

Mehanička svojstva otkovaka od legure Al EN AW 7075 dobijene elektromagnetnim livenjem

U radu su prikazani osnovi elektromagnetnog postupka livenja aluminijumske legure EN AW 7075 kao i rezultati mehaničke karakterizacije otkovka od ove legure koja je dobijena livenjem klasičnim polukontinualnim postupkom livenja i livenjem pod dejstvom elektromagnetnog polja sa dve različite frekvence. Rezultati pokazuju da uzorci otkovaka dobijeni od legure koja je livena u elektromagnetnom polju imaju zadovoljavajuće vrednosti mehaničkih svojstava i da se pravilnim izborom radnih parametara livenja mogu stvoriti uslovi za skraćenje tehnološkog postupka prerade ove legure.

Ključne reči: Al legura, elektromagnetno livenje, otkovak

UVOD

U poslednjoj deceniji zabeležena su istraživanja o uticaju elektromagnetnog polja prilikom livenja aluminijumskih legura. U početku su se ova istraživanja najviše odnosila na poboljšanje kvaliteta površine odlivaka, a od skoro i na dobijenu mikrostrukturu i mehaničke osobine odlivaka. Međutim, i pored zapaženih prednosti u odnosu na klasičan postupak polikontinualnog livenja elektromagnetni postupak još uvek nema značajnu komercijalnu upotrebu pa je ova naučna oblast interesantna za istraživače. Elektromagnetno livenje (EML) je tehnologija razvijena kombinovanjem magnetne hidrodinamike i tehnike livenja [1-5]. Elektromagnetne sile, koje nastaju interakcijom vrtložnih struja indukovanih u metalu sa magnetnim poljem induktora, izazivaju veći protok fluida, prinudnu konvekciju, ravnomernije temperaturno polje i slabiji uticaj gravitacije čime menjaju uslove očvršćavanja.

U poređenju sa konvencionalnim vertikalnim ili horizontalnim livenjem u kokile postupku EML-u se daje prednost zbog dobijanja kvalitetnijih odlivaka [6-9]. Naime, dobijena struktura je finija i uniformnija po preseku, sa smanjenjem segregacija legirajućeg elementa i poroznošću [10]. Osim toga, zbog smanjenog kontaktnog pritiska (posledica delovanja elektromagnetnog polja) između kalupa i metala, kvalitet površine ingota je poboljšan, tako da nije potrebna veća mašinska obrada. Gustina Lorencove sile [3], prisutne u sistemu, sastoji se iz dva dela i izražena je jednačinom (1).

$$F = J \times B = -\nabla \left(\frac{1}{2} \mu B^2 \right) + \frac{1}{\mu} (B \cdot \nabla) B \quad (1)$$

gde su: B i J intenzitet magnetne indukcije i gustina struje generisana u istopljenoj masi, a μ permeabilnost istopljene mase. Prvi član desne strane jednačine (1) je obrnuta komponenta što ima za rezultat prinudnu konvekciju i protok u istopljenoj masi. Drugi član su potencijalne sile uravnotežene sa statičkim pritiskom istopljene mase što ima za rezultat formiranje konveksne površine i smanjenje kontaktnog pritiska na kalup što daje dobru površinu odlivka. Uopšteno, razlog koji dovodi do poboljšanja mikrostrukture, smanjenja poroznosti i podsticanja heterogene nukleacije, je što prinudna konvekcija generisana elektromagnetnim silama rezultira protokom hladnijeg istopljenog metala od ivica prema centru i obrnuto. Na taj način se uspostavlja ravnomernije temperaturno polje. Ujednačena temperatura kroz poprečni presek ingota smanjuje i naprezanja koja nastaju u toku očvršćavanja. Ovaj rad, kao deo širih istraživanja, [11], upravo treba da doprinosi poznavanju uticaja elektromagnetnog polja na dobijenu mikrostrukturu jer je ona u direktnoj vezi sa mehaničkim svojstvima odlivaka i otkovaka.

Aluminijumska legura EN AW 7075 pripada legurama serije 7000 koje sadrže najveći procenat cinka kao njihovog glavnog legirajućeg elementa. Ova legura odlikuje se dobrim mehaničkim osobinama, termički je obradiva, namenjena je kovanju i ima veliku primenu u vojnoj i avio industriji. Za nju su karakteristični brojni nedostaci koji nastaju u toku očvršćavanja: poroznost, tople pukotine, neujednačena veličina zrna i kristalna segregacija. Pošto ove greške direktno utiču na kvalitet finalnog proizvoda neophodno je izborom postupka i parametara livenja sprečiti ili umanjiti njihovu pojavu. U ovom slučaju je izabran postupak kontinualnog livenja sa i bez prisustva elektromagnetnog polja, radi poređenja.

Adresa autora: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina - ITNMS, Franše d'Eperea 86, Beograd, Srbija

Primljeno za publikovanje: 09. 06. 2013.

Prihvaćeno za publikovanje: 15. 08. 2013.

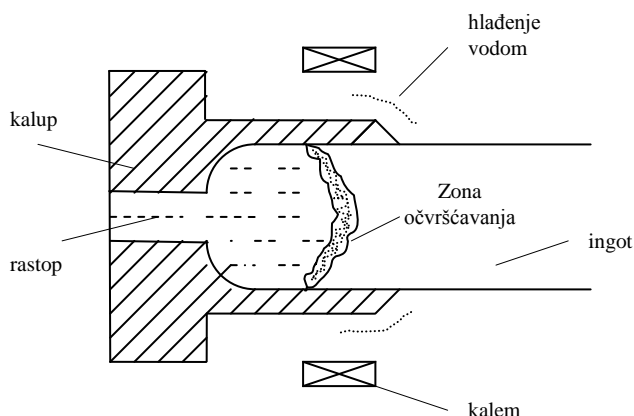
EKSPERIMENT

Aluminijumska legura EN AW 7075 koja je korišćena u eksperimentu ima hemijski sastav prikazan u tabeli 1.

Tabela 1 - Hemijski sastav legure EN AW 7075

Element	Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Fe
Content %	5.51	2.29	1.45	0.13	0.19	0.14

Za eksperimente je korišćena srednjefrekventna indukciona peč IP-100. Na dnu peći nalazi se ispušnik sa grafitnim kristalizatorom koji se intenzivno hladi vodom. Temperatura livenja je 710-720 °C, a oko samog kristalizatora je postavljeno nisko-frekventno elektromagnetno polje. Šematski prikaz kontinualnog elektromagnetnog postupka livenja dat je na slici 1.

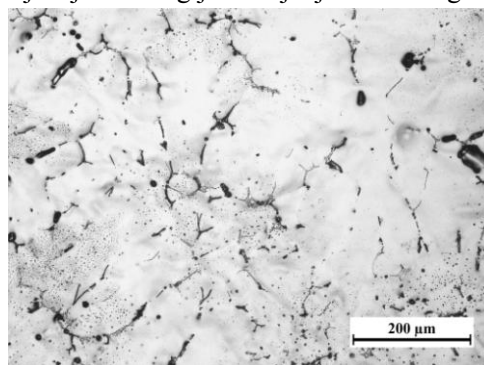


Slika 1 - Šematski prikaz elektromagnetnog postupka livenja

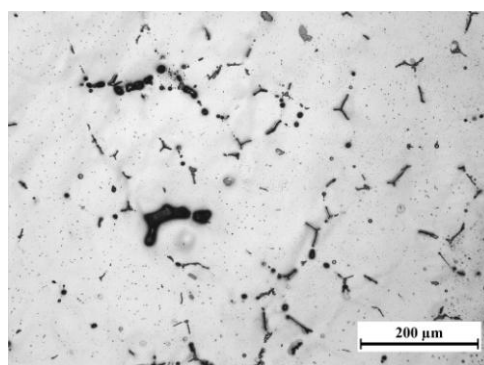
Izvlačenje trupaca vrši se prosečnom brzinom livenja od oko 1,5 mm/s. Uzorci su kružnog poprečnog preseka Ø90 mm. Radni parametri pod kojima su uzorci odliveni strogo su kontrolisani i definisani su različitim vrednostima jačine struje (A), frekvencije (Hz), i jačine elektromagnetnog polja izraženu kroz veličinu amper navojaka (At). Uzorci na kojima su vršena ispitivanja dobijeni su klasičnim polikontinualnim postupkom livenja (uzorak 1) i polikontinualnim livenjem u prisustvu elektromagnetnog polja sa frekvencom od 10 Hz (uzorak 2) i sa frekvencom od 30 Hz (uzorak 3). Uzorak 1 služio je kao etalon da bi mogao da se prati uticaj elektromagnetnog polja. Mikrostruktura je ispitivana na poprečnom preseku uzoraka nakon uobičajene metalografske pripreme i nagrizanja u Kelerovom reagensu (morfologija izdvajanja Al - čvrstog rastvora i intermetalne faze - IMF) Za mikrostrukturnu analizu korišćen je uređaj za analizu slike Leica Q500MC. Nakon mikrostrukturne analize urađena je mehanička karakterizacija otkovaka koji su dobijeni od odlivaka livenih bez i sa dejstvom elektromagnetnog polja. Mehanička karakterizacija odnosno određivanje osnovnih mehaničkih svojstava: zatezne čvrstoće, granice tečenja i izduženja pri kidanju vršena su ispitivanjem zatezanjem.

REZULTATI I DISKUSIJA

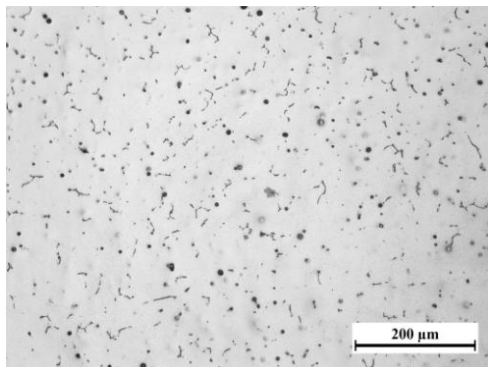
Na slici 2 je prikazan karakterističan izgled mikrostrukture po preseku uzoraka odlivenih pod različitim uslovima. Očigledno je da se radi o dendritnoj celijskoj morfologiji izdvajanja Al čvrstog rastvora.



Sl. 2a



Sl. 2b



Sl. 2c

Slika 2 - Mikrostruktura po preseku uzoraka u livenom stanju, Kelerov reagens, 100x, (a) bez polja, (b) sa poljem-10 Hz i (c) sa poljem 30 Hz

Pri tome je, kod uzorka bez uticaja elektromagnetnog polja, slika 2a struktura više dendritna u odnosu na uzorak 2, slika 2b, gde su dendriti nešto slabije izraženi i u odnosu na uzorak 3, slika 2c, gde je struktura najfinija i najhomogenija. više izražene ćelije. Najfinija i najjednaciija po preseku je struktura uzorka 3 ($f=30$ Hz). Izlučene IMF, u vidu eutektikuma ili pojedinačno, pokazuju da uvođenjem elektromagnetnog polja i rastom frekvencije one postaju sve finije, kao što se vidi na slici 2c. Istovremeno se zapaža da je prisustvo poroznosti intradendritnog tipa najmanje kod uzorka 3. Dobijeni odlivci su kružnog poprečnog preseka $\varnothing 90$ mm što predstavlja ulaznu veličinu za postupak kovanja. Na ovaj način izbegnut je postupak predpresovanja, a odlivci su nakon homogenizacionog žarenja podvrgnuti postupku toplog kovanja. Homogenizaciono žarenje vršeno je na temperaturi od 480°C u vremenu od 4h. Otkovci su prostog geometrijskog oblika jer je ovo prvi pokušaj da se eliminiše predpresovanje čime bi se postigla značajna ušteda u vremenu i energiji. Iz otkovaka su izrađene epruvete po standardu JUS C.C2.100, a mehanička svojstva su određena ispitivanjem zatezanjem. Urađeno je po tri merenja za svaki uzorak, a srednje vrednosti mehaničkih svojstava date su u tabeli 2. Uzorci otkovaka za ispitivanje su obeleženi istim brojem kao i uzorci odlivaka od kojih su dobijeni radi lakšeg poređenja.

Tabela 2 - Srednje vrednosti rezultata mehaničkih svojstava

Uzorak (otkovak)	Rp, N/mm ²	Rm, N/mm ²	A, %
1	420,3	451,2	4,7
2	435,2	457,3	5,4
3	490,0	500,7	8,3

Poređenjem dobijenih vrednosti mehaničkih svojstava može se zaključiti da uzorak otkovka 3 koji je dobijen predhodnim postupkom livenja u elektromagnetnom polju sa frekvencom od 30 Hz ima najviše vrednost zatezne čvrstoće (Rm), granice tečenja (Rp) i izduženja pri razaranju (A). S obzirom da dobijena mikrostruktura direktno utiče na mehanička svojstva, dobijeni rezultati su u saglasnosti. Uzorak 3 ima najfiniju i najhomogeniju mikrostrukturu pa samim tim i najviše vrednosti mehaničkih svojstava. Daljim poređenjem može se zaključiti da između uzorka 1 (odliven bez polja) i uzorka 2 (odliven sa poljem frekvence 10Hz) nema značajne razlike u vrednostima mehaničkih svojstava što odgovara i njihovim mikrostrukturama. Može se zaključiti da elektromagnetno polje sa frekvencom od 10 Hz nije imalo dovoljno uticaja na dobijenu mikrostrukturu pa ni na mehanička svojstva. Primenom elektromagnetnog polja sa frekvencom od 30 Hz dobijeni su znano bolji rezultati.

ZAKLJUČAK

Elektromagnetno polje niske frekvence od 30Hz je nedvosmisleno uticalo na dobijanje uniformnije i finije mikrostrukture, što se odrazilo i na ispitane vrednosti mehaničkih svojstava. Zbog dobijanja boljeg kvaliteta odlivaka, dobijeni su i otkovci sa višim vrednostima mehaničkih svojstava. Uzorci koji su odliveni bez dejstva elektromagnetnog polja kao i uzorci koji su odliveni pod dejstvom elektromagnetnog polja frekvence od 10 Hz nemaju zadovoljavajuću mikrostrukturu što se odrazilo i na vrednosti mehaničkih svojstava. Primena elektromagnetnog polja frekvence od 30Hz je pokazala da se pravilnim odabirom radnih parametara u procesu livenja, kao najranije faze proizvodnje i prerade aluminijumske legure EN AW 7075 mogu postići značajni komercijalni efekti.

Zahvalnica

Rezultati prikazani u radu predstavljaju deo istraživanja na projektu TR34002 čiju realizaciju finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

REFERENCES

- [1] Zhihao Z, Jianzhong C, Jie D (2007) Effect of low-frequency magnetic field on microstructures and macrosegregation of horizontal direct chill casting 7075 aluminum alloy. J Mater Process Technol 182, p.185-190
- [2] Zhihao Z, Jianzhong C, Jie D, Zhefeng W (2005) Effect of low-frequency magnetic field on microstructures of horizontal direct chill casting 2024 aluminum alloy. J Alloy Compd 396, p.164-168

- [3] Bei Jiang Z, Guimin L, Jianzhong C (2002) Effect of Electromagnetic Frequency on Microstructures of Continuous Casting Aluminum Alloys. *J Mater Sci Technol* 18, p.401-403
- [4] Zhang B, Cui J, Lu G, Zhang Q, Ban C (2003) Effect of electromagnetic field on macrosegregation of continuous casting 7075 alloy. *Trans Nonferrous Met Soc China* 13, p.158-161
- [5] Zhu Q, Zhao Y, Cui J, Zuo B, Qu F (2008) Effect of low-frequency electromagnetic field on the as casting microstructures and mechanical properties of HDC 2024 aluminum alloy. *Acta Metall Sin* 21, p.205-210
- [6] Aleksandra Patarić, Marija Mihailović, Zvonko Gulišija, Quantitative Metallographic Assessment of the Electromagnetic Casting Influence on the Microstructure of 7075 Al Alloy, *J Mater Sci Vol. 47, Issue 2* (2012), p.793-796
- [7] Jie D, Jianzhong C, Fuxiao Y, Chunyan B, Zhihao Z (2004) Effect of low-frequency electromagnetic casting on the castability, microstructure and tensile properties of direct chill cast Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Metall Mater Trans* 35, p.2487-2494
- [8] Yubo Z, Jianzhong C, Jie D, Fuxiao Y (2005) Effect of low frequency electromagnetic field on the constituents of a new super high strength aluminum alloy. *J Alloy Compd* 402, p.149-155
- [9] Jie D, Cui J, Yu F, Zhao Z, Zhuo Y (2006) A new way to cast high-alloyed Al-Zn-Mg-Cu-Zr for super-high strength and toughness, *J Mater Process Technol* 171, p.399-404
- [10] Cui J, Zhang Z, Le Q (2010) DC casting of light alloys under magnetic fields. *Trans Nonferrous Met Soc China* 20, p.2046-2050
- [11] Patarić A, Gulišija Z, Marković S (2007) Microstructure Examination of Electromagnetic Casting 2024 Aluminum Alloy Ingots. *Prakt Metalogr* 44, p.290-298

ABSTRACT

MECHANICAL PROPERTIES OF FORGINGS OBTAINED FROM 7075 Al-ALLOY CASTED UNDER ELECTROMEGNETIC FIELD INFLUENCE

The electromagnetic casting process fundamentals of EN AW 7075 Al-alloy casting, as well as the mechanical characterization results of this alloy forgings are presented in this paper. Forgings are obtained from the alloy casted by classical semi-continuous casting process and by electromagnetic casting process using two different frequencies. Results reveal that forgings obtained from the alloy casted by electromagnetic casting process have adequate values of mechanical properties and that proper choice of operating parameters can lead to shortening of this alloy processing.

Key words: Al-alloy, electromagnetic casting, forging

Scientific paper

Received for Publication: 09. 06. 2013.

Accepted for Publication: 15. 08. 2013.