

## Uticaj karakteristika procesa livenja na mikrostrukturu i mehaničke osobine višekomponentne legure mesinga

JASMINA LJ. PETROVIĆ, Univerzitet u Beogradu

Tehnički fakultet u Boru, Bor

SRBA A. MLADENović, Univerzitet u Beogradu

Tehnički fakultet u Boru, Bor

MILOVAN D. STANKOVIĆ, Metalurg doo, Prokuplje

IVANA I. MARKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu

Tehnički fakultet u Boru, Bor

UROŠ S. STAMENKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu

Tehnički fakultet u Boru, Bor

Stručni rad

UDC: 621.746:669.35'5

DOI: 10.5937/tehnika1905669P

*Odlivak mora posedovati određene osobine kako bi se mogao upotrebiti u definisanim eksploatacionim uslovima. U ovom radu ispitan je uticaj centrifugalne sile, dinamike fluida (rastopa legure) i uslova očvršćavanja na mikrostrukturu i konsekvantno, mehaničke osobine višekomponentne legure mesinga, CuZn26Al4Fe3Mn3. Odlivci istih dimenzija, dobijeni su postupkom gravitacionog i centrifugalnog livenja. Eksperiment je urađen u uslovima koji su obezbedili da parametri, kao što su temperatura rastopa na početku livenja, brzina zalivanja kalupa, metalostatički pritisak, nemaju uticaja na ispitivane karakteristike. Metalografska analiza uzoraka je obavljena optičkim mikroskopom Carl Zeiss Jena Epytip 2. Tvrdoća i zatezna čvrstoća uzoraka izmerene su prenosnim uređajem Rocky TH-160. Dobijeni rezultati ukazuju da su mehaničke karakteristike, tvrdoća i zatezna čvrstoća, veće kod uzoraka dobijenih centrifugalnim postupkom livenja. Zapaža se da je mikrostruktura centrifugalno livenih odlivaka sitnozrna i kompaktna sa zaobljenim zrnima, dok je mikrostruktura odlivaka livenih gravitacionim postupkom, dendritna, sa orijentacijom koja se poklopa sa pravcem odvođenja toplote.*

*Eksperimentom je pokazano da se pravilnim izborom primenjene tehnike livenja mogu dobiti odlivci željene strukture i karakteristika.*

**ključne reči:** legura CuZn26Al4Fe3Mn3, centrifugalno i gravitaciono livenje, mikrostruktura, mehaničke osobine

### 1. UVOD

Livenje predstavlja proces proizvodnje metalnih delova zalivanjem kalupne šupljine rastopom metala ili legura uz zadržavanje rastopa u kalupu do momenta potpunog očvršćavanja i hlađenja do određene temperature [1]. Metalni komad proizveden ovim postupkom naziva se odlivak.

Izrada proizvoda od metala i legura metala procesom livenja, predstavlja zanat poznat ljudima nekoliko hiljada godina unazad. U periodu stare Grčke izrađivali

su se mnogobrojni predmeti (oruđe i oružje) ovim postupkom. Tehnologija gravitacionog livenja u pesku predstavlja najstariju i najviše korišćenu tehniku izrade odlivka. Koristi se za dobijanje male serije odlivaka složene konfiguracije [2]. Tehnologija izrade odlivaka ovim postupkom zahteva dobro dimenzionisanje i projektovanje ulivnog sistema i sistema hranitelja, upotrebu odgovarajućeg materijala za izradu kalupa, izradu modela i jezgara (ukoliko odlivak ima unutrašnje ili spoljne šupljine) upotrebu premaza i posebnih elemenata kalupa (grejnih tela, hladilica, dodataka za propustljivost itd.), kao i određen broj završnih mašinskih operacija za dodatnu obradu odlivaka [3].

Sa napretkom civilizacije, upotreba metalnih predmeta postaje sve zastupljenija, te je i tehnologija livenja, tokom vremena, značajno napredovala. Novi zahtevi u pogledu stepena iskorišćenja metala i kvaliteta

Adresa autora: Jasmina Petrović, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, Vojske Jugoslavije 12

e-mail: jpetrovic@tfbor.bg.ac.rs

Rad primljen: 20.05.2019.

Rad prihvaćen: 09.10.2019.

odlivaka predstavljali su izazove koji su se u tehnološkom smislu morali savladati, što je u krajnjem slučaju dovelo do specijalizacije samog procesa.

Ideja korišćenja centrifugalne sile pri livenju metala dosta je stara. Prvi patent koji se odnosi na centrifugalno livenje prijavljen je u Engleskoj 1809. godine (Eckert), a u SAD-u postupak je patentiran 1848. godine (Lovergrove). Tehnologija centrifugalnog livenja koristi se prevashodno za proizvodnju šupljih komada. Centrifugalno livenje je izrazito poželjna tehnika prilikom livenja kvalitetnih cevastih ili cilindričnih odlivaka [4]. Postupak je izrazito konkurentan u poređenju sa drugim tehnologijama za izradu pomenutih proizvoda jer ima visok stepen iskorišćenja liva, malu cenu izrade alata i niske troškove naknadnih operacija čišćenja i obrade odlivaka [5].

Centrifugalna sila uzrokuje značajno veći pritisak na rastop od metalostatičkog pritiska, što doprinosi boljem hranjenju odlivka rastopom uz istovremeno odvajanje nemetalnih uključaka i zahvaćenih gasova [6]. Prilikom centrifugalnog livenja šupljih komada, nemetalni uključci i prisutni gasovi isplivavaju ka unutrašnjem zidu odlivka [7]. Značajna prednost ove tehnike livenja ogleda se i u minimizaciji ili potpunoj eliminaciji ulivnog sistema i hranitelja.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

U ovom eksperimentu korišćena je legura specijalnog mesinga oznake  $CuZn26Al4Fe3Mn3$ . Hemijski sastav i mehaničke karakteristike koje ova legura treba da poseduje, propisane su standardom SRPS EN 1982:2017. Vrednosti osobina definisanih standardom, predstavljene su tabelarno, u tabelama 1 i 2. Legura ovih karakteristika, korišćena je u eksperimentu.

Tabela 1. Hemijski sastav višekomponentne legure mesinga,  $CuZn26Al4Fe3Mn3$ , propisan standardom

Hemijski elementi (maseni udeo)	Primeše
Cu 60-66%	Sn do 0.2%
Fe 1,5-4%	Pb do 0.2%
Al 2,5-5%	Ni do 3%
Mn 1,5-4%	Si do 0.1%
Zn je ostatak	

Tabela 2. Mehaničke osobine višekomponentne legure mesinga,  $CuZn26Al4Fe3Mn3$ , propisane standardom

Postupak livenja	Pesak	Centrifuga
Zatezna čvrstoća $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	600	600
Granica 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	300	300
Izduženje 5%	18	18
Tvrdoća HB 10/1000	140	150

### 2.1. Izrada kalupa

Za izradu kalupa, potrebnih za postupak gravitacionog livenja, korišćenja je kaluparska mešavina izrađena od kvarcnog peska, kvaliteta R600, bentonita i vode. Sadržaj vezivnog sredstva (bentonita) u kaluparskoj mešavini iznosio je 8%, dok je sadržaj vlage iznosio 4,5%. Priprema kaluparske mešavine obavljena je u rotacionoj mešalici (slika 1), homogenizacijom, nakon čega je izvršeno prosejavanje mešavine. Pripremljena mešavina korišćena je za izradu kalupa po modelu.



Slika 1 - Rotaciona mešalica sa valjcima

Za izradu jezgra korišćena je mešavina na bazi kvarcnog peska sa dodatkom sigela, kao vezivnog sredstva. Nakon zapunjavanja jezgrene kutije jezgrenom mešavinom, obavljeno je njeno prođuvavanje CO<sub>2</sub> gasom u cilju očvršćavanja i dostizanja potrebnih vrednosti mehaničkih i tehnoloških karakteristika jezgra. Sušenje jezgra, u cilju eliminisanja suviše vlage, obavljeno je u sušari CER Čačak na temperaturi od 110°C. Kompletiranje kalupa je obavljeno postavljanjem jezgra, u za to predviđeno mesto, u kalupu. Pojedine faze izrade kalupa prikazane su na slikama 2. a, b i c.

Odlivak istih dimenzija izliven je postupkom horizontalnog centrifugalnog livenja u metalnoj kokili.



Slika 2 - Izgled kalupa: a) donji kalup, b) donji i gornji kalup c) donji kalup sa jezgrom

### 2.2. Izrada legure

Legura je izrađena u peći „Šmitovki“ koja kao energent koristi naftu. Izradi legure prethodio je proračun materijalnog bilansa, odnosno proračun mase potrebnih komponenti koje se koriste za dobijanje željenog sastava legure. Prilikom proračuna, koriste se

koeficijenti izgora pojedinih metala i za taj procenat uvećava se početna masa metalnih komponenti zasipa.

U prethodno zagrejani lonac, šaržira se bakar i zasipava anhidrovanim drvenim ugljem. Regulacijom protoka goriva i vazduha na gorioniku peći, potrebno je postići plavu boju plamena sagorevanja goriva. Ovako definisani parametri sagorevanja goriva, obezbeđuju dobijanje tzv. redukcionog plamena, koji dodatno sprečava oksidaciju bakra. Nakon prelaska bakra u tečnu fazu, vrši se dodatna dezoksidacija rastopa fosforom i produvanjem rastopa azotom kroz „koplje“. Sa površine pripremljenog rastopa bakra uklanja se prisutna troska i vrši njegovo legiranje manganom. Rastvaranje mangana vrši se mešanjem, na temperaturi od 1150 do 1180°C. Radi provere hemijskog sadržaja mangana u rastopu bakra, u tom trenutku, vrši se uzorkovanje rastopa. Ova operacija je veoma bitna, zbog toga što dodatno legiranje rastopa bakra manganom nije moguće nakon unošenja drugih legirajućih elemenata, osim dodavanjem predlegure CuMn u rastop. Legiranje se zatim nastavlja unošenjem nikla.

Ovaj postupak se obavlja unošenjem tankih pločica nikla u rastop. Njegova rastvorljivost na radnoj temperaturi procesa je brza i potpuna. Potom se unosi železo u vidu neoksidisanih opiljaka od nisko legiranog čelika. Po okončanju ovog dela procesa legiranja, vrši se kontrola hemijskog sastava rastopa legure spektrofotometrijskom analizom i ukoliko je sastav odgovarajući, rastop se dalje legira aluminijumom. Ovom procesu prethodi promena boje plamena na grotlu peći. Povećava se protok vazduha kako bi se obezbedila rumena boja plamena koja podrazumeva prisustvo nisko oksidacione atmosfere. Površina rastopa se zasipa lomljenim staklom ili anhidrovanim silicijum dioksidom. Reakcija unosa aluminijuma u rastop je egzotermna i neophodno je „pothladiti“ rastop, odnosno, smanjiti njegovu temperaturu, kako bi se i izgor aluminijuma smanjio. Pothlađivanje rastopa legure obavlja se unošenjem povratnog materijala odgovarajućeg hemijskog sastava. Na kraju procesa, vrši se legiranje rastopa cinkom. Pored potrebe dobijanja legure sa definisanim hemijskim sastavom, cink ima ulogu i finalnog degazatora. Naknadna degazacija rastopa legure nije potrebna. Ovim je proces izrade legure završen.

### 2.3. Zalivanje kalupa

Parametri kao što su temperatura rastopa na početku livenja, brzina zalivanja kalupa, metalostatički pritisak, u ovoj fazi eksperimenta moraju biti konstantni kod svih sprovedenih tehnologija livenja, kako bi uticaj ispitivanih parametara (gravitacione i centrifugalne sile) došao do izražaja [7]. Zalivanjem kalupa, dobijen je odlivak cilindričnog oblika spoljnog prečnika 220 mm, unutrašnjeg prečnika 180 mm i debljine

200 mm. Postupak zalivanja na horizontalnoj centrifugalnoj mašini i dobijanja odlivka iste geometrije, kao kod postupka gravitacionog livenja, obavljen je uz pomoć ulivne kašike (slika 3). Pod uticajem centrifugalne sile, rastop legure se raspoređuje po površini kalupa i formira odlivak cilindričnog oblika, koji rotira oko svoje ose sve do završetka procesa kristalizacije. U toku procesa, vršeno je dodatno hlađenje kalupa strujom vazduha po spoljnoj površini kalupa. Nakon završetka procesa kristalizacije, odlivak je izvađen iz kalupa demontiranjem prednje zaptivne ploče.



Slika 3 - Zalivanje metalne kokile rastopom legure

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA REZULTATA

### 3.1. Hemijski sastav legure

Hemijski sastav dobijene legure određen je spektrofotometrijski, aparatom Niton XL3 Analyzer.

Sastav legure prikazan je u tabeli 3.

Tabela 3. Hemijski sastav dobijene legure

Element	%
Cu	61.809
Zn	24.803
Ni	1.814
Fe	2.659
Mn	2.741
Al	4.062
P	0.027

Sadržaj pojedinih elemenata dobijene legure nalazi se u okviru granica propisanih standardom.

### 3.2. Tvrdća i zatezna čvrstoća

Rezultati merenja tvrdoće i zatezne čvrstoće prikazani su u tabeli 4. Merenja su izvršena uređajem za merenje tvrdoće po Brinelu. Tvrdća je merena u tri tačke uzorka, a zatim je izračunata srednja vrednost.

Na osnovu određenih vrednosti tvrdoće, softverski su proračunate vrednosti zatezne čvrstoće.

Tabela 4. Izmerene i proračunate vrednosti mehaničkih karakteristika

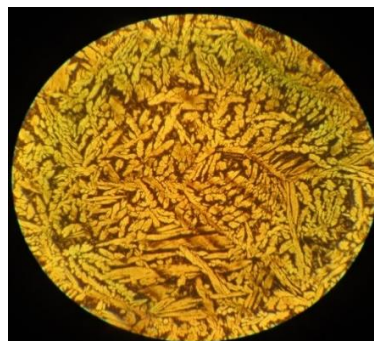
Tip livenja	Tvrdoća (HB)	$\Sigma$	Zatezna čvrstoća ( $\sigma_b$ )	$\Sigma$
Pesak U 1	191	191	989	976
	195		974	
	188		964	
Pesak U 2	193	186	868	872
	184		855	
	182		892	
Centr. U 1	233	234	1077	1142
	228		1209	
	241		1145	
Centr. U 2	210	218	1099	1126
	219		1102	
	223		1180	

Upoređivanjem mehaničkih karakteristika odlivaka dobijenih različitim postupcima livenja, zapaža se da su vrednosti tvrdoće i zatezne čvrstoće značajno veće kod odlivaka dobijenih centrifugalnim postupkom. Takođe, može se zapaziti, da sa porastom tvrdoće odlivaka rastu vrednosti zatezne čvrstoće.

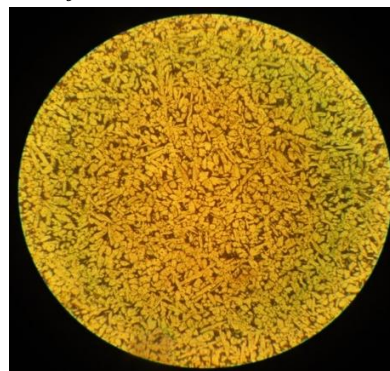
Ispitivanje mikrostrukture dobijenih odlivaka obavljeno je na optičkom mikroskopu Carl Zeiss Jena Epytip 2, pri uvećanju 80X. Priprema uzoraka za ova ispitivanja vršena je na sledeći način. Testerom Struers „Mesotom“, isečeni su uzorci odgovarajućih dimenzija za metalografsko ispitivanje. Posle sečenja uzoraka, pristupilo se vodenom brušenju u cilju dobijanja glatkih i ravnih površina sa kojih su odstranjena sva oštećenja i nečistoće od sečenja. Brušenje je izvedeno na seriji brusnih papira različite granulacije - 120, 320, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000. Nakon toga urađeno je ručno poliranje na slabo abrazivnoj tkanini koja je pričvršćena na disku za poliranje. Na tkaninu se dodaje glinica različite granulacije,  $Al_2O_3$  kao sredstvo za poliranje, prvo  $0,3\mu m$ , a zatim  $0,05\mu m$ . Nakon poliranja, vrši se nagrizanje vodenim rastvorom feri-hlorida,  $FeCl_3$  u trajanju od nekoliko sekundi. Posle nagrizanja, na mikroskopu se mogu posmatrati mikrostrukturne karakteristike.

Mikrostruktura ispitivanih uzoraka predstavljena je na slikama 4 i 5. Na slici 4 prikazana je mikrostruktura odlivka dobijenog postupkom gravitacionog livenja u pesku. Može se uočiti dendritna struktura sa krupnim zrnima i pravcem rasta dendrita koji se poklapa sa pravcem odvođenja toplote. Ovakav izgled mikrostrukture može se objasniti prisutnim uslovima očvršćavanja kod gravitacionog livenja. Prilikom očvršćavanja rastopa u kalupu, kristalizacija započinje na

kontaktnoj površini rastopa legure, unutrašnje kalupne površine i spoljne površine jezgra, prema unutrašnjosti odlivka, odnosno ka sredini zida čaure. Odvođenje toplote rastopa je dvojako, preko zida kalupa i jezgra.



Slika 4 - Mikrostruktura uzorka livenog u pesku pri uvećanju 80X



Slika 5 - Mikrostruktura uzorka dobijenog centrifugalnim livenjem pri uvećanju 80X

Na slici 5 prikazana je mikrostruktura centrifugalno dobijenog odlivka. Može se zapaziti prisustvo sitnozrne strukture sa oblim zrnima. Kod ovog načina livenja, toplota se u velikoj meri ili skoro potpuno, odvodi preko zida kalupa. Prelaz toplote je intenzivan i brz i stvaraju se uslovi za formiranje velikog broja kristalizacionih centara. Takođe, usled dejstva centrifugalne sile na rastop stvaraju se pogodniji uslovi za turbulentno kretanje u rastopu. Dolazi do međusobnog sudaranja formiranih kristala, njihovog usitnjavanja, i dodatnog pospešivanja procesa stvaranja sitnozrne strukture. Odlivci, sa ovako formiranom strukturom, poseduju značajno bolje mehaničke karakteristike.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja tvrdoće i zatezne čvrstoće, kao i izgleda mikrostrukture, dobijene postupkom gravitacionog i centrifugalnog livenja, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Dejstvo centrifugalne sile pospešuje stvaranje sitnozrne strukture kroz dva procesa. Njenim prisustvom povećava se brzina hlađenja i stvaraju uslovi za formiranje većeg broja kristalizacionih centara. Pored toga, turbulentno kretanje u rastopu,

pojava izrazitije prisutna kod centrifugalnog postupka livenja, dovodi do lomljenja formiranih kristala i ponovo, do povećanja broja kristalizacionih centara.

- Centrifugalno liveni odlivci imaju znatno veće vrednosti mehaničkih karakteristika (tvrdoća, zatezna čvrstoća) u poređenju sa odlivcima dobijenim postupkom gravitacionog livenja.
- Kod odlivaka dobijenih postupkom centrifugalnog livenja može se na unutrašnjoj površini cevastog odlivka vizuelno zapaziti prisustvo nemetalnih uključaka, gasova i fine poroznosti. Ova pojava je karakteristična za ovaj tip odlivaka i uklanjanje ovih defekata mašinskom obradom je veoma jednostavno.

## 5. ZAHVALNICA

Ovaj rad finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta TR 34003.

## LITERATURA

- [1] Pandey S, Kumar J. S, Casting Defects and its Optimization Method in Centrifugal Casting Process: A Review, *International Conference on Advances in Materials and Manufacturing*, January 2017
- [2] Kakade K. B, Salunke J. J, Review paper on reduction in casting defects by using advanced tools,

*International journal of engineering sciences & research technology*, Vol. 5, No. 4, pp. 174-176, 2016.

- [3] Malhotra V, Kumar Y, Study of Process Parameters of Gravity Die Casting Defects, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Vol. 7, No. 2, pp. 208–211, 2016.
- [4] Ebhota W. S, Akhil S, Karun A. S, Freddie L, Inambao F. L, Centrifugal casting technique baseline knowledge, applications, and processing parameters: overview, *International Journal of Materials Research*, pp. 1-10, 2016.
- [5] Madhusudhan, Narendranaath S, Mohankumar G. C, Mukunda P. G, Effect of Mould Wall Thickness on Rate of Solidification of Centrifugal Casting, *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 2, No. 11, pp. 6092-6096, 2010.
- [6] Chirita G, Stefanescu I, Barbosa J, Puga H, Soares D, Silva F. S, On assessment of processing variables in vertical centrifugal casting technique, *International Journal of Cast Metals Research*, Vol. 22, No. 5, pp. 382-389, 2009.
- [7] Madhusudhan, Narendranath S, Mohankumar G. C, Experimental Study on Cooling Rate of Centrifugal Casting Based on Grain Size, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-3, 2012.

## SUMMARY

### THE INFLUENCE OF THE CASTING PROCESS CHARACTERISTICS ON THE MICROSTRUCTURE AND THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE MULTICOMPONENT BRASS ALLOY

*The castings must have certain characteristics in order to be used in defined exploitation conditions. In this paper, the influence of centrifugal force, fluid dynamics and solidification conditions on the microstructure and mechanical properties of the multicomponent brass alloy CuZn26Al4Fe3Mn3 was studied. The castings of the same dimension, are cast by the process of gravity and centrifugal casting. The experiment was performed under conditions which are insured that parameters such as melting temperature at the start of casting, pouring rate, metallostatic pressure, have no effect on the investigated properties. The metallographic analysis of the samples was performed with the optical microscope Carl Zeiss Jena EpiTip 2. The hardness and tensile strength of the samples were measured with Rockwell TH-160 device. The obtained results indicate that values of mechanical characteristics, hardness and tensile strength are higher in the samples obtained by the centrifugal casting process. It is noticed, that the microstructure of the centrifugal casting is fine-grained and compact with rounded grains, while the microstructure of the gravity casting is dendritic with an orientation that coincides with the direction of heat removal.*

*The experiment showed, that with the proper choice of applied casting techniques the desired structure and characteristics of the castings can be obtained.*

**Key words:** CuZn26Al4Fe3Mn3 alloy, centrifugal and gravity casting, microstructure, mechanical properties