

**NOVA TEHNOLOGIJA LIVENJA LEGURA BAKRA PRIMENOM
GRAVITACIONIG SIFONSKOG
LIVENJA U KOKILE HLAĐENE VODOM**

**NEW TECHNOLOGY CASTING OF COOPER ALLOYS
USING THE GRAVITY BOTTOM POURING
INTO WATER COOLED MOULDS**

Bogić Vlaović¹

¹Livnica NHBG Beograd

Zagorka Aćimović², Marko Pavlović²

**Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet
Karnegijeva 4, 11000 Beograd**

Ljubiša Andrić³,

**Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina
Franše d'Epere 86, 1100 Beograd**

Kategorizacija rada: Originalni naučni rad

SAŽETAK

Prikazani su rezultati istraživanja i primene nove tehnologije livenja legura bakra gravitacionim livenjem u vodom hlađene kokile. Za istraživanje specijalno je konstruisan novi ulivni sistem koji je omogućio ulivanje tečnog metala bez prekida, a zahvaljujući specijalno projektovanim ulivnicima (vertikalni sprovodnik i niz ulivnika) omogućeno je dobijanje odlivaka visokog kvaliteta, bez grešaka-uključujući šljake, šupljine i druge greške koje su prisutne kod centrifugalnog livenja. Za ocenu dobijenih rezultata vršeno je poređenje sa kvalitetom odlivaka dobijenih centrifugalnim livenjem.

Ključne reči: legure bakra, nova tehnologija livenja, kvalitet odlivaka

ABSTRACT

The study presents the results of researching and conquering the technology of gravity bottom pouring of cooper alloys in water cooled moulds. The new approach in this procedure is a specially projected gating system which enables the gating of liquid metal without any interruptions. Thanks to the skimmer inside the gating system, as well as the specially projected runner, all slag stays in the ingate. The cast from runner, under the influence of the metalostatic pressure and the law of joint vessels, goes through a set of ingates, fills the mold cavity with equal distance, until the final casting. A very high quality of castings has been achieved. For the real evaluation of received results, parallel studies have been done with castings received by centrifugal casting.

Keywords: cooper alloys, new technology of casting, quality of casting

1.UVOD

Dosadašnju proizvodnju odlivaka legura bakra (kalajna bronza) tipa tuljaka i čaura postupcima livenja u pešćane kalupe, centrifugalnim livenjem i kontinuiranim livenjem, karakterisalo je niz problema, kako u procesu topljenja i pripreme liva, tako i u procesu

livenja, što je uticalo na pojavu visokog procenta škarta. Greške na odlivcima i uzroci grešaka su različiti za pojedine postupke livenja:

- pojava gasne poroznosti, sekundarnih lunquera i šljake kada se navedeni odlivci liju klasičnim postupkom livenja u pesak;
- skupa izrada i priprema kokila za centrifugalno livenje, livenje vrlo masivnih čaura sa debelim zidovima koji se kasnije skupo i dugotrajno mašinski obrađuju na konačnu meru, a pre svega konstantno postojanje rizika pojave niza grešaka na odlivcima;
- nemogućnost odlivanja malih i pojedinačnih komada pri kontinuiranom postupku livenja zbog povećane cene koštanja pripreme proizvodnog postupka. [1-3].

Tokom istraživanja izvedena je teorijska i praktična razrada pojedinih postupaka livenja sa ciljem da se istraži metoda koja bi doprinela ekonomičnom livenju kvalitetnih tuljaka i tankozidnih čaura od kalajne bronzne.

Centrifugalno livenje čaura i tuljaka je najčešći postupak livenja ove vrste odlivaka. Pri tome javlja se niz problema zbog poznatih karakteristika ovog procesa – težnje nečistoća i šljake da pod dejstvom centrifugalne sile očvrstnu na unutrašnjoj strani odlivaka. Kao posledica toga je dugotrajna i neretko komplikovana mašinska obrada, koja traje dugo sa velikim rasturom materijala. Najčešće greške na odlivcima centrifugalnim livenjem su pojava segregacije u odlivcima, obrazovanje pukotina usled dejstva pritiska metala na očvrstle spoljašnje slojeve, pojava spojeva - svarivanja pukotina i krivljenja odlivaka. Analiziranjem uzroka navedenih grešaka i problema kod centrifugalnog livenja, došlo se do zaključka da oni uglavnom nastaju zbog velike brzine livenja i dejstva centrifugalne sile na izlučivanje šljake po unutrašnjim zidovima odlivaka. Pri velikim brzinama livenja i prisilnom kretanja liva mogućnost skrivenih grešaka je jako povećana.

Planiranim istraživanjima pretpostavilo se da će gravitaciono sifonsko livenje u vodom hladene kokile omogućiti da se navedeni nedostaci centrifugalnog livenja svedu na minimum. Ideja je bila da se u potpunosti eliminiše šljaka i ostale nečistoće u toku ulivanja metala, da liv bez turbulencije ispunjava kalupnu šupljinu i da se nakon odlivanja, zahvaljujući metalnom kalupu i brzom odvođenju toplote postigne ravnomerna, odnosno homogena struktura odlivaka. Zahvaljujući metalnom kalupu sa jedne strane i skoro idealnom ispunjavanju kalupne šupljine sa druge strane, omogućeno je livenje odlivaka sa malim ili beznačajnim dodatkom za obradu, što predstavlja bitan ekonomski efekat ovog postupka.

Analizom zavisnosti struktura – svojstva kod gravitacionog livenja u kokile konstatovano je da se usled veće brzine kristalizacije dobija sitnija struktura, što rezultuje višim mehaničkim svojstvima odlivaka nego livenjem u peščane kalupe ili centrifugalnim livenjem. Postiže se veća dimenziona tačnost i bolji kvalitet površine odlivaka, što zahteva manje dodatke za mašinsku obradu. Ekonomičnost proizvodnje ogleda se u tome što se eliminiše potrošnja kaluparskog peska, potrošnja peska za jezgra, smanjuje se ukupno vreme za izradu odlivaka, povećava se iskorišćenje metala, koristi se manji radni prostor, [4].

Kao osnovni problemi koji su se javili tokom istraživanja i pripreme gravitacionog sifonskog livenja u vodom hladene kokile bili su - visoki troškovi izrade metalnih kalupa-kokila, koji mogu da se opravdaju tek kod visokoserijske proizvodnje odlivaka. Izrada kokila vrši se u specijalizovanim pogonima-alatnicama i traje dugo. Troškovi osvajanja i uvođenja tehnologije, odnosno određivanje direktne zavisnosti struktura-tehnologija i zavisnosti svojstva-tehnologija su znatni. Međutim, jednom osvojena i primenjena tehnologija u praksi daje niz prednosti kako sa aspekta kvaliteta odlivaka, tako i sa aspekta ekonomije, energije i ekologije.

2.EKSPERIMENT

Osnovni principi i zahtevi od kojih se pošlo pri projektovanju livačkih alata za novu metodu livenja bili su:

- hlađenje u kokili treba da osigura usmereno očvršćavanje odlivka, tj. očvršćavanje u smeru od donjih i debelih delova prema gornjim delovima odlivka,
- hlađenje kokile ostvariti duvanjem vazduha ili propuštanjem vode kroz kalup na mestima gde je deblji presek odlivka,
- predvideti minimalan broj otvaranja (podeonih površina); predvideti optimalnu debljina zida kokile,
- ulivni sistem treba da obezbedi kontinuiran i miran dovod rastopa, kao i odgovarajuću brzinu popunjavanja šupljine kalupa koja obezbeđuje istiskivanje gasova iz kokile,
- ulivni sistem postavljati na donje delove odlivka, a hranitelj na gornje delove odlivaka,
- hranitelje i sistem za odvođenje gasova iz kalupne šupljine postavljati na najviše mesto u kokili, tako da njihov raspored osigurava smer kristalizacije od perifernih zona odlivaka prema hranitelju.

Predviđena je konstrukcija rasklopive kokile sa automatizacijom i regulacijom otvaranja i zatvaranja kokile. To je omogućilo jednostavno rukovanje sa kokilom, brzo i lako odstranjivanje odlivaka iz kokile. Pri konstrukciji uzeto je u obzir da kokila pri radu trpi velika unutrašnja naprezanja. Predviđeno je premazivanje kokila u cilju zaštite, obezbeđenja dobrog odvajanja odlivaka od zida kokile, dobrog odvoda gasova i postizanja višeg kvaliteta površine odlivaka. Na sl.1-2 prikazan je izgled livačkog alata i horizontalne livačke mašine primenjenih za izvođenje eksperimenta.



Slika 1. Izgleda livačkog alata



Slika 2. Horizontalna livačka mašina

Obzirom da se radilo o potpuno novom postupku tokom livenja kontrolisani su svi parametri relevantni za kvalitet odlivaka:

- temperatura alata za livenje; temperatura tečnog metala u peći za topljenje i temperatura odlivaka pre vađenja iz kokile kontrolisani su kontaktnim priometrom sa potapajućom i kontaktnom sondom
- kontrola hemijskog sastava legure pre livanja vršena uzimanjem uzoraka za kvantometrijsku analizu
- tokom hlađenja neprekidno je kontrolisan protok vode kroz kokilu.

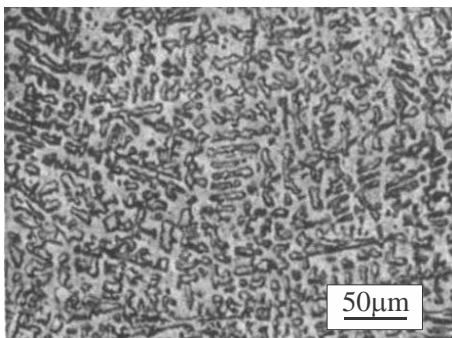
Ispitivanja mehaničkih svojstava dobijenih odlivaka vršena su klasičnim metodama ispitivanja sa i bez razaranja. Zatezna čvrstoća ispitivana je na elektronskoj kidalici Karl Frank GmbH, tipa 81105, tvrdoća na uređaju Karl Frank GmbH, tip 38532 metodom Brinela, kuglica 5mm, opterećenje 2450 N, 30s. Mikrostruktura ispitivana je na svetlosnom mikroskopu Carl Zeiss. Kompaktnost odlivaka kontrolisana je rendgenskim pregledom uzorka na uređaju Andex, Radiation Products AS, tip CP490 (Danska).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Kvalitet odlivaka zavisi ne samo od primenjene metode livenja, već i od vrste legure, konstrukcije odlivaka i livačkih alata, primenjenih metoda pripreme alata za livenje,

tehnologija pripreme liva u tečnom stanju. Imajući to u vidu u radu je, pored toga što je izvršena detaljna analiza uticaja konstrukcije livačkih alata na kvalitet odlivaka, izvršena i analiza postupaka pripreme tečnog metala postupcima rafinacije, degazacije, modifikacije različitim sredstvima i njihov uticaj na kvalitet odlivaka. Istraženi su postupci priprema kokila za livenje -zagrevanje kokile na različite radne temperature sa korišćenjem različitih premaznih sredstava.

Analizom legure bakar-kalaj kao materijala za izradu odlivaka koji će se primenjivati u uslovima udarnih naprezanja, trenja, habanja, korozije vidi se da poseduje širok temperaturni interval očvršćavanja što ima za posledicu izrazitu sklonost ka segregaciji, težem uspostavljanju ravnoteže u procesu hlađenja i formiranja odlivaka u realnim uslovima proizvodnje. Uslovi brzog hlađenja koji se ostvaruju kod kokilnog livenja pogoduju pojavi eutektoida koji je sitniji i ravnomernije raspoređen nego pri livenju u pešćane kalupe, gde je brzina hlađenja manja. Brže hlađenje i veća koncentracija kalaja i nekih primesa povećava udeo eutektoida, koji je inače poželjan u većini livenih bronzi, jer poboljšava klizna i koroziona svojstva. Kalajna bronza poznata je po malom zapreminskom skupljanju, ali i po izraženoj sklonosti ka obrnutoj likvaciji koja nastaje pri očvršćavanju odlivaka. Na sl.3. prikazana je mikrostruktura bronze CuSn14 livene u kokili. Struktura se sastoji od α -čvrstog rastvora (svetla površina) i izličenog eutektoida $\alpha+\delta$ (tamna polja). Na sl.4. prikazan je izgled odlivaka dobijenih novom metodom livenja.



Slika 3. Mikrostruktura kalajne bronze



Slika 4. Izgled dobijenih odlivaka

Važan faktor kvaliteta odlivaka je temperatura livenja. Povišena temperatura livenja preporučuje se za odlivke sa tankim zidovima, za legure sa smanjenom tečljivošću i u nekim slučajevima za eutektičke legure pri dobijanju detalja sa različitim debljinama zidova. Smanjena temperatura livenja povećava sklonost ka pojavi unutrašnjih grešaka u odlivku, kao i pukotina u odlivcima sa velikom razlikom u debljini zidova, naročito u odlivcima od eutektičkih legura. Optimalna temperatura livenja određena je u zavisnosti od hemijskog sastava legure, konstrukcije kokile, temperature kokile, ulivnog sistema, brzine livenja. Visoka temperatura livenja, kao i visoka temperatura kokile nepovoljno utiče na mehanička svojstva odlivaka. Neophodno je stoga, za svaki konkretan slučaj – vrstu legure i vrstu kokile, iznaći najpovoljniji odnos.

Brzina livenja ima uticaj na izbor temperature livenja. Pri većoj brzini moguće je liti sa nešto nižom temperaturom i obrnuto. Što se brzine livenja tiče, u principu poželjno je da se metal ne lije brzo, jer je u praksi utvrđeno da kod brzog livenja, usled većeg zahvatanja vazduha dolazi do stvaranja gasnih šupljina.

Vreme očvršćavanja odlivaka u kokili zavisi od temperature metala koji se uliva, temperature kokile, dimenzija odlivka, a određuje se za svaki odlivak eksperimentalno. Prevrano otvaranje kokile i vađenje odlivka uzrokuje pojavu pukotina, krivljenje i oštećenja odlivaka. Pri suviše dugom zadržavanju odlivka u kokili u njemu se javljaju pukotine izazvane znatnim

naprezanjem odnosno skupljanjem metala. Praktično vreme odstranjivanja odlivaka iz kokile određuje se prema tvrdoći metala u sprovodniku i hranitelju, pošto oni očvršćavaju poslednji. Dobijeni odlivci (tipa čaura i tuljaka) imali su čistu i sjajnu površinu, bez pojava uključaka i nečistoća i šljake po spoljašnjim i unutrašnjim površinama. Mašinska obrada odlivaka po spoljašnjem i unutrašnjem prečniku do dubine 1 mm pokazala je da su odlivci po celom preseku i dužini odlivaka imali kompaktnu strukutru, bez prisustva poroznosti i bilo kakvih drugih grešaka. Kontrola dimenzija pokazala je postignutu dimenzionalnu tačnost a to je pre svega ostvareno zahvaljujući korišćenju jezgara izrađenih po Shell postupku. Rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava dobijenih odlivaka bili su u skladu sa zahtevima standarda za ovaj tip legura. Rengenskom kontrolom, kao i mikroskopskim pregledom konstatovano je da su odlivci kompaktni i bez poroznosti.

4.ZAKLJUČAK

Postupak gravitacionog sifonskog livenja u vodom hladene kokile uz upotrebu Shell postupka za izradu jezgara je znatno efikasniji, produktivniji, ekonomičniji i rentabilniji od do sada korišćenih postupaka -centrifugalnog livenja i livenja u peščane kalupe. Dobijeni odlivci zahtevaju minimalni dodatak za mašinsku obradu (manji od 1 mm po prečniku), što predstavlja veliku uštedu u materijalu, troškovima i vremenu trajanja mašinske obrade odlivaka. Pri tome vreme izrade odlivaka traje vrlo kratko (oko 10 min), a zahvaljujući, pre svega specifičnom ulivnom sistemu, mogućnost grešaka praktično je eliminisana. Dalja istraživanja u ovoj oblasti treba proširiti na sagledavanje termodinamičkih i ekonomskih aspekata ovog postupka kod primene za razne vrste legura obojenih metala..

Zahvalnost I: Istraživanja su rađena u okviru projekta TR 33007 koga finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Zahvalnost II: Istraživanja su vršena u Livnici NHBG ŽIKS HARD Beograd.

5.LITERATURA

1. M.N. Tomović: "Livenje lakih i obojenih metala", TMF Beograd, 1995.
2. Centre Technique Des Industries De La Fonderie "Atlas Metallographique Des Alliages Cuivreux", Edit. Techniques Des Industries De La Fonderie, Paris, 1995.
3. International Atlas of Casting Defects, AFS, Inc. Des Plaines, IL 60016 (1993).
4. Bogić Vlaović, Z. Aćimović-Pavlović: New casting method: Gravity bottom pouring into water cooled moulds, Metalurgia International, vol.XVII, No 7 (2012) 97-100, (IF 0,154, 61/76), ISSN 1582-2214.