

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

Društvo livarjev Slovenije
Lepi pot 6, P.P. 424, SI-1001 Ljubljana
Tel.: ++ 386 1 25 22 488
Fax: ++386 1 426 99 34
E-mail: drustvo.livarjev@siol.net
www.drustvo-livarjev.si

Glavni in odgovorni urednik / Chief and responsible editor:

prof. dr. Alojz Križman
E-mail: probatus@triera.net

Tehnično urejanje / Technical editing:

mag. Mirjam Jan-Blažič

Uredniški odbor / Editorial board:

prof. dr. Alojz Križman, Univerza v Mariboru
prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani
doc. dr. Gorazd Lojen, Univerza v Mariboru
prof. dr. Andreas Bührig-Polaczek, Giesserei
Institut RWTH Aachen
prof. dr. Peter Schumacher, Montanuniversität
Leoben
prof. dr. Reinhard Döpp, TU Clausthal
prof. dr. Jozef Suchy, AGH Krakov
prof. dr. Jaromir Roučka, Institut Brno
prof. dr. Branko Bauer, Univerza v Zagrebu
dr. Milan Lampič, Fritz Winter, Stadtallendorf

Prevod v angleški jezik / Translation into English:

prof. dr. Andrej Paulin,

Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:
dipl. ing. Peter Haensel, Düsseldorf
Slovenski jezik / Slovene:
prof. Janina Šifrer

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

Naklada / Circulation:

4 številke na leto / issues per year
800 izvodov / copies

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: december 2016



Naslov/Address:
StrikoWestofen GmbH
Hohe Straße 14
D-51643 Gummersbach

T: +49 22 61 7 09 10
E: sales@strikowestofen.com
<http://www.strikowestofen.com>

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

Izudin Dugić: Vpliv ohlajevalne hitrosti na livarske napake v beli litini z mnogo kroma za sesalne turbine / Effect of Cooling Rate on the Casting Defects of High Chromium White Cast Iron for the Impellers	164
Črtomir Mikyška, Gordana Gojsević Marić: Vpliv različnih pokrivnih materialov za nodulacijo po »sandwich« metodi / Effect of Different Cover Materials for »Sandwich« Method	172
U. Klančnik, J. Habjan, M. Drobne, P. Mrvar, J. Medved: Karakterizacija modificirane indefinitne litine za izdelavo delovne plasti valjev / Characterization of a modified indefinite chill cast iron working layer in rolls	181
Yunus Turen, M. Mursel Yildirim, Hayrettin Ahlatci, Huseyin Zengin, Mehmet Unal, Yavuz Sun, Mustafa Acarer: Vpliv deleža silicija na mikrostrukturo in mehanske lastnosti mednih livnih zlitin brez svinca / The effect of silicon content on microstructure and mechanical properties of lead-free brass casting alloys	192
Aktualno / Actual	
48. mednarodna konferenca rudarjev in metalurgov	200
Seminarji Društva livarjev Slovenje v letih 2016 in 2017	201
56. mednarodno livarsko posvetovanje Portorož 2016	203
In memoriam	217
Koledar livarskih prireditev	217
Portorož 2017	218

Izdajanje Livarskega vestnika sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije
Publishing supported by Slovenian Research Agency
Livarski vestnik je vpisan v razvid medijev Ministrstva za kulturo pod zaporedno številko 588

Vpliv ohlajevalne hitrosti na livarske napake v beli litini z mnogo kroma za sesalne turbine

Effect of Cooling Rate on the Casting Defects of High Chromium White Cast Iron for the Impellers

Izvleček

Kadar je delež kroma v beli železovi litini 23 – 28 %, predstavlja ta eno najstarejših trgovskih belih visoko legiranih železovih litin. Visoko legirane bele železove litine so izvrstno abrazijsko odporne in se učinkovito uporabljajo za črpalke za gošče, forme za opeke, mline za mletje premoga, valje valjalnih strojev, opremo za peskanje in sestavne dele naprav v kamnolomih za pridobivanje in mletje trdih kamnin.

Specifikacije in zahteve glede uporabe sestavnih delov iz bele železove litine so med najbolj strogimi na področju litja železovih litin. Ena od največjih težav pri izdelavi teh sestavnih delov so razpoke v vročem ali pokanje v vročem oziroma krhkost v vročem. Ne glede na poimenovanje ta pojav predstavlja nastanek nepovratnih napak (razpok) v še ne popolnoma strjenem ulitku.

Ta prispevek prikazuje raziskavo vpliva ohlajevalne hitrosti na pokanje. Obravnavali smo en ulit sestavni del, sesalno turbino črpalke, pri izdelavi v industrijskem merilu, s tem da smo uporabili različne ohlajevalne hitrosti po litju. Pokazali smo, da ima hitrost strjevanja močan vpliv na pokanje v vročem.

Ključne besede: bela železova litina, sesalna turbina, ohlajevalna hitrost, pokanje v vročem, litje

Abstract

One of the oldest high alloys white cast irons is produced commercially when the chromium content is between 23 and 28 %. The high-chromium white irons have excellent abrasion resistance and are used effectively in slurry pumps, brick moulds, coal-grinding mills, rolling mill rolls, shot blasting equipment, and components for quarrying, hard-rock mining and milling.

The specifications and requirements applied for the white cast iron components are among the most stringent used within the iron foundry branch. One of the biggest problems for the production of these components is hot tearing or hot cracking, or hot shortness. Irrespective of the name, this phenomenon represents the formation of an irreversible failure (crack) in the still semisolid casting.

This paper will show a study of the effect of cooling rate on the cracks. The procedure to achieve this was to study one casting component, impeller, in a production scale using different cooling rate after pouring. In this work it has been shown that the solidification rate has a strong effect on the hot cracking.

Keywords: white cast iron, impeller, cooling rate, hot cracking and casting.

1 Uvod

Pridobivanje in predelava mineralnih surovin se vsakodnevno uporablja na vseh celinah. Industrijske črpalke so na splošno posebej konstruirane tako, da izpolnjujejo najvišje zahteve glede transporta v industriji. Te črpalke se zlahka uporabljajo za različne materiale: materiale, ki se mažejo, so abrazivni, kemično nevtralni ali korodirni, dodatno pa še za vlaknate snovi in gošče trdnih delcev. V rudarski industriji velik delež trdnin in veliki delci močno povečujejo stroške zaradi obrabe ter slabo vplivajo na delovanje črpalke [1,2].

Glede na evropski standard EN 12513:2011 [3] obstajajo trije različni razredi železovih litin:

- a) nelegirane in nizkolegirane železove litine,
- b) nikelj-kromove železove litine,
- c) železove litine z velikim deležem kroma.

Bele železove litine z veliko kroma predstavljajo kombinacijo izvrstne abrazijske odpornosti, še kar dobre žilavosti in možnosti žarjenja, da se izboljša obdelovalnost [4,5,6]. Različne vrste bele železove litine so se v preteklosti uporabljale različno uspešno. Značilnosti in lastnosti teh materialov so objavljene v številnih priznanih publikacijah [7,8,9].

Specifikacije in zahteve za uporabljene sestavne dele iz bele železove litine so med najstrožjimi v livarstvu železovih litin. Ena od največjih težav pri izdelavi takih strojnih delov so razpoke v vročem ali pokanje v vročem ali krhkost v vročem. Ne glede na poimenovanje ta pojav predstavlja nepovratne napake (razpoke) v ulitku že med strjevanjem [10].

Cilji tega prispevka so predstaviti:

- kratek prikaz razvoja bele železove litine v livarni XY,
- opis glavne vloge bele železove litine,

1 Introduction

The extraction and processing of minerals takes place daily on every continent. Industrial pumps in general are especially designed to meet the highest conveying requirements for the use within the industry. These pumps are capable of handling different materials; lubricating, abrasive, chemically neutral, or corrosive product plus fibrous matter and matter containing solids with great ease. In the mining industry, high solids content and large particles can dramatically increase wear costs and have a negative impact on the pump's operation [1,2].

According to European Standard EN 12513:2011 [3], three distinct classes of irons exist:

- a) unalloyed or low alloy cast irons,
- b) nickel-chromium cast irons and
- c) high chromium cast irons.

The high-chromium white cast iron possesses a combination of excellent abrasion resistance together with a reasonable degree of toughness and the possibility of annealing to facilitate machining operations [4,5,6]. Different types of white cast iron have been used in the past with varying success. The characteristic features and properties of these materials have been reviewed in a lot of excellent publications [7,8,9].

The specifications and requirements applied for the white cast iron components are among the most stringent used within the iron foundry branch. One of the biggest problems for the production of these components is hot tearing or hot cracking, or hot shortness. Irrespective of the name, this phenomenon represents the formation of an irreversible failure (crack) in the still semisolid casting [10].

The objectives of this paper are to present:

- ki jo ima kot konstrukcijski material pri črpanju tekočin in kako je to lahko koristno za livarne bele železove litine,
- analizo, kako hitrost ohlajevanja vpliva na livarske napake pri ulivanju ulitega strojnega dela, sesalne turbine, pri industrijski izdelavi ob uporabi različnih ohlajevalnih hitrosti po litju.

2 Materiali in metode

Poskuse, opisane v tem prispevku, smo naredili v livarni XY v južnem delu Švedske. Vpliv različnih hitrosti ohlajevanja po litju smo preskušali na značilnem ulitem strojnem delu, imenovanem »sesalna turbina«, ki je prikazan na sliki 1. En ulit del je montiran na modelni plošči. Masa sesalne turbine je bila 7,3 kg, njen premer 260 mm. Pri prejšnjih poskusih [11,12] smo enako sesalno turbino uporabili pri ugotavljanju, kako delež molibdena in temperatura litja vplivata na livarske napake [11] in kako različne vrste livarskih mask vplivajo na livarske napake [12].

Ulitki so bili izdelani na stroju Laempe LFB25 v formah iz kremenovega peska, vezanega s fenolno smolo na osnovi vode, in utrjenih s CO₂. En prilagodilni člen

- An outline of the development of white cast iron in the XY Foundry.
- To describe the major role played by white cast iron as a construction material in pumping liquids and how it could benefit white cast iron foundries.
- Analyze how the effect of cooling rate influences the casting defects on a casting component, impeller, in a production scale using different cooling rate after pouring.

2 Materials and Methods

The experiments in this work were carried out at the XY Foundry in the South part of Sweden. Different cooling rates after pouring were tested using a typical casting component named "Impeller", illustrated in figure 1, and one casting was mounted on the pattern plate. The weight of the "Impeller" is 7.3 kg and the diameter is 260 mm. In the earlier experiments [11,12], the same impeller was used to test how molybdenum content and pouring temperature affected the casting defects [11] and how different types of shell moulding sand influence the casting defects [12].

The castings were made using silica sand and a water based phenolic resin system cured by the use of CO₂ gas by Laempe machine LFB25. One "adapter" is manufactured to use the same pattern which is used for the shell moulding in the earlier experiments [10,11], see figures 2 and 3.

The silica sand with particle size (MK) of 0.27 mm (AFS 57) was mixed with a resin (content of 2.3 % based on the weight of the sand). Table 1 shows some parameters



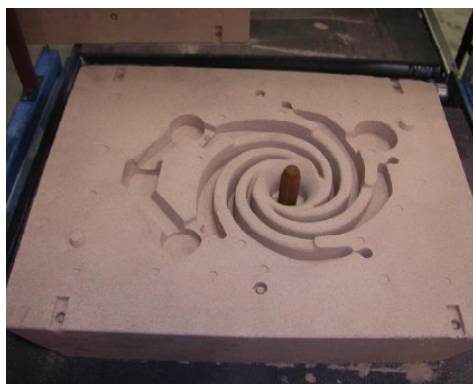
Slika 1. Ulit strojni del – sesalna turbina

Figure 1. The casting component "Impeller"



Slika 2. Adapter z modelom

Figure 2. Adapter with the pattern



Slika 3. Spodnji okvir forme

Figure 3. The lower mould

(adapter) je bil izdelan v enaki obliki, kot se je uporabila pri prejšnjih poskusih formanja v maski [10, 11], sliki 2 in 3.

Kremenov pesek z velikostjo zrn (MK) 0,27 mm (AFS 57) je bil zmešan z 2,3 % smole glede na maso peska. Razpredelnica 1 kaže nekatere parametre smole, ki se je uporabila za poskusne ulitke.

Forma je bila 508 mm dolga in 455 mm široka, toda višini spodnje in zgornje sta bili različni, kot se vidi iz razpredelnice 2.

of resin used for preparing the examined castings.

Each mould had length of 508 mm and width of 455 mm but the height of the lower and upper mould were various, see Table 2. The reason to have different height of the lower and upper mould was to have different cooling rates.

For each different height of the mould 25 castings were moulded. To have a better emission of gases from the mould, two air

Razpredelnica 1. Lastnosti smole, ki se je uporabila za izdelavo poskusnih ulitkov

Table 1. Properties of the resin used for preparing the examined castings

Ime smole / Resin name	Tehnične lastnosti / Technical specification				
	viskoznost / viscosity @ 25°C, cps	gostota / density [funti na galono / pounds per gallon]	pH	prosti formaldehid / free formaldehyde [%]	prosti fenol / free Phenol [%]
XXX	620	13.00	14.00	<0.1	<1.0

Razpredelnica 2. Višina form pri poskusih.

Table 2. The height of the mould used in the experiments

Ime / Name	Poskus / Experiment								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Spodnja forma / Lower mould [cm]	11	16	11	16	20	16	20	11	20
Spodnja forma / Upper mould [cm]	11	11	16	16	16	20	20	20	11

Razpredelnica 3. Kemijske sestave osnovnih talin. Ogljikov ekvivalent v % = $12.33(\% \text{ C}) + 0.55(\% \text{ Cr}) - 15.2$

Table 3. The chemical composition of the base melt. %E.C. = $12.33(\% \text{ C}) + 0.55(\% \text{ Cr}) - 15.2$

Talina / Melt	Element v mas. % / Element in % (mass fraction)							C ekv. / %E.C. [%]	razmerje / ratio Cr/%C	litje temp. / pouring temp [°C]
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr			
I	2,93	1,60	0,03	0,03	0,28	0,26	25,52	34,96	8,71	1540
II	2,91	1,59	0,03	0,03	0,29	0,27	25,50	34,71	8,76	1542
III	2,90	1,60	0,03	0,03	0,30	0,27	25,51	34,59	8,80	1538

Vzrok, da sta bili uporabljeni različni višini spodnje in zgornje forme, je bila različna ohlajevalna hitrost.

V vsaki formi različnih višin je bilo zaformanih 25 ulitkov. Za boljše odzračenje forme sta bila v vsak napajalnik zvrtna dva zračnika premera 15 mm. Zgornja in spodnja forma sta bili zlepljeni skupaj z lesnim lepilom.

Vložek se je talil v visokofrekvenčni peči. Napravili smo tri serije poskusnih ulitkov. Kemično sestavo smo ugotavljali s svetlobnim emisijskim spektrometrom ARL 3460. Kemične sestave talin in livne temperature prikazuje razpredelnica 3. Talina I se je uporabila za ulitke A, B, C, talina II za poskuse D, E in F in talina III za poskuse G, H in I.

Vseh poskusnih ulitkov je bilo 225, da smo dobili solidno statistično osnovo za ovrednotenje učinka različnih ohlajevalnih hitrosti na livarske napake.

directions are drilled in each feeder with a drill of 15 mm in diameter. The gluing of the lower and upper mould was made with wood glue.

Melting was done in high frequency furnace. A three series of casting experiments were carried out. The chemical compositions were determined by the light emission spectrometer - ARL 3460. The chemical compositions of the base melts for the castings and pouring temperature is shown in Table 3. The Melt I was used to cast the experiment A, B, C. The Melt II was used to cast the experiment D, E and F. The Melt III was used to cast the experiment G, H and I.

All the casting experiments yield a total 225 castings, thereby providing a sound statistical basis for evaluation of the effect of different cooling rates on the casting defect.

3 Rezultati in razprava

3.1 Livarske napake

Po peskanju smo ulitke preiskali najprej vizualno, nato s tekočino po standardu EN 1371-1:2011. Rezultate prikazuje razpredelnica 4.

3 Results and Discussion

3.1 Castings Defects

After sand blasting all castings were investigated first by an ocular inspection, and then with the liquid penetrant testing in accordance with EN 1371-1:2011. The results are given in Table 4.

Razpredelnica 4. Statistični pregled livarskih napak na ulitkih**Table 4.** Statistical listing of casting defects found on the castings.

Livarska napaka / Casting defect	Poskus / Experiment								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Razpoke v vročem / Hot tearing	16 %	12 %	12 %	4%	8%	8%	4%	8%	12 %
Žilaste razpoke / Veining	-	-	-	4%	8%	12 %	16 %	12 %	8%

**Slika 4.** Ulita sesalna turbina z žilastimi razpokami**Figure 4.** The casting component "Impeller" with the casting defect veining

Vroče razpoke so se pogosto pojavile na istih mestih strojnega dela kot pri prejšnjih poskusih. [10,11]. Pri poskusih, ko smo preiskovali vpliv ohlajevalne hitrosti na vroče pokanje, smo opazili, da je nastala druga vrsta livarskih napak – žilaste razpoke (slika 4).

The hot tearing often occurs in same locations on the component like earlier experiments [10,11]. In the experiments made to investigate the influence of the cooling rate on the hot tearing, another type of castings defect had seen to be formed, called veining, see figure 4.

3.2 Mechanical Testing

The hardness tests were performed on each casting component in according to SS-EN ISO 6508:2006. In table 5 the average value for all measurements are shown.

3.3 Casting Simulation

A series of simulations were performed with the casting simulation programme MagmaSoft® using the add-on module Magmalron®, especially developed for cast iron simulation. The "Impeller" with its gating system was modeled for the simulation. In the simulation, the mould filling sequence as well as the solidification sequence was

Razpredelnica 5. Povprečna vrednost trdote po Rockwellu, HRC**Table 5.** The average value of hardness measurements in Rockwell, HRC

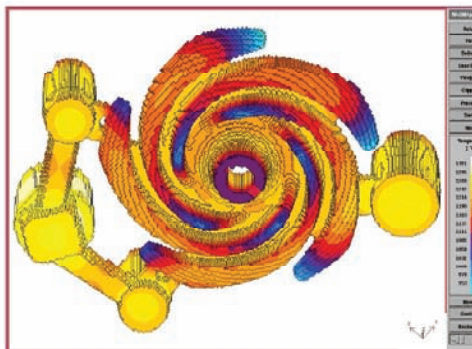
Stanje / Condition	Preskus / Experiment								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Neobdelano / Untreated	52	51	51	50	49	48	45	46	46

3.2 Mehanski preizkusi

Trdoto vsakega ulitka smo izmerili po standardu SS-EN ISO 6508:2006. Razporednica 5 prikazuje povprečne vrednosti vseh meritev.

3.3 Simulacija litja

Napravili smo vrsto simulacij s programom MagmaSoft® za simulacijo litja ob uporabi dodatnega modula Magmalron®, ki je bil posebej razvit za simulacijo železove litine. Za to simulacijo smo izdelali poseben model sesalne turbine z ulivnim sistemom. S simulacijo smo zasledovali potek zapolnjevanja forme in potek strjevanja. Slika 5 kaže 3-D posnetek iz simulacije, ko je bilo strjeno 50 % taline v formi.



Slika 5. 3-D posnetek iz simulacije, ko je bilo strjeno 50 % taline v formi

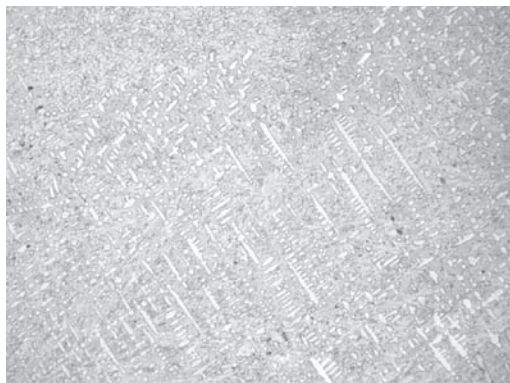
Figure 5. 3-D result from the simulation showing temperature when 50 % of the mould is solidified

3.4 Mikrostrukturna analiza

Da bi preiskali, če se je mikrostruktura spremenila pri posameznih preskusih ulivanja, smo iz vsakega ulitka vzeli vzorec

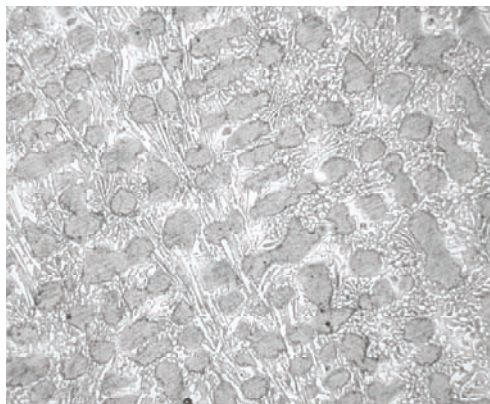
considered. Figure 5 shows 3-D result from the simulation showing temperature when 50% of the mould is solidified.

3.4 Microstructure Analysis



Slika 6. Mikrostruktura sesalne turbine iz poskusa D (povečava 100 x)

Figure 6. The microstructure of the "Impeller" from experiment D (magnification 100X).



Slika 7. Mikrostruktura sesalne turbine iz poskusa G (povečava 200 x)

Figure 7. The microstructure of the "Impeller" from experiment G (magnification 200X).

To investigate whether there were differences in microstructures between different test castings, an example from

za mikroskopsko preiskavo. Obruse smo pripravili z brušenjem in poliranjem ter jih preiskali s svetlobnim mikroskopom. Jedkali smo z Kallingovim jedkalom št. 2 (5 g CuCl_2 , 100 ml klorovodikove kisline in 100 ml etanola) pri sobni temperaturi. Slika 6 kaže značilen primer mikrostrukture iz poskusa D in slika 7 značilen primer mikrostrukture iz poskusa G.

4 Sklepi

Poskusi so pokazali, da ohlajevalna hitrost nima pomembnega vpliva na pokanje v vročem.

Najhujši primeri pokanja v vročem so bili pri poskusu A.

Rezultati kažejo, da smo najboljše rezultate, kar se tiče pokanja v vročem, dobili pri poskusih D in G, le 4 % pri obeh poskusih. Pri poskusu G z najvišjo spodnjo in zgornjo formo smo ugotovili veliko nagnjenost k nastajanju drugih livarskih napak, nastajanju žilastih razpok.

S simulacijo je možno ugotoviti območja, kjer je verjetnost nastajanja razpok v vročem.

Mikroskopska preiskava ni pokazala razlik med različnimi poskusnimi ulitki.

5 Zahvale

Avtor se želi zahvaliti Linnaeus univerzi, Tehnološki fakulteti, Oddelku za strojništvo, Växjö, Švedska.

Zahvala tudi moji čudoviti ženi Muvehidi in najinima sinovoma Mahirju in Eminu za njihovo neskončno potrpežljivost in znatno podporo v času raziskave. Brez njihovega spodbujanja tega dela ne bi bilo možno narediti.

each casting was taken for microscopic examination. The samples were grinded and polished and the microstructure was investigated by optical microscope.

The etching was performed by Kalling's No.2 etching solutions (CuCl_2 5 g, Hydrochloric acid 100 ml and Ethanol 100 ml) at room temperature. Figure 6 shows some typical examples of the microstructure from the experiment D. Figure 7 shows some typical examples of the microstructure from the experiment G.

4 Conclusions

The experiments showed that the cooling rate has an important influence on hot tearing. The worst cases of hot tearing were obtained with experiment A.

The experiments show that the best results regarding hot tearing have been obtained in experiments D and G, only 4 % for both two experiments. However, in experiment G with the highest lower and upper mould is obtained a large tendency to other casting defect, veining.

By simulation it is possible to detect the areas where hot tearing is likely to be formed.

The microscopic examination doesn't show any deviations between the different test castings.

5 Acknowledgements

The author would like to thank Linnaeus University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Växjö, Sweden.

Thanks to my wonderful wife Muvehida and our two boys Mahir and Emin for their endless patience and considerable support during this period. Without their encouragement, this work would not have been possible.

6 VIRI / REFERENCE

- [1] Chenje, T.W., Simbi, D.J. and Navara, E.: Relationship between microstructure, hardness, impact toughness and wear performance of selected grinding media for mineral ore milling operations, *Materials and Design*, 25, 11, 2006.
- [2] A. Studnicki, J. Kilarski, M. Przybył, J. Suchoń, D. Bartocha: Wear resistance of chromium cast iron - research and application, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Volume 16 Issue 1-2 May-June 2006.
- [3] CEN, European Committee for Standardization, Ref. No. EN 12513:2011.
- [4] Baotong, L., Jingli, L. and Stefano, C.: Corrosion and wear resistance of chrome white irons- A correlation to their composition and microstructure, *Metallurgical and Materials Transaction A*, 37, 3029, 2006.
- [5] Ogi, K., Yamamoto, K. and MiyaKawat, N.: Alloy design for heat and abrasion resistant high alloy cast iron, *International Journal of Cast Metals Research*, 16, 269, 2006.
- [6] F. Maratray, R. Usseglio-Nanot: Factors Affecting the Structure of Chromium and Chromium-molybdenum White Irons, *Climax Molybdenum S.A.*, 1970.
- [7] Alp, T., Wazzan, A.A. and Imaz, Y.: Microstructure-properties relationship in cast irons, *The abrasion Journal for Science and Engineering*, 30, 163, 2005.
- [8] Tabrett, C.P. and Sare, I.R.: Fracture toughness of high chromium white irons: influence of cast structure, *Journal of Materials science*, 35, 2069, 2000.
- [9] Zhou, J.M., Nilsson, A., Anderson, M. and Stahi, J.E.: Machining characteristic of Novel-Abrasion resistance iron, *J. of Materials Processing Technology*, 153-154, 751, 2004.
- [10] Tapan R.: Analysis of casting defects in foundry by computerised simulations (CAE) - a new approach along with some industrial case studies, *Transactions of 61st Indian Foundry Congress*, 2013.
- [11] I. Dugic: Effect of Molybdenum content and pouring temperature on the casting defects of high chromium white cast iron for the impellers, *14th International Foundrymen Conference, Development and Optimization of the Castings Production Processes*, Opatija, Croatia, May 15 - 16, 2014.
- [12] I. Dugic: White Cast Iron for the Impellers, *54th International Foundry Conference*, Portoroz, Slovenien, September 17 - 19, 2014.

Vpliv različnih pokrivnih materialov za nodulacijo po »sandwich« metodi

Effect of Different Cover Materials for »Sandwich« Method

Povzetek

Glede na trenutno ekonomsko situacijo je vse večja potreba po finančno bolj učinkoviti proizvodnji duktilne litine. Članek prikazuje vpliv različnih kritnih materialov pri postopku krogličjenja na delež končnega magnezija. Primerjava je bila narejena med jekleno kritno plastjo in kritno plastjo na osnovi ferosilija. Med preizkušanjem se je preučevala mikrostruktura, kemijska sestava in izdelala termična analiza.

Abstract

Based on the current economic situation, there is a need for more cost effective production of ductile iron. In this paper, the main objective was to research the influence of different cover materials in the process of spheroidization treatment on residual magnesium. The comparison was made between a steel cover and a ferrosilicon cover. During tests the samples were examined for metallographic analysis, chemistry and thermal analysis.

1 Uvod

Na obdelavo z magnezijem vplivajo številni različni parametri, ki so vsi zelo pomembni. Za obdelavo duktilne litine z magnezijem se uporabljajo različne vrste loncev in različni postopki. Prvi in najbolj preprost je postopek v odprtem loncu, pri katerem se predzlitina položi na dno lonca. Pri njem je izkoristek magnezija majhen. Drugi je postopek »sendvič«, ki predstavlja izboljšano tehniko. Lonec je izdelan tako, da ima na dnu žep za predzlitino. Da se zamakne začetek reakcije z magnezijem, se uporabljajo različni kritni materiali, navadno jeklo, ki se položijo na predzlitino. Naslednji postopek je postopek s potapljanjem, pri katerem se okrogli material potopi globoko v talino [1]. Postopek s pokritim vmesnim loncem izboljša izkoristek Mg, ker preprečuje dostop atmosfarskega kisika v lonec in s tem v talino. Kadar krogličenje grafita v talini poteka v komori, ki je v kokili, se

1 Introduction

Magnesium treatment is influenced by many different parameters which all play an important part. For the magnesium treatment of ductile iron, there are different types of ladles and methods in use. First one and the simplest one is open ladle; here the master alloy is placed on the bottom of the ladle. This method has low recovery of Mg. The second method is sandwich which is an improved technique. The ladle design is different with the master alloy pocket on the bottom of the ladle. To delay the start of the Mg reaction, a cover material, usually steel, is put on top of the master alloy. Next is the plunging method where the spherical material is submerged deeply into the melt [1]. Tundish cover process improves Mg recoveries by disabling oxygen from atmosphere entering the ladle and thereby the melt. Where the spheroidization of the melt is done in a chamber placed in

imenuje postopek v kokili. V zadnjih letih se je povečala uporaba procesa z jedrno žico, ki ima v jedru magnezij in se z dodajalno napravo vpihava v talino [2].

Drugi parametri, ki imajo vpliv na izkoristek magnezija so masa taline, masa in specifikacija FeSiMg, preboda temperatura, delež O, S in oligoelementov, čas med obdelavo in začetkom ulivanja ter kritni material [3].

Namen modifikacije je kontrola mikrostrukture in lastnosti duktilne litine. To se doseže s čim manjšo podhladitvijo in povečanjem števila centrov za nukleacijo grafita med strjevanjem. Najpogostejši modifikatorji so danes na osnovi ferossilicija z majhnimi količinami elementov, kot so Ca, Al, Ba, Sr, Zr, Ce, Ti, Bi itn [4].

Oslabitev učinka modificiranja duktilne litine pomeni, da se s časom izgubi kroglasta oblika grafita [5]. Poslabšanje krogličavosti grafita je posledica predolgega časa držanja obdelane taline na temperaturi. Posledica je, da se grafit lahko pretvori v kompaktni ali celo luskasti grafit [6]. Mirnejša obdelava z Mg omogoča boljše razmere za nadaljnje modificiranje taline. Manjša reaktivnost pri obdelavi omogoča nastanek manjših in bolj razpršenih centrov nukleacije [7].

2 Poskusi

Poskuse smo bili naredili v podjetju Livar d.d. v Ivančni Gorici. Prispevek obravnava vpliv različnih kritnih materialov in različnih vrst loncev na preostanek Mg v duktilni litini. Proces obdelave smo ovrednotili z izkoristkom Mg, ko je bila uporabljena predzlitina FeSiMg7 in postopek »sendvič«. Prva vrsta kritnega materiala je bilo odpadno jeklo z dodatkom FeSi 75 %, da se je doseglo želeni končni delež Si. Masni delež kritne plasti je bil 2 %. Drugi kritni material je bil FeSi 50 %, njegov masni delež je bil 0,8

the mould is called an in-mould process. In recent years, the use of the core wire process has increased, where filled wire is injected into the liquid iron with the feeding machine [2].

Other different parameters that have an effect on the recovery of Mg are weight of melt, weight and specification of FeSiMg, tapping temperature, content of S, O and trace elements, time between treatment and beginning of pouring and covering material [3].

The purpose of inoculation is to control the microstructure and the properties of ductile iron. This is achieved by minimizing the undercooling and increasing the number of graphite nucleation events during solidification. The most common inoculants today are based on ferrosilicon with smaller amounts of elements, such as Ca, Al, Ba, Sr, Zr, Ce, Ti, Bi, etc [4].

The meaning of fade effect in ductile irons is the loss of nodularity of graphite with time [5]. Deterioration of spheroidal graphite is the result of holding time of treated metal and the graphite can convert to compact or even flake graphite [6]. A calmer Mg treatment provides better conditions for subsequent inoculation. Lower reactivity of the treatment provides more small and dispersed nucleus sites [7].

2 Experimental

The experiments were carried out in Livar d.d in Ivančna Gorica. In this paper, the influence of different types of cover materials and different types of ladles on residual Mg in ductile iron has been dealt with. Evaluation of treatment process is based on Mg recovery where master alloy FeSiMg7 and »sandwich« method was used. First type of cover material was scrap steel and FeSi 75 adding combined of 2%.

Razpredelnica 1. Kemijska sestava kritne plasti z FeSi 50%**Table 1.** Chemical composition of FeSi 50% cover

Si [%]	Ba [%]	Ca [%]	Al [%]	Fe [%]
54,4	2	0,5	0,7	ostanek / the rest

% . Kemično sestavo kritne plasti z FeSi 50 % kaže razpredelnica 1.

Poskuse smo delali več dni. Razdeljeni so bili na tri dele. Najprej se je uporabil lonc tipa 1 z kritnim materialom iz jekla. Ta kombinacija je bila označena kot obdelava A. V drugi skupini poskusov je bil uporabljen lonc tipa 2 in z kritnim materialom jekla (obdelava B). Tretji del poskusov je potekal tudi v loncu tipa 2, kritni material je bil FeSi 50 % (obdelava C).

Razlika med loncema je v legi žepa za predzlitino. Prvi lonc je imel žep na dnu v sredini, drugi na dnu ob strani. Druga razlike med loncema je bila v površini žepa. Žep v drugem loncu je imel za 25 % manjšo površino in ustrezno večjo višino, da sta bili prostornini obeh žepov enaki.

Pri poskusih smo zasledovali končni delež Mg, temperaturo litja, število kroglic, krogličavost, naredili smo termično analizo, zabeležili čas preboda lonca, začetka in konca litja. Termično analizo smo izdelali s sistemom ATAS (adaptive thermal analysis system). Za metalografsko analizo smo obruse pripravili z brušenjem na karborundnih brusnih papirjih 240, 320, 400, 600 in zaključnim poliranjem z 3 μ m glinico.

3 Rezultati in razprava

Rezultati, prikazani v naslednjih razpredelnicah, predstavljajo povprečne vrednosti 10 vzorcev iste obdelave z Mg. Razpredelnica 2 prikazuje kemične analize preostalega Mg, izkoristek Mg, livno temperaturo, število kroglic in krogličavost.

FeSi 75% is added to achieve desired end content of Si. Second cover material was FeSi 50% cover in addition of 0.8%. Chemical composition of this material is presented in table 1.

The tests were carried out in several days. They were divided in three parts. First, ladle type 1 with cover material steel was used - this combination will be referred to as (A). Second trials were conducted with ladle type 2 also with steel cover material (B) and the third part of testing was done with ladle type 2 with FeSi 50% cover material (C).

The difference between the ladles is in position of the master alloy pocket. First ladle has a pocket positioned on the bottom in the center, second has the pocket positioned on the bottom side. The other difference between the two of them is the surface area of the pocket. Pocket in second ladle has 25% smaller surface and its height is in proportion so that the volumes of the two are equal.

During experiments we monitored final Mg, pouring temperature, nodule count, nodularity, thermal analysis, tapping time, start of pouring and finish of pouring. Thermal analysis was done with ATAS (adaptive thermal analysis system). For metallographic analysis, the samples were prepared on SiC grinding paper 240, 320, 400, 600 grid and then polished with Al₂O₃ 3 μ m.

3 Results and Discussion

The results in following tables present average values of 10 samples for each type

V loncu tipa 1 s kritnim jeklom (obdelava A) je bil odstotek izkoriščenega Mg podoben kot v loncu tipa 2 s kritnim jeklom (obdelava B), okoli 62–63 %, kljub 12 °C nižji temperaturi litja. Izkoristek Mg v loncu tipa 2 s kritnim materialom iz FeSi (obdelava C) je bil za 4 % večji kljub celo za 9 °C višji temperaturi litja, kar je bila posledica prisotnega Ca. Število kroglic in krogličavost sta bili najvišji v loncu tipa 2 s kritnim materialom FeSi zaradi mirnejše reakcije z Mg in prisotnosti Ba, ki je deloval kot modifikator. Manjše število kroglic in slabšo krogličavost pri obdelavi A povezujemo z burno reakcijo z magnezijem, kar je zmanjšalo število nukleacijskih centrov.

Želena je višja stopnja grafitizacije, kerto pomeni večje število kroglic. Razpredelnica 3 prikazuje rezultate termične analize, ki kaže, da je GRF 1 višji pri kritni plasti iz FeSi, kar ima za posledico večje število kroglic. To je potrdila tudi metalografska analiza.

Rekalescenca, ki nakazuje začetni čas rasti evtektika, je bila najnižja pri obdelavi C zaradi prisotnosti Ba v kritni plasti iz FeSi. Rezultati v razpredelnici 3 kažejo za 3 °C nižjo temperaturo evtektika, T_{elow}, pri obdelavi A zaradi večjega dodatka predzlitine in nižje višine taline pred začetkom reakcije, zato

of Mg treatment process. Table 2 presents chemical analysis of residual Mg, recovery of Mg, pouring temperature, nodule count and nodularity.

Ladle type 1 with steel cover (A) has similar percentages of recovery Mg as the ladle type 2 with steel cover (B), around 62 - 63%, despite of 12 K lower pouring temperature. Recovery of Mg in ladle type 2 and with FeSi cover material (C) is higher by 4% despite even higher pouring temperature of 9 K due to content of Ca. Number of nodules and nodularity was highest in ladle type 2 and FeSi cover material due to calmer reaction with Mg and content of Ba which influences as inoculant. Reduced nodule count and nodularity was detected with process A linked to violent reaction with magnesium and with that the decrease of nucleus sites.

Higher graphitization factor is preferred which results in higher nodule count. Table 3 presents thermal analysis where we can see that GRF 1 is higher with FeSi cover which results in higher nodule count that is confirmed with metallographic analysis.

The recalescence which indicates the initial time of growth of eutectic is lowest in treatment type C because of presence of Ba in FeSi cover. Results from table 3 show

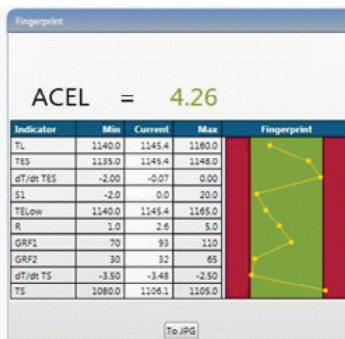
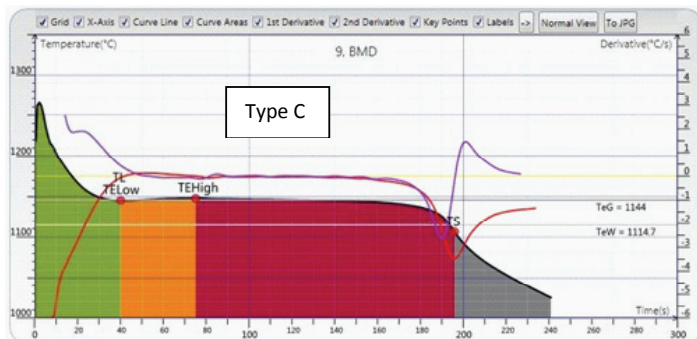
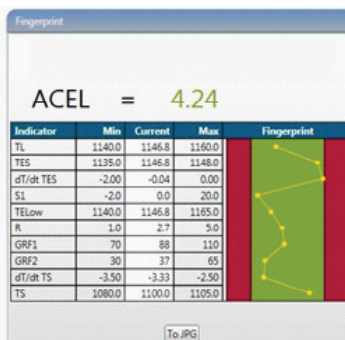
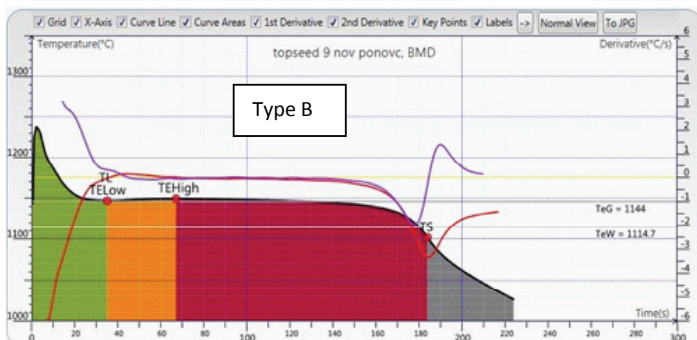
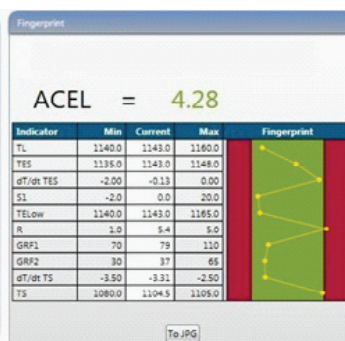
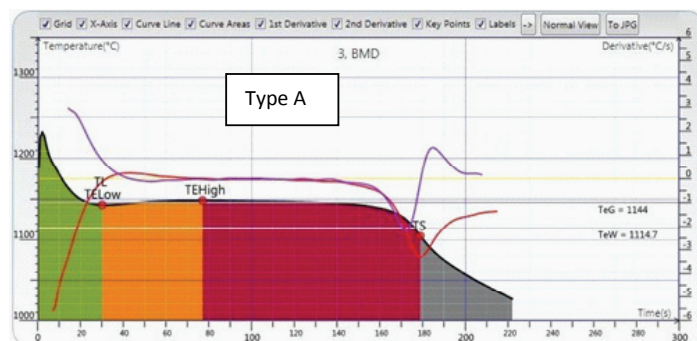
Razpredelnica 2. Povprečne vrednosti izkoristka Mg, temperature litja, število kroglic in krogličavost

Table 2. Average values of recovery of Mg, pouring temperature, nodule count and nodularity

poskusi in kritni material / Type of ladle and cover material	končni Mg (mas. [%]) / Final Mg (mass fraction [%])	izkoristek Mg / Recovery of Mg [%]	T litja / T pouring [°C]	Število kroglic [število/mm ²] / nodule count [number/mm ²]	nodularnost / nodularity [%]
Povprečje poskusov A / Average type A	0,037	62	1361	230	89
Povprečje poskusov B / Average type B	0,036	63	1373	306	94
Povprečje poskusov C / Average type C	0,037	67	1382	335	96

Razpredelnica 3. Termična analiza: TElow, rekalescenca in GRF 1**Table 3.** Thermal analysis: TElow, Recalescence and GRF 1

Vrsta obdelave in kritnega materiala / Type of ladle and cover material	TElow [°C]	R [°C]	GRF_1
Povprečje, vrsta A / Average type A	1141	4,7	71,1
Povprečje, vrsta B / Average type B	1144	4,3	79,6
Povprečje, vrsta C / Average type C	1144	2,6	85,9

**Slika 1.** Krivulje termične analize za vse tri vrste obdelav**Figure 1.** Experimental thermal curves of all three types of treatments

je bila reakcija burnejša. Višja podhladitev pomeni časovno zamaknjen začetek evtektične reakcije in večji delež izločenega avstenita. Pri prvem tipu lonca s kritnim jeklom je bil GRF1 najnižji in pri drugem tipu lonca s kritno plastjo FeSi najvišji, kar ima za posledico število kroglic. Pri obdelavi (A) je bilo povprečno 230 kroglic/mm² in pri obdelavi C 335 kroglic/mm². Rezultate termične analize kaže slika 1 za vse tri vrste obdelav.

Razpredelnica 4 kaže povprečne izmerjene čase trajanja izpuščanja taline v lonec, začetek in konec litja v kokile. Časi izpuščanja taline so bili pri poskusih A daljši zaradi zgodnejšega začetka reakcije in burnejše reakcije z magnezijem, kar je imelo za posledico manj preostalega magnezija, čeprav je bil čas litja najkrajši. Višina taline naj bo čim višja ob začetku poteka reakcije z Mg. Kljub hitrejšemu izpuščanju taline pri obdelavi B, ko je po litju začela potekati reakcija po vsem loncu, je bil izkoristek Mg manjši kot pri obdelavi C, pri kateri je bila reakcija mirnejša zaradi prisotnosti Ca v kritni plasti iz FeSi.

4 Sklepi

- Izkoristek Mg v povezavi s temperaturo litja je bil pri obdelavi:
 - o obdelava A: Tlitja = 1361°C 62%,

lower eutectic temperature T_{elow} of 3K in treatment type A as a result of more addition of master alloy and lower height of the melt before the start of the reaction therefore more violent reaction. Higher undercooling means delayed eutectic start and with that more austenite precipitation. First type of ladle with steel cover has the lowest GRF 1 and the second type of ladle with FeSi cover has the highest which results in nodule count, type A has average 230 nod/mm² and type C has 335 nod/mm². The results of thermal analysis are presented in Fig.1. of all three type of treatments done at this experiment.

In table 4 we can see average measured times of tapping of the melt into the ladle, start of pouring into the moulds and the finish times of pouring. Tapping time of experiment type A is longer due to an earlier start of the reaction and violent reaction of magnesium which results in lower residual magnesium although the pouring time was the shortest. Height of the melt is better to be as high as possible at the beginning of start of reaction with Mg. In spite of faster tapping time done with treatment type B where the reaction started after pouring all of the melt into the treatment ladle, the recovery of magnesium is lower than with treatment type C where the reaction was calmer because of content of Ca in FeSi cover material.

Razpredelnica 4. Trajanje izpuščanja taline, začetek in konec litja

Table 4. Tapping time, Start of pouring, Finish time

Obdelava in kritni material / Type of ladle and cover material	Trajanje izpuščanja taline / Tapping time [min/s]	Začetek litja / Start of pouring [min/s]	Konec litja / Finish of pouring [min/s]
Povprečje, obdelava A / Average type A	1:14	3:41	6:00
Povprečje, obdelava B / Average type B	0:50	4:34	7:23
Povprečje, obdelava C / Average type C	0:56	4:16	7:28

- o obdelava B: Tlitja = 1373°C 63%
- o obdelava C: Tlitja = 1382°C 67%.
- Pri drugem tipu konstrukcije lonca sta manjša površina žepa in večja višina kritne plasti povzročila zakasnitev reakcije z Mg.
- Izkoristek Mg 67 % je bil najvišji pri obdelavi C zaradi Ca v kritni plasti iz FeSi, čeprav je bila takrat temperatura izpuščene taline najvišja. Boljši izkoristek Mg smo tudi opazili pri obdelavi B zaradi naknadne reakcije po izpustu taline, kar je bila posledica večje višine taline nad reakcijsko komoro.
- Število kroglic 230 kroglic/mm² je bilo najmanjše pri obdelavi A zaradi vpliva burne reakcije z Mg. Najvišjo vrednost 335 kroglic/mm² smo ugotovili pri metalografski analizi taline po obdelavi C, kjer je bil kritni material FeSi, kar je potrdila še termična analiza, pri kateri je imel GRF 1 najvišjo vrednost 85,9 zaradi Ba, ki je vplival kot modifikator. To je povzročilo višjo krogličavost in manjše kroglice.
- Višji TE_{low}, ki je bil 1144 °C, smo opazili pri obdelavah B in C, kar je imelo za posledico zmanjšano nevarnost za makro krčenje.

4 Conclusions

- Recovery of Mg in conjunction with pouring temperature was with treatment:
 - o type A T_{pouring} = 1361°C 62%,
 - o type B T_{pouring} = 1373°C 63%
 - o type C T_{pouring} = 1382°C 67%.
- At second design of ladle smaller surface of the pocket and higher height of the cover material delays the reaction with Mg.
- Yield of Mg 67% is highest with treatment type C as a result of content of Ca in FeSi cover although the highest tapping temperature. Better recovery of Mg is also seen with treatment type B due to subsequent reaction after tapping of the melt which is the result of higher melt height above reaction chamber.
- Nodule count 230 nod/mm² is lowest in treatment type A as influence of violent reaction with Mg. Highest nodule 335 nod/mm² count was observed at metallographic analysis with treatment type C with FeSi cover material which was confirmed with thermo analysis where factor GRF 1 was the highest at 85,9 due to content of Ba which influences as inoculant. That results in higher nodularity and smaller nodules.
- Higher TE_{low} 1144°C was observed with treatments type B and C which results in decreasing the risk of macro shrinkage.

5 Viri / References

- [1] Ghosh, S., 2008, Production aspects of spheroidal graphite iron, CAFP Special Metal casting and Forming Processes, pp. 38-51
- [2] Skaland, T., Ductile iron production – A comparison of alternative treatment methods, Elkem ASA, Norway
- [3] Cobanne, Pierre-Marie, July 2008, The Efficiency of your Magnesium Treatment Varies: Check the following points!, Rio Tinto Iron & Titanium,
- [4] R., Elliott, Cast Iron Technology, 1988, London, UK Betterworths
- [5] Goldrich, George M., 1992, Ductile Iron Handbook, pp 233
- [6] Huerta, E., Popovski, V., 2005, A Study of Hold Time, Fade Effects and Microstructure in Ductile Iron, Proceedings of the AFS Cast Iron Inoculation Conference, Illinois , pp 43-55
- [7] Skaland, T., 1992, "Fading of Inoculant in Cast Iron", Casting Congress, Czechoslovakia

Karakterizacija modificirane indefinitne litine za izdelavo delovne plasti valjev

Characterization of a modified indefinite chill cast iron working layer in rolls

Povzetek

Pri proizvodnji valjev je vedno prisotna potreba po razvoju obrabno odpornejših zlitin ter optimizaciji že obstoječih. Med procesom izdelave litih valjev le-ti niso podvrženi procesom termo-mehanske obdelave, zato je ugodna lita struktura ključnega pomena za doseganje želenih končnih lastnosti delovnih plasti valjev. Dodajanje heterogenih nukleacijskih kali v talino oz. modificiranje je pogosta praksa za doseganje boljših mehanskih lastnosti zlitin. Drobnozrnate visoko taljive ferozlitine ustrezajo pogoju za uspešno modifikacijo taline ter posledično udrobnitev matrice.

V raziskovalnem delu je predstavljen učinek modificiranja taline s ferovanadijem in ferovolframom na mikrostrukturo indefinitno strjene litine, ki je razširjena pri izdelavi delovnih plasti valjev za končna ogrođja. Modifikator je bil dodan v obliki prahu v curek med izpustom iz peči. Modificirana talina je bila nato centrifugalno ulita v predgreto cilindrično jekleno kokilo. S plašča valja so bili odvzeti vzorci za metalografsko preiskavo in karakterizacijo faz. Opravljena je bila preiskava z optičnim mikroskopom z oceno deleža posameznih faz ter z vrstičnim elektronskim mikroskopom opremljenim z EDS analizatorjem.

Izmerjena je bila trdota delovne plasti, ki je pokazala do 5% višje trdote od primerljivih kvalitiet brez modifikacije. S predstavljeno modifikacijo je bila dosežena raven trdot primerljiva z višje legiranimi indefinitnimi litinami, hkrati pa se delež cementita ni povečal. EDS analiza je pokazala prisotnost precipitativ na osnovi vanadija ter volframa, ki v primerljivih kvalitetah brez modifikacije niso bili dokazani.

Ključne besede: indefinitna litina, modifikacija, ferozlitine, abrazijska obrabna odpornost

Summary

In roll production there is an ever present need for new alloy development and optimization of alloys already in use. The goal is to improve wear resistance while maintaining the level of ductility and other mechanical properties. During the production of cast rolls, the rolls are not subjected to thermo-mechanical processing. Thus an optimal as-cast microstructure is crucial. Addition of heterogeneous nucleation sites into the melt (modification) is a widely used, cost efficient method of improving as-cast mechanical properties of alloys. Powder ferroalloys with a high melting point are an excellent candidate for modification additions. The effect of melt modification using ferrovanadium and ferrotungsten on as-cast microstructure of indefinite cast iron has been studied. Modifying agents were added in powder form before casting. The modified melt was centrifugally cast in a preheated cylindrical steel mould. Samples were taken directly from the working layer of the roll for

metallographic investigation and phase characterization using optical and scanning electron microscope (SEM) equipped with energy dispersive spectroscopy (EDS).

The hardness of the modified working layer showed up to 5% higher values compared to non-modified alloys of similar grade. In fact, the hardness values of the modified indefinite alloy reached those of its more high-alloyed counterparts, while maintaining a lower percentage of cementite. EDS analysis showed the presence of V and W-based precipitates, which have not been confirmed in the non-modified alloys.

Key words: indefinite cast iron, melt modification, ferroalloys, abrasive wear resistance

1 Uvod

Modifikacija taline je razširjena in splošno uporabljana metoda v livarski industriji, namenjena izboljšanju mehanskih lastnosti. Po nukleacijski teoriji, kot sta jo predstavila Volmer in Webber [1], je prosta Gibbsova energija potrebna za homogeno nukleacijo definirana kot:

$$\Delta G_{hom}^* = \frac{16\pi\gamma_{sl}^3}{3\Delta G_v^2}, \quad (1)$$

kjer je γ_{sl} površinska energija na stiku trdno-tekoče in ΔG_v gonilna sila strjevanja. V primeru, ko so talini dodana heterogena nukleacijska mesta (HNM), se enačba 1 spremeni:

$$\Delta G_{het}^* = \frac{16\pi\gamma_{sl}^3}{3\Delta G_v^2} f(\theta), \quad (2)$$

kjer $f(\theta)$ predstavlja funkcijo kota omočenja θ med kaljo in preostalo talino. Vrednost funkcije $f(\theta)$ je vedno ≤ 1 , torej se Gibbsova prosta energija zmanjša v primerjavi s homogeno nukleacijo (En. 1) [1], kar pomeni, da so HNM energetsko ugodnejša za stabilno nukleacijo.

Cilj modifikacije taline z visoko taljivimi ferozlitinami, ki se običajno uporabljajo pri legiranju, je izboljšati abrazijsko obrabno odpornost ter druge mehanske lastnosti z vnosom HNM. Inkubacijski čas (t.j. čas, ki je potreben za raztapljanje) visoko taljivih ferozlitin je daljši kot pri ferozlitinah z

1 Introduction

Melt modification is a standard procedure used in foundries for material improvement. Based on the nucleation theory proposed by Volmer and Webber [1], the free energy barrier, ΔG_{hom}^* , for homogeneous nucleation is given as:

$$\Delta G_{hom}^* = \frac{16\pi\gamma_{sl}^3}{3\Delta G_v^2}, \quad (1)$$

where γ_{sl} is the surface energy of solid-liquid interface and ΔG_v is the driving force for solidification. Where heterogeneous nucleation sites (HNS) are implemented, the free energy barrier, ΔG_{het}^* , takes the form of:

$$\Delta G_{het}^* = \frac{16\pi\gamma_{sl}^3}{3\Delta G_v^2} f(\theta), \quad (2)$$

where $f(\theta)$ is a function of the contact angle θ between the embryo and the surrounding liquid. As the function $f(\theta)$ in Eq. 2 is always ≤ 1 , the energy barrier for stable atom deposition lowers compared to homogeneous nucleation (Eq. 1) [1].

This makes HNS energetically favourable for the start of solidification. As HNS implemented into the metal melt are often equally dispersed throughout the volume of the melt, the effect of the modification is grain refinement and improvement of abrasive wear resistance, ductility and other mechanical properties.

nižjim tališčem (npr. ferosilicij, feromangan ipd). Kumar in Chandra [2] sta predstavila model raztapljanja visoko taljivih ferozlitin v talini jekla ali železove litine. Ob vnosu modifikatorja v talino se okoli delca ustvari trden plašč. Plašč se kmalu spet raztali, kar izpostavi jedro modifikatorja talini. Kinetika raztapljanja visoko taljivega modifikatorja temelji na prenosu mase (difuzija) in ne na prenosu toplote (raztapljanje). Ker je prenos mase za velikostni razred počasnejši od prenosa toplote, se inkubacijski čas temu ustrezno podaljša v primerjavi z nizko taljivimi modifikatorji.

V primeru, ko je čas med modifikacijo in ulivanjem krajši od inkubacijskega časa, se v talino vnesejo HNM v kolikor imajo leta ustrezne fizikalne lastnosti (npr. podobne mrežne parametre, majhen kota omočenja θ , itd.). V kolikor temu pogoju ni zadoščeno, delci ne delujejo kot HNM in ostanejo ujeti v materialu. Wragg et al. [3] je v svojem delu talini dodajal visoko taljive (Ti,W)C delce, ki so ostali enakomerno razporejeni tako znotraj matrice, kot v karbidih. Natezna trdnost R_m indefinitne litine z dodatkom omenjenih karbidov je dosegla do 50% višje vrednosti od nemodificiranih litin [3].

Po drugi strani, če je čas med modifikacijo in ulivanjem le nekoliko daljši od inkubacijskega časa modifikatorja, v talini ostanejo mesta z lokalno nehomogeno kemijsko sestavo. Na teh mestih je omogočen nastanek drobnih karbidnih faz, v kolikor je delež karbidotvornih elementov (V ali W) dovolj visok. Tako nastale karbidne faze so predvidoma drobnejše in enakomerno razporejene, kar bi izboljšalo trdoto in obrabno odpornost materiala.

2 Eksperimentalna metodologija

Talini sta bila kot modifikatorja dodana ferovanadij (FeV) in ferovolfram (FeW).

By modifying the melt with high-melting ferroalloys that are mainly used during the process of alloying, the goal was to improve abrasive wear resistance of the metal through the addition of HNS. The dissolution time of high-melting ferroalloys is longer than with low-melting ferroalloys such as ferrosilicon, ferromanganese etc. The model proposed by Kumar and Chandra [2] acknowledges a different path in the dissolution of high-melting ferroalloys in a cast iron or steel bath. Immediately after immersion a metal shell forms around the modifier. After the shell has melted away the modifier interior is exposed to the melt. The solution kinetics of a high-melting modifier is governed by mass-transfer through the liquid-solid boundary layer rather than by heat-transfer kinetics. As mass-transfer kinetics is one order of magnitude slower than heat-transfer kinetics, dissolution time is sufficiently prolonged in comparison to low-melting modifiers.

In the case when modification to casting time is shorter than the dissolution time of the modifier, dispersed HNS are left within the melt if the modifying agent chosen has the appropriate physical properties (e.g. similar lattice parameters, small value of θ , etc.) [1]. However, if the modifying agent does not act as a HNS, undissolved modifier particles could remain trapped in the solidified metal matrix. The work of Wragg et al. [3] suggests that the addition of high-melting (Ti,W)C particles indeed resulted in said particles being uniformly distributed within the matrix as well as in the transformation carbides. The ultimate tensile strength R_m of an indefinite chill cast iron with the addition of said carbide particles had increased up to approx. 50% [3].

On the other hand, when modification to casting time is just slightly longer than the modifier dissolution time, localized sites of

Delež visoko taljivega elementa v ferozlitini je znašal 76,5 mas.% za V in 76,9 mas.% za W. Dodana sta bila v obliki prahu z granulacijo od 1 do 5 mm.

Iz jeklenih odpadkov, krožnega materiala, grodlja, ferozlitin in elektrolitsko čistega Ni je bila pripravljena indefinitna litina. Modifikator je bil dodan v curek med izpustom iz peči v vmesno ponovco, da je bila dosežena optimalna razporejenost delcev znotraj taline. Modificirana talina je bila horizontalno centrifugalno ulita v jekleno kokilo. Izvedena je bila preliminarne preprosta termična analiza tako pred kot po modifikaciji. Ko je bil plašč strjen, se je centrifugalni stroj zaustavil, kokilo pa se je dvignilo v pokončen položaj. V votli plašč je bilo gravitacijsko ulito jedro iz sive litine s kroglastim grafitom, ki se je spojilo s plaščem v kompozitni valj.

Z zunanje delovne plasti so bili odvzeti vzorci za metalografsko analizo. Vzorci so bili pripravljeni po standardnem metalografskem postopku brušenja in poliranja ter jedkani v 2% Nitalu za identifikacijo mikrostrukture. Metalografska analiza je bila opravljena z optičnim mikroskopom Olympus BX51M s kamero Olympus DP-12. Ocena mikrostrukture je bila opravljena s programom JMicroVision v.1.2.7. Vzorci so bili analizirani z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) JEOL JSM-6390LV, mikrokemijska sestava konstituentov pa je bila določena z INCA Oxford 7582 energijsko disperzivnim spektrometrom (EDS). Trdota vzorcev je bila izmerjena na Emco Rockwell merilniku trdote (EN ISO 6508 [4], ASTM E-18 [5]).

Abrazijska obrabna odpornost je bila testirana s po meri narejenim tribometrom po metodi »valjček-plošča«. Naprava je bila načrtovana in izdelana po standardu ASTM G99-04 [6]. Po standardu so bili prav tako pripravljeni vzorci ter sama izvedba meritve. Površino plošče je predstavljal 120

inhomogeneities in chemical composition are ensured throughout the melt. This would enable the formation of small carbide phases where the composition of the carbide-forming elements, such as V or W, is sufficient. The carbide phases formed in such a manner would likely be small and evenly dispersed, thus enhancing the hardness and wear resistance of the material.

2 Experimental Methodology

Ferrovanadium (FeV) and ferrotungsten (FeW) powder alloys were used as modifying agents with the composition of the higher-melting element of 76.5% and 76.9 % (mass fraction), respectively. The powders were ground to a size distribution between 1 and 5 mm in diameter.

An indefinite chill cast iron alloy was prepared in an induction furnace from steel and cast iron scrap, pig iron, ferroalloys and electrolytically pure Ni. The modifying agents were added to the melt during the discharge of the melt into the intermediate ladle so that maximal dispersion of the agents throughout the volume of the melt was achieved. The modified melt was centrifugally cast in a horizontal steel mould to form a hollow cylinder. A preliminary simple thermal analysis of the material was conducted before and after modification (results not shown). After the working layer has completely solidified, the mould on the centrifugal casting machine was stopped and erected into a vertical position then a ductile cast iron core was statically cast into the working layer cylinder to form a composite roll.

Samples were taken from the working layer for metallographic analysis. The samples were prepared with a standard metallographic procedure of grinding and

μm brusni papir iz SiC. Hitrost preizkusa je znašala 0,25 m/s z 1000 m drsne poti in 10 N obremenitve. Test je bil opravljen na zraku ($T = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\sim 55\%$ relativna vlažnost zraka) brez uporabe lubrikanta (hlajenje s curkom zraka). Testirani vzorci so bili predhodno toplotno obdelani.

Delovni plašč modificiran s FeV in FeW (oznaka M-CIN) je bil primerjan s tremi primerljivimi indefinitnimi litinami, ki se uporabljajo za izdelavo delovnih plasti valjev; prva nemodificirana (oznaka CIN), druga nizko legirana z V do 0,5 mas.% (oznaka CIND) in tretja visoko legirana z V do 1,5 mas.% (oznaka CINA). Kemijske sestave zlitin so podane v Tabeli 1. Način priprave in testiranja je bil enak za vse štiri kvalitete in je opisan zgoraj.

3 Rezultati in diskusija

Kemijska sestava analiziranih indefinitnih litin je predstavljena v Tabeli 1.

Slika 1 prikazuje primerjavo mikrostruktur zlitin M-CIN in CIN.

Mikrostrukтури obeh vzorcev sestavljajo: primarni transformirani avstenitni dendriti, prosti grafit in cementit, tako sekundarni kot v obliki ledeburita. V primeru M-CIN je na pogled opazno večje število manjših evtektskih celic v meddendritnem prostoru. Usmerjenost ledeburita je v primerjanih zlitinah različna, kar je povezano z udrobnitvijo strukture in kinetiko evtektskega strjevanja. Po ugotovitvah v literaturi, je

polishing and etched in 2% Nital to reveal the microstructure. Optical microscopy was conducted using an Olympus BX51M optical microscope equipped with an Olympus DP-12 camera. The microstructure was evaluated using JMicroVision v.1.2.7 software. Micro chemical analysis of the phase constituents was done with a JEOL JSM-6390LV scanning electron microscope (SEM) equipped with an INCA Oxford 7582 energy dispersive spectrometer (EDS). The hardness of the samples was measured using an Emco test Rockwell hardness tester (EN ISO 6508 [4], ASTM E-18 [5]).

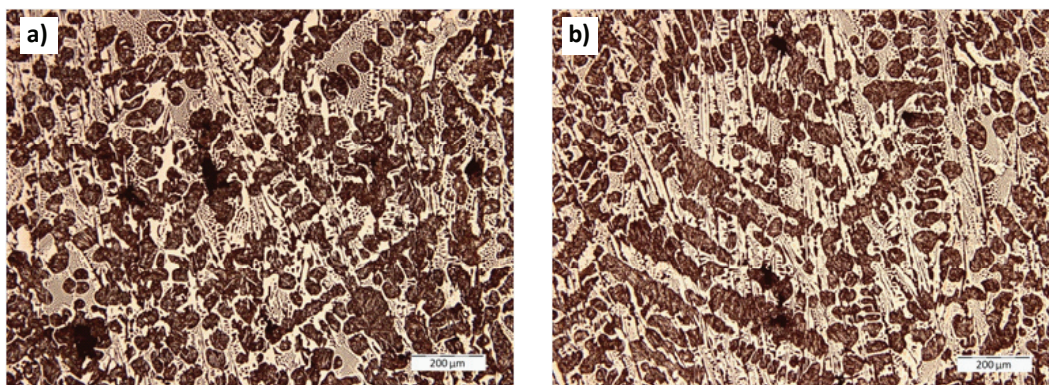
The resistance to abrasive wear was tested using a custom made pin-on-disk tribometer. The design of the machine as well as sample preparation and the measurement itself was done according to ASTM G99-04 standard [6]. The disk was comprised of a 120 μm SiC grinding paper. The testing speed was 0,25 m/s with a 1000 m sliding distance and a testing load of 10 N. The test was conducted under normal atmosphere ($T = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\sim 55\%$ relative air humidity) without the use of a lubricant (cooled with pressurized air). The test was conducted on heat treated specimens.

The working layer modified with FeV and FeW (labelled M-CIN) was compared to three similar indefinite chill cast irons already used for roll working layers; one without modification (labelled CIN), the second micro-alloyed with V in the amount of 0,5% mass fraction (labelled CIND) and

Tabela 1. Nominalna kemijska sestava analiziranih indefinitnih litin (v mas.%)

Table 1. Nominal chemical composition of the analysed indefinite chill alloys (mass fraction in %).

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Fe
CIN	3,1-3,2	0,8-0,9	0,6-0,8	1,6-1,7	4,2-4,3	0,3	0,03	0,01	Bal.
M-CIN	3,1-3,2	0,8-0,9	0,6-0,8	1,6-1,7	4,2-4,3	0,3	0,17	0,08	Bal.
CIND	3,1-3,2	0,8-0,9	0,6-0,8	1,6-1,7	4,2-4,3	0,3	0,20-0,50	0,01	Bal.
CINA	3,1-3,2	1,1-1,3	0,9-1,0	1,6-1,7	4,2-4,3	0,3	1,50-1,60	0,01	Bal.



Slika 1. Mikrostruktura zlitin a) M-CIN in b) CIN v litem stanju

Figure 1. As-cast metallographic image of: a) M-CIN alloy and b) CIN alloy

morfologija evtektika med postopkom strjevanja ali ploščate oblike, ali v obliki zvezne cementitne faze s posameznimi otočki avstenita, kar je neposredno povezano s stabilnostjo fronte strjevanja [7]. Sklepamo lahko, da je dodatek HNM povzročil začetek hkratnega strjevanja večjega števila avstenitnih dendritov iz taline. Večja gostota avstenitnih dendritov je posledično zmanjšala razpoložljiv meddendritni prostor, ki je na voljo za strjevanje ledeburita. Na

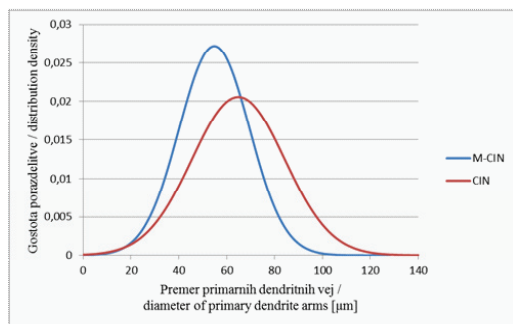
the third high-alloyed with V up to 1,5% (labelled CINA). Chemical compositions of the analysed alloys are given in Table 1. The method of production and testing method was the same as described for all presented alloys.

3 Results and Discussion

Chemical compositions of the analysed alloys are presented in Table 1.

Figure 1 represents comparative metallographic images of M-CIN and CIN alloys.

Both of the comparative as-cast micrographs (Figure 1) show a similar microstructure composed of primary transformed austenite dendrites, free graphite flakes and cementite, both secondary and in the form of ledeburite. In the case of M-CIN however, one can notice a larger number of smaller eutectic cells extending into the interdendritic area. The orientation of eutectic cells between the compared qualities is different. This is related to structure refinement and kinetics of eutectic solidification. According to



Slika 2. Normalna porazdelitev premerov primarnih dendritnih vej v zlitinah M-CIN in CIN

Figure 2. Normal distribution of primary dendrite arm diameter measurements done on a sample of M-CIN and CIN

ta način je bila spremenjena usmeritev strjevanja ledeburita.

Meritve, ki so bile opravljene na transformiranih avstenitnih dendritih, dodatno potrjujejo tezo o udrobnitvi strukture. Na Sliki 2 so predstavljeni rezultati meritev premerov vej primarnih dendritov. Rezultati so predstavljeni v obliki normalne (Gaussove) porazdelitve z upoštevano statistično napako.

Porazdelitvena diagrama na Sliki 2 kažeta, da sta tako povprečen premer dendritnih vej kot raztros okoli povprečne vrednosti (statistična standardna deviacija) v primeru M-CIN manjša kot pri nemodificirani CIN. To nakazuje na bolj enakomerno mikrostrukturo, ki je posledica udrobnitve strukture.

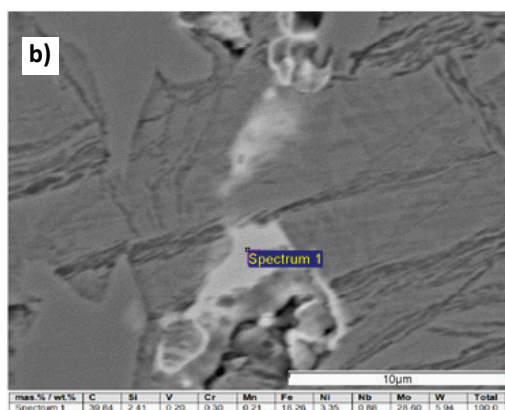
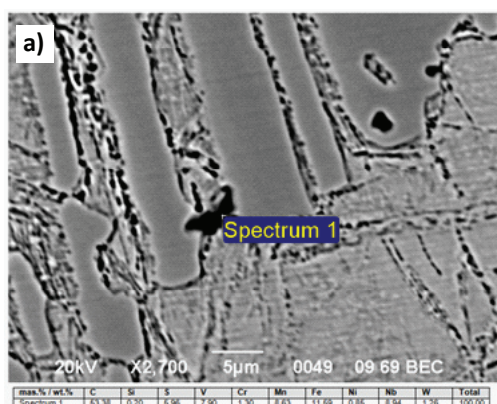
Rezultati SEM analize modificirane M-CIN zlitine so prikazani na Sliki 3.

EDS analiza konstituenta na Sliki 3a potrjuje povišan delež elementov V in Nb. Prav tako je analiza potrdila visok delež Mo in W v svetlem konstituentu na Sliki 3b. Obe karbidni fazi sta se pojavili znotraj matrice. Ker tako Nb kot Mo v osnovni

observations, during eutectic solidification the morphology changes either into plate eutectic or a continuous cementite phase with dispersed austenite inclusions depending on the stability of the growth front [7]. We can assume that the addition of HNS has refined the structure in such a way, that multiple dendrites of austenite started to grow from the liquid almost simultaneously. This in turn minimized the space available in the interdendritic regions where ledeburite starts to solidify thus changing the colonies' orientation.

Another result that supports the fact the structure was refined is found in the measurements done on the transformed austenite dendrites. The results of the measured diameters of primary dendrite arms are scattered around an average value and are presented in Figure 2 in a normal distribution.

The results shown in Figure 2 indicate that the average dendrite arm diameter as well as the scatter ratio (statistic standard deviation) is slightly smaller in the case of modified M-CIN. This confirms a more

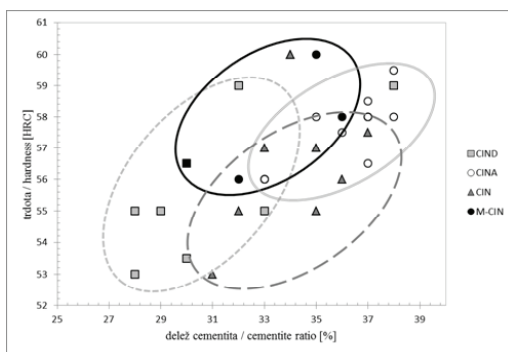


Slika 3. Mikrostrukturi M-CIN zlitine; temen (a) in svetel (b) konstituent prikazujeta fazo na osnovi modifikatorja

Figure 3. SEM micrograph of the M-CIN alloy; the dark (a) and light (b) constituents show a modifier-based phase

zlitini nastopata le v sledovih, prav tako pa nista prisotna v FeV in FeW, visok izmerjen delež v konstituentih nakazuje na difuzijski proces, ki se je zgodil pred oz. med strjevanjem. S tem, ko je delež V oz. W v okolici modifikatorja narasel sta z Nb oz. Mo iz okolice tvorila karbidni fazi. Rezultati raziskav [8, 9] kažejo, da ima Nb zelo visoko afiniteto do C in pogosto tvori MC ($M = Nb, V$) karbidno fazo. Tako lahko z dodajanjem visoko taljivih ferozlitin v obliki modifikacije taline dosežemo izločevalno utrjevanje matrice. SEM preiskave nemodificirane CIN kvalitete do objave tega raziskovalnega dela niso pokazale prisotnosti drugih karbidnih faz z izjemo cementita. Po drugi strani pa so rezultati pokazali, da imata tako nizko legirana CIND, kot visoko legirana CINA kvaliteta prisotne V karbide.

Slika 4 prikazuje korelacijo med izmerjeno trdoto in deležem cementita v preiskovanih zlitinah.



Slika 4. Diagram trdote (HRC) v odvisnosti od deleža cementita za analizirane zlitine

Figure 4. Measured hardness (HRC) in relation to cementite ratio of the tested alloys

Območja, ki označujejo posamezen niz meritev, prikazujejo povprečno območje pojavnosti za posamezno kvaliteto. Rezultati na Sliki 4 kažejo, da je trdota zlitine M-CIN

uniform microstructure which is a direct result of structure refinement.

The results of SEM analysis done on the M-CIN alloy are shown in Figure 3.

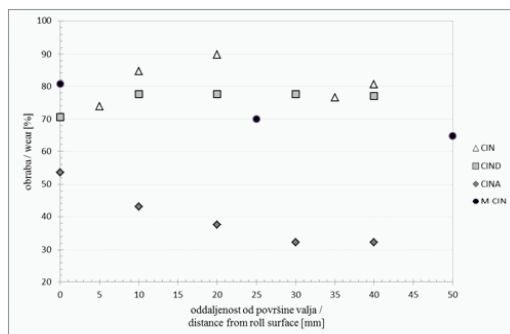
EDS analysis done on the constituent shown in Figure 3a indicate a higher presence of elements V and Nb. EDS results also show a high value of elements Mo and W in the light constituent shown in Figure 3b. Both of the carbide phases are present inside the transformed austenitic matrix. Since neither Nb nor Mo were additionally alloyed into the metal or were present in the modifier, both appeared as trace elements. The high percentage measured inside the phase constituents suggests a diffusional process that occurred before or during solidification. As the value of V and W around the added modifier agents in the melt increased sufficiently, the surrounding residual Nb and Mo interacted to form completely separated carbides during solidification. Nb has been known to have a high affinity for C and form composite Nb-V based MC carbides [8, 9]. This indicates that the method of adding a high-melting ferroalloy as a modifier can result in precipitation hardening of the matrix. The SEM investigations conducted thus far on non-modified CIN quality had not proven the existence of any carbide phases other than cementite. However this is not the case with micro-alloyed CIND and high-alloyed CINA; both qualities were proven to have V-bearing carbide phases.

Figure 4 represents a correlation between the hardness and the cementite ratio of the tested alloys.

The circles around each set of measurements represent an averaged area of occurrence. The results show that the hardness of M-CIN is up to 5% higher than the CIN and CIND alloys and is comparable to that of the high-alloyed CINA quality. However the ratio of cementite is lower

za približno 5% višja kot pri zlitinah CIN in CIND ter je primerljiva s kvaliteto CINA. V primerjavi s slednjo je delež cementita pri zlitini M-CIN nižji, kar nakazuje na izboljšanje mehanskih lastnosti v smislu duktilnosti, odpornosti na toplotne razpoke in korozijske odpornosti (predmet nadaljnjih preiskav).

Trdota ni edino merilo za izboljšanje mehanskih lastnosti delovne plasti valja. Ena najpreprostejših in najpogostejše uporabljenih metod je abrazijsko obrabni test. Rezultati le-tega so prikazani na Sliki 5.



Slika 5. Rezultati abrazijsko obrabnega testa »valjček-plošča« merjenega v izgubi volumna (podano v %)

Figure 5. Results of the pin-on-disk abrasive wear test measured in volume loss (given in %)

S Slike 5 je razvidno, da je abrazijsko najbolj odporna visoko legirana zlitina CINA, kar pomeni, da ima izmed testiranih zlitin najmanjšo izgubo materiala. Odpornost na abrazijsko obrabo z oddaljenostjo od površine še naraste. Ostale zlitine, vključno z modificirano M-CIN, imajo podobno obrabno odpornost. Meritve opravljene na zlitini CIN so močnejše raztresene v odvisnosti od globine delovne plasti medtem, ko so meritve za CIND kvaliteto razmeroma enakomerne. Modificirana M-CIN ima

indicating better mechanical properties in terms of ductility, hot cracking and corrosion resistance which remain the subject of further investigation.

Hardness is not the only reference for roll material improvement. One of most commonly used and simple ways of testing working layer material is through the well accepted abrasive wear test, the results of which are presented in Figure 5.

As is shown in Figure 5, the high-alloyed CINA quality is most resistant to abrasive wear meaning it has the least amount of volume loss. Its resistance increases throughout the depth of the working layer. All of the other qualities - modified M-CIN included, - have shown a similar resistance to abrasive wear. However, as the measurements for CIN are rather scattered, CIND remained mostly constant throughout the depth of the layer. The modified M-CIN shows somewhat less resistance to wear on the surface, but this changes rather rapidly. At approximately 10 mm from the roll surface M-CIN proves to be superior both to CIN and CIND with a steady trend of increasing wear resistance.

4 Conclusions

The benefits of melt modification using high-melting ferroalloys were studied in the presented paper. With the use of different testing methods the effect of HNS addition into an indefinite chill cast iron was proven to be structure refinement, higher hardness per cementite ratio and a somewhat better abrasive wear resistance in comparison to non-modified CIN and micro-alloyed CIND qualities. The high-alloyed CINA remained the top abrasive-wear resistant quality among the analysed group.

According to SEM and EDS analysis, the method of melt modification during the

nekoliko nižjo obrabno obstojnost tik ob površini. Pri globini delovne plasti pribl. 10 mm pa pokaže boljšo obrabno odpornost kot CIN in CIND zlitini z nakazanim trendom naraščajoče odpornosti.

4 Zaključki

V raziskovalnem delu so predstavljeni učinki modifikacije taline z visoko taljivimi ferozlitinami. Z uporabo različnih testnih metod se je pokazal učinek dodajanja HNM indefinitni litini kot udrobnitev strukture, višja trdota na dosežen delež cementita ter nekoliko izboljšana obrabna odpornost v primerjavi z nemodificiranim CIN in nizko legiranim CIND. Izmed analiziranih kvalitet ima najboljšo abrazijsko odpornost visoko legiran CINA.

SEM in EDS analizi sta pokazali, da modifikacija taline v curek med izpustom v ponovco spodbudi nastajanje utrjevalnih karbidnih faz na lokaliziranih mestih, kjer se delež visoko taljivega elementa zadostno poveča. Neraztaljenih delcev, ki bi bili ujeti v materialu, nismo potrdili.

Količina porabljenih ferozlitin med postopkom modifikacije M-CIN zlitine je od 2 do 3,5-krat nižja od količine potrebne za legiranje CIND in CINA zlitine. Cena dodanega FeV in FeW se je tako znižala do 40 % glede na trenutne cene ferozlitin [10]. V preiskanem primeru smo z modifikacijo taline dosegli nižji strošek izdelave indefinitnega valja ter hkrati enake mehanske lastnosti kot pri nizko legiranih kvalitetah. Raziskava znova potrjuje pozitivne učinke modifikacije kot stroškovno učinkovitega načina izboljšanja že obstoječih zlitin v smislu boljše operativnosti in obstojnosti.

discharge into the ladle is in favour of forming harder carbide based phases in regions rich in high-melting alloying elements instead of agent particles remaining trapped inside the matrix.

Regarding cost efficiency of melt modification, the quantity of ferroalloys needed for modification of M-CIN is up to 2 and 3,5 times lower than the quantity needed for alloying CIND and CINA qualities, respectively. The estimated price of FeV and FeW additions is thus up to 40% lower according to actual ferroalloy prices [10]. In the studied case, melt modification reduced the production cost of an indefinite chill roll while reaching the same mechanical properties as those of low-alloyed qualities. This study proves once again that the method of melt modification is indeed a cost-efficient way of improving existing alloys in terms of better performance and sustainability.

5 Viri / References

- [1] M. Volmer, A. Weber, Z. Phys. Chem., 1925, 119 277.
- [2] R. Kumar, S. Chandra, Prediction of dissolution time of gerromanganese in hot metal and steel bath, National Metallurgical Laboratory Jamshedpur, 1996, <http://eprints.nmlindia.org/5588/>, Accessed 29 Jun 2015.
- [3] D. Wragg, P.H. Hewitt, J. Nutting, Engineering Ferrous Metals and Method of making thereof, Patent nr. 5,720,830, 1998, UK.
- [4] ISO 6508-1:2015, Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 1: Test method
- [5] ASTM E18-15, Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials
- [6] ASTM G99-04, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus
- [7] M. Trepczyńska-Lent, Solidification of Ledeburite Eutectic, Archives of Foundry Engineering, Vol. 12 Special Issue, 2012, 71-74.
- [8] Z. Xipeng, K. Guojun, W. Chunjing, G. Zhaiping, Z. Wanzi, C. Xiangzhao, M. Ye, Effect of ferrovanadium inoculation on microstructure and properties of high speed steel, Journal of China foundry, Vol.2, 2008, 95-98.
- [9] M. Pellizzari, Thermodynamic modeling for the alloy design of high speed steels and high chromium cast irons, Materials and Technology, Vol. 44, 2010, 121-127
- [10] Vanadium prices and vanadium price charts – InvestmentMine, <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/ferro-vanadium/>, Accessed 05 Jul 2015.

Vpliv deleža silicija na mikrostrukturo in mehanske lastnosti mednih livnih zlitin brez svinca

The effect of silicon content on microstructure and mechanical properties of lead-free brass casting alloys

Izvleček

Preiskovali smo vpliv dodatkov silicija (Si) na mehanske lastnosti mednih zlitin brez svinca. Delež silicija v mednih zlitinah je bil 2–4 mas. %. Rezultati kažejo, da so dodatki silicija občutno povečali, tako največjo natezno trdnost kot raztezek. Preiskava mikrostrukture je pokazala, da se je pri dodajanju silicija medni zlitini brez svinca udrobnilo zrno in faza $\alpha + \beta$.

Abstract

In this study, effect of silicon (Si) additions on mechanical properties of lead-free brass alloys was investigated. Content of silicon in the brass alloys varied between 2 to 4 (% mass fraction). Results showed that additions of silicon increased both ultimate tensile strength and elongation considerably. The microstructure results show that when Si is added into the lead-free brass alloy, the grain is refined, $\alpha + \beta$ phase is refined.

1 Uvod

Med je zlitina, ki jo sestavljata predvsem baker in cink. V zadnjih letih je med postala ena največ uporabljenih konstrukcijskih zlitin zaradi svoje dobre obdelovalnosti, dobre korozijske odpornosti in okrasnega videza. Duktilne medne zlitine se uporabljajo predvsem za sanitarne armature, ki se izdelujejo z litjem in iztiskanjem. Za povečanje duktilnosti in tečenja pri velikih hitrostih deformacije se je duktilnim mednim zlitinam dodajal svinec [1,2].

Zaradi široke uporabe medi pri strojni obdelavi so njeno mikrostrukturo preiskovali v številnih študijah [3-5]. Svinec se je dodajal medi kot neke vrste mazivo pri strojni obdelavi, ker je izboljševal obdelovalnost

1 Introduction

Brass is an alloy consisting primarily of copper and zinc. In recent years, brass has become one of the most used structural alloys due to its high machinability, high corrosion resistance and decorative aspects. Particularly in the production of materials for sanitary installations (casting and extrusion), ductile brass alloys need to be used. In order to obtain more ductile and better flow properties at high deformation rates during the production of ductile brass alloys, the addition of lead is carried out [1,2].

Due to the wide range of machinable brass applications, the microstructure of this alloy has been investigated in a number

mednih zlitin [6,7]. Topnost svinca v medu je zelo omejena. Svinec se porazdeli po medu v obliki delcev v mikrostrukturi. Danes se svinec smatra kot strupen element za človeško telo in ga je zato treba nadomestiti z drugimi zlitinskimi elementi [8]. Pri zadnjem razvoju obdelovalnih medu sta se uporabila Bi in Si kot alternativni za svinec v obdelovalnih medeh [3-5]. Majhni dodatki Bi spremenijo mikrostrukturo v Widmanstättenovo [9]. Vendar učinek Si na mikrostrukturo medu ni dobro poznan. Glede na nove raziskave bo treba razviti in izdelati medu brez svinca, ki se bodo v prihodnje široko uporabljale. Zato smo v tej študiji preiskovali učinke silicija v medeh brez svinca. Ta študija je del projekta za razvoj medu brez svinca.

2 Materiali in metode

2.1 Materiali

Za izdelavo medu smo dobili Cu, Zn, Pb in bloke kovinskega silicija s čistostjo 99,99 % od podjetja Ertas Metal Co., Turčija. Kemično sestavo zlitin prikazuje razpredelnica 1.

2.2 Metoda

Indukcijska peč in livni lonec za taljenje in ulivanje medu sta prikazana na sliki 1. Talilna peč s kapaciteto 2 kg taline medu je bila izzidana s šamota, njen zunanji premer

of studies [3-5]. Lead is added to brass to play the role of a lubricant in the machining process, promoting the machinability of brass alloys [6,7]. Lead has very limited solubility in brass and is distributed as particles in the microstructure. Today lead is considered to be a toxic element for the human body and so should be replaced by other alloying elements [8]. In recent developments of machinable brasses, Bi and Si have been used as alternatives to lead in free-cutting brass [3,5]. The addition of small amounts of Bi made the microstructure of Widmanstätten structures [9]. However, the effect of Si on the microstructure of brass is not well known.

In accordance with new research studies, there will be need for production and development of lead-free brass alloys, which are expected to become widespread in the near future. Therefore, in this study, the effects of the addition of silicon in lead-free brass alloys were investigated. The present study is a part of a project to develop a lead-free brass alloy.

2 Materials and Method

2.1 Materials

Cu, Zn, Pb and metallic silicon ingots with a minimum purity of 99.9% were provided by Ertas Metal Co., Turkey for the production of brass alloys. The chemical compositions of the studied alloys are shown in Table 1.

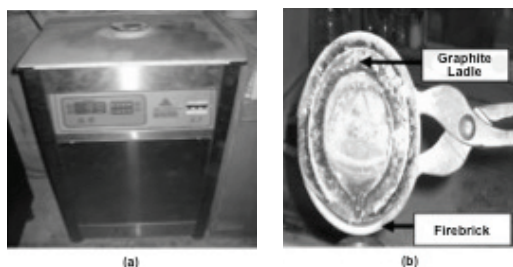
Razpredelnica 1. Kemijska sestava različnih medu

Table 1. Chemical compositions of brass alloys

Med / Alaşım	Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Si
CuZn39Pb3	58,35	38,20	2,89	0,17	0,25	0,0055
CuZn22Si2	75,59	21,13	0,01	0,01	0,08	2,13
CuZn21Si3	75,21	21,83	0,02	0,02	0,08	2,80
CuZn20Si4	76,17	19,79	0,001	0,007	0,07	3,92

je bil 150 mm. V peči je bil grafitni talilnik z notranjim premerom 110 mm. Najprej smo stalili ingote bakra, ker ima najvišje tališče med uporabljanimi kovinami. Potem smo v talilnik dodali še ostala dva elementa in talino zmešali z grafitno palico, da smo dobili homogeno mešanico.

Temperaturo kovinske taline v talilniku smo merili s termoelementom. Livna temperatura 950 °C je bila nastavljena na kontrolnem inštrumentu. Po končanem taljenju smo talilnik vzeli iz peči in staljeno kovino ulili v pripravljene kokile. Kemično sestavo ulitkov smo ugotavljali s spektrometrom Spectrolab v laboratoriju za materiale podjetja Ertas Metal Co. Zlitine so bile ulite v jeklene kokile, da bi preiskali njihovo mikrostrukturo in napravili mehanske preskuse. Trdnostne lastnosti zlitin z različnimi deleži silicija smo ugotavljali z merjenjem natezne trdnosti, napetosti tečenja, raztezka v %, trdote ter analizirali njihovo mikrostrukturo.



Slika 1. Talična enota a) talična peč, b) talilnik

Figure 1. Melting process unit a) Melting furnace, b) Casting ladle

3 Mehanski preskusi

Preskušance za natezne preskuse smo ulili v jeklene kokile. Natezne preskuse smo naredili v laboratoriju za materiale Univerze Karabuk s 5 t nateznim strojem Shimadzu pri hitrosti vpenjalne glave nateznega stroja 0,5 mm/min in pri sobni temperaturi v skladu

2.2 Method

Induction furnace and casting ladle as shown in Fig. 1, were used for melting and casting of brass alloys. Melting furnace was made of firebrick with a capacity of 2 kg melt brass alloy and an outer diameter of 150 mm. A graphite ladle with an inner diameter of 110 mm was placed in metal ladle. Melting process was begun with melting the copper ingots since it has the highest melting temperature among the used metals. After that, other alloying elements were put into ladle and the melt was stirred by the use of graphite bar to obtain a homogen mixture.

The temperature of metal melt in the ladle was measured by thermocouple and a casting temperature of 950 °C was set on the control unit. After the melting process was completed, the ladle was taken out and the liquid metal was cast in prepared moulds. The chemical analysis of the metal castings were made by Spectrolab spectrometer in Ertas Metal Co. Materials Laboratory. The alloys were cast in steel moulds in order to perform microstructural investigations and mechanical tests. Strength properties of the alloys with varying amounts of silicon were investigated by tensile, yield, elongation, hardness measurements and microstructural investigations.

3 Mechanical Test

Tensile specimens were produced by casting the liquid metal in the prepared steel moulds. Tensile tests were performed in Karabuk University Materials Laboratory by 5 tons capacity Shimadzu Tensile Test Machine in accordance with ASTM E8M-99 standard with a crosshead speed of 0.5 mm/min at room temperature. Hardness test specimens were cut from the tensile test specimens with a dimension of $\varnothing 35 \times 10$ and

s standardom ASTM E8M-99. Vzorce dimenzij $\varnothing 35 \times 10$ mm za merjenje trdote smo izrezali iz nateznih preskušancev in jih spolirali z $3\mu\text{m}$ diamantno pasto. Uporabili smo merilnik trdote po Brinellu firme Esslinger Leckar z vtiskovalno kroglico premera 2,5 mm, obremenitev je bila 62,5 N. Trdoto smo merili na petih različnih mestih, ki smo jih predhodno določili. Nato smo izračunali povprečne vrednosti.

4 Mikrostruktura

Vzorce za mikrostrukturne preiskave smo brusili z brusnimi papirji 100, 220, 340, 600, 800, 1000 in 1200 in nato polirali najprej s suspenzijo $80\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$. Ko smo jih oprali z vodo in alkoholom, smo jih ponovno polirali, tokrat z $3\mu\text{m}$ diamantno pasto. Železov(III) klorid smo uporabili za jedkanje površine obrusov. Mikrostrukturne posnetke smo naredili s svetlobnim mikroskopom Nikon Epiphot 200.

5 Rezultati in razprava

5.1 Mikrostruktura

Slika 2 kaže spremembe v mikrostrukturah zlitin Cu-Zn z dodatki Si. Jasno se vidi, da dodatek Si vpliva na porazdelitev intermetalne faze β na kristalnih mejah. Mikrostruktura medi z 20 mas. % cinka je sestavljena iz dveh trdnih raztopin: končne trdne raztopine Cu in Zn, bogate z bakrom, ki se imenuje α , in vmesne trdne raztopine β . Na slikah 2 a-d je faza α svetlejša in faza β temnejša. Taka mikrostruktura nastane predvsem pri začetnem strjevanju faze β , ki mu sledi nukleacija in rast faze α v osnovi iz faze β . Nadaljnje znižanje temperature povzroči pretvorbo neurejene faze β v urejeno faze β .

polished with $3\mu\text{m}$ diamond paste. Hardness tests were carried out by Esslinger Leckar Brinell Hardness Test Machine with a ball indenter diameter of 2.5mm and an applied load of 62.5N. During hardness testing, five different points on the specimens were specified and the measurements were made on these points. After all, average values were calculated and reported.

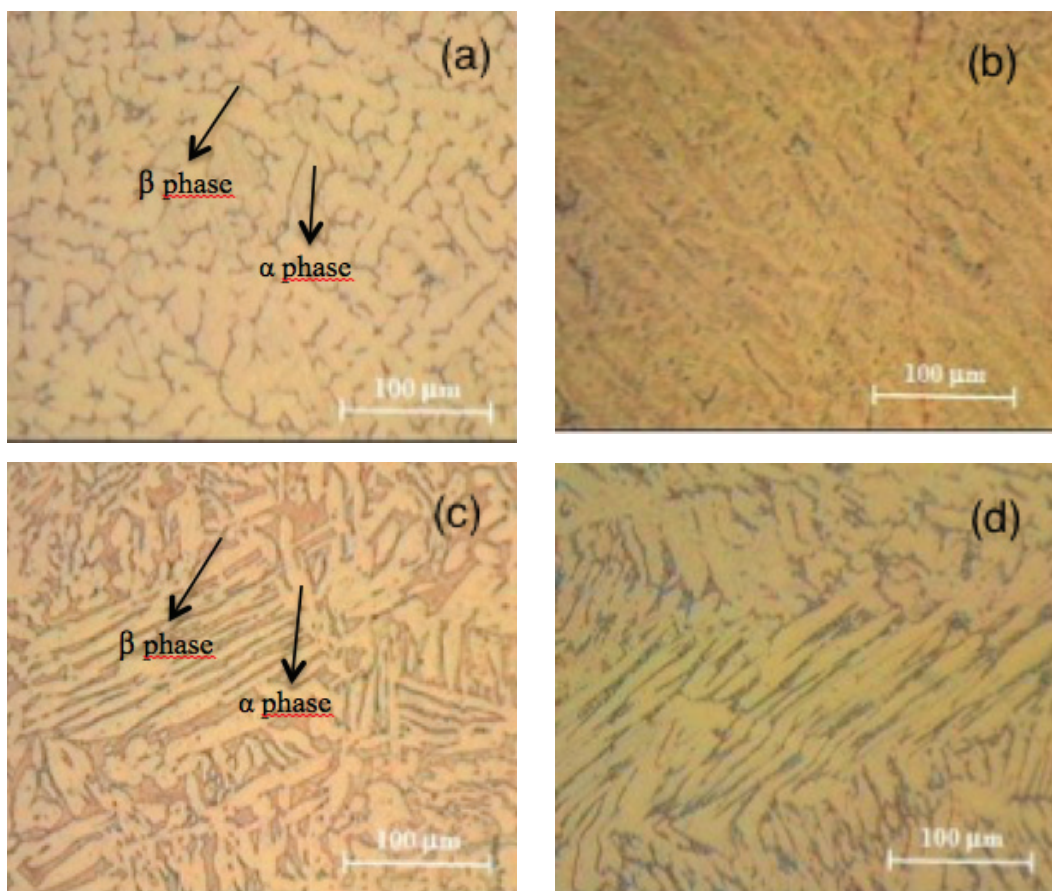
4 Microstructure

Specimens were grinded with 100, 220, 400, 600, 800, 1000 and 1200 grit emery papers then followed by first polishing with $80\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$ suspension. After the first polishing, the specimens were washed in water and alcohol and they are taken to the second polishing made on $3\mu\text{m}$ diamond paste for microstructural investigations. 3% iron (III) chloride was used as etchant solution by applying to the surfaces of the specimens. Microstructure images were taken by Nikon Epiphot 200 Optical Light Microscopy.

5 Results and Discussion

5.1 Microstructure

Fig.2 shows the changes in microstructures of Cu-Zn alloy with Si. It can be clearly seen that the addition of Si in Cu-Zn affects the distribution of β intermetallic phase on grain boundaries. The microstructure of brass alloy with 20 Zn (mass fraction) % consists of two solid solutions: α terminal solid solution of Cu and Zn rich in copper called α and an intermediate solid solution β . The α phase is the lighter phase and the β phase is the darker phase shown in Fig.2 a-d. This structure was mainly formed from the initial solidification of β followed by nucleation and growth of α from the β matrix. Further reduction in temperature transformed disordered β to the ordered β phase.



Slika 2. Mikrostrukture zlitin Cu-Zn z različnimi dodatki Si **a)** CuZn39Pb3, **b)** CuZn22Si2, **c)** CuZn21Si3, **d)** CuZn20Si4

Figure 2. Microstructures of Cu-Zn alloys with varying amounts of Si **a)** CuZn39Pb3, **b)** CuZn22Si2, **c)** CuZn21Si3, **d)** CuZn20Si4

Dodatek 2 mas. % Si zlitini Cu76Zn24 je povečal delež faze β in udrobnil fazo α (slika 2b). Večji dodatek Si (4 mas. % Si) osnovni zlitini je povečal prostorninski delež faze β in osnova iz faze β je na kristalnih mejah in v notranjosti zrn vsebovala fazo α (slika 2d). Povedano z drugimi besedami, med ohlajanjem se je faza β pretvarjala v fazo α in Si je pomaknil črto topnosti Zn v faznem diagramu Cu-Zn k nižjim vrednostim Zn. Rezultati te študije kažejo, da so se le

The addition of 2% Si to sample (Cu76Zn24) led to an increment of the β phase and made the α phase finer (Fig. 2b). By adding more Si (4 %) to the base alloy the volume fraction of the β phase increased and the β matrix included the α phase at the grain boundaries, as well as inside the grains (Fig. 2d). In other words, during cooling β phase was transformed into α phase and also Si shifted the solubility line of Zn to lower contents of Zn in the Cu–

majhne količine Si raztopile v fazah α in β ter da niso nastale nove trdne raztopine. Vendar je imel Si pomemben vpliv na deleže faz, delež faze β se je povečal in faze α zmanjšal. Zmanjšanje velikosti zrn v bakrovih zlitinah so pred tem opazili že pri dodatkih Fe [10]. V naši raziskavi je Si predstavljal udobnilno sredstvo. Učinek topljencev kot udobnilnega sredstva se kaže v spodbujanju heterogene nukleacije in/ali zmanjševanju hitrosti rasti obstoječih zrn. Iz naše raziskave sklepamo, da se gonilna sila strjevanja zmanjšuje z večanjem deleža topljenca [11]. Manjša gonilna sila strjevanja pospešuje hitrost nukleacije.

5.2 Natezni in trdotni preskusi

Trdoto vzorcev smo merili po Brinellu in ugotovili, da Si povečuje trdoto zlitine Cu76Zn24. Spreminjanje trdote z deležem dodanega Si prikazuje slika 3. Kot smo povedali že zgoraj, delež Si vpliva na nastanek in rast faze β . Ta faza ima večjo trdoto od faze α in zdi se, da je to eden od vzrokov za povečanje trdote vzorcev, legiranih s Si.

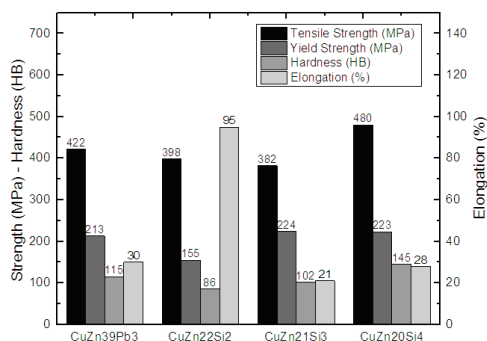
Slika 3 kaže tudi, da natezna trdnost pri pretrgu doseže najvišjo vrednost pri deležu Si 4 mas. %. Nadalje lahko sklepamo, da se

Zn phase diagram. Based on the results of this study, only small amounts of Si were dissolved in α and β phases and they did not form a new solid solution phase. However, Si played an important role in the fraction of phases where it increased β and decreased the fraction of α . The reduction of grain size in copper alloys was previously observed by the addition of Fe [10]. In this study, Si as a solute played role of a grain refinement agent. Effectiveness of solutes as refining agents is because of promoting heterogeneous nucleation and/or reducing the growth rate of the existing grains. In a recent study it is concluded that the solidification driving force decreases with increasing solute content [11]. The lower solidification driving force promotes nucleation rate.

5.2 Tensile and Hardness Tests

The hardness of samples was measured by the Brinell method and it was found that Si increased the hardness of Cu76Zn24 alloy. The extent of variation of hardness due to Si concentration is shown in Fig. 3. As discussed earlier, increase in Si content resulted in formation and growth of the β phase. This phase has greater hardness than the α phase and this seems to be one of the reasons for increments of hardness in the silicon alloyed samples.

Fig. 3 also show that the UTS reaches the peak value as Si content is 4 %.



Slika 3. Natezna trdnost pri pretrgu, trdota, raztezek in napetost tečenja mednih zlitin Cu76Zn24 pri različnih dodatkih Si

Figure 3. Ultimate tensile strength (UTS), Hardness (HB), Elongation (EL) and yield strength (YS) of Cu76Zn24 brass alloy as a function of Si content

kaže tendenca večanja napetosti tečenja z naraščajočim deležem dodanega Si, čeprav je skoraj enaka pri zlitinah, ki vsebujejo 3 in 4 mas. % Si. Povečanje trdote, natezne trdnosti pri pretrgu in napetosti tečenja se lahko pripiše udrobnjenju mikrostrukture. Odnos med velikostjo zrn in napetostjo tečenja lahko zapišemo s Hall-Petchevim izrazom:

$$\sigma_s = \sigma_o + kD^{-1/2}$$

kjer je σ_s napetost tečenja, σ_o in k sta konstanti, D pa je velikost zrn. Enačba pove, da se napetost tečenja povečuje z zmanjševanjem zrn.

Furthermore, it can be inferred that there is a tendency for YS to increase with increasing amount of Si although it is almost the same for the alloys containing 3 % and 4 %. The increase in HB, UTS and YS was attributed to decrease in grain size of the microstructure. The relationship between grain size and YS can be expressed according to Hall-Petch formulation as follows:

$$\sigma_s = \sigma_o + kD^{-1/2}$$

where σ_s is the YS, σ_o and k are constant, and D is the grain size. It is known from Eq.(1) that the YS increases with decreasing grain size.

6 Sklepi

Vpliv dodajanja Si zlitini Cu76Zn24 se kaže:

1. dodatek Si spreminja deleže faz v zlitini in povečuje fazo β ,
2. dodatek Si zmanjšuje velikost zrn in povečuje delež faze β , kar skupaj povečuje trdoto zlitine,
3. zaradi povečanja faze β kot tudi trdote lahko napovemo izboljšano obdelovalnost razvite zlitine v primerjavi z osnovno zlitino Cu76Zn24.

6 Conclusion

The addition of Si to Cu76Zn24 alloy results in the following:

1. Si content changes the phase fractions of Cu76Zn24 and increases the β phase.
2. The addition of Si decreases the grain size and increases the fraction of the β phase, which overall leads to an increase in the hardness of the alloy.
3. Due to increasing the β phase as well as hardness, the developed alloy is predicted to have improved machinability properties in comparison to Cu76Zn24 alloy.

7 Viri

- [1] J. R. Davis, Copper and Copper Alloys, ASM International (2001),
- [2] R. A. Flinn, Copper, Brass, and Bronze Castings: The structure of copper brass and bronze alloys (1962),
- [3] H. Atsumi, H. Imai, S. Li, K. Kondoh, Y. Kousaka, A. Kojima, High-strength, lead free machinable a–b duplex phase brass Cu–40Zn–Cr–Fe–Sn–Bi alloys, Mater. Sci. Eng. A (2011) 275–281,
- [4] P. García, S. Rivera, M. Palacios, J. Belzunce, Comparative study of the parameters influencing the machinability of leaded brasses, Eng. Fail. Anal. 17 (2010) 771–776,

-
- [5] C. Vilarinho, J.P. Davim, D. Soares, F. Castro, J. Barbosa, Influence of the chemical composition on the machinability of brasses, *J. Mater. Process. Technol.* 170 (2005) 441–447,
 - [6] S. Kuyucak, M. Sahoo, A review of the machinability of copper-base alloys, *Can. Metall. Q.* 35 (1996) 1–15,
 - [7] G. Pantazopoulos, Leaded brass rods C 38500 for automatic machining operations: a technical report, *J. Mater. Eng. Perform.* 11 (2002) 402–407,
 - [8] N.C. Papanikolaou, E.G. Hatzidaki, S. Belivanis, G.N. Tzanakakis, A.M. Tsatsakis, Lead toxicity update. A brief review, *Med. Sci. Monit.* 11 (2005) RA329–RA336. PMID: 16192916.
 - [9] C.-C. Hsieh, J.-S. Wang, P.T.-Y. Wu, W. Wu, Microstructural development of brass alloys with various Bi and Pb additions, *Met. Mater. Int.* 19 (2013) 1173–1179,
 - [10] J.A. Patchett, G.J. Abbaschian, Grain refinement of copper by the addition of iron and by electromagnetic stirring, *Metall. Trans. B* 16 (1985) 505–511,
 - [11] F. Wang, Z.-L. Liu, D. Qiu, J.A. Taylor, M.A. Easton, M.-X. Zhang, The influence of the effect of solute on the thermodynamic driving force on grain refinement of al alloys, *Metall. Mater. Trans. A* 46 (2015) 505–515.

AKTUALNO / ACTUAL

**48. mednarodna konferenca
rudarjev in metalurgov**

V času od 28. septembra do 1. oktobra 2016 je v organizaciji Tehniške fakultete in Inštituta za rudarstvo in metalurgijo, kot soorganizatorja (oba iz Bora), potekala v Boru v Srbiji 48. Mednarodna oktobrska konferenca rudarjev in metalurgov. Konference so se udeležili eminentni domači in tuji znanstveniki in predstavniki iz javnega in privatnega sektorja s področja geologije, rudarstva, metalurgije, tehnologije, materialov, varstva okolja in povezanih sorodnih področij. Na konferenci so bili prisotni udeleženci iz 16 držav: Avstrije, Bosne in Hercegovine, Bolgarije, Hrvaške, Madžarske, Irana, Japonske, Kazahstana, Libije, Mehike, Makedonije, Črne Gore, Rusije, Slovaške, Slovenije in Srbije.

V spremljajočem Zborniku predavanj, ki je na voljo v knjižnici Društva livarjev Slovenije je natisnjeno 121 predavanj. Na konferenci so bila predstavljena štiri plenarna predavanja s strani: prof. dr. Nobuyuki Masude, Akita Univerza, Japonska, prof. dr. Bošjana Markolija z Naravoslovno tehniške fakultete Univerze v Ljubljani, prof. dr. Dragane Živković s Tehniške fakultete v Boru Univerze v Beogradu (naše drage dolgoletne kolegice in znanstvenice od 26. novembra, ni več med nami) in prof. dr. Tomaža Havlika iz Tehniške univerze Košice, Slovaška.



Tudi letos je bil generalni pokrovitelj konference Ministrstvo za šolstvo, znanost in tehnološki razvoj Republike Srbije. V okviru konference je potekala tudi 3. mednarodna študentska konferenca tehniških znanosti, na kateri je bilo predstavljeno 29 predavanj študentov iz osnovnega, magistrskega in doktorskega študija iz Rusije, Mehike, Kanade, Bosne in Hercegovine in Srbije.

Organizatorjem konference lahko izrazimo čestitke za dobro organizacijo in strokovni nivo konference.

Poročala: *mag. Mirjam Jan-Blažić*

AKTUALNO / ACTUAL

Seminarji Društva livarjev Slovenje v poslovnem letu 2016 in 2017

Na podlagi letošnjega programa dela Društva livarjev Slovenije je Društvo organiziralo dva specializirana seminarja za livarne tlačnega litja in to v obeh primerih v Livarskem inštitutu (ÖGI) v Leobnu, Avstrija. Gre za nadaljevanje sodelovanja z ÖGI iz leta 2015, ko je Društvo z ÖGI kot izvajalcem seminarja organiziralo seminarja iz osnov tlačnega litja in zatem še nadaljevalni seminar iz tlačnega litja. Letos smo oba seminarja nadgradili še z vključitvijo praktičnega dela v laboratorijih in poskusni livarni v ÖGI.

Teoretične osnove za prvi seminar so slušatelji pridobili lansko leto na enodnevem seminarju v Ljubljani. Drugi seminar ÖGI je bil nadaljevalni dvodnevni seminar s teoretičnim in praktičnim delom, namenjen pa je bil tistim lanskoletnim slušateljem, ki so sodelovali na teoretičnem enodnevem seminarju o osnovah tlačnega litja lansko leto v Ljubljani. V vseh dosedanjih seminarjih je izvajalec omejeval udeležbo v skupini na samo 12 slušateljev. V seminarjih z izvajalcem ÖGI je tako letos sodelovalo 24 strokovnjakov iz naših livarn. Paketa seminarjev z izvajalcem ÖGI v lanskem in letošnjem letu so se udeležili predstavniki naslednjih tlačnih livarn: **Difa d.o.o., Hidria Rotomatika d.o.o., LTH Castings d.o.o., Mahle Letrika Komen d.o.o., Mariborska livarna Maribor d.d., Talum ulitki d.o.o. in Telkom d.o.o.**

V okviru programskega leta 2016, ki se šteje od februarja 2016 do februarja 2017 bo 31.01.2017 v organizaciji Društva potekal seminar za železove livarne, ki bo poglobljeno



Udeleženci
enodnevnega
seminarja



Udeleženci
dvodnevnega
seminarja

obravnaval problematiko konstruiranja ulivnih in napajalnih sistemov ter sivo litino z vermikularnim grafitom s titanom in brez titana.

V februarju pa bomo letošnje programsko leto zaključili s seminarjem o okoljevarstveni problematiki za livarne, ki ga bomo tradicionalno organizirali skupaj z Gospodarsko zbornico Slovenije.

V primeru, da bi obstajala želja po ponovitvah obeh ali samo enega od seminarjev tlačnega litja v ÖGI, jih bomo vključili v program dela Društva za leto 2017. Treba je vedeti ob tem, da ÖGI seminarje vsako leto nadgrajuje z aktualnimi novostmi in dognanji v razvoju te livarske tehnologije.

Obstaja možnost, da bi sodelovanje z ÖGI v naslednjem letu nadaljevali tudi na področju spremljanja kvalitete formarskih materialov in napak v ulitkih. Gre za dvodnevni seminar, ki bi potekal v Leobnu in bi vključeval prvi dan predavanja oz. teoretični del in drugi dan, praktično delo v njihovih laboratorijih in obratu za preizkuse.

Do občnega zbora v februarju naslednje leto bomo na podlagi predlogov strokovnih komisij za izbor seminarских tem za leto 2017 oblikovali program seminarjev za leto 2017.

Poročala:
Mag. Mirjam Jan-Blažić

AKTUALNO / ACTUAL

56. mednarodno livarsko posvetovanje Portorož 2016

Letošnje 56. mednarodno livarsko posvetovanje Portorož 2016 s spremljevalno livarsko razstavo je potekalo v času od 14. - do 16. septembra, na lokaciji kongresnega centra Hotela Slovenija. Prvi spoznavni večer udeležencev je bil tradicionalno na občini Piran, kjer je podžupanja Meira Hot sprejela in pozdravila udeležence livarske prireditve v občinski hiši na sprejemu organiziranem v njihovo čast.

Ob zavedanju, da različne tehnologije prispevajo k konkurenčnosti livarstva in gospodarstva, je letošnje posvetovanje bilo organizirano z motom: **»Ulitki kot proizvodi s prihodnostjo«**. Posvetovanje je pritegnilo interes 270 udeležencev, od tega 130 iz tujine in 140 iz Slovenije. Posvetovanja in razstave so se udeležili udeleženci iz Slovenije in naslednjih 18 držav: Avstrije, Bolgarije, Bosne in Hercegovine, Češke, Hrvaške, Indije, Italije, Madžarske, Nemčije, Nizozemske, Norveške, Poljske, Romunije, Srbije, Švedske, Švice, Turčije in Velike Britanije.

V rednem programu posvetovanja je bilo predstavljeno skupno 33 predavanj od tega je bilo 22 predstavitev s strani predavateljev iz tujine in 11 iz Slovenije. V obliki poster-predstavitev je nastopilo še 7 avtorjev, od tega 3 iz tujine in 4 iz Slovenije. Aktivno je pri predstavitvah sodelovalo kar 130 strokovnjakov, od tega 81 iz tujine. V predstavitveni del je bilo vključenih: 24 gospodarskih organizacij od tega 13 tujih, 17 univerz, od tega 15 tujih, štiri raziskovalne institucije, od tega dve tuji ter eno tuje strokovno združenje.



Otvoritev posvetovanja, predsednica Društva mag. M. Jan Blažič in plenarno predsedstvo: prof. dr. A. Križman, Univerza v Mariboru, prof. dr. J. Medved, Univerza v Ljubljani, J. Čevka, direktor Exoterm, d.d., J. Vranc, direktorica Kovis livarna, mag. A. Mikložič, Mariborska livarna Maribor

Na livarski razstavi je sodelovalo skupno 49 razstavljalcev, od tega 21 iz tujine in 28 iz Slovenje. Na razstavi so se predstavili dobavitelji za livarsko industrijo, ki le-to oskrbujejo s surovinami, pomožnimi materiali, napravami, storitvami ali znanjem.

Posvetovanja so se udeležili tudi naslednji ugledni gostje:

- g. Andrew TURNER, generalni sekretar WFO- Svetovne livarske organizacije iz Velike Britanije
- Prof. dr. Andreas Bührig POLACZEK, direktor katedre za livarstvo in livarskega inštituta Univerze RWTH Aachen, Nemčija
- Dr.Ing.Christian WILHELM član uprave za tehnično področje Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie - Zveznega združenja nemške livarske industrije
- g. Gerhard Schindelbacher in Prof. dr. Peter SCHUMACHER iz posloводства OGI- Avstrijskega livarskega Inštituta v Leobnu
- mag. Tadeusz FRANASZEK, predsednik združenja livarjev Poljske
- prof.dr. Zdenka ZOVKO BRODARAC, prodekanica Metalurške fakultete v Sisku Univerze v Zagrebu.

Posvetovanje in razstavo je v imenu organizatorjev s pozdravnim otvoritvenim govorom odprla predsednica Društva livarjev Slovenije in predsednica organizacijskega odbora prireditve, mag. Mirjam Jan-Blažič, ki je predstavila pomen in vlogo mednarodnega posvetovanja za razvoj slovenske livarske industrije ter njeno vključenost v širši prostor. Na kratko je predstavila tematska področja posvetovanja s poudarkom na **temi Industrija 4.0** ali **4. Industrijska industrija**. Poudarila je, da bo slednja po napovedih kmalu dokaj močno spremenila naše delo, socialno in fizično okolje kot tudi vidike bivanja in sobivanja z ljudmi in naravo. Četrta revolucija se že dogaja nam in okrog nas in jo ni moč ustaviti. Potrebno bo pogumno stopiti na njeno pot, ki je pot korenitih sprememb in izboljšav ter prihrankov. Zaključila je z mislijo, da prihaja čas velikih izzivov.

Programski del posvetovanja je bil kot običajno razdeljen na tri tematska področja: plenarna predavanja - skupaj 10, železove litine in livarske tehnologije – skupaj 11 ter neželezne zlitine - skupaj 12.

Plenarna sekcija je zajela zelo kakovostna pregledna predavanja ter nekatere zelo pomembne predstavitve, ki kažejo smernice razvoja določenih področij. Navajamo najpomembnejše zaključke teh predavanj:

- **dr. ing. C. Wilhelm**, odgovorni vodja tehniškega sektorja BDG- Nemškega združenja livarske industrije, je podal zelo aktualno temo: **»Prihodnji vidiki za livarsko industrijo«**. Osnovna zahteva v današnji proizvodnji ulitkov je v zmanjševanju teže, kar zahteva spremembe pri izbiri tehnologije. Prav tako je zahteva po najtesnejšem sodelovanju med oblikovalci ulitih proizvodov in livarskimi tehnologi, tako glede manjših tež kot glede specifičnih lastnosti povezanih s tehnologijo litja. Optimalne tolerance za jedra s sistemom paketov ter tehnologije nagibnega ulivanja omogočajo manjše tolerance izmer ter višjo kakovost. Izdelava jeder na osnovi soli ter iztaljiva jedra bodo v uporabi tudi pri tlačnem litju. Vse bolj se uveljavljajo anorganski sistemi veziv. Sledijo seveda stalne zahteve po nižji porabi energije. Nujne so zahteve po implementaciji principov Industrije 4.0.
- **prof. dr. A. Bührig-Polaczek**, predstojnik inštituta za livarstvo na RWTH Univerza Aachen, Nemčija, je predstavil pregledno predavanje: **»Trendi in izzivi za livarsko industrijo - pregled v prihodnost usmerjenih aspektov raziskav in razvoja«**.

Izpostavil je pomembnost digitalizacije kot orodja za razvoj materialov in proizvodov ter korelacijo med njima. Nove zahteve za materiale in proizvode izpostavljajo izboljšave v livarski tehnologiji. Progresivni razvoj zahteva integrirani inženiring materialov. Nove in izboljšane lastnosti materialov je možno dosegati le z 3D mikrostrukturno analizo materialov in komponent in na tej osnovi razumevanje mikrostrukture povezati z lastnostmi materialov. V sami tehnologiji bo prišlo do digitalizacije tehnoloških procesov in s tem do specifičnih proizvodnih parametrov. Digitalizacija livarskih procesov ter on-line kontrola tehnološkega procesa bosta zahtevali velike baze podatkov, ki bodo osnova digitalizaciji.

- **prof. dr. P. Mrvar**, predstojnik katedre za livarstvo na NTF Univerze v Ljubljani, je s soavtorji predstavil primer sodobnega načrtovanja s predavanjem: **»Celovito načrtovanje tlačnega litja na primeru izbranega ulitka«**. V proizvodnem procesu sta pomembna tako načrtovanje kot obvladovanje procesov. V primeru geometrijsko in dimenzijsko zahtevnih ulitkov je to še toliko pomembnejše. Predstavljen je bil primer virtualne obdelave celotnega procesa tlačnega litja ohišja menjalnika. Predstavljena je bila tudi optimizacija temperirnega sistema ter primerjava izračunov prostorninskih napak. Karakterizacija ulitka je bila izvedena z računalniško tomografijo ter 3D meritvami dimenzij. Predstavljena je bila tudi primerjava z vrednostmi iz industrijske prakse.
- **prof. dr. P. Schumacher**, predstojnik katedre za livarstvo na Univerzi za montanistiko Leoben in vodja Avstrijskega livarskega inštituta, Leoben, Avstrija, je podal visoko znanstveno temo: **»Atomistična obravnava modificiranja v Al-Si zlitinah«**. Za izboljšanje mehanskih lastnosti Al-Si je ključni korak modificiranje. Z znanstvenega vidika je pospeševanje modifikacijskega procesa še vedno nedorečeno. Pojasnjena je bila vloga elementov v sledovih na modifikacijo in njihov učinek na nukleacijo evtektskih celic. Uporabljena je bila metoda elektronskega mikroskopiranja pri atomski resoluciji. Elementi v sledovih, ki so zaradi recikliranja prisotni lahko pospešijo proces modificiranja, vendar lahko vodijo tudi k povečanju poroznosti zaradi nastanka velikih evtektskih kristalnih zrn.
- **dr. K. Kerber** iz podjetja Oskar Frech GmbH, Schorndorf, ZR Nemčija, je podal aktualno temo: **»Industrija 4.0-jutrišnja tlačna livarna«**. Industrijski procesi se postopoma digitalizirajo. Z namenom optimizacije se zbirajo enormno velike količine podatkov. Za ekstenzivno visok nivo funkcionalnosti je potreben skupen vmesnik, ki dovoljuje prenos iz nivoja polja na organizacijski nivo. Proizvodni sistem mora biti prilagojen na optimalni operacijski nivo. Pretok informacij, ki prihajajo iz naprav in procesov na skupen vmesnik lahko omogoča sledljivost celotni verigi procesov visokotlačnega litja.
- **G. Eder** iz podjetja Quantoras KG, Dunaj, Avstrija je predstavil problematiko, prav tako vezano na Industrijo 4.0: **»Financiranje 4.0 za livarne-izboljšave pri nabavah z veliko podatkov do pametnih podatkov«**. Podjetje je razvilo svoj lasten software, ki permanentno skenira po celotnem web sistemu in išče alternativne surovine, alternativne dobavitelje in preverja trenutno tržno situacijo. Vsi podatki se dnevno posodablajo. Razvit program predstavlja orodje za zmanjšanje nabavnih stroškov. Doseženi prihranki so lahko okrog 15%. Podani so bili primeri zaključenih projektov v industriji.
- **dr. K. Weiß** iz podjetja RWP GmbH, Roetgen, ZRNemčija, je s soavtorji podal predavanje, ki je razvojno zanimivo za številna podjetja: **»3D-tiskanje podprto s simulacijo-razvoj lahkih osi tovornih prikolic«**. 3D tiskanje je postalo orodje za izdelavo livnih

form za poskusne ulitke, ki se testirajo. WinCast Expert je izdelano orodje v povezavi s tehnologijo 3D tiskanja in omogoča izdelavo realnih ulitih prototipov. Prikazan je bil nov razvoj osi prikolic. Simulacija je bila uporabljena za razvoj nove osi in kasneje za pripravo dejanske proizvodnje.

- **dipl. ing. B. Kalkunte** iz podjetja Calcom ESI SA, Lausanne, Švica, je skupaj s partnerjem iz podjetja Mecas ESI, Češka, predstavil zadnje dosežke podjetja na področju livarstva s temo: **»Nov pristop v modeliranju za virtualni test izmeta ulitka iz kokile«**. V tem pristopu so uporabili set verižnih simulacij. Z uporabo ProCAST Casting Simulation programa so v prvi fazi simulirali ulivni proces pri tlačnem litju in določili čas izmeta. Termično in mehansko stanje ulitka so prenesli v virtualno solucijo faze dinamičnega izmeta ulitka. Celotna analiza te simulacije omogoča razumevanje predhodnih faz polnjenja, strjevanja ter razvoja napetosti med litjem in strjevanjem. Nato so ugotavljali sile, ki omogočajo izmet in vpliv teh sil in napetosti, ki lahko vplivajo na kakovost ulitka. S temi raziskavami želijo doseči zmanjšanje napetosti v ulitkih v fazi izmetavanja ter optimirati pozicijo in število izmetalnih trnov.
- **prof. dr. I. Riposan**, iz Politehniške univerze v Bukarešti, Romunija, je s številnimi soavtorji predstavil vedno aktualno problematiko: **»Nadzor strjevanja sivih litin s termično analizo-pregled glavnih vplivnih faktorjev«**. Ohlajevalne krivulje in njihov prvi odvod lahko uporabimo za napovedovanje karakteristik sive litine. Običajnemu cepivu Ca-FeSi so dodajali manjše dodatke žvepla in oksidov sulfidov. Analize krivulj ohlajanja so bile izvedene v toplotnem centru vzorcev, strjenih v peščene in kovinske forme. Kot reference so uporabili Quick-cup sistem z istim modulom ohlajanja. Razlike v krivuljah za strjevanje v pesku oziroma kovinskih formah so primerjali za necepljene in cepljene litine, pri različnih ekvivalentih ogljika. Na novo je bil definiran »specifični faktor cepljenja«. Prikazani so bili reprezentativni rezultati za sivo litino, nodularno litino in litino z vermikularnim grafitom.
- **prof. dr. I. Dugic** iz Univerze Linnaeus, Växjö, Švedska je s soavtorji podal predavanje: **»Načini za izboljšavo mehanskih lastnosti recikliranih aluminijevih zlitin«**. Osnovni namen raziskav je bil v sistemu Al-Si raziskati vpliv vsebnosti vodika na notranjo poroznost ter vpliv dodatka silicija na mehanske lastnosti. Vsebnost je bila merjena s pomočjo indeksa gostote na specifičnih mestih v procesu recikliranja in z različnimi metodami degaziranja. Evalvacija rezultatov raziskav kaže na odvisnost indeksa gostote od vrste zlitine. Prav tako sestava zlitine močno vpliva na absorpcijo vodika. Največji vpliv ima pri tem delež Cu v zlitini. Na mikrostrukturo in s tem na mehanske lastnosti pa najbolj vpliva delež silicija.

Drugi dan posvetovanja je bil namenjen predavanjem v obeh sekcijah. Težišča teh predavanj so bila v novih razvojnih dosežkih gospodarskih podjetij ter v raziskavah univerz in inštitutov. Iz sekcije železovih litin in livarskih tehnologij na kratko izpostavljamo 5 od skupno 11 predavanj:

- **dr. ing. C. Domaschk** iz Tehniške univerze Bergakademie Freiberg, Nemčija, (predavanje je v odsotnosti predavateljice predstavil **prof. dr. G. Wolf**) je pregledno predavanje s področja sive litine pod naslovom: **»Nova zvezna referenčna vrsta za strukturo grafita v sivih litinah«**. Danes se običajno predstavlja idealizirani standard grafitnih struktur GJL. V predstavljenem raziskovalnem projektu pa je predstavljen model za kvantitativen in neprekinjen opis grafitnih struktur EN-GJL. Opis grafita je

zasnovan na osnovi specifične dolžine med grafitnimi delci in njihovo obdajajočo osnovo. Prav tako so relacije s kemično sestavo in hitrostjo kaljenja ter elaborirali klasifikacijski predlog za neprekinjeno ocenjevanje grafitnih struktur.

- **dipl. ing. S. Al Jasim** iz Kovis livarne d. o. o. Štore s soavtorji, je predstavil razvojni dosežek livarne z referatom: »**Kontrola in optimizacija proizvodnje sive in nodularne litine s termično analizo**«. Izpostavljena je bila pomembnost uporabe termične analize in razumevanje glavnih parametrov za določevanje verjetnosti in možnosti nastanka napak. Podano je bilo klasificiranje napak. Nakazana je optimizacija glavnih parametrov v primerjavi z realnimi rezultati na ulitkih. Ob tem načrtujejo uporabo ene programske opreme za vrednotenje različnih rezultatov v različnih oddelkih.
- **prof. dr. B. Bauer** iz Univerze v Zagrebu s soavtorji, je podal izsledke raziskovalnega dela: »**Vpliv ohlajevalne hitrosti in kemijske sestave na delež grudastega grafitu v sivi litini s kroglastim grafitom**«. Raziskovan je bil vpliv visoke vsebnosti silicija in niklja na morfologijo grafitu in mehanske lastnosti. Kot cepivo je bil uporabljen Ce. Ulivali so konične bloke $\Phi 300\text{mm} \times 350\text{mm}$. Na posameznih odvzetih vzorcih za različne kemijske sestave ulitih blokov so določevali delež grudastega grafitu ter mikro- in makrostrukturo. Z SEM/EDS so raziskovali tendence mikrosegregiranja. Ugotovljeno je bilo, da je prisotnost grudastega grafitu pri dodatku 0,7 % Ni v toplotnem centru bloka, pri dodatku večjih količin silicija pa je grudasti grafit prisoten po celotnem preseku.
- **dipl. ing. B. Obreht** iz podjetja TDR Legure d.o.o. Ruše, je s soavtorjem podal temo: »**Obvladovanje aktivnosti kisika pri proizvodnji GJS- in GJV sivih litin**«. Vsebnost kisika v talini je eden najpomembnejših parametrov proizvodnje GJS in GJV litin. Kontrolirana vsebnost kisika pri nodularizaciji in inokulaciji zagotavlja ustrezne izkoristke magnezija ter zahtevane metalurške in mehanske lastnosti. Mg se tako zadrži v tolerančnem območju $\pm 0,002\%$. Razvoj je bil potrjen z doseganjem rezultatov v industrijski praksi.
- **mag. B. Čuk**, Siapro d.o.o., Most na Soči, je predstavil razvojni projekt: »**Znižanje proizvodnih stroškov z regeneracijo bentonitnega peska**«. Prekomerna količina bentonitnega peska v obtoku ter neprimerna granulacijska sestava peska je težava v livarnah, ki uporabljajo te peske. Vzdrževanje ustrezne peščene mešanice je možno z večjim osveževanjem, vendar to predstavlja naraščanje količin peska. Alternativa je v napravi za regeneracijo peska. Raziskave so pokazale, da z ustrezno regeneracijo povratnega peska, lahko pri manjši porabi peska inertne snovi in fine frakcije zadržimo na ustrezni ravni. Ob tem se poraba kremenčevega peska lahko zmanjša do 40% in zmanjša se poraba bentonita in črnine. Investicija v regeneracijo se tako lahko povrne v slabih dveh letih.

Iz sekcije neželeznih zlitin prav tako na kratko izpostavljamo 5 od skupno 12 predavanj:

- **dipl. ing. G. Gorše** iz podjetja LTH Castings d.o.o. Ljubljana, je s soavtorji podal rezultate razvojnih dosežkov v LTH Castings s temo: »**Zmanjševanje strjevalne poroznosti z metodo lokalnega stiskanja pri procesu visokotlačnega litja**«. Za zahtevne ulitke namenjene za komponente v avtomobilski industriji, so zelo strogi kriteriji glede skrčevalne poroznosti. Predvsem je strjevalna poroznost prisotna na povečanih presekih ulitkov. Te težave lahko sicer omilimo z vključevanjem dodatnega hlajenja. Ob nerešenem problemu pa je rešitev le v stiskanju »vročega mesta« (squeezing). Predstavljen je izračun vpliva lokalnega stiskanja s sistemom ProCast in sistemom

Magma. Ustreznost izračunov je bila preverjena v serijski proizvodnji. Cona stiskanja je bila še dodatno raziskana z elektronsko mikroskopijo.

- **mag. F. Teichmann** s Tehniške univerze Braunschweig, ZR Nemčija, je s soavtorji predstavil temo: »**Aplikacija laserskega varjenja pri znižanem tlaku za spajanje sekundarnih Al Si zlitin za tlačno litje**«. Hitro polnjenje forme med procesom tlačnega litja ima za posledico nastanek poroznosti, kar povzroča težave pri varjenju ulitkov. Zaradi vse večjih zahtev, predvsem v ulitkih za avtomobilsko industrijo, obstaja zahteva optimizacije procesa litja. Z novim pristopom so raziskovali sposobnost varivosti z laserskim varjenjem in zmanjšanim pritiskom do 0,1 hPa. Vakuumsko lasersko varjenje pospeši degazifikacijo in minimizira nastanek nehomogenih por v zvaru. Prav tako so raziskave pokazale na potrebo robustnega procesa varjenja tlačnih ulitkov, kar vodi do zmanjšanja izmeta in večje stroškovne učinkovitosti.
- **prof. dr. F. Zupanič** z Univerze v Mariboru, je s soavtorji podal predavanje: »**Vpliv skandija na lastnosti aluminijevih livnih zlitin**«. Uporaba skandija v livnih Al-zlitinah je zelo redka. Več kot 0,4 % Sc lahko močno udobno kristalna zrna v zlitinah Al-Mg. Dodatek Sc do 0,4 % v zlitini A357 zmanjša velikost kristalnih zrn za 80%, razteznost se poveča za 165% in natezna trdnost za 28%. Izboljšanje mehanskih lastnosti je povezano z udrobnitvijo mikrostrukture in oplemenitenjem evtektskega silicija in izločanjem disperzoidov Al₃(Sc, Zr). Prikazan je bil pregled vpliva skandija na lastnosti Al-zlitin, mikrostruktura predzlitine Al-Sc ter prvi rezultati vpliva majhnih količin skandija na lastnosti zlitine AlSi7Mg.
- **dipl. ing. F. Gigez** iz podjetja Fondarex SA, St-Legier, Švica, je predstavil temo: »**Novosti pri vakuumskem tlačnem litju**«. Zahteve po tankostenskih tlačnih ulitkih vse bolj izpostavljajo tehnologijo vakuumskega tlačnega litja. Fondarex predlaga različne dimenzije jeklenih hladilnih blokov ter kompletni spekter Supervac vakuumskih ventilov. Prenos vakuumske proizvodnje je možno izvesti z ethernetom, profinetom in profibusom s pomočjo krivulj vakuumu z analognimi signali. Razvit je senzor z možnostjo natančne kontrole vlage zraka v livni votlini. Z razvojem naprav je možno meriti in procesno analizirati podatke v vakuumskem kanalu in v vseh fazah litja.
- **dr. ing. M. Petrič** z Oddelka za materiale in metalurgijo NTF Univerze v Ljubljani, je s soavtorji predstavil za tlačne livarne zelo aktualno temo: »**Optimizacija hladilno-grelnega sistema v orodjih za tlačno litje**«. Za preprečevanje premočnega ogrevanja orodja se v orodjih za tlačno litje uporablja hladilno-grelni sistem, ki v začetku obratovanja zagotovi hitrejše doseganje delovne temperature orodja, kasneje pa odvajanje odvečne toplote iz orodja. Predstavljeni so bili vplivi toplotnega utrujanja in nastanek s tem povezanih poškodb orodja. Z računalniškim orodjem ProCast je bila narejena analiza obstoječega orodja in preverjena zasnova novega orodja s spremenjenimi hladilnimi kanali. Na podlagi tega je bilo izdelano novo orodje.

S pomočjo pokroviteljev posvetovanja: LTH Castings, SIAPRO d.o.o. in OMCO Feniks Slovenija d.o.o. ter sponzorjev-razstavljalcev je bil izpeljan tudi tradicionalni del družabnega programa posvetovanja - večerja in vožnja po slovenskem morju in druženje na terasi Hotela Riviera.

Letošnje 56. mednarodno livarsko posvetovanje Portorož 2016 je tako po udeležbi, kot po številu in kakovosti prireditve potrdilo, da je ta livarski dogodek vse bolj pomembno mednarodno strokovno stičišče livarske stroke. Da je temu tako potrjuje tudi odločitev

WFO – Svetovne livarske organizacije, da v letu 2019 zaupa Sloveniji v času takratnega mednarodnega livarskega posvetovanja v Portorožu, organizacijo WFO – Tehničnega foruma.

Predsednik programskega odbora
Em. prof. dr. Alojz Križman

Predsednica organizacijskega odbora
mag. Mirjam Jan-Blažić



LTH CASTINGS d.o.o. kot srebrni pokrovitelj



SIAPRO d.o.o. in OMCO FENIKS SLOVENIJA d.o.o. kot bronasta pokrovitelja



Pogled na dvorano



Pogled na dvorano



Plenarni predavatelj, dr. ing. C. Wilhelm



Plenarni predavatelj, prof. dr. A. Bührig Polaczek



Plenarni predavatelj, prof. dr. P. Mrvar



Plenarni predavatelj, prof. dr. P. Schumacher



Plenarni predavatelj, dr. ing. K. Kerber



Plenarni predavatelj, G. Eder



Plenarni predavatelj, dr. ing. K. Weiss



Plenarni predavatelj, ing. B. Kalkunte



Plenarni predavatelj, prof. dr. I. Riposan



Plenarni predavatelj, prof. dr. I. Dugic



Predavatelj prof. dr. G. Wolf ter predsedujoča M. Jan-Blažič in M. Debelak



Najaktivnejši udeleženec na posvetovanju, prof. dr. R. Döpp



Razstavni prostor Exotem-it d.o.o., Slovenija



Razstavna prostora Termit d.d. in EKW Kremen d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Living d.o.o., Slovenija



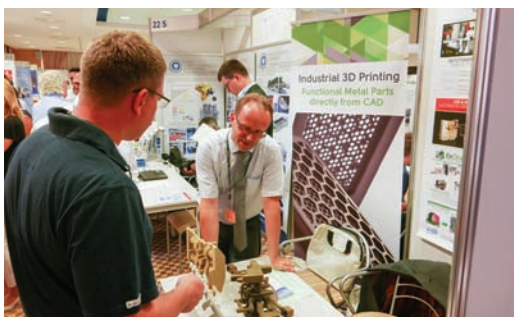
Razstavni prostor SwatyComet d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Messer d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Calderys Deutschland GmbH, Nemčija



Razstavni prostor BL-Metal, Slovenija



Razstavni prostor Talum servis in inženiring d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor FerroČrtalič d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Naravoslovno-tehniška fakulteta, Slovenija



Razstavni prostor IRT3000, Slovenija



Razstavni prostor W Abrasives, Abrasiv Muta d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Primakem d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor ROTO Pavlinjek d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor TC Livarstvo, Slovenija



Razstavni prostor Mecas ESI s.r.o., Češka



Razstavni prostor Labena d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Feal-Inženiring d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Chemets d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor STEM d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Avto G d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Elkem AS, Norveška



Razstavni prostor Uniplast Inženiring d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Topomatika d.o.o., Hrvatska



Razstavni prostor PSR d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Grimas Ltd., Madžarska



Razstavni prostor Diamant Metallplastic GmbH, Nemčija



Razstavni prostor Hütenes Albertus GmbH, Nemčija



Razstavni prostor Analysis d.o.o., Srbija



Razstavni prostor KOOZ d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Hagi GmbH, Avstrija



Razstavni prostor Oskar Frech GmbH + Co. KG, Nemčija



Razstavni prostor Inductotherm Europe Ltd., Velika Britanija



Razstavni prostor Belloi & Romagnoli srl, Italija



Razstavni prostor Faprosid srl, Italija



Razstavni prostor Insertec Italia srl, Italija



Razstavni prostor Mazzon s.p.a, Italija



Razstavni prostor TrokutTest d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor StrikoWestofen GmbH, Nemčija



Razstavni prostor RWP GmbH, Nemčija



Razstavni prostor Fondarex SA, Švica



Razstavni prostor Labsys d.o.o., Slovenija



Razstavni prostor Ferrus Group, Poljska



Udeleženci sprejema na občini Piran s podžupanjo Meiro Hot

IN MEMORIAM

Dr. Karoly Bako



dr. Karoly Bako

V svojem 75. letu, 2. oktobra letos, je po dolgi in herojski bitki s težko boleznijo prenehalo življenje našemu dolgoletnemu kolegu in livarskemu prijatelju iz sosednje Madžarske, prof. dr. Karoly Baku.

Celo svoje življenje je posvetil livarstvu in udejstvovanju za livarsko stroko. V preteklosti je opravljal naslednje pomembne funkcije: generalni sekretar društva rudarjev in metalurgov Madžarske, kjer je bil tudi častni član in dobitnik »Szent Borbala« medalje, predsednik združenja madžarskih livarn, predsednik komisije evropskega združenja livarn CAEF in predsednik srednje evropske iniciative – MEGI.

Z dolgoletnim kolegom Bako-jem smo se zelo pogosto srečevali v Sloveniji na našem tradicionalnem livarskem posvetovanju v Portorožu. S to izgubo je nastala vidna praznina v madžarskem kot tudi mednarodnem livarskem prostoru.

Zapisala: *mag. Mirjam Jan-Blažić*

AKTUALNO / ACTUAL

Koledar livarskih prireditev

Termin	Naziv dogodka	Kraj / država dogodka
01.-02.02.2017	9. VDI-Tagung "Giesstechnik im Motorenbau"	Magdeburg/Nemčija
14.-17.03.2017	WFO - Tehnični forum in generalna skupščina WFO	Gauteng/Južna Afrika
16.-17.03.2017	Aachener Giesserei-Kolloquium	Aachen/Nemčija
27.-28.04.2017	61. Österreichische Giessereitagung	Gurten/Avstrija
17.-18.05.2017	Deutscher Giessereitag 2017	Düsseldorf/Nemčija



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY

vas vljudno vabi na / invites you to

57. MEDNARODNO LIVARSKO POSVETOVANJE
57th INTERNATIONAL FOUNDRY CONFERENCE

PORTOROŽ 2017

s spremljajočo razstavo / with accompanying exhibition

13.-15. september 2017

Informacije/Contact: Društvo livarjev Slovenije,

Lepi pot 6, p.p. 424, 1001 Ljubljana

T: 01 2522 488, F: 01 4269 934 drustvo.livarjev@siol.net, www.drustvo-livarjev.si

*Prijetne božične praznike
in uspešno novo leto
želimo vsem članom
Društva livarjev Slovenije
in bralcem
Livarskega vestnika.*

*Vodstvo Društva livarjev Slovenije
in redakcija Livarskega vestnika*



*We wish
a merry Christmas
and a happy and
prosperous new year
to all members
of Slovenian
Foundrymen Society
and readers
of Livarski vestnik.*

*Management team of the
Slovenian Foundrymen Society
and Editorial Board
of Livarski vestnik*