrebnih podataka o pripremi čelične osnove, a nedostajali su i podaci o parametrima procesa proizvodnje i procesa nalivanja belog metala, kao i hemijski sastav koji zbog veličine uzorka nije mogao da bude određen. S druge strane, postoje uzorci kod kojih su bili poznati način pripreme,

uslovi rada i hemijski sastav. Imajući u vidu ove činjenice nije bilo umesno vršiti poređenja bez dodatnih podataka.

Tabela 2 - Karakteristike različitih spojeva.

Table 2 - Characteristics of different bonding.

Uz. broj	Spoj čelika i belog metala	Prelom makrostruktura	Poroznost	Segregacije	
				Mikrostruktura	Hem. sastav
1	-	Sl.3.8	Ne uočava se	Nisu jasnije izražene	-
2	-	Sl. 3.8	Ne uočava se	Nisu jasnije izražene	-
3	Bez nespojenih mesta	-	Ne uočava se	Nisu jasnije izražene	Malo povećan sadržaj bakra na mestu 2 u odnosu na mesto 1
4	Bez nespojenih mesta	-	Ne uočava se	Nisu jasnije izražene	
5	-	Kao na uzorku br.2	Ima poroznosti i zatamnenjenih mesta	-	-

Međutim, pada u oči činjenica da su parametri procesa počev od dobijanja belog metala, preko pripreme prethodno korišćenih čeličnih ploča i parametara procesa nalivanja i navarivanja do načina izvođenja hlađenja nakon proizvodnje, možda i važniji za kvalitet ležaja od izbora same osnovne tehnologije proizvodnje.

Generalno posmatrano proces navarivanja je moguće izvesti primenom više promenljivih parametara od procesa nalivanja. Pri poređenju ova dva procesa ovaj podatak može imati i pozitivne i negativne efekte. Posedovanje dovoljno visokog nivoa znanja uz mogućnost kontrole parametara procesa daje apsolutnu prednost tehnologiji navarivanja, ali, istovremeno, isključuje primenu ove tehnologije u široj praksi u izvođenju nedovoljno stručnih i neiskusnih izvršilaca.

Priprema polaznih komada od čelika ista je za obe tehnologije, s tim što je proces navarivanja lakše vremenski uskladiti tako da priprema sledi neposredno uoči nanošenja sloja belog metala. Duži vremenski razmak između čišćenja i navarivanja nije poželjan zbog mogućeg prljanja površine nečistoćama ili vlagom.

Bitna razlika između dve tehnologije je što se nalivanjem odjednom dobija ceo sloj ležaja dok se navarivanje vrši po slojevima. Navarivanje po slojevima može imati i prednosti, ali i nedostatke. U sloju male debljine navarivanjem se može održati uži temperaturni interval, uz istovremeno kraće vreme očvršćavanja i manju mogućnost za likvaciju. Pojava porasta sadržaja bakra u podpovršinskom sloju kod uzoraka 3 i 4 ukazuje na tendenciju ka likvaciji. Što je istopljeni sloj veće visine trebalo bi da je i likvacija veća, odnosno da dolazi do porasta udela Cu_6Sn_5 (ili Cu_3Sn) faze u donjem sloju. Kako se pri navarivanju radi sloj po sloj to se prethodno sloj može topiti samo po površini tako da kristali Cu_6Sn_5 faze ne mogu da potonu niže, već se praktično stvaraju uslovi da se ravnomernost sastava poboljša time što će eventualno osiromašena površina prethodnog sloja zbog likvacije biti nadoknađena kristalima Cu_6Sn_5 faze pri sledećoj likvaciji. Održavanje potrebne temperature sloja koji se nanosi kao i temperature i agregatnog stanja prethodnog sloja od bitnog su značaja za karakteristiku strukturnog

sastava pri zavarivanju, ali to su ujedno i parametri kojima se može upravljati kako bi se dobili ravnomeran raspored i veličina zrna. S druge strane, pri procesu nalivanja ograničena je mogućnost da se utiče na ove parametre. Pri navarivanju postoji i mogućnost da se po slojevima koriste različiti sastavi polaznih šipki od belog metala pri čemu je, uz praćenje svih parametara primenom odgovarajuće opreme, za ovakav postupak potrebna i visoka stručnost izvršioca posla. Jedna od velikih prednosti postupka navarivanja je primena zaštite inertnim gasom.

Dobijeni rezultati ukazuju na potpuno odsustvo gasne poroznosti pri korišćenju livenih šipki pri navarivanju u zaštiti argona. Na uzorcima 3 i 4 (vidi tabelu 1) nije nađeno prisustvo kiseonika, odnosno SnO_2 u sloju belog metala. Pri proizvodnji uzorka nakon navarivanja vršeno je samo mehaničko čišćenje čeličnom četkom prethodno navarene površine. Moglo bi se računati i na hemijska čišćenja prethodno navarenog sloja uz obaveznu obazrivost pri izboru sredstva zbog mogućnosti štetnog uticaja na zdravlje radnika pri sledećem navarivanju. S druge strane, pogodna hemijska sredstva koja bi zaostajala na površini mogla bi da imaju aktivnu ulogu u prečišćavanju rastopa.

Na uzorcima 3 i 4 nije nađeno nijedno nespojeno mesto (tabela 2) što ukazuje na dobro izvršenu pripremu za spajanje (čišćenje, nanošenje kalaja i odgovarajuće nanošenje prvog sloja). Suštinski, najveći problem predstavlja spoj na ivicama gde je najviše izraženo dejstvo napona između sva tri agregatna stanja; čvrsto-tečno-gas. Zbog toga je veoma važan izbor sredstava za pripremu. Mogućnost da se u praksi pri navarivanju pređe delimično i na bočnu ivicu čelične podloge čini problem spoja na samoj ivici manjim. Svakako, ovaj višak je potrebno kasnije mehanički odstraniti.

Uticaj polaznog materijala od belog metala može biti znatan. Da bi se ovo proverilo za ispitivanja je izabran materijal iz jednog ranijeg perioda kada se pri navarivanju pojavljivala poroznost i tamne mrlje na prelomu. Pri radu sa ovim materijalom dobio se isti rezultat, tj. ponovo su se pojavili poroznost i tamne mrlje na prelomu. Osim toga, pri izradi uzorka br. 5 korišćene su presovane šipke umesto livenih koje su korišćene pri proizvodnji uzoraka 3 i 4. Treba naglasiti da je u centralnom delu polaznih presovanih šipki uočeno prisustvo nečistoća. Procena je da je pri presovanju šipki došlo do pojave tzv. centralne greške gde je mazivo sa recipijenta i pres-šajbne upresovano u centralni deo šipke. Ovo su poznati efekti pri presovanju koji se mogu izbeći kroz primenu odgovarajućih parametara tokom procesa presovanja. Međutim, livene šipke nabavljene u Nemačkoj i od SZR "Tehmet" nisu pokazivale ovakve efekte. Potrebno je napomenuti da je i livene šipke potrebno pripremiti pre navarivanja hemijski ili bar mehanički da bi se izbeglo unošenje oksida i drugih nečistoća u var.

Ispitivanja sa presovanom šipkom su izvedena samo kao još jedan dokaz uticaja polaznog materijala na kvalitet navedenog sloja.

Uticaj različitih parametara na mikro i makrostrukturne karakteristike ležaja

Mikrostruktura uzoraka 1, 2, 3 i 4 pokazuje sledeće karakteristike

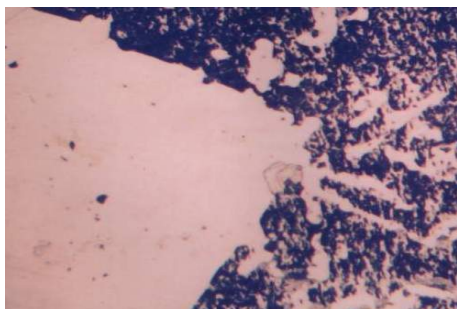
- *uzorak br. 1*, dobijen nalivanjem pokazuje izuzetno krupno zrno posebno SbSn faze u odnosu na *uzorak br.2* dobijen navarivanjem, ali takođe i u odnosu na sve ostale uzorke (slika 3.1 u odnosu na slike 3.2; 3.3 i 3.4)

- *uzorak br. 3*, (navarivan bez međupretapanja), ima izrazito sitnozrniju strukturu na površini od *uzorka br. 4* koji je više puta pretapan (slika 3.3 u odnosu na sliku 3.4), pri čemu nema racionalnog objašnjenja za uticaj broja pretapanja. Pre bi se moglo zaključiti da je u pitanju režim navarivanja (temperatura i brzina nanošenja belog metala). *Uzorak br. 3* tek pri povećanju od 500 puta približno ima sličan izgled kao *uzorak br. 4* pri povećanju od 200 puta (slika 3.7 u odnosu na sliku 3.4). Osim toga, *uzorak br. 3*

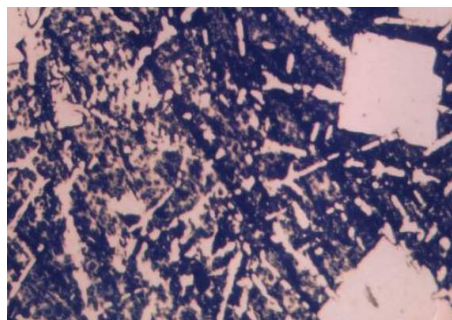
pokazuje povećanje udela SbSn faze u svom središnjem delu u odnosu na površinu (sl.3.5 u odnosu na slici 3.3), ali je još uvek struktura sitnozrnija u odnosu na uzorak br. 4 (slika 3.4).

- uzorak br. 4, a takođe i uzorak br. 3 imaju potpuni spoj čelika i belog metala. Na slici 3.6 vidi se da ne postoje greške na spoju.

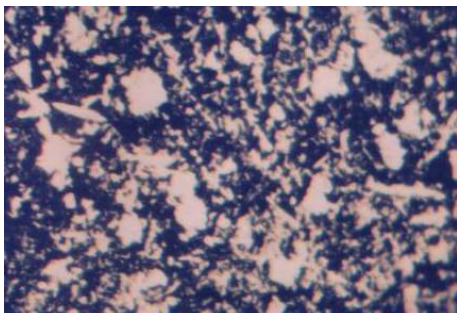
Makrostruktura uzoraka 1 i 2 nedvosmisleno pokazuje razliku veličine zrna. Naime, manji komad koji je uzet sa navarenog ležaja poseduje sitnije zrno u odnosu na veći koji potiče od nalivenog ležaja (slika 3. 8).



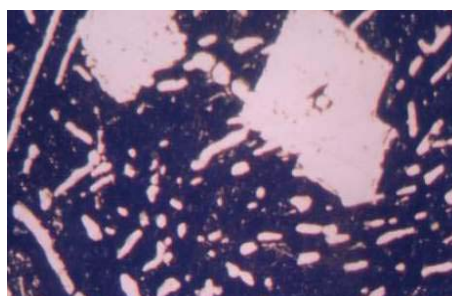
Sl. 3.1. Uz. br. 1, Površina uzorka, 200x
Fig.3.1 Spec. No. 1, Specimen surface, 200x



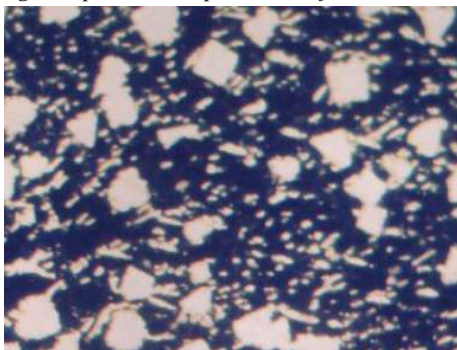
Sl. 3.4. Uz. br.4, Površina uzorka, 200x
Fig.3.4. Spec. No. 4, Specimen surface, 200x



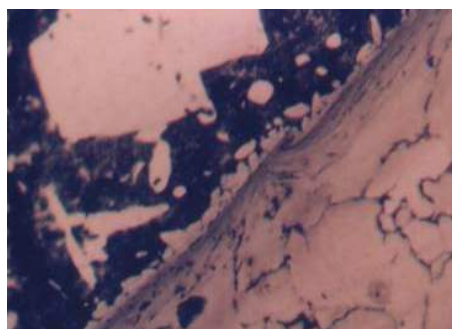
Sl. 3.2. Uz. br. 2, Površina uzorka, 200x
Fig.3.2 Spec. No. 2, Specimen surface, 200x



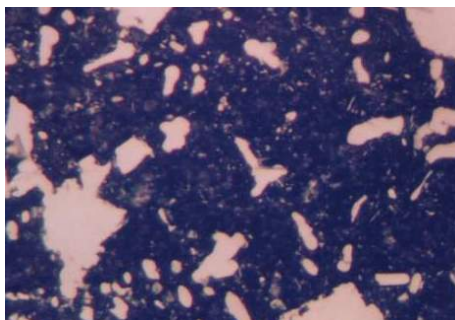
Sl. 3.5. Uz. br.3, Sred. sloja po visini, 500x
Fig.3.5. Spec. No. 3, Middle of layer, 500x



Sl. 3.3. Uz. br. 3, Površina uzorka, 200x
Fig.3.3. Spec. No. 3, Specimen surface, 200x



Sl.3.6. Uz. br.4, Spoj čelika i belog metala, x500
Fig.3.6. Spec. No.4, Bond steel/white metal, 500x



Sl.3.7. Uz. br.3, Povrsina uzorka, 500x
Fig.3.7. Spec. No. 3. Specimen surface, 500x



Sl.3.8. Makrostruktura ležaja: navareni (manji) i naliveni (veci) uzorak.
Fig.3.8. Macrostructure of bearings produced by: weld cladding (smaller) and cast cladding (bigger) specimen.

Ispitivanja tvrdoće

Ispitivanja makrotvrdoće (tabela 1) nisu eksplicitno ukazala na zavisnost makrotvrdoće od mikrostrukture, verovatno zbog toga što se pri merenju makrotvrdoće pri ravnomernom rasporedu faza dobija prosečna tvrdoća koja se mnogo ne menja iako se mikrotvrdoća mikrokonstituenata dosta razlikuje (tamna polja 40,6, a bela 55 HV_{0,3}). Moguće je da bi merenje tvrdoće u različitim poprečnim presecima dalo veću razliku jednih u odnosu na druge preseke zbog pojave dendritne strukture.

ZAKLJUČCI

U radu je izvršeno poređenje mikro i makrostrukture, kao i kvaliteta veze ležaja od belog metala proizvedenih tehnologijama navarivanja i nalivanja. Na osnovu eksperimentalnih rezultata ovoga rada, i imajući u vidu prethodna teorijska razmatranja, mogu se doneti sledeći zaključci:

- uzorci dobijeni navarivanjem nemaju ni jednu negativnu karakteristiku bitnu za ležajevu
- navarivanjem se može dobiti dobar spoj koji se može poboljšavati kroz pripremu osnove od čelika, primenom prelaznih slojeva u spoju, hemijskom pripremom površine za spajanje itd.
- primena argona kao zaštite u procesu navarivanja mogla bi se smatrati neophodnom bar za jedan do dva poslednja naneta sloja i presudnom za izbegavanje neželjnog uticaja kiseonika zbog obrazovanja jedinjenja SnO₂
- navarivanjem se dobija sitnozrnija mikro i makrostruktura nego nalivanjem
- dobar spoj belog metala i čelika ukazuje da nema inicijalnih mesta za nastajanje prskotine koja bi se širila i dovodila do odvajanja spoja. Ležaji proizvedeni navarivanjem objektivno ne zahtevaju mašinsku obradu osnove primenom "lastinog repa"
- tanak međusloj FeSn₂ omogućava bolje kvašenje i poboljšava spoj čelika i belog metala, a u izvedenim uslovima navarivanja ne pokazuje negativan efekat zbog nastanka krtoeg međusloja u kome se stvaraju zatezni naponi
- navarivanjem ne samo da se može postići kvalitet nanetog sloja kao i livenjem, već se uz primenu potrebnih parametara u svim fazama procesa može proizvesti ležaj po kvalitativnim pokazateljima iznad onog ostvarenog nalivanjem

- proizvodnja polaznih šipki presovanjem nije proces koji je apsolutno treba izbegavati, već je potrebno izbeći polazni materijal koji sadrži greške bez obzira na postupak
- korišćenje presovane šipke je rađeno samo u cilju eksperimenta uprkos činjenici da se unapred očekivao nepovoljan rezultat.

LITERATURA

- [1] Interna norma kupca na bazi DIN ISO 4386/1
- [2] Prakticar Strojarsvo 1.Šk.knj. Zagreb,1977.
- [3] Šuman,H: Metalografija, TMF Beograd 1989.
- [4] Brasage et soudobrasage du cuivre et de ses alliages, Centre d' information , Paris , 1974
- [5] Beal, R.E.: *Soldering and Flux Technology*, ASM Engineering Bookshelf, Metal Progres Databook 1979.
- [6] Knauschner, A: *Oberflaechenveredeln und Platieren von Metallen*, Leipzig, Interdruck 1982.
- [7] Голованенко С.А: *Сварка прокаткой биметаллов*, Металургија, Москва 1977.
- [8] Курдјумов, А.В. и сот: *Плавка и затвердевание сплавов цветних металлов*, Металургија, Москва,1968.