

LIVARSKI VESTNIK

68/2021

1



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY



Living d.o.o.

Goriška cesta 66a

5270 Ajdovščina

Slovenija

T.: +386-5-333-38-10

F.: +386-5-333-30-71

info@living.si

www.living.si

PRODUCTS FOR FOUNDRIES AND STEELWORKS



**COATINGS FOR
FOUNDRIES**



**THERMOINSULATION
MATERIALS FOR
STEELWORKS AND
FOUNDRIES**



OTHER PRODUCTS
*ferro alloys, inoculants,
nodulators, recarburisers*



REPRESENTATIVES
*Magma, Tribo - Chemie,
Henschke*

 **exoterm-it**

exoterm@exoterm.si

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

Društvo livarjev Slovenije
Lepi pot 6, P.P. 424, SI-1001 Ljubljana
Tel.: + 386 1 252 24 88
Fax: + 386 1 426 99 34
E-mail: drustvo.livarjev@siol.net
Spletna stran: 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-Blažić**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. Rüdiger Bähr, Otto-von-Güricke-
Universität Magdeburg
prof. dr. Reinhard Döpp, TU Clausthal
prof. dr. Jerzy Józef Sobczak, Foundry
Research Institute, Krakow
prof. dr. Jaromir Roučka, Institut Brno
prof. dr. Branko Bauer, Univerza v Zagrebu

**Prevod v angleški jezik /
Translation into English:**

Marvelingua, Aljaž Seničar s.p.

Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:
Yvonne Rostek, Düsseldorf
Slovenski jezik / Slovene: Marvelingua,
Aljaž Seničar s.p.

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

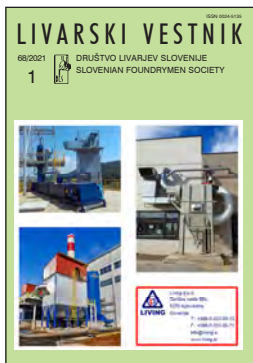
Naklada / Circulation:

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: marec 2021



LIVING d.o.o.
Goriška cesta 66A
5270 Ajdovščina

Direktor: Aleksander FERJANČIČ

T: +386 5 33 33 810
F: +386 5 33 33 071
E: info@living.si
<http://www.living.si>

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

S. Ramrattan, L. Wells, R. Tuttle, J. Medved:
**Karakterizacija površin z ognjeobstojnim
premazom za diskaste vzorce s kemično vezanim
peskom – 2. del / Refractory Coated Surface
Characterization for Steel using Disc- Shaped
Chemically Bonded Sand Specimens – Part II**

2

M. Petrič, B. Zeka, P. Mrvar, B. Leskovar, B. Markoli:
**Razvoj zlitine AlSi7Mg z dodatki Li / Development
of AlSi7Mg Alloy with Additions of Li**

23

Z. Zovko Brodarac, T. Rupčič, F. Kozina, D. Mašinović:
**Vpliv cepljenja zlitine AlSi12 na mikrostrukturo
in razvoj mehanskih lastnosti / Influence of the
AlSi12 Alloy Inoculation on The Microstructure
and Mechanical Properties Development**

35

AKTUALNO / CURRENT

Pregled livarskih prireditev v letih 2021 in 2022

50

60 let osrednje livarske konference Društva livarjev
Slovenije

51

Pregled svetovne livarske proizvodnje v letu 2019

61

Seje organov Društva livarjev Slovenije

63

Portorož 2021

65

Vodstvo in organi Društva livarjev Slovenije

66

Karakterizacija površin z ognjeobstojnimi premazom za diskaste vzorce s kemično vezanim peskom – 2. del

Refractory Coated Surface Characterization for Steel using Disc- Shaped Chemically Bonded Sand Specimens – Part II

Izvleček

Jekleni ulitki se z globalnega trga vračajo v kovinsko livarsko industrijo v ZDA. Kemično vezani peščeni sistemi so pomemben in rastoč del livarske tehnologije in njihova interakcija na fronti med formo in jeklom se proučuje v študiji – 1. del. Za kvalitativne spremembe oz. izboljšanje površinske kakovosti na mejnih površinah med jeklenim ulitkom brez premaza v litem stanju in kemijsko vezanimi peščenimi sistemi (1. del) je morda potrebna uporaba ognjeobstojskih premazov. Ob današnjem poudarku na izdelavi kompleksnih jeklenih ulitkov in vedno strožjih dimenzijskih zahtevah med proizvodnjo obstaja potreba po hitri in cenovno ugodni karakterizaciji kakovosti površine v litem stanju z uporabo ognjeobstojnega premaza kemično vezanega peščenega sistema. Štiri ognjeobstojske premaze, zasnovane za jeklene ulitke, smo nanесли na diskaste vzorce (jedra) v proizvodnem obratu z uporabo tehnik za nanašanje, ki se uporabljajo v vsakodnevni livarski proizvodnji.

Preprosto in praktično preskusno litje malega obsega z uporabo vzorcev jeder oblike diska je bilo razvito na univerzi Western Michigan University (WMU). Preizkus omogoča sočasno omočenje vzorcev jeder pri znani tlačni višini, temperaturi in kemijski sestavi jekla. Preskusno litje je bilo izvedeno na univerzi Saginaw Valley State University (SVSU) in rezultati nakazujejo, da različni kemično vezani pečeni sistemi z ognjeobstojskimi premazi zagotovijo različne površine jeklenih ulitkov v litem stanju.

Rezultati dokazujejo, da lahko nove tehnologije ognjeobstojskih premazov zagotovijo boljšo površinsko kakovost jeklenih ulitkov v litem stanju v primerjavi s kremenčevimi in keramičnimi peski. Vendar pa so za zmanjšanje in/ali odpravo pripekanja peska/veziva potrebni ustrezni ognjeobstojski premazi. Nazadnje lahko ognjeobstojski premazi vplivajo na razformanje oz. sposobnost razpada peščene mešanice po litju, kemično vezanih peščenih sistemov.

Ključne besede: pripekanje (med drugim obsega pripekanje, penetracijo in sprijemanje premaza), diskasti vzorec, preskusno litje, kemijsko vezivo za pesek, ognjeobstojski premaz, površinska hrapavost

Abstract

Steel castings are returning to the U.S. Metal Casting Industry from the Global Market Place. Chemically bonded sand systems are an important and growing part of foundry technology and their interaction at the mold-steel interface is in question based on a study - Part I. The qualitative changes in surface quality found at uncoated as-casted steel/chemically bonded sand interfaces (Part I) may require refractory coating (wash) technology to warrant improvement. With today's emphasis on near-net-shape steel

castings, and with ever more stringent casting dimensional reproducibility requirements, there is a need to quickly and affordably characterize as-cast surface quality as a function of the refractory coated chemically bonded sand system. Four refractory coatings designed for steel castings were applied to disc-shaped specimens (cores) by industry using the application techniques used in normal foundry production.

A small, simple, and practical casting trial using disc-shaped specimen cores was developed at Western Michigan University (WMU). The test allows several core specimens to be wetted simultaneously from a known steel head pressure, temperature, and chemistry. The casting trials were conducted at Saginaw Valley State University (SVSU) and results show that various refractory coated chemically bonded sand systems provide different as-cast steel surfaces.

Results show that new refractory coatings technology can provide a superior as-cast surface quality to silica and ceramic sands in a steel casting. Still, adequate refractory coatings are required to reduce and/or eliminate sand/binder burn-on. Finally, the refractory coatings can affect the shakeout/collapsibility of the chemically bonded sand system.

Keywords: burn-on (to include terms such-as burn-in, penetration, and adhering coating), disc-shaped specimens, casting trial, chemical sand binder, refractory coating, surface roughness

1 Uvod in namen

1.1 Podlaga

Kemično vezani pesek in jedra predstavljajo pomemben del livne tehnologije jekla in njihovo vedenje ob stiku s staljenim jeklom je še posebej pomembno. V 1. delu te raziskave nakazujemo, da enostavna rešitev ne obstaja, ko gre za izbiro zrnatega medija, namenjenega uporabi z jeklenimi ulitki [1]. Zanimanje za učinke ognjeobstojnih premazov za zaščito fronte med jeklom in kemijskim vezivnim sredstvom za pesek je v industriji jekla še vedno izrazito [1].

Vsako leto v industriji za ognjeobstojne premaze za kemijske sisteme livarskega peska porabijo milijone evrov. Ognjeobstojni premazi se uporabljajo kot pomoč pri izboljšanju zaključnega sloja površine, zmanjševanju napak zaradi toplotnega raztezanja, kot je nastanek žil, in napak zaradi nevezanega peska, kot je erozija ulitkov iz sivih litin [2-4]. Vendar pa ta

1 Introduction and Purpose

1.1 Background

Chemically bonded sand cores and molds are an important part of steel casting technology and their behavior in contact with molten steel is of great interest. Part I of this research suggests there is no panacea when selecting granular media for use with steel castings [1]. Interests in the effects of refractory coatings to protect the steel/chemical sand binder interface remain high in the metal casting industry [1].

Every year, the industry spends millions of dollars on refractory coatings for chemically bonded sand systems. The refractory coatings have been used to aid in surface finish improvements, reduce thermal expansion defects such as veining, and un-bonded sand defects such as erosion in cast iron castings [2-4]. However, the same issues for steel castings are less understood. Assessing the addition of refractory coatings in terms of productivity

področja niso tako dobro poznana, ko gre za jeklene ulitke. Ocena dodajanja ognjeobstoynih premazov z vidika težav v povezavi s produktivnostjo je ključnega pomena, še posebej pri odstranjevanju sistemov z ognjeobstoynimi premazi iz ulitka. Prav tako bi bilo mogoče v novem preskušanju litja oceniti kakovost površine ulitka v litem stanju [1].

Usmerjeno segrevanje peščenih kompozitnih materialov (medij za forme in ulitke) v materialih povzroča anizotropne toplotne gradiente. Ko pridejo oblikovani peščeni kompoziti v stik s staljeno kovino, povzroči prenos toplote termokemično reakcijo, posledica katere so dimenzijske spremembe kompozitnega materiala. Pri poljubni temperaturi je mogoče te dimenzijske spremembe oz. toplotne deformacije pripisati sočasnim spremembam tako peska kot veziva [1,5]. Pri ocenjevanju livarskih ognjeobstoynih premazov na diskastih vzorcih je mogoče učinek izmeriti na mejnih površinah med formo in kovino.¹ Večina livarn kupuje ognjeobstoynne premaze na vodni osnovi v obliki koncentrata, bodisi paste ali pa visoko viskozne suspenzije [3,4]. Na takšen način se zmanjša količina vode med transportom, kar pomaga pri suspenziji ognjeobstoynega premaza med prevozom. Po prejemu ognjeobstoynega premaza v obliki koncentrata morajo v livarni premaz razredčiti skladno s specifikacijami za uporabo, najpogostejši preizkus za določanje končne točke redčenja pa je preizkus na podlagi Baumejeve lestvice.^{3,4} Odbor društva AFS za reakcije na fronti forma-kovina (4-F) je izvedel in objavil raziskavo, ki nakazuje, da uporaba preizkusa na podlagi Baumejeve lestvice za kontrolo redčenja ognjeobstoynih premazov poveča variabilnost z vidika odstotka trdnih delcev v premazu [4]. Mnogo let so v ZDA lokalni proizvajalci ognjeobstoynih premazov

issues is important, especially in terms of how refractory coated sand systems shakeout of the casting. Additionally, the as-cast surface quality can be addressed using in a new casting trial [1].

Directional heating of sand composites (mold and core media) generate anisotropic thermal gradients in the materials. When shaped sand composite comes in contact with molten metal, the heat transferred causes thermo-chemical reactions that result in dimensional changes in the composite. At any given temperature these dimensional changes or thermal distortions are attributable to simultaneous changes in both the sand and the binder [1,5]. When evaluating foundry refractory coatings, the effect of different refractory coating types placed on a disc-shaped specimen can be accessed at the mold/metal interfaces.¹ Most foundries purchase their water based refractory coatings in a concentrated form, either as a paste or a high viscosity slurry.^{3,4} This practice reduces the weight of water shipped and assists the suspension of the refractory coating during shipment. Receiving the refractory coating in a concentrated form necessitates the in-foundry dilution of the coating to application specifications and the most common test used to determine the end point during dilution is the Baume' test [3,4]. The AFS Mold-Metal Interface Reactions Committee (4-F), has conducted research and has since published paper indicating that the use of the Baume' test to control the dilution of refractory coatings adds variability to the % Solids of the coating [4]. For many years in the United States the domestic refractory coating manufacturers have recommended that foundries not use Baume' as a singular coating control test during the dilution of refractory coatings. Many foundries still used the Baume's test (Mold & Core Test Handbook, AFS 4409-

priporočali, naj livarne ne uporabljajo preizkusa na podlagi Baumejeve lestvice kot edini kontrolni preizkus med redčenjem ognjeobstoynih premazov. V številnih livarnah se še vedno uporablja preizkus na podlagi Baumejeve lestvice (priročnik Mold & Core Test Handbook, AFS 4409-00-S) kot edini kontrolni preizkus za ognjeobstoynne premaze na vodni osnovi. Društvo AFS prav tako financira celovite raziskave tehnologije za kontrolo premazov od mokrega do suhega stanja [3].

Osnovna hipoteza proizvajalcev premazov in Odbora 4-F je, da naravna variabilnost rezultatov na podlagi Baumejeve lestvice poveča variabilnost odstotka trdnih delcev v premazu med redčenjem. Povečanje variabilnosti odstotka trdnih delcev vodi v spremembe suhih ognjeobstoynih usedlin na jedrih in formah, zaradi česar nastaja povečano število napak med litjem, prav tako pa se spremenijo tudi dimenzije ulitka [3, 4].

Običajna debelina livarskega ognjeobstoynega premaza pri litem železu je pribl. 0,15 mm, vendar pa je natančnost meritev debeline premaza pri jeklu vprašljiva. Zato so bili vzorci v tej raziskavi z ognjeobstoynim premazom premazani v tovarni ter nato poslani v preskusno litje. Po preskusnem litju je bil preskusni vzorec uničen, kar omogoča pridobivanje informacij o odstranjevanju livarskega peska in kakovosti v litem stanju na podlagi fronte med vzorcem in jeklom [1].

1.2 Namen

Ta raziskava je bila zasnovana za proučitev ognjeobstoynega premaza in kvantifikacijo kakovosti površine ulitka v litem stanju na fronti med jeklom in vzorcem s pomočjo preprostih in praktičnih preskusnih litij

00-S) as the singular control test of a water based refractory coating. Moreover, AFS sponsored research addresses complete wet to dry coating control technology [3].

The underlying hypothesis of the coating manufacturer's and the 4-F Committee's position is that the inherent variability of the Baume's test increases the variability of the % Solids of a coating during dilution. Increasing the variability in the % Solids translates to changes in the refractory dry deposit on cores and molds which ultimately results in an increased number of casting defects and changes to the dimensions of the casting [3, 4].

A typical foundry refractory coating thickness used with cast iron is 0.006 inches; however, the accuracy of thickness measurement is suspect for steel. Thus, specimens used in the study were refractory coated in industry and shipped to the casting trial. After the casting trials, the test specimen is destroyed allowing information such as shakeout and as-cast surface quality to be gained from the specimen/steel interface [1].

1.2 Purpose

This research was designed to study the effect of refractory coating and to quantify as-cast surface quality at a steel/specimen interface using as small, simple and practical casting trial. The questions of the study were twofold:

- Is there a difference in as-cast surface quality among the refractory coating types used with steel casting?
- Is there a difference for refractory coatings shakeout at steel fill temperature?

In the present work, various refractory coated chemically bonded sand disc-shaped

malega obsega. Raziskava je želela odgovoriti na dve vprašanji:

- ali obstaja razlika v kakovosti površine ulitka v litem stanju glede na različne vrste ognjeobstoynih premazov, ki se uporabljajo za jeklene ulitke?
- ali obstaja razlika v povezavi z odstranjevanjem ognjeobstoynih premazov med polnjenjem kalupov z jeklom?

V tem delu smo kemijsko spojena peščena jedra v obliki diskov (piškotke) z različnimi ognjeobstoynimi materiali uporabili v litju in jih proučili pri temperaturi jekla. Ta dvodelna raziskava se osredotoča na analizo dejanskega preskusnega litja z uporabo diskastih vzorcev z ognjeobstoynim premazom (2. del) in brez njega (1. del), proizvedenih skozi različne postopke z uporabo kemičnih veziv za pesek, in sicer iz kremenčevega peska in še enega medija za forme. Preskusno litje običajno imenujemo »piškotki v krofu« (Sl. 1).

V 1. delu te raziskave smo dognali, da površinski pogoji in zaključni sloj jeklenih ulitkov v litem stanju niso dobro poznani in da so z njimi povezani znatni stroški končne obdelave. Potrebna je strategija za kvalifikacijo kemično vezanih peščenih sistemov, namenjenih uporabi v

specimen cores (cookies) were poured and studied at steel temperatures. This two part study is focused on an analysis of an actual casting trial using refractory coated (Part II) and uncoated (Part I) disc-shaped specimens produced from various chemical sand binder processes using silica sand and alternative molding media. The casting trial is normally referred to as "cookies-in-doughnut" (Fig. 1).



Slika 1. Prikaz modela okrogle oblike z luknjo z diskastimi vzorci

Figure 1. Transparent view of doughnut-shaped model with disc-shaped specimens

Part I of this research identified as-cast surface condition and finish in steel castings is not well understood and often incurs significant finishing costs. A strategy

Preglednica 1. Najboljša mejna površina med diskastim vzorcem brez premaza in jeklom (1. del)

Table 1. Best Uncoated Disc-Shaped Specimen/Steel Interface (Part I)

Vzorec / Specimen	Posnetek vzorca v litem stanju / As-Cast Image	Ugotovitve in površinska hrapavost / Observation & surface roughness
2 (Keramika A: / Ceramic A: 68 GFN, 3% RCS)		Razformanje diskastih vzorcev je bilo odlično. Pesek se je prijel na fronto – težko ga je odstraniti. Hrapavost površine Sa = 130 µm. Shakeout of the disc-shaped specimens was excellent. Sand stuck to the interface – hard to remove. Surface roughness Sa = 130 µm.

jeklenih ulitkih. Potreben je nov standard »površinske kakovosti pri litju v pesek« [1].

Najboljša površinska hrapavost v litem stanju, dosežena v 1. delu, je opredeljena in prikazana v Preglednici 1 [1]. Cilj avtorjev je opredeliti, kako močno lahko ognjeobstojni premaz izboljša površino jeklenega ulitka v litem stanju.

2 Metodologija

V tej raziskavi smo proučili učinek ognjeobstojnih premazov na različne sisteme peščenih sistemov na podlagi majhnih, preprostih in praktičnih preskusnih litij namesto bolj zahtevnih in dalj časa trajajočih procesov zbiranja konvencionalnih livarskih preizkusnih ulitkov z namenom pridobivanja informacij o njihovi površinski kakovosti.

V tem projektu smo proučili različne kemično vezane peščene sisteme z različnimi vrstami ognjeobstojnih premazov, zasnovanih za uporabo z jeklom. Premazi so bili pridobljeni in nanaseni na diskaste vzorce v proizvodnem obratu. Preskusno litje je bilo izvedeno na univerzi Saginaw Valley State University (SVSU). Ulitki so bili pregledani v laboratoriju za litje kovin univerze Western Michigan University (WMU).

Postopek je bil sestavljen iz 5 glavnih korakov:

1. proizvodnja diskastih vzorcev,
2. nanos ognjeobstojnega premaza na vzorce,
3. razvoj modela in izdelava forme No-bake iz furanske smole z ozkim okvirjem z dovajalnim sistemom z ognjeobstojnim premazom,
4. preskusno litje in
5. proučitev površinske kakovosti.

is needed to qualify chemically bonded sand binder systems for to use with steel castings. A new "Sand Casting Surface Quality" standard is needed [1].

The best as-cast surface roughness achieved in Part- I is identified and shown in Table 1 [1]. The authors aim is to determine how much improvement refractory coating technology can provide an as-cast steel surface.

2 Methodology

This research study examines the effects of refractory coatings on a variety of sand binder systems using a small, simple, and practical casting trial as opposed to the more laborious and time-consuming processes of collecting conventional foundry test castings to obtain information regarding castings surface quality.

In this project, various chemically bonded sand systems were studied with different types of refractory coatings designed for a steel application. The coatings were sourced and applied to disc-shaped specimens in industry. Casting trials were conducted at Saginaw Valley State University (SVSU). Castings were inspected at Western Michigan University (WMU) Metal Casting Laboratory.

The procedure consisted of 5 major steps:

1. Disc-shaped specimen production,
2. Refractory coating specimens,
3. Model development and fabrication of Furan No-bake tight-flask molds with the gating system refractory coated,
4. Casting trials, and
5. Surface quality observations

2.1 Priprava diskastih vzorcev

Diskasti vzorci (premer 50 mm, debelina 8 mm) so bili pripravljani v obratu s pomočjo naslednjih procesov: oplašeni pesek (RCS – Resin Coated Sand), PUR Cold Box (PUCB) in No-Bake anorganski natrijev silikat (IONB). Raziskovalci so se osredotočili na sisteme, povezane s slabo površinsko kakovostjo oz. težavami z razformanjem iz 1. dela. V Preglednici 2 so prikazane

2.1 Preparation of Disc Shaped Specimens

Disc shaped specimens (50 mm dia. by 8 mm thick) were prepared in industry using the following chemical sand binder processes: shell resin-coated-sand (RCS), phenolic urethane cold box (PUCB) and inorganic sodium silicate no-bake (IONB). The researchers focused on systems that showed poor surface quality and/or were unable to shakeout in Part I. Table 2 shows

Preglednica 2. Diskasti vzorci z ognjeobstoječim premazom za preskusno litje

Table 2. Refractory Coated Disc-shaped Specimens for Casting Trial

Št. / #	Proces / Process	AFS-GFN [sito] / [screens]	Odstotek veziva / % Binder	Peščeni sistem / Sand Systems
A	PUCB	65 [3]	1,4	Kremenčev pesek z okroglimi zrni IL / IL Round Grain Silica
B	RCS	65 [3]	3,0	Kremenčev pesek z okroglimi zrni IL / IL Round Grain Silica
C	E _{ISOCURE}	65 [3]	3,0	Evropski kremenčev pesek / European Silica Sand
D	E _{PEPSET}	65 [3]	3,0	Evropski kremenčev pesek / European Silica Sand
E	IONB	65 [3]	3,5	Keramični B (sintrani Al ₂ O ₃) / Ceramic B (sintered Al ₂ O ₃)
F	IONB	87 [4]	3,5	Keramični B (sintrani Al ₂ O ₃) / Ceramic B (sintered Al ₂ O ₃)

ravni oz. odstotki veziva v primerjavi s težo peska, vrsta peska, AFS-GFN in zrnatost za sisteme, ki so bili v tej raziskavi premazani z ognjeobstoječimi premazi. Pomembno je izpostaviti, da so bili vsi peščeni sistemi (naravni kremenčev in sintetični keramični), uporabljeni za izdelavo diskastih vzorcev, v obratu izdelani, premazani z ognjeobstoječim premazom ter poslani na WMU za merjenje in preskušanje. Dodatne informacije o teh kemično vezanih peščenih sistemih so navedene v 1. delu [1, 6].

the percent binder levels based on weight of sand, the sand types, the AFS-GFN and screen distributions for the systems that are refractory coated in this study. It is important to point out that all sands (natural silica or synthetic ceramic) used in this study to produce disc-shaped specimens were produced in industry, refractory coated in industry and shipped to WMU for measurement and testing. Additional information regarding these sand binder systems can be found in Part I [1, 6].

2.2 Ognjeobstojni premaz za diskaste vzorce

Izbrana vzorčna jedra z ognjeobstojnim premazom so bila transportirana na univerzo SVSU za preskusno litje. V industriji zasnovani, pripravljeni in naneseni so bili štirje ognjeobstojni premazi za jeklene ulitke, in sicer na različne diskaste vzorce (Preglednica 3). Tehnologija ognjeobstojnih premazov na vodni osnovi je v livarski industriji pogosta. To tehnologijo je raziskovalo društvo AFS in prehod iz mokrega v suho stanje je dobro poznan in evidentiran [2-5]. Manj poznana tehnologija ognjeobstojnih premazov se imenuje sol-gel, opisana pa je spodaj.

Sol-gel je mešanica majhnih delcev dveh (ali več) snovi, ki so očitno homogeni, kar imenujemo disperzijski sistem. Snov, ki je v majhni količini prisotna v mešanici, je disperzijska faza; porazdeljena je po disperzijskem mediju. Velikost delcev trdne disperzijske faze meri med 1 in 100 nm. Koloidni delci sol nastanejo s hidrolizo prehodnih molekul, ki nato kondenzirajo. Pod specifičnimi pogoji se lahko koloidni delci vežejo v tridimenzionalno neurejeno in razvejano mrežo po celotni prostornini – in tvorijo gel. Obstajata dva osnovna procesa sinteze sol-gela: anorganski (koloidni) ter organski (polimerni ali alkoksidni). Po koloidni poti nastaja gel skozi aglomeracijo gostih koloidnih delcev [7,8].

V najnovejših študijah tehnologije premazov so ugotovili, da sol-gel bistveno izboljša površino ulitkov v nekaterih postopkih uporabe [7,9]. Tehnologija premazov igra pomembno vlogo pri razmerju dodanih komponent sol-gela drugim sestavinam. Zaradi takšnega vpliva na viskoznost premaza in njegove lastnosti rasti, kot je npr. mazanje, se izboljša površina ulitka. Za naše potrebe smo pripravili premaz za ulitek sol-gel na

2.2 Refractory Coating of Disc Shaped Specimens

Selected refractory coated specimen cores were delivered to SVSU for the casting trials. Four refractory coatings for steel casting were designed, prepared and applied by industry to various disc-shaped specimen (Table 3). Water based refractory coating technology is common placed in the foundry industry. This technology has been studied by the AFS and wet to dry controls are well understood and documented [2-5]. A less common refractory coating technology is sol-gel and this approach is described below.

Sol-gel is a mixture of small particles of two (or more) substances that is apparently homogeneous and is called the dispersion system. The substance which is in the mixture in a small amount is the dispersed phase; it is distributed in the dispersion medium. The particle size of the solid dispersed phase is between 1-100 nm. Colloidal sol particles are formed by hydrolysis of precursor molecules which then condense. Under certain conditions, the colloidal particles can bind into a three-dimensional disordered and branched network throughout the volume - forming a gel. There are two basic processes for sol-gel synthesis: inorganic (colloidal) and organic (polymeric or alkoxide). By the colloidal route, the gel is formed by agglomeration of dense colloidal particles [7,8].

Recent studies in coatings technology, indicate the sol-gel additive significantly improve the surface of the castings in some application processes [7,9]. The coating technology itself plays an important role in the ratio of the added sol-gel component to the other components. Because of this affects the viscosity of the coating and with its growth properties such as lubrication and,

Preglednica 3. Nanos ognjeobstojnega premaza na diskaste vzorce**Table 3.** Refractory Coatings Applied to Disc-shaped Specimens

Podjetje / Company	Osnovni material / Base Material	Proces / Process	Način apliciranja / Application
I (ASK, Španija) / (ASK, Spain)	Cirkon / Zircon	Vodna osnova / Water Based	Pršenje / Sprayed
II (ASK, ZDA / (ASK, USA)	Cirkon / Zircon	Vodna osnova / Water Based	Pomakanje / Dipped
III (Refcotec)	Cirkon / Zircon	Vodna osnova / Water Based	Pomakanje / Dipped
IV (U, Slovenija) / (U, Slovenia)	?	Sol-gel / Sol Gel	Nanos s čopičem / Brushed

osnovi komercialnega premaza na podlagi cirkonija Aquadur ZP – 85 % (Exoterm-it d.o.o) in komponento sol-gel (HCl, TiCl_4) – 15 %.

2.3 Razvoj modela

V tem poskusu smo diskaste vzorce primerjali na podlagi modela »površinskih napak«.¹ Zasnovali smo okrogel model z luknjo, primeren za diskaste vzorce pod enakomernim metalostatičnim tlakom (Sl. 1), in sicer za izvedbo niza preskusnih litij jekla.¹ Namen tega modela je ugotoviti, ali obstajajo razlike med površinsko kakovostjo front jeklenih ulitkov v litem stanju.

2.4 Preskusno litje

Postopek preskusnega litja je sestavljala proizvodnja ulitkov iz furanske smole ter nato taljenje, litje in končno razformanje ulitkov. Forme so bile izdelane na univerzi WMU pri naslednjih okoljskih pogojih: temperatura 20 ± 1 °C in relativna zračna vlažnost 50 ± 2 %. Litje je potekalo na univerzi SVSU. Ulitki so se pred razformanjem strdili, nato so bili zapakirani in poslani v laboratorij za litje kovin univerze WMU.

consequently, the surface of the casting are improved. For our purposes, we prepared a sol-gel casting coating from a commercial zirconium-based coating Aquadur ZP – 85 % (Exoterm-it d.o.o) and sol-gel (HCl, TiCl_4) component - 15%.

2.3 Model Development

In this experiment chemically bonded disc-shaped specimens were compared using an experimental "surface defect" model.¹ The doughnut-shaped model that accommodates disc-shaped specimens under an equal metalostatic pressure was designed (Fig. 1) to perform a series of steel casting trials.¹ The purpose of this model is to identify if there are differences in as-cast steel interfacial surface quality.

2.4 Casting Trials

The casting trial procedure consisted of Furan mold fabrication followed by melting, pouring, and shakeout. Molds were fabricated at WMU where ambient conditions were temperature controlled at 20 ± 1 °C and relative humidity was controlled at 50 ± 2 %. Pouring occurred at SVSU. Castings were allowed to solidify before

Priprava form No-bake iz furanske smole z ozkim okvirjem

Na tri forme No-bake iz furanske smole z ozkim okvirjem smo namestili jeklen lijak premera 114,3 mm (4.5 in.) in filter za zagotavljanje konstantne tlačne višine in hitrosti polnjenja. Dovajalno votlino forme okrogle oblike z luknjo smo premazali z ognjeobstoječim premazom, da bi vzorec zaščitili pred nesprijetim peskom in preprečili pokanje form.

Vsak spodnji del forme je vseboval jedrne nastavke, da v ulitku ne bi prišlo do pozicijskih učinkov. Takšen pristop je omogočil pripisovanje razlik v kakovosti ulitka izključno diskastim vzorcem jeder z ognjeobstoječim premazom.

Postopek

Postopek izdelave forme je potekal v naslednjih korakih:

- zgornji in spodnji del forme sta bila izdelana skladno z vzorcem modelne plošče, ki obsega preprost dovajalni sistem za neposredno dovajanje brez tlaka.
- Po izdelavi smo zgornjemu delu forme dodali lijak za neposredno litje, da bi zagotovili tlačno višino 23 cm (9 palcev) za vsak vzorec.
- Pred sestavljanjem obeh polovic forme smo diskaste vzorce postavili na jedrne nastavke (Sl. 2). Visokotemperaturni lepilo smo nanесли na delilno ravnino. Formo smo zaprli ob delilni ravnini in na zgornji del forme pred litjem postavili uteži.

Taljenje in litje

Forme so bili označene in vanje je bilo litih dvanajst diskastih vzorcev po naključnem redu. Dvanajst diskastih vzorcev je bilo simetrično razporejenih po vzorcu z namenom preprečevanja pozicijskih učinkov litja. Ta pristop je

shakeout then packaged and shipped to WMU Metal Casting Laboratory.

Preparation of Furan No-Bake Tight-Flask Molds

Three furan no-bake tight-flask molds were fitted with a 114.3 mm (4.5 in.) dia. steel pouring sleeve and a filter for constant head-pressure and fill velocity. The doughnut-mold gating cavities were refractory coated to protect specimen interface from loose sand and to prevent molds from cracking.

Each drag mold contained core-prints where no positional effects exist in the casting. This approach allows possible variation in casting quality to be attributed to only refractory coated disc-shaped cores specimens.

Procedure

The mold making procedure consisted of the following steps:

1. Cope and drag mold halves were fabricated according to a match plate pattern that is comprised of a simple non-pressurized direct pour gating system.
2. After fabrication a direct pouring sleeve is added to the cope mold in order to obtain 9 inches (23 cm) pressure head on each of the specimens.
3. Prior to assembling the cope and drag, disc-shaped specimens were set in the core-prints (Fig. 2). A high temperature adhesive was used at the parting line. The mold was closed to secure the parting line and weights were placed on the cope prior to pouring.

Melting and Pouring

The molds were labeled and poured where twelve disc-shaped specimens were randomized. The twelve disc-shaped specimen cores were arranged

Slika 2. Diskasti vzorci na jedrnih nastavkih v spodnjem delu forme s premazom

Figure 2. Disc shaped specimens set on core prints in coated drag mold

omogočil raziskavo, s katerim sistemom peščenih veziv je povezana določena površinska kakovost (mejna površina med vzorcem in kovino).

Razmerje med peskom in kovino za vse forme No-bake je bilo 2:1. Taljenje in litje je potekalo v laboratoriju za litje kovin univerze SVSU.

V vse forme je bilo ročno lito malolegirano jeklo 4130 pri temperaturi 1.600 °C, povprečno trajanje litja za vsako formo je bilo ~15 sekund. Jeklo se je dovajalo skozi lijak za neposredno litje s filtrom iz keramične pene. Jeklo je bilo v vse forme lito do višine 23 cm (9 palcev). Pomembno je izpostaviti, da je bilo jeklo v vse forme vlito pri isti temperaturi in da je bila kemijska sestava enaka kot v 1. delu.¹

2.5 Raziskava površinske kakovosti

Jekleni ulitki so se pred razformanjem iz form strdili. Za razformanje smo ulitek postavili na kovinsko mizo z jekleno mrežo, spodnji del forme je bil obrnjen navzdol. Razformanje smo izvedli s pnevmatskim kladivom s prilagojenim topim sekačem. Pnevmatško kladivo smo uporabili na zunanjem obodu in ga premikali ob robu ulitka vnaprej določen čas (45 s). Ves pesek smo iz jedrnega nastavka iztresli s pomočjo gravitacije. Po razformanju ulitka je bilo mogoče na podlagi znanega vnosa energije določiti fronto med diskastim vzorcem in kovino. Določeni vzorci so se zlomili in padli iz jedrnega nastavka, zato jih ni bilo treba razformati, odstranjevanje drugih vzorcev



symmetrically in a mold so that no positional effects on the casting should be present. This approach allowed possible variation in casting surface quality (specimen/metal interface) to be attributed to sand binder systems.

The sand-to-metal ratio for all no-bake molds was 2:1. Melting and pouring took place at SVSU Metal Casting Laboratory.

All molds were manually poured with 4130 low alloyed steel at 1600°C where the average pouring time on each mold was ~15 sec. The steel was delivered through a direct pouring sleeve fitted with a ceramic foam filter. All molds were poured to 23 cm (9 in.) head-height. It is important to point out all molds were poured from the same heat and was the same metal chemistry poured in Part I.¹

2.5 Surface Quality Observation

The steel castings were allowed to solidify prior to shakeout from molds. For shakeout, the casting was placed on a steel- grated metal table with the drag side down. Shakeout was conducted using a pneumatic air-chisel with a modified blunt-tip. More specifically, the air-chisel was brought in

Preglednica 4. Lestvica ocen za razformanje in pogoje fronte med ognjeobstoječim premazom/jeklom

Lestvica ocen		Razformanje	Pogoji fronte pri ognjeobstoječnem premazu
1	(nizka – najslabša)	Slaba – brez razformanja, brez odstranitve	Ni na voljo – zavržen ulitek
2		Zmerna – potrebno mehansko odstranjevanje – težko kopanje	Pesek se je prijel na premaz – težko ga je odstraniti
3		Dobra – potrebno mehansko odstranjevanje – enostavno kopanje	Pesek se je prijel na premaz – enostavno ga je odstraniti
4		Zelo dobra – potrebno razformanje s stresanjem (najm. 45 s)	Prijel se je tanek sloj premaza
5	(visoka – najboljša)	Odlična – premaz/pesek odstranjena z minimalno tresenja oz. brez njega	Čista površina jekla – brez premaza

pa je bilo zahtevno. Ocene razformanja so bile izdelane s pomočjo Preglednice 4.

Ulitki so bili prerežani blizu fronte diskastega vzorca/jekla in nato preiskani s 3D-makroskopijo, če je bilo mogoče vzorec razformati. Ravnina na Sl. 3 prikazuje prerez ulitka, ki razkriva fronto vzorca/jekla. 3D-posnetki fronte vzorca/kovina in površinska hrapavosti so bili izmerjeni in poročani v rezultatih. Ocene površine fronte v litem stanju so bile izdelane s pomočjo Preglednice 4.

Ta analiza se je v prvi vrsti osredotočala na karakterizacijo površinske kakovosti

Table 4. Rating Scale for Shakeout and Refractory Coated/Steel Interfacial Condition

Rating scale		Shakeout	Coating interfacial condition
1	(low – worst)	Poor – No shakeout, no removal	NA - Scrapped casting
2		Fair – Requires mechanical removal – hard to dig	Sand stuck to coating – hard to remove
3		Good – Requires mechanical removal – easy to dig	Sand stuck to coating – easy to remove
4		Very Good – Requires vibratory shake (min. – 45 sec.)	Thin layer of coating adhering
5	(high – best)	Excellent – Coating/ Sand removed with little to no vibration	Clean Steel Surface – free of coating

contact with the outer circumference and moved along the periphery of the casting for a predetermined amount of time (45 secs.). All sand that was shook out was free to flow out of the core-prints. After casting shakeout, with a known energy input, observations could be made of the disc-shaped specimen/metal interface. Certain specimens collapsed and fell out the prints without need for shakeout while other specimens were difficult to remove. Shakeout ratings were made using Table 4.

The castings were sectioned near the disc shape specimen/steel interface and then examined using a 3D Macroscopic if the specimen was able to shakeout. The plane in Fig. 3 shows a section cut performed on the casting to reveal the specimen/steel

fronte vzorcev z ognjeobstoječim premazom/jeklom. 3D-makroskopijo smo uporabili zaradi digitalne nekontaktna tehnologije meritve površin ter za zajemanje posnetkov in podatkov.

Avtorji so površinsko kakovost v litem stanju prikazali kot celoto z naslednjimi sestavinami:

Površinski pogoji: ocena učinkovitosti razformanja in odsotnost površinskih napak, npr.: pripekanje, površinske anomalije, kot so razjede, penetracije, luske, brazgotine itd., kot je opredeljeno v Preglednici 4,

Površinska hrapavost: digitalna nekontaktna meritev površine, označena z R_a (μm).

3 Rezultati in razprava

V tem poglavju so navedeni rezultati v povezavi s površinsko kakovostjo in ugotovitve, ki izhajajo iz preskusnega litja jekla. Pomniti je treba, da so bili diskasti vzorci, premazani z ognjeobstoječim premazom, liti pri temperaturi za jeklo (1600 °C). Društvo AFS ne opredeljuje razlike med kakovostjo površine ulitka in končno površino ulitka. Prav tako so opredeljeni

interface. 3D images of the specimen/metal interfaces and surface roughness were measured and reported as results. As-cast interfacial finish ratings were made using Table 4.

This analysis was focused primarily on characterizing the as-cast surface quality of refractory coated specimen/steel interface. A 3D Macroscope was considered for its digital noncontact surface measurement technology, imaging, and data capture.

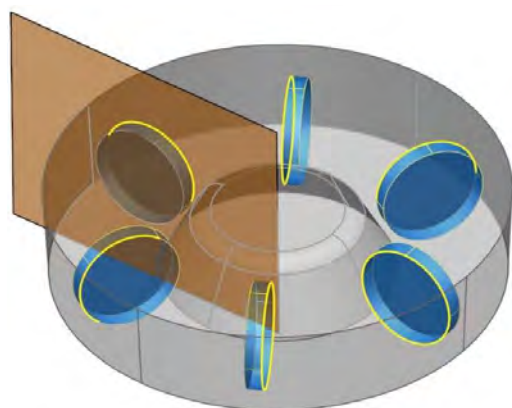
Further, the authors depict an as-cast surface quality as being comprised of both:

Surface Condition: A rating of the ability to shakeout and freedom of surface issue such as: Burn-on, surface anomalies such as erosions, veins, penetration, scabs, scars, etc. as defined in Table 4; and

Surface Roughness: A digital noncontact surface finish measure as R_a (μm)

3 Results and Discussion

This section will relate the surface quality observations and findings from the steel casting trials. It is important to reiterate that refractory coated disc-shaped specimens used for casting were poured at steel temperatures (1600°C). The AFS does not define a difference between casting surface quality and casting surface finish. Further, the conspicuous results related to surface condition and finish as it may relate to pouring temperature and binder type are



Slika 3. Prosojna ravnina, prikazana nad ulitkom s postavljenimi jedri

Figure 3. Transparent cutting plane imposed on the casting with cores in place

jasni rezultati, povezani s površinskimi pogoji in končno površino, saj so lahko povezani z livno temperaturo in vrsto veziva. Raziskovalci so primerjali končne površine ulitkov v litem stanju in površinske pogoje na podlagi lestvice ocen, kot je opredeljena v Preglednici 4.

Diskasti vzorci brez premaza so povezani z majhnim razponom hrapavosti (Preglednica 5). Peščeni sistem z najdrobnejšimi zrnji 3 je bil najgladkejši s $40\ \mu\text{m}$ in hrapavost peščenega sistema z grobimi zrnji 5 je merila $69\ \mu\text{m}$. Ognjeobstojni premaz lahko izboljša površinsko hrapavost diskastih vzorcev, vendar se lahko rezultati razlikujejo glede na način nanosa. Sol-gel je bil najbolj raskav ognjeobstojni premaz zaradi načina nanosa. Sledovi čopiča so bili jasno vidni v obliki potez na vzorcih z ognjeobstojnimi premazom sol-gel. Tipična površinska hrapavost nepremazanih in z ognjeobstojnimi premazom premazanih vzorcev je prikazana v Preglednicah 5 in 6.

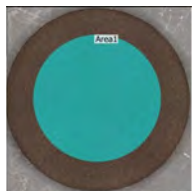
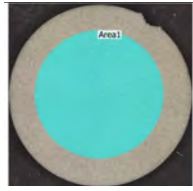
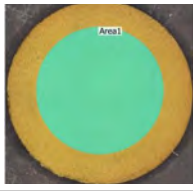
Rezultati so bili dosledni med preskusnimi litji z vidika hrapavosti površine in drugih ugotovitev. Kvalitativna ocena kovinskih površin front vzorcev s premazom je pokazala, da vse površine s premazom niso enake. Zanimivo je, da je v Preglednici 4 prikazano, da višje ocenjeni pogoji fronte niso povezani z boljšo hrapavostjo površine niti pri nepremazanih vzorcih niti pri vzorcih z ognjeobstojnimi premazom. To pomeni, da površinske kakovosti ulitka v litem stanju ne določa niti velikost peščenih zrn niti proces peščenih veziv. Vendar pa je bila površinska kakovost, dosežena z ognjeobstojnimi premazom sol-gel, boljša v primerjavi z ognjeobstojnimi premazi na vodni osnovi. Rezultati za ognjeobstojne premaze na vodni osnovi so prikazani v Preglednici 7, vendar podatki o hrapavosti površine niso navedeni, saj so bile tudi najboljše fronte jekla mnogo preveč raskave ($>100\ \mu\text{m}$).

identified. The researchers have compared the as-cast surface finishes and surface condition using a rating scale as defined in Table 4.

Uncoated disc-shaped specimens showed a narrow range of roughness

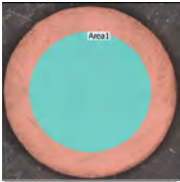
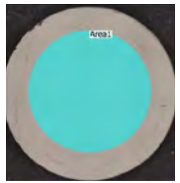
Preglednica 5. Hrapavost površine tipičnih diskastih vzorcev brez premaza

Table 5. Surface Roughness of Typical Uncoated Disc-Shaped Specimen

Vrsta vzorca / Specimen type	Hrapavost površine (μm) / Surface roughness (μm)	
	Optično / Optical	Površina S_a (premer 35 mm) / S_a Area (35 mm dia.)
1 (Keramika A / Ceramic A: 68 GFN, 3 % RCS)		52
4 (Kremenčen pesek z okroglimi zrnji / Round Grain Silica: 65 GFN, 1,4 % PUCB)		57
5 (Pesek iz jezera: / Lake Sand: 65 GFN, 1,4 % PUCB)		69
3 (Keramika B / Ceramic B: 80 GFN, 3 % RCS)		40

Preglednica 6. Hrapavost površine tipičnih diskastih vzorcev z ognjeobojnim premazom

Table 6. Surface Roughness of Typical Refractory Coated Disc-Shaped Specimen

Vrsta vzorca / Specimen type	Hrapavost površine (μm) / Surface roughness (μm)	
	Optično / Optical	Površina S_a (premer 35 mm) / S_a area (35 mm dia.)
Nanos s pomakanjem / Dip Coated [B1155]		40
Nanos s pršenjem / Spray Coated [B1755]		34
Nanos sol- gela / Sol-Gel Coated		85

Rezultati preskusnega litja vzorcev z ognjeobojnim premazom sol-gel so prikazani v Preglednicah 8 in 9 ter razvrščeni glede na sistem veziv za pesek. Razlike v površinski hrapavosti je mogoče opredeliti tudi med vzorci z ognjeobojnim premazom sol-gel v litem stanju. Najboljša površinska hrapavost front vzorcev z ognjeobojnim premazom sol-gel, prikazana v Preglednici 8, je mnogo boljša od katere koli predhodno opredeljene površinske hrapavosti. Zanimivo je, da površinska hrapavost jeklenih ulitkov v litem stanju ni povezana s površinsko hrapavostjo diskastega vzorca brez premaza niti vzorcev z ognjeobojnim premazom.

(Table 5). The finest sand system 3 was the smoothest 40 μm and a coarser sand system 5 was 69 μm . Refractory coating can improve the surface roughness of the disc-shaped specimens but this depends on the method of application. The sol-gel was the roughest refractory coating due to the method of application. The brush strokes were clearly visible and wavy on the sol-gel refractory coated specimens. Typical surface roughness from uncoated and refractory coated specimens are shown in Tables 5 and 6.

Results were consistent casting trial to casting trial by surface roughness and observations. Qualitative evaluation of the coated specimen metal interfaces indicated that all coated surfaces were not the same. More interestingly, Table 4 shows that a higher rated interfacial condition did not relate to superior surface roughness in either uncoated or refractory coated specimens. This points out that neither the sand fineness nor a sand binder process dictates as-cast surface finish. Yet, the as-cast surface quality achieved with the sol-gel refractory coating process was superior to the water based refractory coating process in surface quality. The results for the water based refractory coatings are shown in Table 7 but no surface roughness data is reported because the best steel interfaces were far too rough (>100 μm).

The results from the casting trials for Sol-Gel refractory coated specimen interfaces are pictured in Tables 8 and 9 and laid out according to sand binder system. Moreover, surface roughness differences can be identified among the as-cast Sol-Gel refractory coatings. The best surface roughness for Sol-Gel refractory coated specimen interfaces shown in Table 8 are far superior to any surface roughness identified previously. Interestingly, the as-cast steel surface roughness does not

Preglednica 7. Ugotovitve v povezavi s površino ulitkov v litem stanju na fronti diskastih vzorcev z ognjeobstoječim premazom na vodni osnovi/jeklo

Table 7. As-Cast surface observations from water based refractory coated disc-shaped specimen/ steel interface

Podjetje / Company	Način apliciranja / Application	Razformanje / Shakeout	Pogoji fronte pri ognjeobstoječem premazu / Coating interfacial condition
I (ASK, Španija / Spain)	Pršenje / Sprayed	3–4 Dobra – potrebno mehansko odstranjevanje – enostavno kopanje / 3–4 Good – Requires mechanical removal – easy to dig	2–3 Pesek se je prijel na premaz – težko ga je odstraniti / 2–3 Sand stuck to coating – hard to remove
II (ASK, ZDA / USA)	Pomakanje / Dipped	2 Zmerna – potrebno mehansko odstranjevanje – težko kopanje / 2 Fair – Requires mechanical removal – hard to dig	2 Pesek se je prijel na premaz – težko ga je odstraniti / 2 Sand stuck to coating – hard to remove
III (Refcotec)	Pomakanje / Dipped	2 Zmerna – potrebno mehansko odstranjevanje – težko kopanje / 2 Fair – Requires mechanical removal – hard to dig	2 Pesek se je prijel na premaz – težko ga je odstraniti / 2 Sand stuck to coating – hard to remove

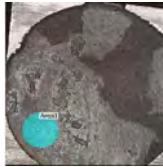
V Preglednicah 8 in 9 so prikazane iste fronte med vzorcem in jeklom, vendar se površine, na podlagi katerih so izmerjene njihove hrapavosti, razlikujejo in različne vrednosti S_a so bile izmerjene za isto fronto. Na Sl. 4 je prikazano, kako površinski pogoji, kot je pesek/premaz, ki se prime na fronto jekla, poslabša hrapavost površine, in sicer z izpostavitvijo sprememb višine med peščenimi zrni, ognjeobstoječim premazom in jeklom. Logično je, da so najmanjše najboljše površine iz Preglednice 8 povezane z ugodnejšimi vrednostmi S_a . Ob uporabi večje površine je v meritvah zajetih več nepravilnosti oz. površinskih napak in manj ugodne vrednosti S_a so prikazane v Preglednici 9. Ob uporabi boljšega načina nanašanja ognjeobstoječega premaza sol-gel je mogoče zagotoviti boljšo fronto jeklenega ulitka v litem stanju. Prav tako je ključnega pomena določitev novega standarda za merjenje površinske kakovosti v litem stanju z ognjeobstoječim premazom in brez njega.

relate to the surface roughness of either the uncoated disc-shaped or refractory coated specimens.

Tables 8 and 9 show the same specimen/ steel interfaces, however the area from which the surface roughness is measured are dissimilar and different S_a values are reported for the same interface. Fig. 4 addresses how a surface condition such as sand/coating adhering to the steel interface compromises the surface roughness by pointing out the height changes among sand grains, refractory coating, and steel. Logically, the smaller best surface area Table 8 reveal superior S_a values. Using a larger area more waviness and surface issues are captured in the measures and rougher S_a values are shown in Table 9. With a better application method for the Sol-Gel refractory coating a superior as-cast steel interface is possible. Furthermore, a new standard for measuring as-cast steel surface quality with and without refractory coating is essential.

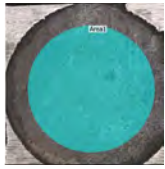
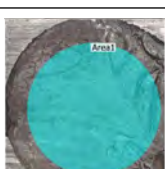
Preglednica 8. Presek ulitka, ki prikazuje najboljšo površinsko hrapavost ulitka v litem stanju, in ugotovitve v povezavi s površino ulitkov v litem stanju na fronti diskastih vzorcev z ognjeobojnim premazom sol-gel/jeklo

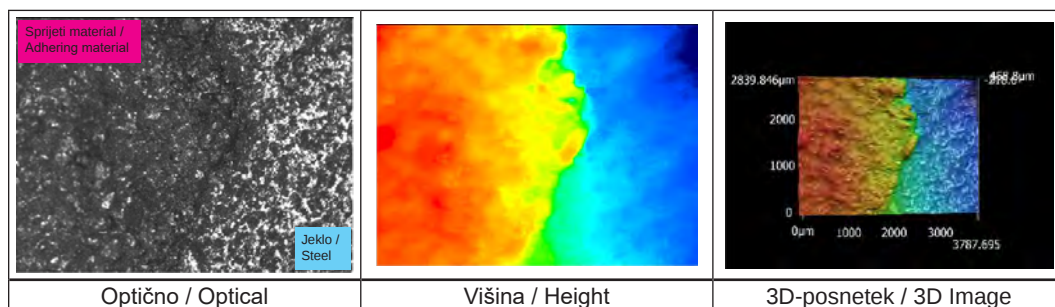
Table 8. Casting sections showing best area for as-cast surface roughness and observations from various sol-gel refractory coated disc-shaped specimen/steel interface

Vrsta vzorca / Specimen type	Hrapavost površine / Surface roughness (μm)		Ugotovitve / Observations	
	Optično / Optical	Najboljša površina S_a / Best area S_a	Razformanje / Shakeout	Pogoji fronte / Interfacial condition
A Kremenčen pesek z okroglimi zrnji / Round Grain Silica (65 GFN, 1,4 % PUCB)		19	3 Dobra – potrebno mehansko odstranjevanje – enostavno kopanje / Good – Requires mechani- cal removal – easy to dig	4 Prišel se je tanek sloj premaza / Thin layer of coating adhering
B Kremenčen pesek z okroglimi zrnji / Round Grain Silica (65 GFN, 3% RCS)		17	3 Dobra – potrebno mehansko odstranjevanje – enostavno kopanje / Good – Requires mechani- cal removal – easy to dig	3 Pesek se je prijel na premaz – enostavno ga je odstraniti / Sand stuck to coating – easy to remove
C (E_{ISOCURE})		21	4 Zelo dobra – potrebno razformanje s stresanjem (najm. 45 s) / Very Good – Requires vibratory shake (min. – 45 sec.)	4 Prišel se je tanek sloj premaza / Thin layer of coating adhering
D (E_{PEPSET})		24	4 Zelo dobra – potrebno razformanje s stresanjem (najm. 45 s) / Very Good – Requires vibratory shake (min. – 45 sec.)	4 Prišel se je tanek sloj premaza / Thin layer of coating adhering
E (Keramika B: 87 GFN, 3,5 % anorganskega veziva) / (Ceramic B: 87 GFN, 3.5% Inorganic Binder)		33	1 Slaba – brez razformanja, brez odstranitve / Poor – No shakeout, no removal	3 Pesek se je prijel na premaz – enostavno ga je odstraniti / Sand stuck to coating – easy to remove
F (Keramika B: 65 GFN, 3,5 % anorganskega veziva) / (Ceramic B: 65 GFN, 3.5% Inorganic Binder)		24	3 Dobra – potrebno mehansko odstranjevanje – enostavno kopanje / Good – Requires mechani- cal removal – easy to dig	3 Pesek se je prijel na premaz – enostavno ga je odstraniti / Sand stuck to coating – easy to remove

Preglednica 9. Presek ulitka, ki prikazuje ENOTNO površinsko hrapavost ulitka v litem stanju, in ugotovitve v povezavi s površino ulitkov v litem stanju na fronti diskastih vzorcev z ognjeobojnim premazom sol-gel/jeklo

Table 9. Casting Sections Showing Uniform Area As-Cast Surface Roughness and Observations from various Sol- Gel Refractory Coated Disc-Shaped Specimen/Steel Interface

Vrsta vzorca / Specimen type	Hrapavost površine / Surface roughness (μm)		Ugotovitve / Observations	
	Optično / Optical	Enotna površina S_a / Best area S_a [963 mm ²]	Razformanje / Shakeout	Pogoji fronte / Interfacial condition
A Kremenčen pesek z okroglimi zrni / Round Grain Silica (65 GFN, 1,4 % PUCB)		157	3 Dobra – potrebno mehansko odstranjevanje – enostavno kopanje / Good – Requires mechanical removal – easy to dig	4 Prišel se je tanek sloj premaza / Thin layer of coating adhering
B Kremenčen pesek z okroglimi zrni / Round Grain Silica (65 GFN, 3% RCS)		289	3 Dobra – potrebno mehansko odstranjevanje – enostavno kopanje / Good – Requires mechanical removal – easy to dig	3 Pesek se je prijel na premaz – enostavno ga je odstraniti / Sand stuck to coating – easy to remove
C (E _{ISOCURE})		915	4 Zelo dobra – potrebno razformanje s stresanjem (najm. 45 s) / Very Good – Requires vibratory shake (min. – 45 sec.)	4 Prišel se je tanek sloj premaza / Thin layer of coating adhering
D (E _{PEPSET})		287	4 Zelo dobra – potrebno razformanje s stresanjem (najm. 45 s) / Very Good – Requires vibratory shake (min. – 45 sec.)	4 Prišel se je tanek sloj premaza / Thin layer of coating adhering
E (Keramika B: 87 GFN, 3,5 % anorganskega veziva) / (Ceramic B: 87 GFN, 3.5% Inorganic Binder)		462	1 Slaba – brez razformanja, brez odstranitve / Poor – No shakeout, no removal	3 Pesek se je prijel na premaz – enostavno ga je odstraniti / Sand stuck to coating – easy to remove
F (Keramika B: 65 GFN, 3,5 % anorganskega veziva) / (Ceramic B: 65 GFN, 3.5% Inorganic Binder)		864	3 Dobra – potrebno mehansko odstranjevanje – enostavno kopanje / Good – Requires mechanical removal – easy to dig	3 Pesek se je prijel na premaz – enostavno ga je odstraniti / Sand stuck to coating – easy to remove



Slika 4. Povečava (Vzorec B), ki prikazuje pesek/premaz, ki se je prijel na fronto jekla

Figure 4. Magnified views (Specimen B) showing sand/coating adhering to the steel interface

4 Zaključek in priporočila

Društvo AFS potrebuje novo metodo za merjenje površinske kakovosti ulitkov, litih v pesek. Nov digitalni standard mora obsegati digitalni indeks tako za površinske pogoje ulitka kot tudi površinsko hrapavost ulitka. Uporaba preprostih diskastih vzorcev v enostavnem in stroškovno učinkovitem preskusnem litju je omogočila kar največje zmanjšanje vpliva geometrije na ulitek, kar omogoča izvedbo smiselne analize toplotno-mehanskih interakcij in napak, ki nastajajo na fronti med formo in jeklom. Pomembne in koristne ugotovitve je mogoče iz preizkusnega litja potegniti na podlagi zgolj osnovnih predpostavk.

Preskusno litje jekla je pokazalo, da obstajajo razlike med ocenjevanimi peščenimi vezivnimi sistemi z ognjeobstojnimi premazi. Preskusno litje je prav tako pokazalo, da lahko tehnologija ognjeobstojnih premazov, še posebej sol-gel, zagotovi zaščito ter izboljšanje površinske kakovosti na fronti jeklo/vzorec. Noben preiskovan ognjeobstojni premaz na vodni osnovi ni zagotovil površinske kakovosti ulitka v litem stanju $<100\ \mu\text{m}$ na fronti jeklo/vzorec. Priporoča se preiskava izbočenega sloja ognjeobstojnih premazov na vodni osnovi za zagotavljanje boljše

4 Conclusion and Recommendation

The AFS requires a new standard for measuring sand cast surface quality. A new digital standard must consider a digital index for both casting surface condition and casting surface roughness. The use of the simple disc-shape in a simple cost-effective casting trial allowed for minimizing the effect of geometry on casting, allowing a meaningful analysis of the thermo-mechanical interactions and issues resulting at mold/steel interface. Important and useful findings can be extracted from the casting trial with just basic assumptions.

The steel casting trial showed there were differences observed among the refractory coated sand binder systems evaluated. The casting trial showed that refractory coating technology, especially Sol-Gel can offer protection and more notably an improvement in surface quality at the steel/specimen interface. No water based refractory coating technologies studied were able to provide an as-cast surface finish $<100\ \mu\text{m}$ at the steel/specimen interface. It is recommended that the proud layer thickness of water based refractory coating technology be investigated to better protect as a steel interfacial barrier. This work identified sand-binder system that

zaščite kot bariera na fronti jekla. V prispevku smo opredelili peščene vezivne sisteme, katerih razformanje je bilo oteženo ali nemogoče, ob uporabi ognjeobstojnega premaza pa je bilo razformanje mogoče. V prispevku smo prav tako razkrili da lahko sam način nanašanja (s čopičem, pomakanjem ali pršenjem) ognjeobstojnega premaza močno vpliva na površinsko kakovost jeklenih ulitkov.

Omejitve

V tej raziskavi so predstavljeni podatki nekaterih ognjeobstojskih premazov pri temperaturah za jeklo in tlačni višini, običajni za srednje velike jeklene ulitke. Obstajajo tudi drugi sistemi ognjeobstojskih premazov, iz katerih je mogoče pridobiti dodatne podatke in bolje spoznati toplotne lastnosti in vedenje drugih peščenih sistemov.

Zahvale

Avtorji se želijo zahvaliti študentom univerz SVSU (H. Towalski, K. Konwinski in I. Portice) in WMU (A. Patel, M. Patel, K. Pathak in K. Shenoy) za pomoč pri preskusnem litju in laboratorijskem testiranju.

were difficult or unable to shakeout from steel were possible with refractory coating technology. Further, the work reveals that the mere technique (brush, dip, or spray) of applying the refractory coating can significantly impact steel casting surface quality.

Limitations

The work in this paper represents the data for a few refractory coating systems at steel temperatures and a head pressure representative of a medium size steel casting. There are other refractory coating systems and aggregates from which additional data could be gathered to learn more about thermal properties and behaviors of other sand systems.

Acknowledgments

The authors thank the metal casting students at SVSU (H. Towalski, K. Konwinski, and I. Portice) and WMU (A. Patel, M. Patel, K. Pathak, and K. Shenoy) for their support with casting trials and laboratory testing.

Viri / References

- Ramrattan, S., Wells, L., and Tuttle, R., "As-Cast Surface Characterization for Steel using Disc-Shaped Chemically Bonded Sand Specimens", *International Journal of Metalcasting*, (2020).
- Ramrattan, S. N., Cheah, S. F., Guyer, O. B., and Fisher, K. M., "Comparing Refractory Coatings on Shell Sand Utilizing Elevated Temperature and Collapsibility Testing," *AFS Transactions*, 04-122, (2004).
- Ramrattan, S. N., and Joyce, M. K., "Wet to Dry - Refractory Coating Control for Precision PUCB Sands", Vol. 5, Issue 2, Pages 7-22, *International Journal of Metalcasting*, (Spring 2011).

- AFS 4-F Mold-Metal Interface Reactions Committee; "Baumè: Complete Coating Control? Phase I: Variability of Coating Control Tests", *AFS Transactions*, 04-136, (2004).
- Guyer, O. B., Emptage, R. C., Ramrattan, S. N., "The Effect of Refractory Coating Thermal Heat Transfer on Phenolic Urethane Cold Box Core Distortion at Iron Temperature and Pressure," *AFS Transactions* 05-192, (2005).
- Ramrattan, S., L. Wells, P. Patel and J. Shoemaker, "Qualification of Chemically Bonded Sand Systems using a Casting Trial for Quantifying Interfacial
- Nwaogu, U. C., Tiedje, N. S. New Sol-Gel Coatings to Improve Casting Quality. DTU Mechanical Engineering, 2011.
- Pierre, A. C. Introduction to sol-gel processing. New York: Springer Science + Business Media 1998.
- Žbontar, Maša, Petrič, Mitja, Vončina, Maja, Čevka, Janko, Medved, Jože, Cerc Korošec, Romana. Application of sol- gel technology in foundry coatings. V: Križman, Alojz (ur.). Zbornik referatov = Conference proceedings. Ljubljana: Društvo livarjev Slovenije, 2018. Str. 1-9.

Razvoj zlitine AlSi7Mg z dodatki Li

Development of AlSi7Mg Alloy with Additions of Li

Povzetek

Aluminijeve zlitine z dodatkom litija so poznane že več desetletij. Glavno prednosti dodatka Li je zmanjšanje gostote zlitine in izboljšanje mehanskih lastnosti, še posebej modula elastičnosti. Izboljšanje mehanskih lastnosti v glavnem povzroča strjevanje precipitata metastabilne faze δ' (Al_3Li). Glavna pomanjkljivost zlitin Al-Li je reaktivnost Li, saj je močno nagnjen k tvorbi oksidov in lahko reducira različne klovinske okside in vodo. Med temi reakcijami lahko nastajajo plini (npr. Vodik), ki lahko povzročijo poroznost. Podobne težave nastajajo med reakcijami z materiali za forme, pri čemer lahko produkti reakcij vplivajo na kakovost ulitkov.

V tem delu smo preučili dodatek Li zlitini AlSi7Mg. Dodatek Li je enak 1 mas.%. Različne materiale form, kot so croning peščena mešanica, peščena mešanica za postopek CO_2 , silikatne opeke ter grafitne in jeklene forme, smo preizkusili z namenom določevanja površinske kakovosti ulitka in količino reakcijskih produktov. Najboljši rezultati brez reakcijskih produktov so bili doseženi z grafitnimi in jeklenimi formami. Sočasno je bila izvedena enostavna termična analiza z namenom primerjave poteka strjevanja nove zlitine v povezavi z izračuni termodinamskih ravnotežij. Optično mikroskopijo in vrstično elektronsko mikroskopijo z analizami EDS in XRD smo uporabili za opredelitev mikrostrukturnih elementov v fazah AlLiSi , ki vsebujejo Li. Mehanski preizkusi so pokazali, da pride do naravnega staranja z izločanjem faze Al_3Li , s čemer se poveča trdnost materiala.

Ključne besede: aluminijeve zlitine, mikrostruktura, litij, mehanske lastnosti

Summary

Aluminium alloys with lithium additions have been known to the world for several decades. The main advantage of the Li addition is the reduced alloy density and increased mechanical properties, especially the modulus of elasticity. Increased mechanical properties are mainly caused by precipitation hardening of the metastable δ' phase (Al_3Li). The main difficulty of Al-Li alloys is Li reactivity where its tendency to form oxide is very high and can reduce different metal oxides and water. At these reactions it can form gases especially hydrogen which can cause gas porosity. Similar problems are met at reactions with moulding materials where reaction products can influence casting quality.

In the current work the investigation of Li additions to the cast AlSi7Mg alloy is treated. The addition of Li amounts to 1 wt.%. Different moulding materials such as Croning sand mixture, CO_2 sand mixture, silicate brick, graphite and steel mould were tested to determinate the surface quality of a casting and the amount of reaction products. The best results without reaction products were given by graphite and steel mould. At the same time a simple thermal analysis was performed to explain the solidification course of the new alloy in correlation with thermodynamic equilibrium calculations. Optic, scanning electron

microscopy with EDS analysis and XRD analysis were used to identify microstructural constituents of which the AlLiSi phase contained Li. Mechanical tests showed that natural ageing occurs, and hardness is increased, indicating that the Al₃Li phase precipitates.

Key words: aluminium alloys, microstructure, lithium, mechanical properties.

1 Uvod

Osnovne zlitine Al-Li imajo nizko gostoto, visok modul elastičnosti in visoko trdnost, zaradi česar so te zlitine primerne za vesoljsko industrijo. Visoka trdnost je posledica postopka izločevalnega utrjevanja. Dodatki elementov lahko tvorijo nekoherentne disperzoide ali semikoherentne precipitate ter spremenijo mikrostrukturo in mehanske lastnosti zlitin [1–5]. Zlitine Al-Li se uporabljajo v letalski industriji, saj zmanjšanje teže ob uporabi teh zlitin nizke gostote močno zmanjša stroške goriva in izboljša učinkovitost delov, kot so: letalski deli, npr. prednji in zadnji robovi, pokrovi loput, vodila za sedeže; vojaški deli in deli za vesoljsko industrijo, kot so osrednje krilne strukture, trup, kontrolne površine – vsi so izdelani iz zlitin Al-Li. Zlitine Al-Li se uporabljajo za zamenjavo konvencionalnih aluminijevih zlitin v helikopterjih, raketah in satelitskih sistemih [5–8].

Izločki zlitin Al-Li so v več metastabilnih in stabilnih fazah, ki so lahko prisotne v zlitinah Al-Li, odvisne pa so od uporabljenih legirnih elementov. Metastabilni izločki v tej študiji so označeni s δ' (Al₃Li), medtem ko je stabilna faza označena s δ (AlLi) [8]. Izločki so odvisni od kemije, strukture zrn in celotne termomehanske zgodovine. Pri zlitinah Al-Li je utrjevanje zaradi dodatka Li posledica tako utrjevanja trdne raztopine kot tudi izločevalnega utrjevanja [1–20]. izločevalno utrjevanje je primarno posledica metastabilne utrjevalne faze δ' (Al₃Li), ki tvori kroglaste, celovite in urejene delce izločkov, ki so v aluminijevi matrici orientirani v smeri ploskev proti ploskvi [20–25]. Pri

1 Introduction

Al-Li base alloys have low density, high elastic modulus and high strength properties which make these alloys attractive for aerospace applications. The high strength is produced by the process of precipitation hardening. The addition of elements can form incoherent dispersoid or semicoherent precipitates and change the microstructure and mechanical properties of alloys [1-5]. Al-Li alloys use in aircraft applications, where the weight savings effected by using these low- density alloys greatly reduce the vehicle fuel costs and increase performance of parts such as: Aircraft parts such as leading and trailing edges, access covers, seat tracks; military and space applications such as main wing box, centre fuselage, control surfaces are made by Al-Li alloys. Al-Li alloys are used as substitute for conventional aluminium alloys in helicopters, rockets and satellite systems [5-8].

The precipitates of Al-Li alloys are in several metastable and stable phases which can be present in Al-Li alloys, depending on the alloying elements. The metastable precipitates in this section are δ' (Al₃Li), while the stable phase discussed is δ (AlLi) [8]. The precipitation, in turn, depends upon chemistry, grain structure, and total thermomechanical history. In Al-Li alloys, the strengthening from Li additions is due to both solid solution strengthening and precipitation hardening [1-20]. The precipitation hardening is primarily due to the metastable strengthening phase, δ' (Al₃Li), which forms spherical, coherent

ravnotežnem strjevanju in v najenostavnejši obliki binarnih zlitin Al-Li sta v mikrostrukturi prisotni samo z aluminijem bogata trdna raztopina in faza δ (AlLi) [25–30].

Nova aluminijeva zlitina je bila pripravljena in analizirana z dodatki Li na podlagi zlitine AlSi7Mg z izboljšanimi mehanskimi lastnostmi, potek strjevanja pa je bil karakteriziran ob upoštevanju vseh mikrostrukturnih elementov. Za razvoj nove zlitine z dodatkom Li smo uporabili optično mikroskopijo in vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM). Toplotno analizo in Diferenčno vrstično kalorimetrijo smo skladno z izračuni termodinamičnega ravnotežja faz uporabili za določitev poteka strjevanja. Prav tako smo izvedli tudi analize XRD in mehansko testiranje (preskušanje trdnosti).

2 Eksperimentalni del

Novo aluminijevo zlitino AlSi7MgLi smo preiskali z različnimi metodami. Termodinamične izračune smo izvedli s programsko opremo ThermoCalc in kemijske sestave zlitin v Pregl. 1 smo uporabiti za izračun faznih diagramov zlitin. Vzorce smo stalili v indukcijski peči v grafitnem talilnem lončku in jih ulili v jeklene forme ter izvedli enostavno termično analizo. Po zajemu numeričnih podatkov smo narisali krivulje hlajenja in njihove izpeljave ter določili značilne temperature. Izvedena je bila diferenčna vrstična kalorimetrija in vzorci so bili pripravljene za mikrostrukturne preiskave z optičnim mikroskopiranjem in vrstičnim elektronskim mikroskopiranjem z EDS, da bi določili faze, prisotne v zlitini AlSi7Mg. Preizkus trdote po Vickersu smo uporabili za določitev mehanskih lastnosti v 13-dnevem obdobju po litju.

and ordered precipitate particles having a cube-on-cube orientation relationship with the aluminium matrix [20–25]. At equilibrium, and at its simplest in binary Al-Li alloys, the only phases present are the aluminium-rich solid solution and the δ (AlLi) phase [25–30].

New aluminium cast alloy was produced and analysed with Li additions based on AlSi7Mg alloy with improved mechanical properties where characterisation of solidification path was determined with all microstructural constituents. In order to develop new alloys with Li addition an optic microscope and Scanning electron microscopy (SEM) Thermal analysis and differential scanning calorimetry in accordance with thermodynamic equilibrium calculations were used to determine the solidification course. Also, XRD analyses and mechanical testing (hardness testing,) were performed.

2 Experimental Work

New aluminium cast alloy AlSi7MgLi was investigated experimentally. The thermodynamic calculations were performed with ThermoCalc software and the chemical compositions of alloys given in tab.1 were used in order to calculate phase diagrams of alloys. Samples were melted in an induction furnace in a graphite crucible and cast in a steel mould where simple thermal analysis was performed. After data acquisition their numerical data, cooling curves and their derivatives were plotted and characteristic temperatures determined. Differential scanning calorimetry was performed, and sample prepared for microstructural investigation with optic microscope and scanning electron microscope with EDS in order to determine the phases present in alloy AlSi7Mg. Vickers Hardness test was

Preglednica 1. Kemijska sestava zlitine v wt. %**Table 1.** Chemical composition of alloy in wt. %

Zlitina / Alloy	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	Ti	Li
AlSi7Mg	Preostanek / Rest	6,7	0,44	0,01	0,35	0,01	0,01	-
AlSi7MgLi	Preostanek / Rest	7,05	0,10	0,05	0,36	0,02	0,09	0,80

3 Rezultati in razprava

Termodinamični opis sistema zlitin AlSi7MgLi je bil izdelan s programsko opremo ThermoCalc. Na podlagi kemične sestave v Pregl. 1 smo izračunali strjevanje in fazno ravnovesje preskusnih zlitin. Glede na izračune termodinamičnega ravnovesja smo napovedali strjevanje primarne faze α -Al, faze β -Si, nove faze (AlLiSi), Mg₂Si, železne faze π -AlMgFeSi in β -AlFeSi.

used to determine mechanical properties in period of 13 days after casting.

Alloy Al Si Fe Cu Mg Zn Ti Li AlSi7Mg
Rest 6.7 0.44 0.01 0.35 0.01 0.01 -
AlSi7MgLi Rest 7.05 0.10 0.05 0.36 0.02 0.09 0.80

3 Results and Discussion

Thermodynamic description of system AlSi7MgLi cast alloys was constructed using Thermocalc software. From the chemical composition in tab.1 the solidification and equilibrium phases were calculated for experimental alloy. According to the thermodynamic equilibrium calculation we

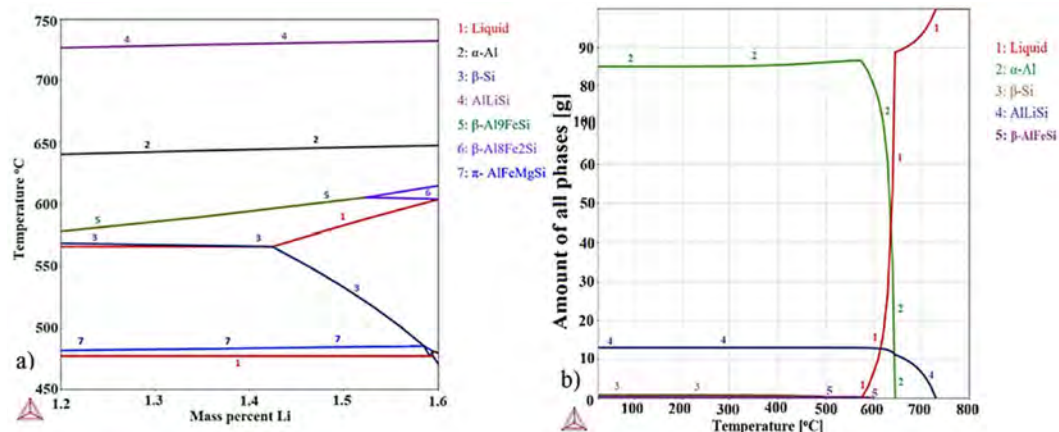
**Slika 1.** a) fazni diagram preskusne zlitine AlSi7MgLi in b) količina faz zlitine med strjevanjem

Figure 1. a) phase diagram of experimental alloy AlSi7MgLi and b) amount of phases of alloy during solidification

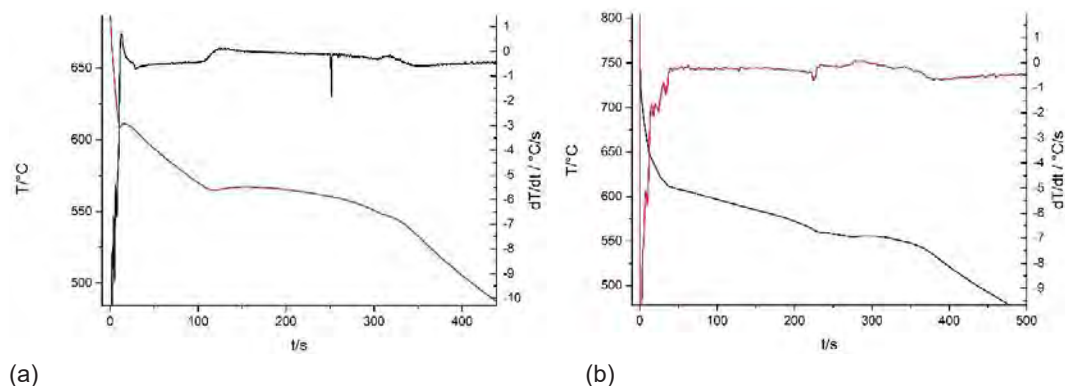
4 Enostavna termična analiza

Proces strjevanja je bil analiziran s termično analizo vzorcev, litih v jeklene forme in celico Croning, vsak vzorec se je ohlajal na zraku. Po pridobitvi podatkov smo izvedli grafično obdelavo z označenimi temperaturami faznih transformacij. Krivulje ohlajanja in odvodi krivulj zlitine AlSi7Mg z dodatkom Li od temperature litja 740 °C v jeklene forme so prikazane na Sl. 2. Z diagrama s krivuljami ohlajanja je razvidno znatno odstopanje od vrednosti značilnih temperatur ohlajanja; glede na izračune in diagram ohlajevalnih krivulj pri temperaturi litja 740°C se strjevanje začne pri pribl. 650 °C. Glede na rezultate izračunov s programsko opremo ThermoCalc bi se morala strjevati najprej faza AlLiSi, nato faza α -Al, železne faze, faza β -Si v eutektični obliki in na koncu faza Mg₂Si. Interval strjevanja se zaključi pri temperaturi 536 °C. Po drugi strani je temperatura likvidusa zlitine AlSi7Mg precej nižja, in sicer pribl. 610 °C, ob koncu strjevanja pa meri pribl. 533 °C, kar je podobno zlitini z Li.

have predicted solidification of the primary α -Al, β -Si, new phases (AlLiSi), Mg₂Si, iron bearing phase π -AlMgFeSi and β -AlFeSi.

4 Simple Thermal Analysis

Solidification process was analysed by thermal analysis on the samples cast in the steel mould and Croning cell, each sample subjected to the solidification by cooling in the air. After the data acquisition their numerical and graphical processing with the marked temperatures of the phase transformations was performed. The cooling and differentiated curves of AlSi7Mg alloy with Li addition from casting temperature 740 °C in steel mould are shown in fig. 2. The diagram with cooling curves indicates significant deviation in values of the characteristic temperatures of the solidification, according to calculation and diagram of cooling curves at 740 °C with solidification start at around 650°C. according to ThermoCalc results the AlLiSi phase should precipitate, followed by α -Al, iron bearing phases, β -Si in form of eutectic and Mg₂Si at the end. The solidification interval ends at 536 °C. On the other hand,



Slika 2. Ohlajevalna krivulja in njen odvod za zlitino a) AlSi7Mg in b) AlSi7MgLi

Figure 2. The cooling curve and differentiated curves of a) AlSi7Mg and b) AlSi7MgLi alloy

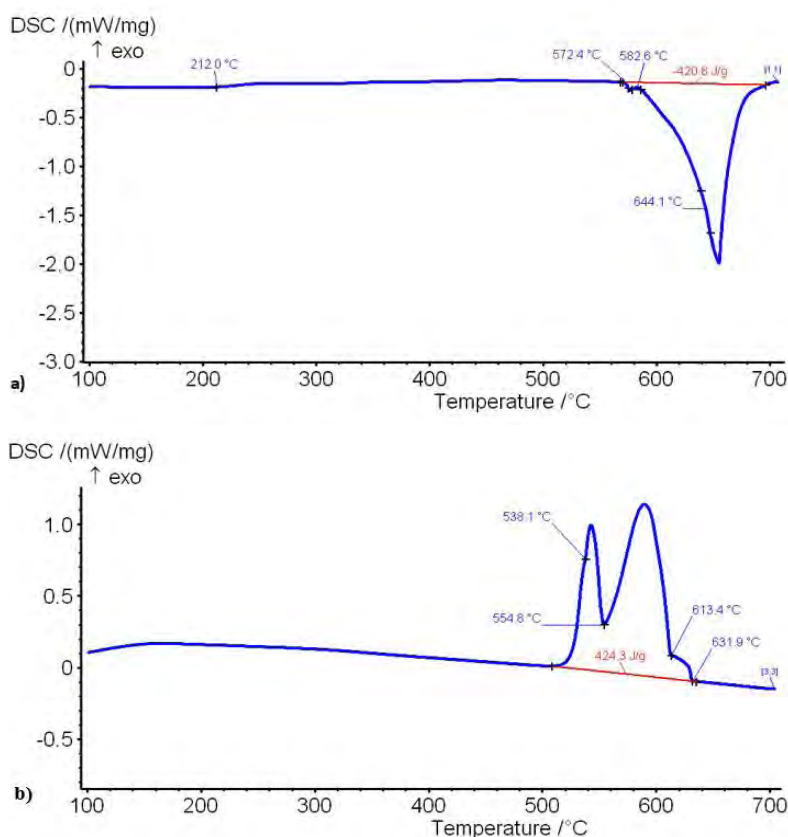
5 Diferenčna vrstična kalorimetrija

Krivulja segrevanja zlitine z dodatkom Li nakazuje, da se taljenje začne pri temperaturi 572 °C, in naklon krivulje se spremeni pri temperaturi 582,6 °C. Pri temperaturi 644,1 °C ven smo nadaljevali z oceno faz; majhen vrh pri temperaturi 212 °C ven nakazuje precipitacijo faze Al₃Li. simultana termična analita je bila izvedena na vzorcu litem v jekleno kokilo (formo). Na podlagi diferenčne vrstične kalorimetrije (DSC) smo izdelali diagrame krivulj segrevanja in ohlajanja, ki so prikazane

the liquidus temperature of AlSi7Mg alloy is much lower at around 610 °C and the end of solidification is at around 533 °C which is similar to the alloy with Li.

5 Differential Scanning Calorimetry

The heating curve of alloy with Li addition indicates the melting start at 572 °C and the curve changes after 582.6 °C and continued with evaluation of phase at 644.1 °C, furthermore small peaks at 212 °C indicates precipitation process of Al₃Li

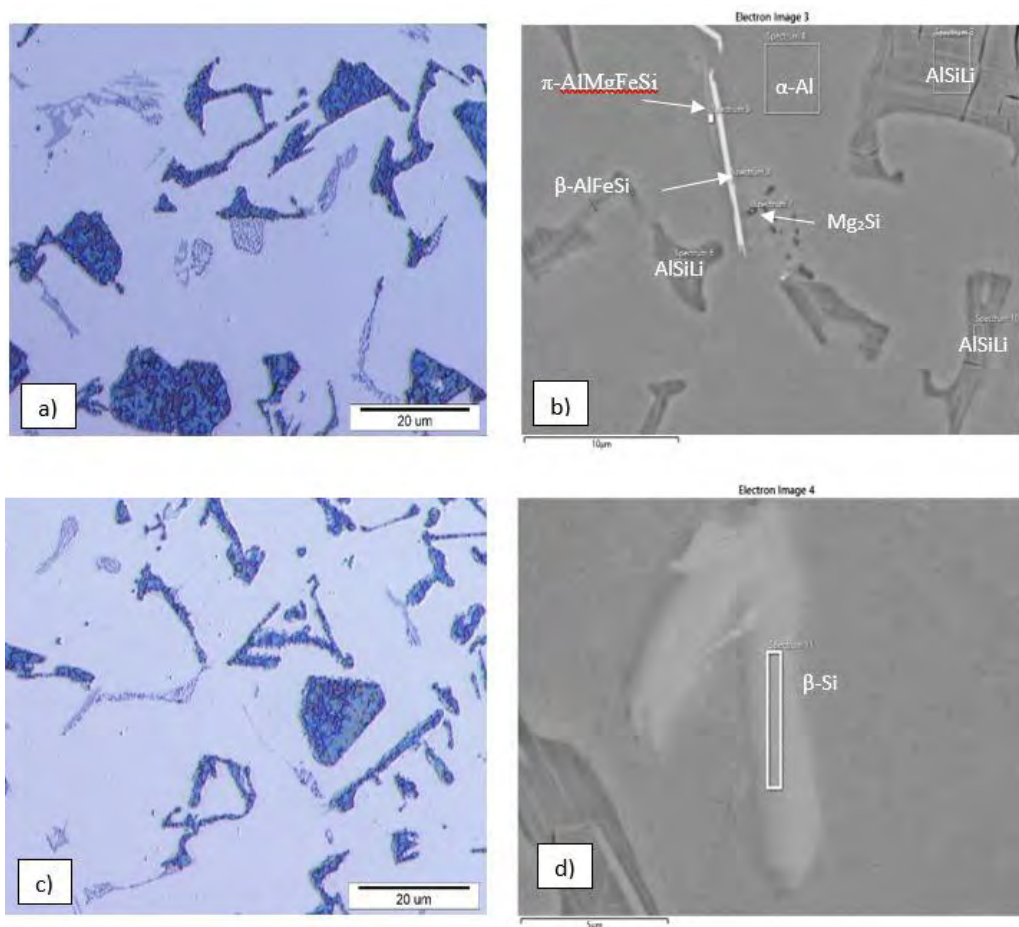


Slika 3. Krivulja segrevanja DSC (a) in krivulja ohlajanja DSC(b) zlitine AlSi7MgLi

Figure 3. Heating DSC curve (a) and cooling DSC curve (b) of AlSi7MgLi alloy

na Slikah 3-a in 3-b. Diagrami na Sl. 3 prikazujejo pomembne temperature faznih transformacij. Temperatura na začetku strjevanja (temperatura likvidusa) je merila 631,9 °C pri fazi AlLiSi , pri temperaturi 613 °C bi se morala strjevati faza $\alpha\text{-Al} + \text{AlLiSi}$ ven, glede na izračune s programsko opremo ThermoCalc pa je ta temperatura 554,8 °C, sledi železna faza $\beta\text{-AlFeSi}$ pri temperaturi 538 °C ter fazi $\beta\text{-Si}$ in Mg_2Si pri temperaturi 554 °C.

phase. Simultaneous thermal analysis was performed on the sample part from the sample poured in the steel mould, differential scanning calorimetry (DSC) resulted in diagrams of the heating and cooling curves shown in the figure 3-a and 3-b. The diagrams in fig. 3 resulted in values of significant temperatures of the phase transformations. The temperature of the solidification starts (liquidus temperature) at 631.9 °C with AlLiSi phase, at 613°C



Slika 4. Optična mikroskopija (a, c) in mikroskopija SEM (b, d) zlitine AlSi7MgLi

Figure 4. Optical (a, c) and SEM micrographs (b, d) of AlSi7MgLi

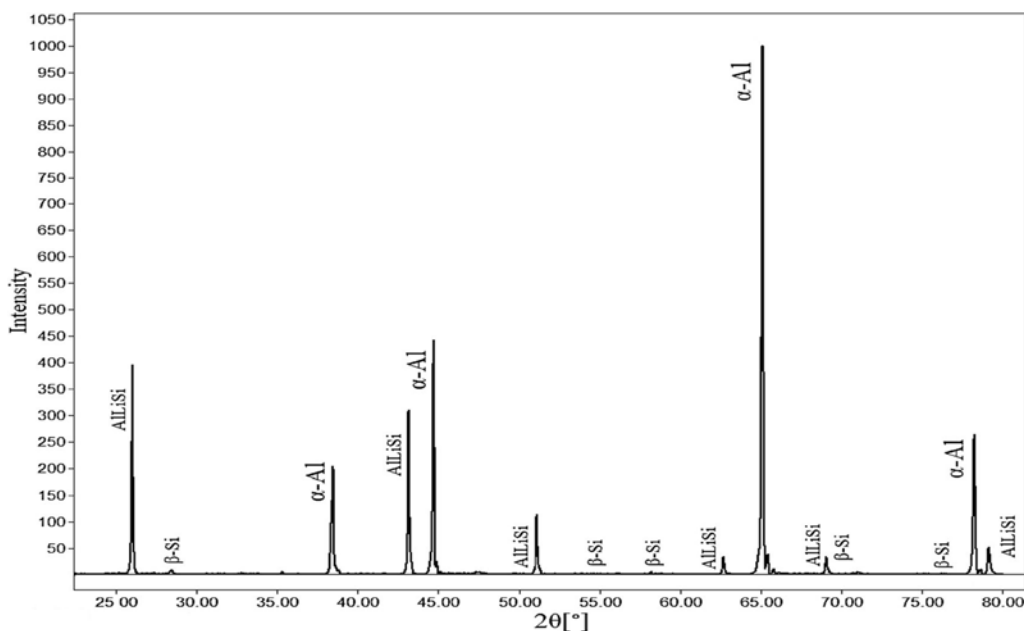
6 Mikrostrukturna analiza

Po analizi strjevanja z metodo termične analize smo vzorce pripravili za metalografske raziskave. Glede na metalografijo je mikrostruktura sestavljena iz faze α -Al, faze AlLiSi, faze π -AlMgFeSi ter faze Mg₂Si, kar potrjujeta analizi EDS in XRD, ki sta prikazani na Sl. 4b, 4d, 4f in Sl. 5. Z vrstično elektronsko mikroskopijo smo opredelili faze, ki nastajajo pri dodatku Li. Na podlagi Sl. 4 je mogoče zaključiti, da se pojavi nova faza AlLiSi. Glede na izračune s programsko opremo ThermoCalc meri sestava elementov faze, ki je prisotna v zlitini v litem stanju, 33 mas. % vsakega elementa faze AlLiSi, z analizama SEM in EDS pa smo dokazali, da AlSi vsebuje litij, in sicer na podlagi termodinamičnih izračunov. Mikrostruktura zlitine z dodatkom Li je sestavljena iz faz α -Al, β -AlFeSi,

the α -Al+AlLiSi should solidify according to thermocalc at 554.8 °C, followed by iron bearing phase β -AlFeSi at 538°C, β -Si and Mg₂Si at 554 °C.

6 Microstructure Analysis

After analysis of solidification by thermal analysis technique samples were prepared for metallographic investigation. According to micrographs the microstructure consists of α -Al phase, AlLiSi phase, π -AlMgFeSi phase, Mg₂Si which they are confirmed by EDS and XRD analysis and they presented in fig.4b, 4d, 4f and fig.5. With SEM we observed phases which they are formed with Li addition. From fig.4. it can be concluded that new phase AlLiSi appears. According to ThermoCalc calculation the elemental composition of phase present as-cast state



Slika 5. Vzorec XRD zlitine AlSi7MgLi

Figure 5. XRD pattern of AlSi7MgLi alloy

π -AlMgFeSi in Mg_2Si . Z analizo XRD smo opredelili faze, ki nastajajo pri dodatku Li. Na podlagi Sl. 5 lahko potrdimo nastanek alfa faze α -Al ter faz AlLiSi in β -Si.

7 Mehanske lastnosti

Vzorci so se s staranjem utrjevali 13 dni, meritve mikro trdote so bile izvedene pri sobni temperaturi in izračunane so bile povprečne vrednosti.

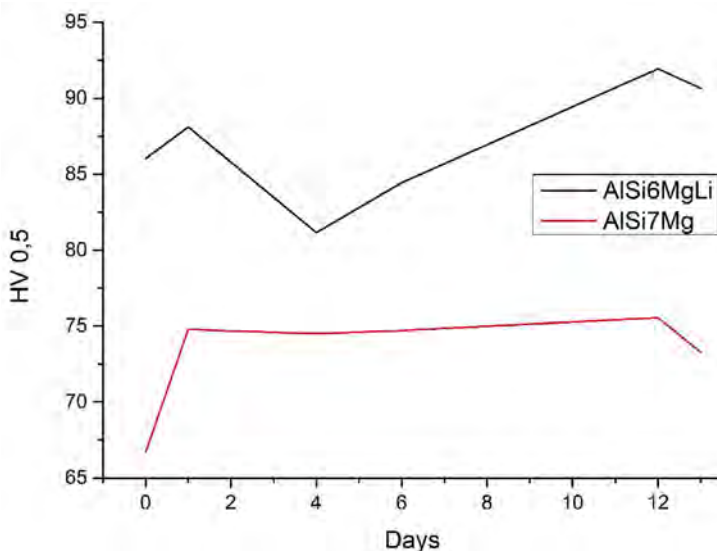
Analiza ven trdnosti vzorca AlSi7Mg za prvo meritev je dala rezultat 66 HV. Med 2.–4. meritvijo so se vrednosti trdote linearno višale od 66 HV do 74,5 HV. Zaključimo lahko, da je bila najvišja trdota dosežena po 12 dneh. Analiza preizkusa trdote vzorca AlSi7Mg za prvo meritev je dala rezultat 86 HV. Po štirih dneh staranja je trdota vzorca padla do 81 HV. Po 6 do 13 dneh se je trdota zlitine AlSi7MgLi postopoma višala s 84 HV do 90 HV, vrh pa je bil dosežen pri vrednosti 91 HV. Zaključimo lahko, da je bila najvišja trdota dosežena po 12 dneh, in sicer je merila 102 HV. Naše raziskave so pokazale, da se je trdota v 13 dneh staranja

alloy the percentage of each element in the phase of AlLiSi is 33 wt %, after analysis by SEM- EDS it was proved that AlSi contains lithium according to the thermodynamic calculation. Furthermore, microstructure in the alloy with Li addition consists from α -Al, β -AlFeSi, π -AlMgFeSi and Mg_2Si . With XRD analysis we observed phases which were formed with Li addition. From fig. 5 we confirm the formations of alpha α -Al, AlLiSi phases and β -Si.

7 Mechanical Properties

The samples were age-hardened for 13 days where micro hardness measurements were performed at room temperature and average values were calculated.

Hardness test analysis for sample AlSi7Mg for first measurement was 66 HV. During 2-4 measurements, values showed a linear increase of hardness from 66 HV-74.5 HV. It can be concluded that peak hardness was achieved after 12 days. Hardness test analysis for sample AlSi7MgLi showed



Slika 6. Graf trdnosti naravnega staranja zlitin AlSi7Mg in AlSi7MgLi

Figure 6. Graph of hardness for natural ageing of AlSi7Mg and AlSi7MgLi.

povečala, in sicer iz 66 na 75 za zlitino AlSi7Mg, pri zlitini AlSi7Mg z dodatkom Li pa se je povečala iz 86 na 91 HV. Glede na rezultate obeh zlitin ima dodatek Li zlitini AlSi7Mg pozitiven vpliv na izboljšanje trdote v primerjavi z zlitino AlSi7Mg.

8 Sklepi

Preučil smo novo zlitino AlSi7Mg z dodatkom Li. V ta namen sta bili zasnovani zlitina AlSi7MgLi, ki vsebuje tudi 0,36 wt. % Mg in 7,05 wt. % Si, dodanega 0,80 wt. % Li. Odkrili smo, da pri zlitini AlSi7Mg z dodatkom Li poteče drugačno strjevanje, prav tako pride do nastanka novih mikrostruktur kot tudi nove faze AlLiSi. Li vpliva na izboljšanje mehanskih lastnosti zlitine AlSi7Mg v litem stanju. Analize SEM/EDS in XRD so razkrile, da dodatek Li spodbuja nastanek nove faze AlLiSi.

the hardness for 0 day was 86 HV in as cast state. After four days of ageing, the hardness of sample dropped until 81 HV. After 6 to 13 days hardness of AlSi7MgLi alloy increased gradually from 84 HV to 90 HV where plateau is reached at 91 HV. It can be concluded that peak of hardness was achieved after 12 days at 102 HV. Our research showed that value of hardness increased during 13 days of ageing time from 66-75 at AlSi7Mg whereas at AlSi7Mg with Li addition from 86-91 HV. According to results of both alloys, the Li addition to AlSi7Mg has great influence on increasing of hardness compared to AlSi7Mg.

8 Conclusion

New alloy with Li addition to AlSi7Mg alloy was studied. For this purpose, 0.80 wt. % Li was added to designed AlSi7MgLi alloy containing 0.36 wt. % Mg and 7.05 wt. % Si. It was found that Li combination with AlSi7Mg resulted in different solidification, development of new microstructure and creation of new phase AlLiSi. Li has the influence to increase the mechanical properties in as cast state to AlSi7Mg. SEM/EDS and XRD analysis revealed that the addition of Li promotes the formation of new phase AlLiSi.

Viri / Literature

- [1] Prasad, E.N., Gokhale, A., Wanhill, R.J.H. (2014): Aluminium-Lithium Alloys. Butterworth-Heinemann: Oxford, pp. 99-103.
- [2] Polmear, I., St. John D., Nie J.F., Qian M. (2017): Light Alloys-Metallurgy of the Light Metals. Butterworth-Heinemann: Oxford, pp.55-110.
- [3] Brown, J.R. (1999): Foseco non-ferrous foundryman's handbook. Butterworth-Heinemann: Oxford, 288 p.
- [4] ASM Metals Handbook, (1990): Vol 02, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. ASM International, pp. 250-300.
- [5] Polmear, I. (2006): Light Alloys; From Traditional Alloys to Nanocrystals. Butterworth-Heinemann: Oxford, pp.55-150.

-
- [6] Backerud, L., Chai G., Tamminen J. (1990): Solidification characteristics of aluminium alloys. Amer Foundry Society: pp.52-80.
- [7] Polmear, I.J. and Ringer, S.P. (2000): Evolution and control of microstructure in aged aluminium alloys. J. Japan Inst. Light Metals (50), pp. 633.
- [8] Polmear, I.J. (1999): Control of precipitation processes and properties in aged aluminium alloys by microalloying. Mater. Forum, pp. 23-117.
- [9] Baker, C., Gregson P.J., Harris, S.J., Peel, C.J. (1986): Aluminium-Lithium Alloys III. Proceedings 3rd International Conference on Aluminum-Lithium Alloys. The Institute of Metals: London, UK, pp. 509-515.
- [10] Bagaryatsky, Y.A. (1952): Deformation behaviour of the AlMg4.5Cu0.5 type alloy sheet. Dokl Akad., (87), pp. 559-562.
- [11] Adam, C.M. (1981): Aluminium-Lithium Alloys. AIME, New York, NY, pp. 37-48.
- [12] Anyalebechi, P.N. (1995): Analysis of the effects of alloying elements on hydrogen solubility in liquid aluminum alloys. Scripta Met. Mater., 33 (8), pp. 1209-1216.
- [13] Ashton, R.F., Thompson, D.S., Starke Jr., E.A., Lin, F.S. (1986): Processing Al-Li-Cu-(Mg) alloys. In: Baker, C., Gregson, P.J., Harris, S.J., Peel, C.J. (Eds.), Aluminium-Lithium Alloys III. The Institute of Metals, London, UK, pp. 66-77.
- [14] Averill, W.A., Olsen, D.L., Matlock, D.K., Edwards, G.R. (1981): Lithium reactivity and containment. In: Sanders, T.H., Starke, E.A. (Eds.), Proceedings of the First International Aluminium-Lithium Conference. The Metallurgical Society of AIME, Warrendale, PA, pp. 9-28.
- [15] Binczeveki, G. (1986): Producing aluminium-lithium ingot encased in outer metal cladding. Light Met. Age June, pp. 31-36.
- [16] Birch, M.E.J. (1986): Grain refining of aluminium-lithium based alloys with titanium boron aluminium. In: Baker, C., Gregson, P.J., Harris, S.J., Peel, C.J. (Eds.), Aluminium-Lithium Alloys III, The Institute of Metals, London, UK, pp. 152-158.
- [17] Birch, M.E.J., Cowell, A.J. (1987): Titanium-carbon-aluminium: a novel grain refiner for aluminium-lithium alloys. In: Champier, G., Dubost, B., Miannay, D., Sabetay, L. (Eds.), Proceedings of the Fourth International Conference on Aluminium-Lithium Alloys. J. Phys., Colloque, pp. 48, 108.
- [18] Bretz, P.E. (1987): Althalites alloy development and production. In: Champier, G., Dubost, B., Miannay, D., Sabetay, L. (Eds.), Proceedings of the Fourth International Conference on Aluminium-Lithium Alloys. J. Phys., pp. 25-31.
- [19] Bretz, P.E., Gilliland, R.G. (1987): The intensive development programme that produced aluminium-lithium alloys. Light Met. Age April, pp. 5-12.
- [20] Cassada, W.A., Shiflet, G.J., Starke, E.A. (1986): The effect of Germanium on the precipitation and deformation behaviour of Al-2Li alloys. Acta Metall. 34 (3), pp. 367-378.
- [21] Chakravorty, C.R., Singh, V., Gokhale, A.A. (1987): Melting and casting of aluminium-lithium alloys. Proceedings of the 36th Annual Convention of Institute of Indian Foundrymen (IIF), The Institute of Indian Foundrymen, Calcutta, India, pp. 135-140.
- [22] Colvin, G.N., Tak, J.H., Veeck, S.J. (1988): An investment cast Al-Li alloy HTC 321. In: Kar, R.J., Agarwal, S.P., Quist, W.E. (Eds.), Aluminium-Lithium Alloys: Design, Development and Application Update. ASM International, Metals Park, OH, pp. 453-465.

- [23] De Ross, A.B., Mondolfo, L.F. (1980): Metallurgical aspects of casting aluminium alloys. In: Pampilo, C.A., Biloni, H., Embury, D.E. (Eds.), *Aluminium Transformation Technology*. ASM, Metals Park, OH, pp. 81-140.
- [24] Dinsdale, K., Harris, S.J., Noble, B. (1981): Relationship between microstructure and mechanical properties of aluminium-lithium-magnesium alloys. In: Sanders, T.H., Starke, E.A. (Eds.), *Aluminium-Lithium Alloys, Proceedings of the First International Aluminium- Lithium Conference*. The Metallurgical Society of AIME, Warrendale, PA, pp. 101-118.
- [25] Divecha, A.P., Karmarkar, S.D. (1981): Casting problems specific to aluminium-lithium alloys. In: Sanders, T.H., Starke, E.A. (Eds.), *Aluminium-Lithium Alloys I*. AIME, New York, NY, pp. 49-62.
- [26] Divecha, A.P., Karmarkar, S.D. (1986): The search for aluminium-lithium alloys. *Adv. Mater.Processes Inc. Met. Prog.*, pp. 10, 75-79.
- [27] Fedosov, A.S., Danilkin, V.A., Grigoryeva, A.A. (1992): Influence of lithium on balance between hydrogen and aluminium melts. *Tsvetn. Met.* 2, 61-63. Foote Mineral Co. Bulletin, 1984. Technical Data Bulletin, pp. 101.
- [28] Fridlyander, I.N., Bratukhin, A.G., Davydov, V.G. (1992): Soviet Al-Li alloys of aerospace application. In: Peters, M., Winkler, P.J. (Eds.), *'Aluminium-Lithium', Volume 2, Conf. Proc. Sixth. International Aluminium-Lithium Conference, 1991*. DGM Information gesellschaft, Verlag, Germany, pp. 35-42.

Vpliv cepljenja zlitine AlSi12 na mikrostrukturo in razvoj mehanskih lastnosti

Influence of the AlSi12 Alloy Inoculation on The Microstructure and Mechanical Properties Development

Povzetek

Zaradi širokega razpona ugodnih lastnosti so se aluminijeve zlitine začele pojavljati v skorajda vseh industrijskih vejah. Potencialne izboljšave lastnosti uporabe so postale očitne pri oblikovanju koristnih intermetalnih faz pri medsebojni interakciji številnih legirnih elementov, kot so silicij, baker ali magnezij, skupaj z elementi v sledih, kot sta železo in mangan. Drugi pomembni elementi, kot so titan, bor, stroncij ali natrij, so namerno dodani pri ciljni obdelavi taline zaradi izboljšanja strjevanja s povečanjem potenciala nukleacije in posledičnega spreminjanja morfologije. Upoštevanje tehnoloških parametrov litja, ki vplivajo na hitrost ohlajanja/strjevanja, prav tako predstavlja osnovo za spreminjanje mikrostrukture in končno kakovost ulitka. Aktivnost sinergij pri legiranju in/ali elementih v sledih ter njihova interakcija in tehnološki parametri v procesu litja so izjemno pomembni pri upoštevanju uporabe zlitine.

Ta raziskava obravnava evtektično zlitino EN AC AlSi12 (EN AC 44100) z ozkim intervalom strjevanja, predvideno za tehnologijo hitrega ohlajanja/strjevanja, kot je tlačno litje (HPDC). Vpliv različnih načinov obdelav taline zlitine AlSi12 na mikrostrukturo in mehanske lastnosti smo spremljali kot del zagotavljanja kakovosti. Uporabljen način obdelave taline zajema modifikacijo evtektika z dodatkom predzlitine AlSr10 v vseh primerih raziskave. Razlika med načinom obdelave taline je bila v ciljnem dodajanju predzlitine AlTi5B. Hipoteza preučevanja temelji na predpostavki, da lahko ciljna obdelava taline vpliva na način strjevanja, razvoj mikrostrukturnih lastnosti in končno dosego mehanskih lastnosti zlitine skladno z ustrezno geometrijo litja in/ali uporabo tehnologije.

Ključne besede: zlitina AlSi12, cepljenje, modifikacija, mikrostruktura, mehanske lastnosti

Summary

Due to a wide range of favourable properties, aluminium alloys found their application in almost all industrial branches. The potential of improving usage properties has been recognized through the forming of favourable intermetallic in mutual interaction of numerous alloying elements such as silicon, copper or magnesium, along with trace elements such as iron and manganese. Other important elements such as titanium, boron, strontium or sodium are intently added through targeted melt treatment in order to improve the solidification path by increasing the nucleation potential and therefore changing morphology. In consideration of the casting technology parameters which influence the cooling / solidification rate also represents the base for changing the microstructure and final quality of the casting. The synergy activity of the alloying and/or trace elements and their interaction and technological parameters of casting process is of great importance in consideration of alloy applicability.

This investigation deals with EN AC AlSi12 (EN AC 44100) eutectic alloy with narrow solidification interval, intended for rapid cooling/solidification technology such as high

pressure casting (HPDC). The effect of a different mode of AlSi12 alloy melt treatment on microstructure and mechanical properties was monitored as a quality insurance. Applied melt treatment mode consists of modification of eutectic with addition of AlSr10 master alloy in all investigated cases. The difference in melt treatment mode was in targeted addition of AlTi5B master alloy. The hypothesis of the examination is based on the assumption that targeted melt treatment can influence the solidification manner, development of microstructural characteristics and finally achieving mechanical properties of the alloy in accordance to corresponded casting geometry and/or technology application.

Key words: AlSi12 alloy, inoculation, modification, microstructure, mechanical properties

1 Uvod

Na splošno so za aluminij-silicijeve zlitine značilne: nizka specifična gostota, dobre livne lastnosti, relativno malo se krčijo, njihova proizvodnja je cenovno ugodna, dobro se varijo ter imajo odlično odpornost na korozijo kot tudi veliko natezno trdnost. Zaradi nizkega tališča in majhnega intervala strjevanja se zlitina AlSi12 najpogosteje uporablja zaradi enakomerno porazdeljene evtektične mikrostrukture, ki zagotavlja boljše mehanske in tehnološke lastnosti [1]. Evtektična zlitina Al-Si se dodaja pri kompleksnejših geometrijah, za odpornost proti koroziji in za nepropustne ulitke. Obdelava taline skozi udrobnjevanje in modifikacijo je ključnega pomena z vidika kakovosti ulitkov.

Preiskovana zlitina AlSi12 (EN AC 44100) spada v skupino »evtektičnih zlitin« [2]. Silicij je eden najpomembnejših legirnih elementov, ki zagotavlja dobro livnost aluminijevih zlitin. Dodatek silicija izboljša napajanje med strjevanjem ter odpornost na razpoke v vročem. [3, 4]. Singergijski učinek legirnih elementov in elementov v sledovih razkriva nastanek širokega nabora intermetalnih faz [5-8].

Vpliv morfologije evtektika Al-Si močno vpliva na mehanske lastnosti. Mehanske lastnosti so povezane z vlaknasto morfologijo evtektika, ki se doseže bodisi

1 Introduction

In general, aluminum - silicon alloys characterized with low specific weight, possess good castability, relatively low contraction, low production price, good weldability and high corrosion resistance and tensile strength. A low melting point and narrow solidification interval indicates AlSi12 alloy as a most commonly used one due to the uniformly distributed eutectic microstructure indicating superior mechanical and technological properties [1]. Eutectic Al-Si alloy is applied for complex geometry, corrosion resistant and leakage castings. Melt treatment by grain refinement and modification is of essential importance for casting quality.

Investigated AlSi12 alloy (ENAC 44100) belongs to the group of "eutectic alloys" [2]. Silicon is one of the most important alloying elements which comprehend to good castability of aluminium alloys. The addition of silicon improves feeding capability and resistance to hot cracks [3, 4]. The synergy of alloying and trace elements comprehend to the wide range of intermetallic phases' evolution [5-8].

The influence of Al-Si eutectic morphology is significant for mechanical properties development. Mechanical properties are correlated to fibrous morphology of eutectic achieved either

s kemijsko modifikacijo ali s prilagajanjem strjevanja, npr. prilagajanje tehnoloških parametrov [9]. Na splošno je mogoče modifikacijo Al–Si doseči z dodajanjem elementov-primesi v sledovih [10–13] ali z večjo hitrostjo strjevanja [14–17]. Namen modifikacije je sprememba morfologije iz lamelne/acikularne v vlaknasto, zmanjšanje velikosti in interfaznega razmika evtektika ($\alpha\text{Al} + \beta\text{Si}$), vse skupaj pa vodi v povečanje natezne trdnosti.

Udrobnjevanje je pomemben del obdelave taline, cilj katerega je tudi izboljšanje mehanske trdnosti, duktilnosti, homogenosti, napajanja med strjevanjem in drugih želenih lastnosti zlitin Al–Si [18, 19]. Velika hitrost hlajenja, ki jo zagotavljajo moderne livne tehnologije (HPDC), omogočajo udrobnjevanje zahvaljujoč hitremu strjevanju. Udrobnjevanje skozi inokulacijo je zato ključnega pomena za litje v peščene in trajne kalupe zaradi manjše hitrosti ohlajanja. Prav tako je za skoraj »evtektične« kompozitne zlitine značilen kratek temperaturno-časovni interval strjevanja, ki vodi v razvoj drobne mikrostrukture, sestavljene iz enakomerno porazdeljenega evtektika. Na splošno ponuja paradigma potenciala nukleacije vrsto razlag mehanizma udrobnjevanja v aluminijevih zlitinah. Endobropoznani model govori o »paradigmi nukleacije« [20], ki se osredotoča na nukleacijske dogodke, drugi pa o »paradigmi raztopljenih elementov«, ki preučujejo učinek raztopljenih elementov na rast zrn. Oba modela sta zelo pomembna in ju je treba upoštevati sočasno [20, 21], in sicer z vključitvijo vpliva raztopljenih elementov na omejeno rast [20] ter »model neomejene rasti« [18].

Ta raziskava obravnava evtektično zlitino EN AC AlSi12 (EN AC 44100), predvideno za proizvodnjo z visokotlačnim litjem (HPDC). Učinek različnega načina obdelave zlitine AlSi12 na mikrostrukturo

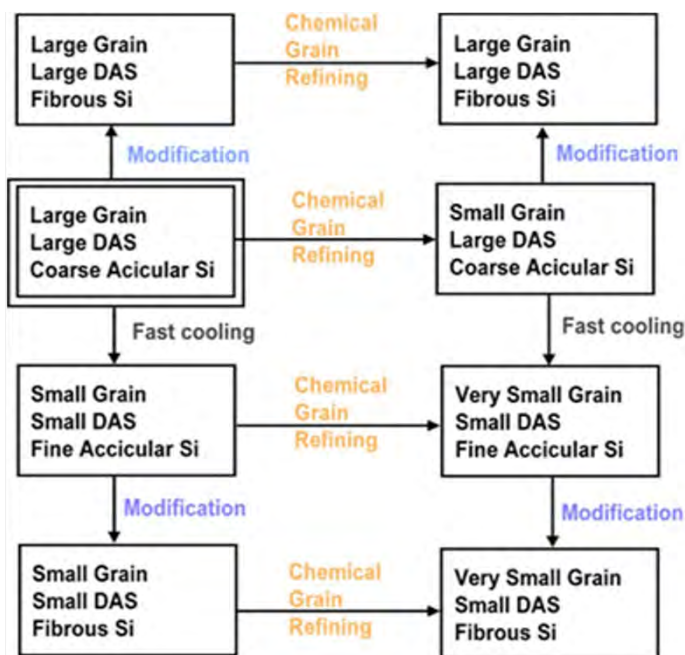
by chemical modification or adjusting solidification i.e. technological parameters [9]. In general Al–Si modification can be achieved through additions of trace impurity elements [10–13] or increased solidification rate [14–17]. The intention of modification is to change the morphology from lamellar/acicular to fibrous, reduce the size and interphase spacing of eutectic ($\alpha\text{Al} + \beta\text{Si}$), which all comprehend to the increase of tensile strength.

Grain refining is an important part of melt treatment used also with the aim of improvement of mechanical strength, ductility, homogeneity, feeding during solidification and other desired properties of Al–Si casting alloys [18, 19]. High cooling rate obtained by recent casting technologies (HPDC) enables grain refinement due to rapid solidification process. Grain refinement by inoculation is therefore of essential importance for sand- and permanent mould casting due to the lower cooling rate. Also, near "eutectic" composition alloys are characterized with narrow temperature-time solidification interval, which also comprehends to the development of fine microstructure consists of uniformly distributed eutectic. In general, nucleation potential paradigm offers a number of explanations of grain refinement mechanisms in aluminum alloys. Two well-known models deal with "nucleant paradigm" [20] which is focused to nucleation event and the other "solute element paradigm", which consider the effect of solute elements on grain growth. Both models are very important and should be considered simultaneously [20, 21] by the incorporating of solute element influence effect on growth restriction [20] and "free growth model" [18].

This investigation deals with EN AC AlSi12 (EN AC 44100) eutectic alloy intended for high pressure die casting. AlSi12 alloy processed with different mode

Sl. 1. Vpliv obdelave taline na nastanek mikrostrukture v zlitini [22]

Fig. 1. Influence of melt treatment on the alloy microstructure development [22]



in mehanske lastnosti je bil spremljan z namenom zagotavljanja kakovosti. Uporabljen način obdelave taline zajema modifikacijo evtektika z dodatkom predzlitine AlSi10 v vseh primerih raziskave. Razlika med načinom obdelave taline je bila v ciljno dodajanje predzlitine AlTi5B. Različen učinek je mogoče pričakovati zaradi razmerja med obdelavo taline in parametri livne tehnologije, kot je prikazano na Sl. 1.

Hipoteza preučevanja temelji na predpostavki, da lahko ciljna obdelava taline vpliva na način strjevanja, razvoj mikrostrukturnih lastnosti in končno dosego mehanskih lastnosti zlitine skladno z ustrezno geometrijo litja in/ali uporabo tehnologije.

2 Eksperimentalno delo

V eksperimentalnem delu so bili med drugim določene mikrostrukture in

of melt treatment was monitored for quality insurance. The applied melt treatment mode consists of the modification of eutectic with addition of AlSi10 master alloy in all investigated cases. The difference in melt treatment mode was targeted addition of AlTi5B master alloy. A different effect can be expected due to the different relationship between melt treatment and casting technology parameters as shown in Fig. 1.

The hypothesis of the examination is based on the assumption that targeted melt treatment can influence the solidification manner, development of microstructural characteristics and finally achieving mechanical properties of the alloy in accordance to corresponded casting geometry and/or technology application.

2 Experimental procedure

Experimental included determination of AlSi12 (EN AC-44100) alloy microstructure

mehanske lastnosti zlitine AlSi12 (EN AC-44100). Preiskovalne metode so obsegale taljenje in pripravo kemijske sestave skladno z zahtevami. Kemijska sestava je bila določena »in situ« z uporabo analizatorja za kovine SPECTROMAXx OES Metals Analyzer pred obdelavo taline s predzlitinami in po njej.

Predobdelava taline je zajemala razplinjanje z dušikom (N₂) z uporabo naprave MTS 1500 - Foseco. Obdelava taline je bila prav tako izvedena skozi modifikacijo AlSr10 in v drugi fazi z udrobnjevanjem skozi cepljenje s predzlitino AlTi5B.

Poskus je obsegal gravitacijsko litje zlitine v standardno celico croning in kalup ASTM B108 [23]. Enostavna termična analiza med ohlajanjem/strjevanjem taline v celici croning je bila v obeh primerih izvedena z uporabo naprave NI-9211, opremljene z modulom NI cDAQ-9172. Numerična simulacija strjevanja in napoved poroznosti ulitka ASTM B108 sta bili izvedeni s programsko opremo ProCast.

Preiskave lastnosti mehanske trdnosti so bile izvedene z univerzalno testno napravo Zwick 50 kN pri sobni temperaturi T = 20 °C skladno s standardom EN 10002-1:1998 [24].

Vzorci za metalografsko analizo smo pripravili s standardnim metalografskim postopkom za pripravo z brušenjem in poliranjem, sledilo pa je jedkanje v 0,5-odstotni fluorovodikovi kislini. Metalografska analiza je bila izvedena z uporabo optičnega mikroskopa Olympus GX51, njen namen pa je bil vizualna identifikacija določenih sestavin mikrostrukture. Mikrostrukture so bile posnete z digitalnim fotoaparatom Olympus DP70, analiza pa je bila izvedena s programsko opremo Analysis®MaterialsResearchLab. Podrobne mikrostrukturne preiskave so bile izvedene z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM)

and mechanical properties. Investigation methodology comprised melting and preparation of requested chemical composition according specifications. Chemical composition was determined "in situ" using SPECTROMAXx OES Metals Analyzer prior and after the melt treatment with master alloys.

Melt pretreatment covered degassing of the melt with the nitrogen (N₂) using a MTS 1500 - Foseco equipment. Melt treatment was also performed through modification with AlSr10 and in second stage with and without grain refinement by inoculation using AlTi5B master alloy.

The experiment included gravity casting of an alloy in standard croning cell and ASTM B108 mould [23]. A simple thermal analysis was performed during cooling/solidification of the melt in the croning cell for both cases of melt treatment using NI-9211 device equipped with NI cDAQ-9172 module. Numerical simulation of solidification and porosity prediction of ASTM B108 casting was performed using the ProCast software.

Mechanical tensile properties investigations were performed on universal testing machine Zwick 50kN, at room temperature T = 20 °C in accordance to EN 10002-1:1998 [24].

Samples for metallographic investigation were prepared by standard metallographic preparation procedure by grinding and polishing, followed by etching in 0.5% HF. A metallographic analysis was performed using an optical microscope Olympus GX51 in order to visually identify particular microstructural constituents. Microstructures were acquired using the digital camera Olympus DP70, while the analysis was performed by Analysis®MaterialsResearchLab software. Detailed microstructural investigations were performed by using a scanning electron microscope (SEM) Tescan Vega TS 5136

Tescan Vega TS 5136 MM, opremljenim z energijsko disperzivnim spektrometrom (EDS) Bruker.

MM equipped with an energy dispersive spectrometer (EDS) Bruker.

3 Rezultati in razprava

Preiskava kemijske zlitine AlSi12 (EN AC-44100) je razkrila vrednosti, primerljive z zahtevanimi [2], kot je prikazano v Preglednici 1. Kemijska sestava preiskovanega vzorca je odvisna od obdelave taline z dodatkom sredstva za udrobnjevanje (AlTi5B). Vzorci so ustrezno označeni:

- M z dodatkom modifikatorja AlSr10 in
- MI z dodatkom modifikatorja AlSr10 in sredstva za udrobnjevanje AlTi5B.

Za zlitino AlSi12 (EN AC-44100) je značilno visoko razmerje Fe:Mn $\approx 1:1$. Primerjava kemijske sestave je pokazala konsistentno vsebnost zanimivih elementov, razen po dodatku Ti in B.

Numerična simulacija strjevanja zlitine AlSi12 (EN AC-44100) v kalupu ASTM B108 z uporabo programske opreme ProCast je po polnjenju in strjevanju pokazala značilne stopnje strjevanja kot tudi napovedala poroznost končnega ulitka, kot je prikazano na Sl. 2.

Numerične simulacije razkrivajo vroče točke v spodnjem delu ulitka. Čeprav polnjenje kalupa in strjevanje ne trajata dlje

3 Results and discussion

The chemical composition of AlSi12 (EN AC-44100) alloy investigation resulted with values compared with the required one [2], as shown in Table 1. The chemical composition of investigated samples differs in melt treatment by addition of inoculant (AlTi5B). The samples are respectively marked:

- M with addition of AlSr10 modifying agent and
- MI with addition of AlSr10 modifying agent and AlTi5B inoculation agent.

The AlSi12 (EN AC-44100) alloy specificity is high ratio Fe : Mn $\approx 1 : 1$. The C chemical composition comparison indicated consistent content of interesting elements except for afterward added Ti and B.

The numerical simulation of AlSi12 (EN AC-44100) alloy solidification in ASTM B108 mould using ProCast software resulted in follow-up of filling and solidification path in characteristic solidification stages as well as prediction of porosity in final casting, as shown in Fig. 2.

Preglednica 1. Kemijska sestava zlitine AlSi12 (EN AC-44100)

Table 1. Chemical composition of AlSi12 (EN AC-44100) alloy

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	B	Sr	V
[2]	11.9	0,42	0,11	0,46	0,04	0,01	0,00	0,04	0,03	0,003	0,01	0,01
	3	6	6	5	6	1	7	4	6	4	2	2
M	12,4	0,46	0,11	0,45	0,04	0,01	0,00	0,04	0,03	0,003	0,01	0,01
	9	8	4	5	7	0	6	3	8	5	6	2
MI	12,5	0,47	0,11	0,44	0,04	0,01	0,00	0,04	0,06	0,007	0,01	0,01
	1	4	4	9	5	0	7	3	4	4	7	7



(a) 1,6 vol.% trdna faza / 1.6 vol.% solid phase



(b) 2,9 vol. % trdna faza / 2.9 vol. % solid phase



(c) 8,8 vol.% trdna faza / 8.8 vol.% solid phase



(d) 14 vol.% trdna faza / 14 vol.% solid phase



(e) Razmerje poroznosti ulitka / Casting porosity ratio

SI. 2. Potek strjevanja in končna poroznost ulitka

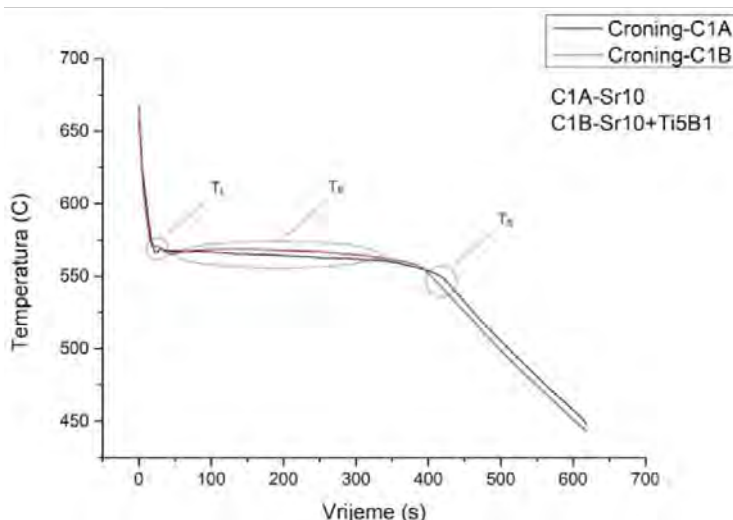
Fig. 2. Solidification path and final porosity in casting

kot 120 sekund, nastaja zaradi predgrevanja kalupa (140 °C) in primerne toplotnega količnika med talino in kalupom ter intervala strjevanja zlitine AISi12 poroznost v vročih

Results of numerical simulation indicate hot spots in lower part of the casting. Although the total time of filling and solidification does not exceed 120s, due to

Sl. 3. Krivulje hlajenja ulitka celice Croning zlitine AlSi12

Fig. 3. Cooling curves of AlSi12 alloy croning cell casting



točkah. Simulacija ni razkrila bistvenih razlik v strjevanju med vzorcema M in MI.

V celici Croning izvedena termična analiza je razkrila krivulje ohlajanja osnovne M (C1A) in obdelane MI (C1B), kot je prikazano na Sliki 3

Značilna odvisnost temperatura-čas je razkrila vpliv dodatka modifikatorja med začetnimi fazami strjevanja skozi nižanje podhladitve likvidusa in krajšanje intervala strjevanja.

Mikrostrukturne preiskave z uporabo svetlobne in elektronske mikroskopije so bile izvedene na istih vzorcih iz celice (Sl. 4) kot tudi na vzorcih ASTM B108 (Sl. 5) in dotočnih delih (Sl. 6) ulitka po mehanski preiskavi.

V obeh primerih je bilo mogoče opaziti nastanek dendritske mreže. V obdelanem vzorcu je mogoče opaziti povišano razmerje α_{Al} , ki označuje prednostno tendenco razvoja primarnega dendrita. Večje povečave so razkrile mešano morfologijo evtektika (igličasto in vlaknasto), povezano s prekomerno modifikacijo. Visokotemperaturna železna intermetalna faza obdaja primarni α_{Al} . Njihova morfologija se pojavlja v igličasti

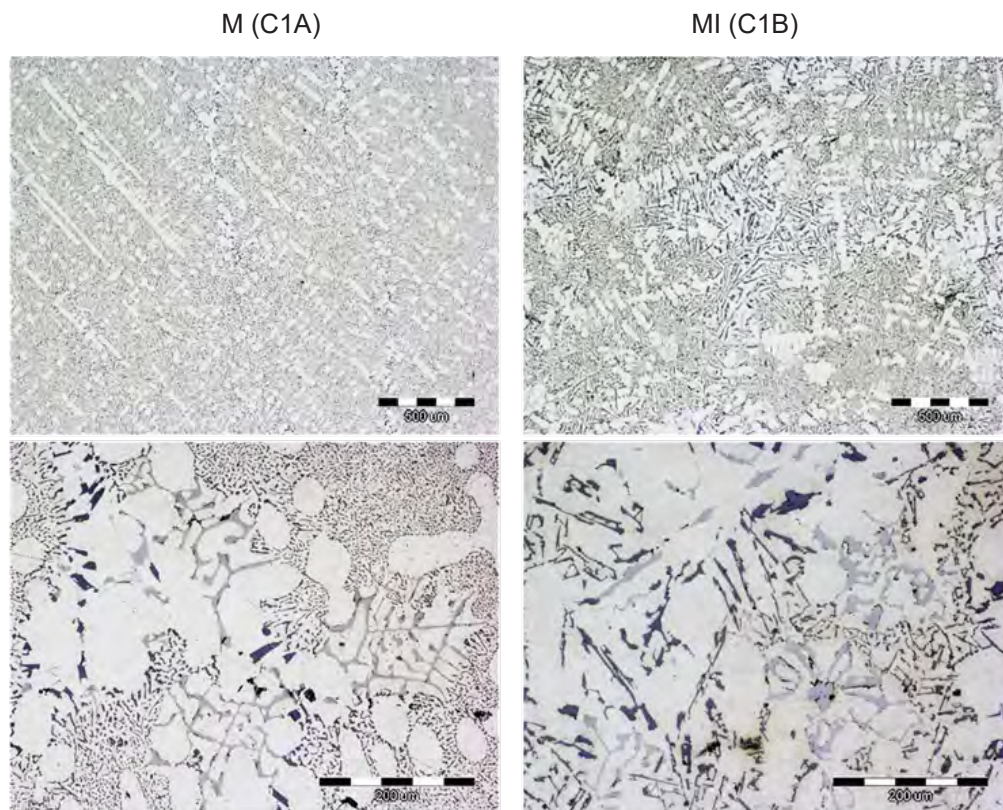
mould preheating (140°C) and adequate thermal coefficient of heat conductivity between melt and mould as well due to narrow solidification interval of AlSi12 alloy, porosity occurs in hot spots. Simulation does not reveal significant difference in solidification path for M and MI samples.

A thermal analysis performed in croning cell resulted in cooling curves of base M (C1A) and refined MI (C1B) melt, as shown in Figure 3.

Characteristic temperature-time dependence revealed an influence of inoculant addition in the initial solidification stages by lowering the liquidus undercooling and shortening the solidification time interval.

Microstructural investigation using light and electron microscopy was performed on the same samples from croning cell (Fig. 4) and as well on ASTM B108 samples from test (Fig.5) and inflow part (Fig 6) of the casting after mechanical investigation.

In both cases, dendritic network development has been noticed. In refined sample, a higher ratio of α_{Al} is observed which indicate preferred tendency to primary dendrite development. Higher



Sl. 4. Mikrostruktura osnovne (M) in obdelane (MI) zlitine AlSi12 iz celice Croning

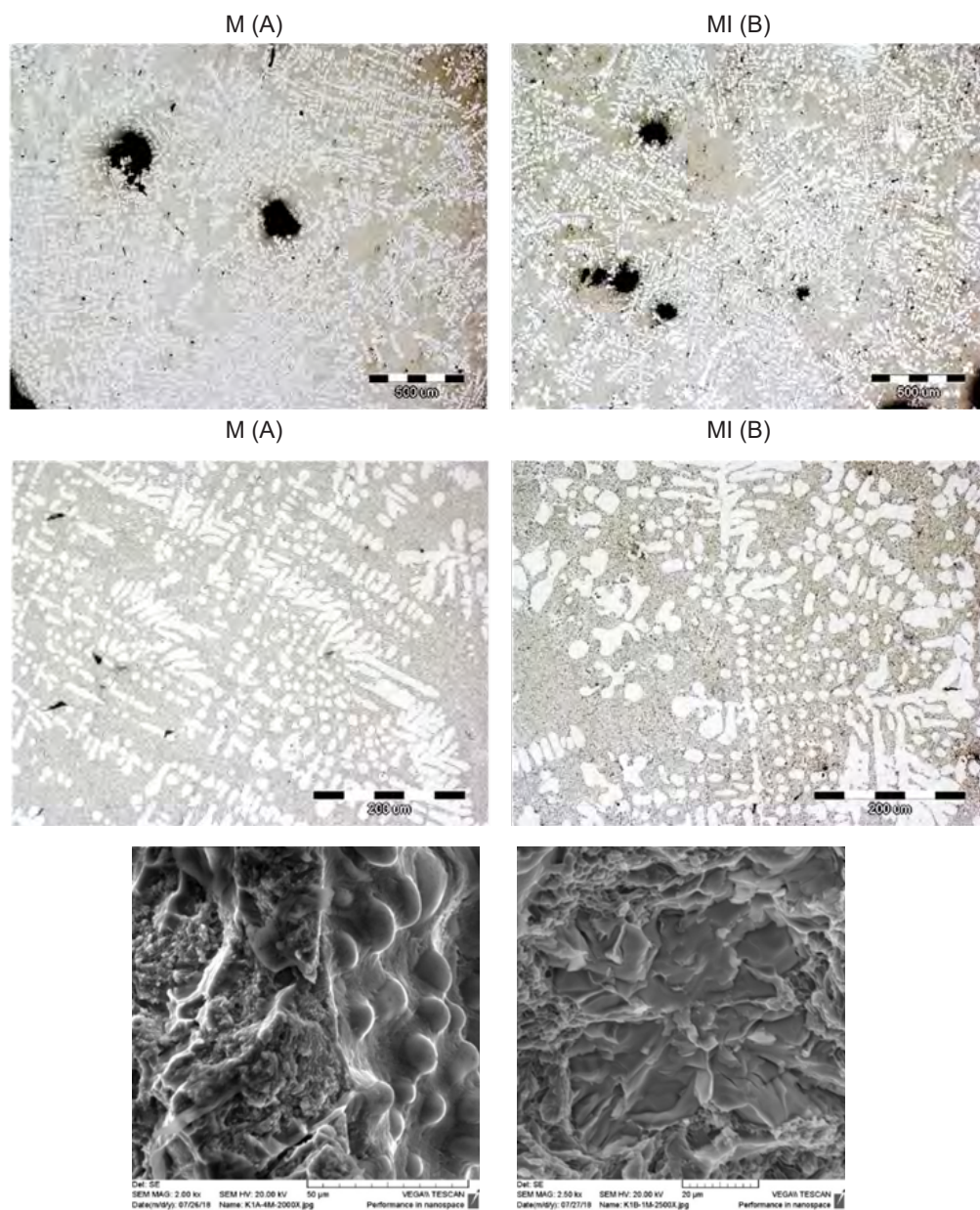
Fig. 4. Microstructure of the base (M) and refined (MI) AlSi12 alloy from croning cell

obliki kot Al_5FeSi zaradi značilno nizke hitrosti ohlajanja v celici Croning in $\text{Al}_{15}(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_2$ v obliki kitajskih pismenk zaradi visoke vsebnosti Mn.

Za testni del ulitka ASTM B108 je značilen položaj roba v kalupu in manjši premer preseka ter posledično višji temperaturni gradient med strjevanjem. Mikrostruktura na mestu oziroma v bližini mehanske preiskave nastanka razpoke je v obeh primerih razkrila plinsko poroznost, nastanek dendritske mreže in eutektične celice. Dendritska mreža je bolj drobna in v obdelanem vzorcu so dendriti fragmentirani (MI-B). Eutektiki se razkrijejo

magnification revealed mixed morphology of eutectic (needle and fibrous) correlated to over modification. High-temperature iron intermetallic surrounds primary α_{Al} . Their morpholog appears as Al_5FeSi in needle-like form due to characteristic low cooling rate in croning cell and $\text{Al}_{15}(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_2$ in Chinese script form due to high Mn content.

Test part of ASTM B108 casting is characterised by edge position in the mould and small diameter in cross section, and therefore higher temperature gradient during solidification. Microstructure observed at position at/near the mechanical investigation fracture occurrence, revealed gas porosity,



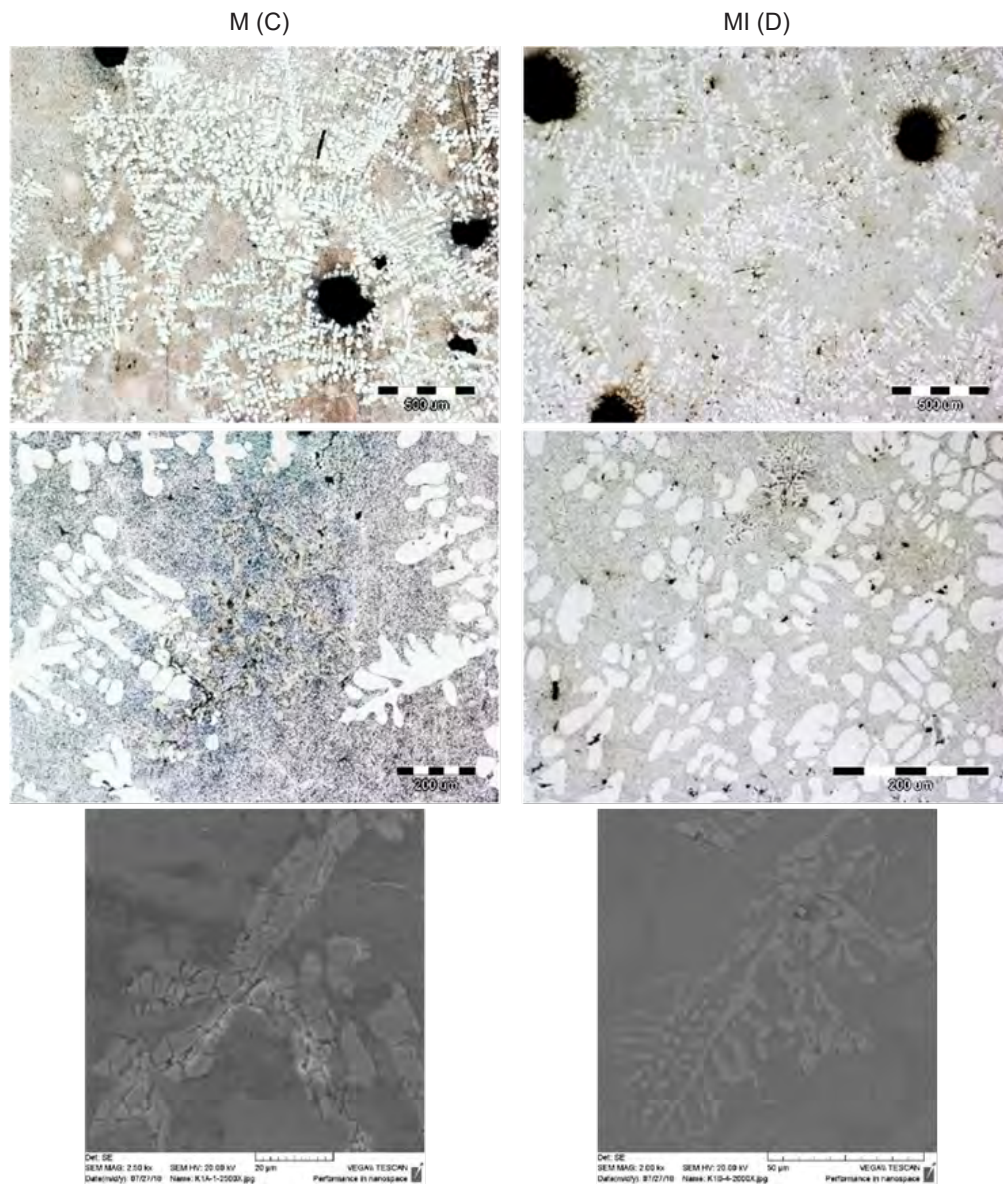
Sl. 5. Mikrostruktura osnovne (M) in obdelane (MI) zlitine AlSi12 iz testnega dela kalupa ASTM B108
Fig. 5. Microstructure of the base (M) and refined (MI) AlSi12 alloy from test part of ASTM B108 mould

v drobni vlaknasti in popolnoma modificirani morfologiji. Fraktografija osnovnega vzorca

developed dendrite network and eutectic cells in both cases. The dendrite network

M prikazuje duktilnost oziroma krhkost celotnih dendritov α_{Al} in obdajajočega evtektika. Fraktografija obdelanega vzorca

is finer and dendrites are fragmented in refined sample (MI-B). Eutectic reveals in fine fibrous and completely modified



Sl. 6. Mikrostruktura osnovne (M) in obdelane (MI) zlitine AlSi12 iz dotočnega dela kalupa ASTM B108

Fig. 6. Microstructure of the base (M) and refined (MI) AlSi12 alloy from inflow part of ASTM B108 mould

MI razkriva popolno duktilno razpoko po celotnem evtektiku in intermetalni fazi Al-Fe-Mn-Si.

Dotočni del ulitka ASTM B108 je bližje osrednjemu delu ulitka in za ta predel je značilen večji premer preseka, kar pomeni nižjo hitrost hlajenja in strjevanja, kot je bilo napovedano z numerično simulacijo. Tehnološko stanje strjevanja potrjuje grobo mikrostrukturo, ki razkriva tudi visoko razvito dendritsko mrežo, ki je bolj enakomerno porazdeljena v obdelanem vzorcu (vzorec MI). Evtektik je v vlaknati morfologiji je popolnoma modificirana. Opaziti je bilo mogoče močno poroznost zaradi plina. Poroznost predstavlja šibko točko, kjer lahko pride do okvar oziroma napak. Večje povečave razkrijejo bolj grobo, a fragmentirano intermetalno fazo Al-Fe-Mn-Si, medtem ko je podobna struktura v obdelanem vzorcu mnogo bolj drobna.

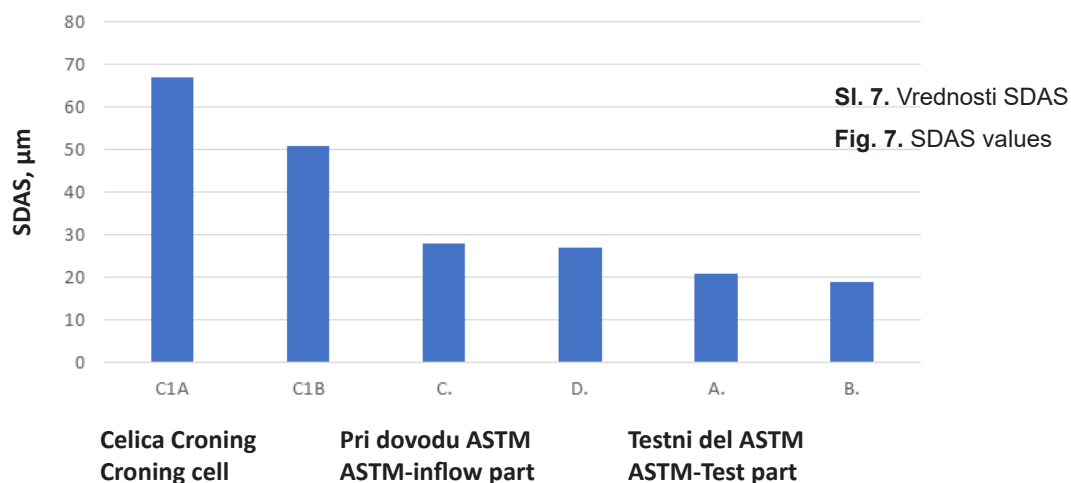
Analiza mikrostrukture omogoča primerjavo SDAS (Secondary Dendrite Arm Spacing) vseh preiskovanih vzorcev, kot je prikazano na Sl. 7.

Vrednosti SDAS potrjujejo spremembe, zaznane v mikrostrukturi. Vrednost SDAS se povečuje z višjo hitrostjo hlajenja/strjevanja (celica croning, pri dovodu, testni del).

morphology. Fractography of the base sample M indicates mixed ductile-brittle fracture nature across the primary α Al dendrites and surrounding eutectic. Fractography of refined sample MI reveals completely ductile fracture across the eutectic and Al-Fe-Mn-Si intermetallic.

The inflow part of ASTM B108 casting is closer to the central part of the casting and this area is characterized with the larger diameter in cross section, and therefore lower cooling and solidification rate as predicted by numerical simulation. The technological condition of solidification is confirmed by a rough microstructure that also reveals a highly developed dendritic network which is more uniformly distributed in the refined sample (sample MI). The eutectic is completely modified in fibrous morphology. Large gas porosity can be observed. Porosity represents a weak place suitable for failure. Higher magnification reveals the rougher but fragmented Al-Fe-Mn-Si intermetallic, while the similar one in refined sample is much finer.

Microstructure analysis enables SDAS (secondary dendrite arm spacing) comparison for all investigated samples presented in Fig. 7.



Prav tako se zmanjša ob udrobnjevanju pri enakih pogojih strjevanja.

Preiskava mehanskih lastnosti je bila izvedena na vzorcih iz testnega in na dovodu dela ulitka ASTM B108. Pridobljena natezna trdnost (R_m) in raztezek (A_{50}) sta predstavljena v Preglednici 2.

Preglednica 2. Mehanske lastnosti vzorca zlitine AlSi12 iz kalupa ASTM B108

Table 2. Mechanical properties of AlSi12 alloy samples from ASTM B108 mould

Vzorec / Sample	Obdelava taline / Melt treatment	R_m , [N/mm ²]	A_{50} , [%]
A. (testni del)	M	216,25	2,91
B. (testni del)	MI	178,76	1,19
C. (na dovodu del)	M	198,88	4,36
D. (na dovodu del)	MI	187,89	3,54

Pridobljeni rezultati ustrezajo zahtevam standarda EN 1706. Nižja hitrost ohlajanja (vzorci dotočnih delov) zmanjša natezno trdnost in sočasno poveča raztezek zaradi večjega časovno-temperaturnega intervala strjevanja. Zaznana poroznost, ki je večja pri dovodih delih, prav tako priča o zmanjšani natezni trdnosti. Na splošno je cepljenje vplivalo na mikrostrukturne spremembe v smeri proti enakomerni porazdelitvi drobne dendritske morfologije, čeprav ni imelo pozitivnega učinka na izboljšanje mehanskih lastnosti, tj. niti natezne trdnosti niti raztezka. Nasprotno – višja hitrost ohlajanja (testni del) in udrobnjevanje vodita do najnižjih mehanskih lastnosti.

Korelacija med izboljšanjem pridobljene mikrostrukture in rezultati natezne trdnosti je potrdila, da je evtektična zlitina AlSi12 (EN AC 44100) primernejša za proizvodnjo

SDAS values confirmed observed changes in microstructure. SDAS is decreasing with the increase of cooling / solidification rate (cironing cell, inflow part, test part). It also decreases with applied grain refinement within the same solidification conditions.

Mechanical properties investigation was performed on samples from test and inflow part of the ASTM B108 casting. Obtained tensile strength (R_m) and elongation (A_{50}) are presented in Table 2.

The obtained results correspond to those required by EN 1706 norm. Lower cooling rate (inflow part samples) decreases the tensile strength with simultaneously increasing of elongation due to wider solidification time-temperature interval. Observed porosity also, larger in size in inflow part, also comprehends to the decrease of tensile strength. In general, inoculation did affect the microstructural change towards the uniformly distributed fine dendrite morphology, although it did not have a positive effect on improvement of mechanical properties neither tensile strength nor elongation. On the contrary, a higher cooling rate (test part) and applied grain refinement revealed the lowest values of followed mechanical properties.

Correlation of obtained microstructure improvement and tensile strength results, confirmed that eutectic AlSi12 (EN AC 44100) alloy is more suitable for thin wall casting produced with HPDC technology without additional grain refinement.

4 Conclusions

Targeted melt treatment can influence the solidification manner, development of microstructural features and application finally achieving mechanical properties of the alloy. Obtained results should be correlated

tankostenskih ulitkov brez dodatnega udrobnjevanja.

4 Sklepi

Ciljna obdelava taline lahko vpliva na način strjevanja, razvoj mikrostrukturnih lastnosti in uporabo ter končno dosego mehanskih lastnosti zlitine. Pridobljene rezultate je treba uskladiti z ustreznimi livnimi geometrijami in tehnologijami. Preiskava EN AC evtektične zlitine AlSi12 (EN AC 44100) z visoko vsebnostjo Fe in Mn je obsegala različne načine obdelave taline: modifikacije evtektika z dodatkom AlSr10 in ciljni dodatek inokulanta AlTi5B. Preiskave so vodile v naslednje zaključke:

- rezultati numerične simulacije razkrivajo vroče točke v spodnjem delu ulitka ASTM B108, tehnološki parametri ulitka v kombinaciji z majhnim intervalom strjevanja zlitine AlSi12 nakazujejo pojavnost poroznosti v vročih točkah, ki predstavljajo šibke točke in mesta pomanjkljivosti;
- udrobnjevanje zmanjša podhlajanje likvidusa in skrajša čas intervala strjevanja zlitine AlSi12;
- mikrostrukturne preiskave so razkrile razvoj dendritske mreže, ki jo obdajajo evtektične celice, višje vsebnosti Fe in Mn v razmerju 1:1 vodijo v razvoj intermetalnih faz Al-Fe-Mn-Si, udrobnjevanje vpliva na zmanjšanje in/ali fragmentacijo mikrogradnikov, še posebej α Al, cepljenje prispeva k enakomerni porazdelitvi dendritov α Al in zmanjšanju vrednosti SDAS, višja hitrost ohlajanja prispeva tudi k udrobnjevanju in zmanjšanju vrednosti SDAS pod enakimi pogoji strjevanja;
- čeprav pridobljene mehanske lastnosti ustrezajo zahtevam standarda EN 1706, udrobnjevanje na mehanske lastnosti ni imelo absolutnega pozitivnega učinka, nižja hitrost ohlajanja (vzorci dovodnih delov) zmanjša natezno trdnost in sočasno poveča raztezak, višja hitrost ohlajanja (vzorci testnih delov) in udrobnjevanje vodita do najnižjih mehanskih lastnosti.

to corresponded casting geometry or technology. Investigation of EN AC AlSi12 (EN AC 44100) eutectic alloy with high Fe and Mn content, included different mode of melt treatment: modification of eutectic with addition of AlSr10 and targeted addition of AlTi5B inoculant. Investigation revealed following conclusions:

- Results of numerical simulation indicate hot spots in lower part of the ASTM B108 casting. Technological parameters of casting in combination with narrow solidification interval of AlSi12 alloy comprehends to the porosity occurrence in hot spots which represent a weak place and failure position.
- Grain refinement lowers the liquidus undercooling and shortens the solidification time interval of AlSi12 alloy.
- Microstructural investigation reveals a dendrite network development surrounded by eutectic cells. Higher content of Fe and Mn and their ratio 1:1 comprehends to the development of Al-Fe-Mn-Si intermetallic. Grain refinement influences on the decrease and/or fragmentation of the microconstituents, in particularly α Al. Inoculation contributes to the uniform distribution of α Al dendrites and lowering the SDAS. A higher cooling rate also comprehends to the grain refinement and SDAS decreasing within the same solidification conditions.
- Although the obtained mechanical properties correspond to those required by EN 1706 norm, grain refinement did not have absolutely positive effect on mechanical properties. A lower cooling rate (inflow part samples) decreases the tensile strength with simultaneously increasing of elongation. A higher cooling rate (test part samples) and

Eutektična zlitina AlSi12 (EN AC 44100) z visoko vsebnostjo Fe in Mn v razmerju Fe:Mn = 1:1 je, glede na raziskave mikrostrukture in mehanskih lastnosti, najprimernejša za tankostenske ulitke (višje hitrosti hlajenja) in ne predvideva dodatnega udrobnjevanja.

grain refinement revealed the lowest values of mechanical properties.

Eutectic AlSi12 (EN AC 44100) alloy with high Fe and Mn content and Fe:Mn=1:1 ratio, according to microstructural and mechanical properties investigation is mostly suitable for thin wall casting (higher cooling rates) without additional grain refinement.

Viri / References:

- [1] ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys. Ohio: ASM International, Materials Park 1993.
- [2] EN 1706:2010 Aluminium and aluminium alloys – Castings – Chemical composition and mechanical properties.
- [3] ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys. Ohio: ASM International, Materials Park 1993.
- [4] D. Dispinar, J. Campbell, Metal quality studies in secondary remelting of aluminium, J. Inst. Cast Met. Eng. 2004;178:78–86.
- [5] V. Raghavan, Al-Fe-Mn-Si (Aluminum-Iron-Manganese-Silicon), Journal of Phase Equilibria and Diffusion, 2007;28:215-17
- [6] E. Tillová, M. Chalupová, L. Hurtalová, Evolution of phases in a recycled Al–Si Cast alloy during solution treatment. Phys Scanning Electron Microscopy 2012; 411–438.
- [7] T. Tański, K. Labisz, B. Krupińska, M. Krupiński, M. Król, R. Maniara R, Borek W. Analysis of crystallization kinetics of cast aluminum–silicon alloy. J Therm Anal Calorim. 2016;123:63-74.
- [8] N. Iqbal, N. H. van Dijk, S. E. Offerman, N. Geerlofs, M. P. Moret, L. Katgerman, G. J. Kearley, In situ investigation of the crystallization kinetics and the mechanism of grain refinement in aluminum alloys. Mater Sci Eng A Struct. 2006;416(1–2):18–32
- [9] T. Hosch, R.E. Napolitano, The effect of the flake to fiber transition in silicon morphology on the tensile properties of Al–Si eutectic alloys, Materials Science and Engineering A 528 (2010) 226–232
- [10] M. Garat, G. Laslaz, S. Jacob, P. Meyer, P. H. Guerin, R. Adam, Transactions of the American Foundrymen's Society 100 (1992) 821–832.
- [11] S. Z. Lu, A. Hellawell, Metallurgical Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science 18A (10) (1987) 1721.
- [12] D. C. Jenkinson, L.M. Hogan, Journal of Crystal Growth 28 (2) (1975) 187.
- [13] A. K. Dahle, K. Nogita, S. D. McDonald, C. Dinnis, L. Lu, Materials Science and Engineering A 413–414 (2005) 243–248
- [14] T. Hosch, L.G. England, R.E. Napolitano, Journal of Materials Science 44 (18) (2009) 4892–4899
- [15] M. G. Day, A. Hellawell, Proceedings Royal Society. Mathematical, Physical and

Engineering Sciences 305 (1483), 1968, p. 473.

- [16] S. Z. Lu, A. Hellawell, Journal of Crystal Growth 73 (2) (1985) 316.
 [17] R. E. Napolitano, L. G. England, Solidification of Aluminum Alloys (2004) 445–451. [18] A. L. Greer, P.S. Cooper, M.W. Meredith, W. Schneider, P. Schumacher, J. A. Spittle, A. Tronche, Adv. Eng. Mater. 5 (2003) 81–91.
 [19] S. A. Kori, B. S. Murty, M. Chakraborty, Mater. Sci. Eng. A 283 (2000) 94–104. [20] M. Easton, D. St. John, Metall. Mater. Trans. A 30A (1999) 1613–1623.
 [21] M. Easton, D. St. John, Metall. Mater. Trans. A 30A (1999) 1625–1633
 [22] J. E. Gruzleski, B.M. Closset, The Treatment of Liquid Aluminum – Silicon Alloys, AFS, Illinois, 1999.
 [23] ASTM B108, Standard Specification for Aluminum-Alloy Permanent Mold Castings, <https://www.astm.org/Standards/B108.htm> (26.07.2018.)
 [24] EN 10002-1, 2001, Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Preizkusna metoda pri sobni temperaturi

AKTUALNO / CURRENT

Pregled livarskih prireditev v letih 2021 in 2022

Datum dogodka	Ime dogodka	Mesto in država
27. - 28.05.2021	Deutscher Giessereitag	Aachen, Nemčija
14. - 15.06.2021	Forum Giesserei-Industrie	Wuerzburg, Nemčija
15. - 17.09.2021	61. IFC Portorož 2021	Portorož, Slovenija
28. - 29.09.2021	Aluminium Sand- und Kokillenguss Grundlagen Block 2	Leimen, Nemčija
30.09.2021	Aluminium Bauteile gussgerecht konstruieren	Nußloch, Nemčija
08. - 09.10.2021	Zink Die Casting Conference	Koblenz, Nemčija
27. - 28.10.2021	VDI-Fachtagung »Gießtechnik im Motorenbau« 2021	Magdeburg, Nemčija
11.11.2021	Gussfehler in Leichtmetallguss-Bauteilen analysieren und richtig bewerten	Nußloch, Nemčija
02. - 03.12.2021	Formstoffbedingte Gussfehler	Düsseldorf, Nemčija
07.12.2021	Eigenschaften und Schmelztechnik der Aluminium-Gusswerkstoffe	Düsseldorf, Nemčija
07. - 08.12.2021	Prozessoptimierung in Gießereien	Bad Dürkheim, Nemčija
18. - 20.01.2022	EUROGUSS	Nuernberg, Nemčija

AKTUALNO / CURRENT

60 let osrednje livarske konference Društva livarjev Slovenije

Letos smo bili priča pomembnega jubileja Društva livarjev Slovenije. Gre za jubilej osrednjega livarskega dogodka, livarsko konferenco, ki jo že 60 let, vsako leto organizira Društvo livarjev Slovenije (v nadaljevanju Društvo), od leta 1963 pa le-ta stalno poteka v Portorožu. Konferenca je nastala in rasla do danes pod okriljem Društva, ob sodelovanju in strokovni podpori znanstvenikov, v preteklosti iz Oddelka montanistike in danes Katedre za livarstvo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in Katedre za materiale in preoblikovanje Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru.

Društvo livarjev Slovenije je ustanovljeno leta 1953. Že na samem začetku po svoji ustanovitvi si je postavilo zelo ambiciozne cilje in načrte. To so zahtevale livarne - člani društva, ki so predvsem potrebovali nekoga, ki jim bo pomagal zmanjševati tehnološki razkorak oz. zaostajanje do razvitih industrijskih držav. To zahtevno nalogo je prevzelo Društvo, ki je skrbelo za kontinuirano izobraževanje strokovnih kadrov v slovenskih livarnah, dopolnjevanje livarske kartoteke, knjižnice svetovnih livarskih revij in čitalnice strokovne literature. Odločitev, da se vsako leto poleg vrste strokovnih tečajev, seminarjev in predavanj domačih in tujih predavateljev, gre v organizacijo mednarodne livarske konference, se je hitro izkazala kot prava in koristna odločitev, ne samo za slovensko livarstvo, ampak tudi za ostale udeležene države.

Največ potrebnega strokovnega znanja s področja livarstva je ob ustanovitvi Društva livarjev Slovenije bilo na Oddelku montanistike Univerze v Ljubljani. Takratni univerzitetni kadri so že takrat tesno sodelovali z evropskimi univerzami in inštituti ter sorodnimi livarskimi društvi in združenji. Tako je denimo že leta 1954 prišlo do prvega prijateljskega stika z VDG – Društvom livarjev Nemčije, v Ljubljani, ko je imel predavanje ugledni profesor livarstva, W. Patterson iz takratne Tehniške visoke šole v Aachnu, ki je predaval o razpokah v vročem in polnjenju livarske forme. Posebno pomemben kontakt v tistem času je bil tudi s profesorjem B. Marinčkom, našim rojakom iz Celja, ki je takrat vodil Katedro za livarstvo v Zuerichu. Po Livarski razstavi GIFA leta 1956, na kateri sta sodelovala takratni predsednik Društva, prof. V. Fettich in tajnik inž. C. Pelhan, so bili vzpostavljeni stiki z livarskimi združenji Češkoslovaške in Poljske. Pričelo pa se je tudi naše dolgoletno sodelovanje z novo nastalim Inštitutom za livarsko tehniko v Leobnu v Avstriji. Njegov prvi direktor ing. R. Ziegler je bil vrsto let pogosti predavatelj na livarskih prireditvah Društva v Sloveniji.

V okviru programa obeleževanja 10-letnice obstoja Društva livarjev Slovenije leta 1963 se je Društvo odločilo za organizacijo livarske konference na lokaciji obmorskega Portoroža. Ta lokacija je postala stalnica do današnjih dni. Prva konferenca je potekala v Portorožu v »Ljudskem domu«, v času od 30. maja do 1. junija in je štela skupno 160 udeležencev iz Slovenije in ostalih delov nekdanje skupne države. Na konferenci je bilo takrat predstavljeno 27 predavanj, sodelujoči predavatelji pa so bili iz Oddelka montanistike Univerze v Ljubljani in podjetij: Litostroj, Mariborska livarna Maribor, Tovarna avtomobilov Maribor, Železarna Jesenice, Železarna Ravne, Železarna Štore ter iz Hrvaške (Železara Sisak) in Srbije (»Petar Drapšin« Mladenovac in »Savezni centar za obrazovanje« Smederevo). V času konference je v avli »Ljudskega doma« odprta tudi likovna razstava slik in kipov umetnikov -livarjev iz Železarne Jesenice, Železarn Ravne in iz Litostroja iz Ljubljane.

Članice Društva so vodenje Društva livarjev Slovenije in programsko organizacijske priprave na konferenco v Portorožu poverile univerzitetnim kadrom. To pomembno vlogo in zahtevno poslanstvo so univerzitetni kadri izvajali v Društvu nekaj več kot štiri desetletij.



Naslovnica Livarskega vestnika št. 4-5/1963 s pogledom na preddverje 1. konference v Portorožu

Poljskega livarskega združenja (Stowarzyszenie Techniczne Odlewników Polskich, Krakow) potekala seminarja poljskih strokovnjakov: dipl. ing. Zbigniew Strony in dipl.ing. Adam Trojanowsky. S ciklom treh predavanj nemških livarskih strokovnjakov iz podjetja GMW v povezavi s DEMAG A.G se na Oddelku za montanistiko Univerze v Ljubljani novembra zaključijo, seminarske aktivnosti Društva v letu 1963.

V tem strnjenem zgodovinskem orisu tega dolgoletnega osrednjega livarskega dogodka v Portorožu je potrebno še posebno izpostaviti pomembno dejstvo, ki pove, da je le-ta bil tudi priložnost, da so slovenske livarne in dobavitelji za livarsko industrijo lahko pokazali svetu svoje dosežke. Treba je vedeti, da se le-te že v petdesetih letih prejšnjega stoletja niso opirale samo na prevzem modernih tehnoloških dosežkov iz tujine. Društvo je namreč od ustanovitve dalje skupaj s svojimi livarnami-člani Društva podpiralo domači razvoj in proizvodnjo lastnih livarskih strojev in opreme ter pomožnih livarskih materialov in surovin. To je bilo v tistih časih zelo pomembno, ker je devizna bilanca države omejevala v precejšnji meri uvoz iz tujine. Ta strategija se je izkazala kot zelo uspešna, saj kar nekaj kvalitetnih surovin in pomožnih livarskih materialov ter livarske opreme lahko dobijo slovenske livarne tudi danes od slovenskih proizvajalcev.

Na drugi strani pa lahko ugotovimo, da so smotri in cilji, ki so bili s to konferenco zastavljeni, tudi izpolnjeni. Konferenca je zrastle v livarsko srečanje, kjer si vsi udeleženci lahko medsebojno uspešno izmenjujemo in prenašamo znanstvene in tehnološke dosežke in izkušnje. Pogoji za boljše doseganje omenjenih ciljev so bili zagotovljeni od leta 1971 dalje, ko je v okviru konference pričela potekati tudi livarska razstava.

Od leta 1987 dalje pa se je redno pričelo s izdajo tiskane publikacije konference - Zbornik izvodov konference, katerega prejmejo vsi udeleženci konference in razstave skupaj s širšim predstavitevami predavanj v digitalni obliki.

Do leta 2001 je bilo možno predavanja predstavljati v slovenskem, nemškem ali angleškem jeziku in le-ta so na sami konferenci bila tudi delno simultano prevajana. Od tega leta dalje pa konferenca postaja v pravem smislu mednarodna, s angleščino kot uradnim jezikom.

Leta 2005 pa je livarska industrija ocenila, da je v novih gospodarskih pogojih prišel čas za spremembe in da je vodenje Društva naprej potrebno prepustiti izkušenemu managerju iz livarske industrije, ki bo prevzel tudi vodenje organizacijskega odbora mednarodne konference v Portorožu. Pri tem je programski del posvetovanja ostal še naprej v domeni znanstvene oz. univerzitetne sfere, organizacijska simbioza: po novem med Društvom, industrijo, univerzami v Ljubljani in Mariboru, pa je zagotovila uspešen nadaljnji razvoj Društva in osrednje mednarodne livarske konference v Portorožu, pri čemer so si vsi deležniki bili enotni, da je glavna naloga in cilj konference ažurno

Leto 1963 je bilo zelo bogato s mednarodnimi kontakti. V maju so evidentni prihodi predavateljev in gostov iz tujine, kjer sta na Oddelku za montanistiko Univerze v Ljubljani v ciklu predavanj pod naslovom »Sodobna mehanizacija v livarnah« kot predavatelja nastopila: Gerhard Engels, danes prof.dr in častni član Društva livarjev Nemčije in Društva livarjev Slovenije, kot predstavnik VDG (Društvo livarjev Nemčije) in ing. K. Wende iz podjetja Kuenkel, Wagner & Co., Alfred, Nemčija. Istega leta junija meseca na povabilo VDG na njihovi letni skupščini v Ingolstadtu, ki je bila združena s livarskim posvetovanjem sodeluje tudi tajnik Društva, Ciril Pelhan s predavanjem na temo: »Vpliv nečistoč na kristalizacijo sive litine«. Koncem avgusta in septembra pa sta s sodelovanjem



Tri generacije vrhovnega vodstva ÖGI Leoben in Avstrijskega livarskega združenja: dipl. ing. E. Nechtelberger-jem, prof. dr. A. Bühring-Polaczek-om in prof. dr. P. Schumacher-jem, l. 2013



Udeleženci iz Poljske s mag. Tadeusz Franaszek-om (levo), predsednikom Poljskega združenja livarn in dolgoletnim udeležencem konference, l. 2012



prof. M.-Horaček, Faculty of Mechanical Engineering Brno (CZ) s prof. dr. J. Medvedom Univerza v Ljubljani in dr. Konradom Weissom RWP GmbH (D), l. 2012

sledenje znanstvenim in strokovnim dosežkom na področju livarstva, kar pomeni, da njena strokovno-znanstvena kvaliteta mora biti in ostati v primerjavi s podobnimi mednarodnimi livarskimi dogodki na zavidnem strokovnem nivoju.

Pomembno vlogo v tej 60-letni zgodovini konference je imela livarska revija LIVARSKI VESTNIK, ki izhaja že 67 leto. V njej so se v veliki večini do danes objavljali znanstveni in strokovni članki iz konference v Portorožu. Od leta 2001 dalje so le-ti na voljo tudi dvojezično, v slovenskem in angleškem jeziku.

Konferenca v Portorožu je v teh desetletjih bila tudi tradicionalno stičišče za srečanja s predstavniki vrste nacionalnih livarskih društev in združenj kot tudi z WFO-World Foundry Organization, CAEF-The European Foundry Association in MEGI- Mittel Europaeische Giesserei Initiative (Central European Foundry Initiative). Društvo odlično sodeluje že več desetletji posebno s Avstrijskim livarskim inštitutom v Leobnu, in tudi avstrijskim livarskim društvom. Avstrijski znanstveni so se redno udeleževali konference v Portorožu s enim plenarnim predavanjem in tudi vabljenimi predavanji. Odlično je potekalo tudi sodelovanje s največjim evropskim livarskim inštitutom RWRH Aachen in tudi z BGD - Nemškim združenjem za livarsko industrijo, kot tudi z Univerzo Otto-von-Gurricke v Magdeburgu. Skozi vsa leta je bila na ta način zagotovljena kontinuiteta sodelovanja s Nemčijo kot najmočnejšo evropsko livarsko državo. Tradicionalno dobro sodelovanje smo v tem desetletju še poglobili s Stowarzyszenie Techniczne Odlewników Polskich (Poljskim livarskim združenjem), za kar sta veliko zaslužna predvsem prof. Jozef Suchy iz Univerze AGH Krakow in mag. Tadeusz Franaszek, predsednik poljskega Združenja livarjev. Z Mađarskim livarskim društvom in še posebno s Univerzo v Miškolcu vzdržujemo tudi več ali manj kontinuirane vezi. Do neke pet let nazaj, ko je bil še delovno aktiven prof. Milan Horaček je tudi sodelovanje s Svaz slevaren Češke Republike (Zveza livarn Češke Republike) bilo bolj aktivno. Največjo pogostost sodelovanja s področji nekdanje skupne beležimo s sosedno Hrvaško in

sicer s njihovim Združenjem livarjev, ko je še aktivno delovalo, v zadnjem desetletju pa s Metalurško fakulteto v Sisku in Strojno fakulteto v Zagrebu. Občasno so se konference v Portorožu udeleževali predstavniki iz Srbije, Tehnološko-metalurške fakultete v Beogradu in Metalurške fakultete v Boru.

Nekdanje pogosto sodelovanje s Društvom livarjev Bosne in Hercegovine je v zadnjem desetletju popolnoma zamrlo.

V zadnjem desetletju se konferenca še močneje internacionalizira. V Portorož prihaja kar nekaj novih uglednih ter svetovno znanih predavateljev iz tujine. Ravno tako se je razvilo zelo dobro sodelovanje z nekaterimi mediji iz tujine, ki so se odločili za kontinuirano sodelovanje oz. spremljanje livarske konference in razstave v Portorožu kot medijski partnerji. Gre v prvi vrsti za naslednje medije: spletni portal Foundry Planet iz Nemčije in livarske revije: Foundry Trade Journal International iz Velike Britanije, Giesserei iz Nemčije in Giesserei Rundschau iz Avstrije ter IRT 3000 iz Slovenije..

V nadaljevanju predstavljamo nekaj naključno izbranih posebnosti skozi prisotne goste in predavatelje iz tujine, iz vsakoletne konference v obdobju zadnjih 10 let. Izbor ni bil opravljen po nekih točno določenih fiksnih pravilih ali kriterijih.

Leto 2011, ko je potekala 51. IFC Portorož 2011 je bilo zaznamovano s prisotnostjo oz. udeležbo naslednjih, posebno uglednih gostov: g. Don Huiuzeng, predsednik WFO iz ZDA, g. Andrew Turner, generalni sekretar WFO iz Velike Britanije, g. Max Schumacher, predsednik CAEF - Evropskega združenja livarn in predstavnik BDG-zveznega združenja nemške livarske industrije, prof. dr. Josef Suchy, predsednik MEGI - Srednje Evropske livarske iniciative iz Poljske.

Max Schumacher je bil tudi plenarni predavatelj. Predstavil je predavanje na temo »Okoljski in zdravstveni predpisi: Izziv za evropsko livarsko industrijo«. Pozneje je še nekajkrat sodeloval kot plenarni predavatelj z aktualnimi analizami iz nemškega in širše evropskega livarstva. Tega leta sta se konference udeležila kot predavatelja tudi prof. dr. A. Nofal iz Egipta s predavanjem »Napredek v metalurgiji in uporabi ADI-austenitne sive litine s kroglastim grafitom« in prof. dr. M. Muralidhar iz Indije s predavanjem na temo »Analiza produktivnosti v talilnem obratu avtomobilске livarne- vzorčni primer«. Slednji nam je po končani konferenci v svojem zahvalnem pismu podal naslednjo oceno konference (citiramo): »The 51st International Foundry Conference is well organised on par with Asian foundry Cogress of World Foundry Conferences. You have taken a lot of effort of making the Conference a grand success. My hearty congratulations for the same to you and your organizing team«. Prof. M. Muralidhar se je udeleževal konference v Portorožu kot predavatelj tudi pozneje.



M. Schumacher, CAEF in BDG (D), prof. Jozef Suchy, MEGI, (P), D. Huiuzeng WFO (USA), mag. M. Jan-Blažič, DLS in A. Turner, WFO (GB), I. 2011



prof. dr. I. Riposan v ospredju, I. 2015

Na 52. IFC Portorož 2012 sta se prvič zelo odmevno predstavila skupaj s plenarnim predavanjem ga. P. A. Murell in g. R. S. A. Brown z Institute of Cast Metals Engineers iz Velike Britanije, pod naslovom »Stopnja celotne samozdravitve: britanska livarska industrija gleda v prihodnost«. Omenili bi tudi predavanje še dveh uglednih profesorjev: prof. dr. Jenő Dula iz Univerze v Miškolcu, Madžarska pod naslovom »Analiza toplotnega stanja orodja za tlačno litje«, in prof. dr. I. Riposana iz Politehnica University of Bucarest s predavanjem »Optimizacija izdelave nodularne litine kakovosti 400-18«. Slednji je s tematiko s področja železovih litin sodeloval na konferencah tudi večkrat pozneje kot plenarni ali vabljeni predavatelj.

Na 53. IFC Portorož 2013 smo lahko poslušali plenarna predavanja dveh vrhunskih profesorjev in direktorjev dveh največjih livarskih inštitutov v Evropi, prof. dr. A. Bühring-Polaczeka iz RWTH Aachen s predavanjem »Metalurgija, strjevalni parametri in mikrostruktura Al-livnih zlitin« in prof. dr. P. Schumacherja iz ÖGI-livarskega inštituta v Leobnu, Avstrija, s predavanjem »Nova dognanja v kinetiki udrobnjevanja mikrostruktur Al zlitin v ulitem stanju«. V obeh primerih gre za gosta oz. predavatelja, ki sta se konference v Portorožu udeleževala že prej in tudi pozneje. Za prof. dr. Petra Schumacherja bi lahko rekli, da je redni predavatelj v Portorožu, saj se le-te v zadnjih 10 letih ni mogel udeležiti samo enkrat.

54. IFC Portorož 2014 se je udeležil kot predavatelj ugledni profesor dr. R. Deike iz University Duisburg-Essen, Institut for Metallurgy, Nemčija s predavanjem »Kaj v resnici počne magnezij pri Mg-obdelavi pri proizvodnji sive litine s kroglastim grafitom«. Omenili bi to pot tudi debitanta in prvega prisotnega predavatelja iz daljnega vzhoda, dr. H. Makino iz Sintokogio Ltd, Japonska, ki je predstavil predavanje pod naslovom »Nova generacija formarskih procesov s svežim peskom po tehnologiji prežračevanja«.

Na 55. IFC Portorož 2015 omenjamo dva plenarna predavanja. Prvo je predstavil ugledni prof. dr. R. Bähr z University Magdeburg, Institute of Manufacturing Technology and Quality, Nemčija, pod naslovom; »Primarno oblikovanje – Dodaten izdelovalni proces«. Drugo plenarno predavanje pa je podal prof. dr. R. Squatrito iz Univerze v Bolonji, in Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale Meccanica Avanzata e Materiali, pod naslovom; »Kako raziskave lahko podpirajo evropske livarne v namene povečanja konkurenčnosti: nekaj uspešnih primerov iz Italian Motor Valley«. Zanimivo je, da so se v tem obdobju in tudi prej zelo redko udeleževali konference predavatelji iz Italije, kar pa ne velja za udeležbo na livarski razstavi, kjer so italijanski razstavljalci po pogostosti udeležbe po državah, celo v ospredju. V tem obdobju smo pričeli tudi s sodelovanjem s skupino profesorjev iz Turčije. Kot predavatelj je največkrat na naših konferencah nastopil prof. Dr. M. Acarer iz Selcuk University, Metallurgy-Materials Engineering Department, Konya. Na tem posvetovanju je prof. M. Acarer predstavil predavanje: pod naslovom »Karakterizacija superzlitine na bazi Co izdelane s precizijskim litjem«.

Tega leta je gost konference bil takratni predsednik Gospodarske zbornice Slovenije, g. Marjan Mačkošek.



Marjan Mačkošek, predsednik GZS in mag. Martin Debelak, strokovni tajnik Društva livarjev Slovenije, l. 2015



Utrip s plenarne predstavitve prof. dr. A. Bühring-Polaczeka, l. 2016



Pogled na plenarno dvorano, l. 2016

Na 56. IFC Portorož 2016 izpostavljam tri nove predavatelje. dr. ing. C. Wilhelma iz BDG-Zveznega združenja nemške livarske industrije, z aktualno temo »Prihodnji vidiki za livarsko



Pogled na plenarno dvorano, I. 2017

Slovesna vročitev listine častnega člana
Društva livarjev Slovenije prof. dr. R. Döppu, TU Clausthal (D),
s strani mag. M. Jan-Blažič in prof. A. Križmana, I. 2017

tehnologijo«. Druga dva predavatelja dr. K. Kerber iz podjetja Oskar Frech GmbH + Co., Nemčija in G. Eder iz Quantoras KG, Avstrija, pa sta obravnavala aktualno temo Industrija 4.0., in to iz dveh različnih vidikov. Dr. K. Kerber je predstavil predavanje pod naslovom: »Industrija 4.0 – jutrišnja tlačna livarna«, G. Eder pa temo »Financiranje 4.0 za livarne – izboljšave v nakupih z veliko podatki, do nakupov s pametnimi podatki«.

Na 57. IFC Portorož 2017 je dr. E. Flender, predsednik BDG predstavil plenarno predavanje »Kaj uspešne majhne in srednje velike evropske livarne delajo prav?«. Zelo zanimivo predavanje z naslovom »Izzivi E-pogonskih komponent – rešitve v livarskih tehnologijah« je podal dr. C. Heiselbetz, direktor globalnih raziskav in razvoja v podjetju Nemak Europe GmbH iz Nemčije.

Na otvoritvi konference je bila prof. dr. Reinhardu Doeppu, TU Clausthal, Nemčija, enemu od najpogostejših in polno aktivnih udeležencev konference več kot dve desetletji, slovesno vročena listina častnega člana Društva livarjev Slovenije.

Na 58. IFC Portorož 2018 je kot prvi plenarni predavatelj nastopil prvič H. Lickfett iz BDG, izvrstni dolgoletni analitik nemške in evropske livarske industrije, ki je predstavil zelo zanimivo predavanje pod naslovom: »Nemška livarska industrija – trenutno stanje in nekatera resna vprašanja glede obetov v prihodnosti«



Pogled na plenarno dvorano, I. 2018



prof. dr. Rebeka Rudolf,
Univerza v Mariboru



Z. Zovko Brodarac,
Metalurški fakultet Sisak
(CRO)

Ker v skupini znanstvenikov s področja materialov in livarstva, tako doma kot v tujini delujejo uspešno tudi znanstvenice, smo se odločili, da le-te v tem zgodovinskem orisu to pot še posebej izpostavimo. Na tem mestu tudi zato, ker je na 58. IFC Portorož 2018 sodelovalo aktivno šest znanstvenic in sicer tri kot avtorice in tri kot koavtorice predavanj. Kot novi obraz na konferenci in kot mlado znanstvenico omenjamo, mag. Jessica. Frieß iz inštituta RWTH Aachen, Nemčija, ki se je kot avtorica predstavila s predavanjem pod naslovom »Razvoj enotnega analitskega postopka za sistemsko



dr. Maja Vončina,
Univerza v Ljubljani



J. Friess, Institut
RWTH Aachen (D)

neodvisno oceno morfologije kroglastega grafitu v sivih litinah s kroglastim grafitom«. V tem zadnjem desetletju redno sodeluje na vseh konferencah v Portorožu, kot avtorica ali koavtorica predavanj, slovenska znanstvenica, prof.dr. Rebeka Rudolf iz Univerze v Mariboru in Zlatarne Celje. Na 58. IFC je predstavila plenarno predavanje pod naslovom: "Nanotehnologija kot tehnologija prihodnosti". Na vseh konferencah je prevzemala tudi nalogo predsedujoče po sekcijah konference. Iz sosedne Hrvaške prihaja na konferenco redno znanstvenica, prof. dr. Zdenka Zovko Brodarac To pot se je kot avtorica predstavila s predavanjem pod naslovom: "Vpliv Cu na razvoj mikrostrukture zlitine AISi7MgCu".

Kot koavtorice v programu predavanj so na 58. IFC v programu evidentne naslednje znanstvenice: dr. Maja Vončina, Univerza v Ljubljani, dr. Tonica Bončina, Univerza v Mariboru in mag. Mirjam. Jan-Blažić, Društvo livarjev Slovenije. Vsestransko je v konferenco že vrsto vpeta dr. Maja Vončina v prvi vrsti kot avtorica ali koavtorica vrste predavanj v rednem program ali poster sekciji. Na vseh konferencah je prevzemala tudi nalogo predsedujoče po sekcijah konference in tudi naloge organizacijskega značaja.

59. IFC Portorož 2019 je potekala skupaj z WFO-Technical Forum. Ta livarski dogodek zagotovo predstavlja najpomembnejši dosežek Društva livarjev Slovenije v tem zadnjem desetletju. Predstavniki vodstva WFO so se v tem zadnjem desetletju pogosto udeleževali IFC v Portorožu in v Društvu livarjev Slovenije zagledali dovolj velik organizacijski potencial za organizacijo svetovnega livarskega dogodka, kot je WFO-Technical forum. To zaupanje smo z organizacijo in izpeljavo WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019 v vseh pogledih upravičili. Gostili smo več kot 400 udeležencev, od tega je bilo več kot 100 predavateljev. Razstave se je udeležilo 70 razstavljalcev. Zagotovili smo izvedbo Izvršnega odbora WFO in Generalne skupščine WFO ter ustanovitve nove delovne skupine WFO pod imenom: »Management of Foundry Associations«. Trudili smo se, da to priložnost izkoristimo za promocijo slovenskega livarstva in predstavitev Slovenije kot države s dolgoletno livarsko tradicijo, ki dosega danes zaviden tehnološki nivo oz. konkurenčno nastopanje na zahtevnih trgih in ne zaostaja za razvitim svetom. Izkoristili smo tudi to priložnost, da smo predstavili Slovenijo s kančkom naše kulture in tudi kot pravi mali turistični svetovni biser. V organizacijskem pogledu je šlo za velik in zahteven projekt Društva livarjev Slovenije, katerega se nismo ustrašili in nam ga je tudi zato uspelo uspešno izpeljati. Livarji znamo, ko je potrebno združiti moči in vse razpoložljive potenciale ter pokazati, da znamo in zmoremo. To je pravzaprav lastnost malih narodov, ki se zavedajo da jim vse priložnosti niso v vsakem trenutku dane in da je zato potrebno s pridom izkoristiti ponujenih 5 minut.

V številkah Livarskega vestika 3 in 4/2020, smo obširno poročali o lanskoletnem jubilejnem 60. IFC Portorož 2020. Ne glede na to, pa smo se odločili da tudi iz te zadnje konference podobno kot pri predstavitvi preteklih izpostavimo tri predavatelje. Najprej prvega plenarnega predavatelja, dr. Konrada Weissa, direktorja RWP GmbH iz Nemčije, ki je podal zanimivo predavanje pod naslovom: »Livarstvo od zgodovine do prihodnosti«. Dr. Weissa smo uvrstili na ta seznam zato, ker je dolgoletni in tako rekoč redni predavatelj na konferenci v Portorožu, podjetje RWP pa vrsto let zapored nastopa



Akademik prof. Boštjan Žekš,
odposlanec predsednika RS
Boruta Pahorja



Predsedstvo WFO-Technical Forumu in 59. IFC Portorož 2019 na otvoritvi (z leve): prof. A. Križman, C. Kuhlitz, A. Turner, M. Fenyas, mag. M. Jan-Blažić



Pogled na plenarno dvorano, I. 2019

tudi kot sponzor razstavljaavec na livarski razstavi. Sodelovanje Društva s dr. Weissom poteka že skoraj tri desetletja tudi na drugih izobraževalnih področjih iz programa Društva. Drugi predavatelj, ki ga izpostavljamo je Dr. Joerg C. Sturm, direktor podjetja Magma GmbH in Nemčije, s predavanjem pod naslovom »Virtualno jedro«- simulacija in optimizacija kompleksnega materiala od proizvodnje do aplikacije med litjem«. Dr. Sturm kot predavatelj tudi ni novinec na konferenci. Izpostavili pa smo ga predvsem zato, ker je podjetje Magma GmbH v tem desetletju s svojimi dosežki na področju simulacij in optimizacij livarskega procesa bilo pogosto direktno ali indirektno prisotno v predavanjih. Gre za razvojno zelo pomembne dosežke, ki so postali del vsakdana velike večine naših livarn, brez katerih si težko zamislimo danes zanesljivo in kvalitetno obvladovanje procesa litja.

Na ta zgodovinski seznam smo izdvojili in uvrstili še predavatelja Ashley Stone iz podjetja Jacobsen Real-Time X-Ray Machinery Inc., Kanada, ki je s predavanjem pod naslovom »MAXImolding!™ – livarski stroj za litje magnezijevih ulitkov v testastem stanju za velikoserijsko proizvodnjo«, spodbudil posebno zanimanje in pozornost. Pustimo času čas, da pokaže, ali se bo ta livarski postopek v bodoče dejansko polno uveljavil v livarski praksi, tako kot je bilo napovedano

Posebno mesto v tem zgodovinskem orisu pa pripada našim slovenskim livarskim znanstvenikom in strokovnjakom iz Univerze v Ljubljani in Univerze v Mariboru ter iz naših livarskih podjetij in podjetjih povezanih s livarsko industrijo. Znanstveniki iz omenjenih univerz so močno prisotni vseh 60. let v zgodovini livarske konference.

V vseh letih zadnjega desetletja sta soorganizatorja IFC v Portorožu Oddelek za materiale in metalurgijo Naravoslovnotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani in Katedra za materiale in preoblikovanje Strojne fakultete Univerze v Mariboru. Obe Univerzi sta v zadnjih dveh letih tudi glavna pokrovitelja konference. V omenjenem oddelku Naravoslovnotehniške fakultete je glavno vlogo imela Katedra za livarstvo s predstojnikom prof. dr. Primožem Mrvarjem s sodelavci: docentom dr. Mitjo Petričem in dr. Sebastjanom Kastelicem. Vso podporo konferenci je s svojim sodelovanjem v strokovnem in organizacijskem smislu prispevala tudi katedra za Metalurško procesno tehniko s predstojnikom prof. dr. Jožetom Medvedom in docent dr. Majo Vončina.

Iz Mariborske Strojne fakultete katedre za Materiale in preoblikovanje so v zadnjem desetletju sodelovali v prvi vrsti zasl. prof. dr. Alojz Križman (od leta 2006 predsednik programsko-znanstvenega odbora konference in odgovorni urednik Livarskega vestnika), prof. dr. Franc Zupanič in prof. dr. Rebeka Rudolf. V zadnjih letih sodeluje tudi predstojnik te katedre, prof. dr. Ivan Anžel.

Velika večina omenjenih znanstvenikov je sodelovala v programsko znanstvenem odboru razen dr. Sebastjan Kastelic, ki je vključen v organizacijski odbor konference.

Slovenija je vsako leto bila udeležena z enim plenarnim predavanjem. Tradicionalno je tematika tega plenarnega predavanja vključevala predstavitev proizvodnih in razvojnih dosežkov celotnega slovenskega livarstva v preteklem letu s strateškimi pogledi na bodoči razvoj. Nalogo vsakokratnega avtorja tega predavanja je prevzel zasl. prof. dr. Alojza Križmana (Univerza v Mariboru, predsednik Programsko znanstvenega odbora za pripravo IFC v Portorožu in glavni in odgovorni urednik revije

Livarski vestnik). Kot koavtorji so vsakokrat sodelovali: tudi prof. dr. Primož Mrvar (Univerza v Ljubljani, vodja Katedre za livarstvo na Naravoslovnotehniški fakulteti), mag. Mirjam Jan-Blažič (predsednica Društva livarjev Slovenije in predsednica Organizacijskega odbora za pripravo konference) in mag. Martin Debelak (strokovni tajnik Društva livarjev Slovenije, do leta 2019 direktor Združenja kovinskih materialov in nekovin in direktor področnega združenja GZS). Vsakoletna predstavitev tega predavanja je prispevala k večji razpoznavnosti slovenskega livarstva, tako doma kot na tujem.

Z nivoja vodstva in organov Društva smo nenehno spodbujali tudi udeležbo vseh članov Društva s predavanji o konkretnih razvojnih dosežkih po posameznih podjetjih, tako livarskih, kot tudi dobaviteljev za livarsko industrijo.

Podrobnejšo predstavitev pomena in prispevka domače livarske znanosti in prisotne stroke po podjetjih-članov Društva, v zadnjem desetletju konference v Portorožu, s poudarkom na skupnih projektih univerz v Ljubljani in Mariboru in podjetij-članov Društva, bomo predstavili v drugi letošnji številki Livarskega vestnika.

Velik pomen in posebno mesto je za mednarodno livarsko konferenco v Portorožu imela zadnje desetletje tudi livarska razstava. Od 51. IFC dalje se je interes za udeležbo na razstavi nenehno krepil. Za udeležbo na razstavi so se v odločale livarne, orodjarne, znanstvene ustanove, strokovne revije in sejemske organizacije, v večji meri pa dobavitelji za livarsko industrijo s široko ponudbeno paleto (livarska oprema in stroji, laboratorijska oprema, pomožni livarski materiali, razne računalniške aplikacije, svetovanja na področju livarstva, varstva okolja, energetike, vzdrževanja, varstva pri delu....).

Statistika udeležbe podjetij na livarski razstavi v Portorožu v zadnjih desetih letih pove, da je kar 30 podjetij sodelovalo na razstavi več kot trikrat.

- Najbolj zvestih udeležencev livarske razstave, ki so sodelovali na vseh desetih razstavah je kar 12 Gre za naslednje udeležence oz. podjetja: EKW-Kremen d.o.o. (SI), EXOTERM-IT d.o.o. (SI), IRT 3000 (SI), +HAGI+ GmbH (A), LIVING d.o.o. (SI), Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani (SI), PRIMAKEM d.o.o. (SI), RWP GmbH (D), SIAPRO d.o.o. (SI), TC Livarstvo/MECAS ESI, TCT Tesic GmbH (D), WEILER ABRASIV d.o.o. (nekdanji SwatyComet) (SI).
- Kar devetkrat so sodelovala štiri podjetja: Belloi & Romagnoli S.r.l. (IT), CALDERYS DEUTSCHLAND GmbH (D), Elkem (NO), Messer Slovenija d.o.o. (SI).
- Osemkrat tri podjetja: FEAL-Inženiring d.o.o. (SI), INDUCTOTHERM EUROPE Ltd (UK), Termit d.d. (SI).
- Sedemkrat dve podjetji: ANALYSIS d.o.o. (SR), in MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o. (SI).
- Šestkrat tri podjetja: Faprosid S.R.L. (IT), Talum d.d. (SI) tradicionalni, TOPOMATIKA d.o.o. (HR).
- Ter petkrat tri podjetja: BL Metal S.P. (SI), BOSELLO HIGH TECHNOLOGY S.r.l. (IT), F.LLI MAZZON S.p.A. (IT)

Zgoraj predstavljena statistika najpogostejših udeležencev pokaže, da so poleg izstopajoče Slovenije, naj bolj pogosto sodelovala podjetja iz Italije in Nemčije. Ti podatki tudi potrjujejo znani izrek, ki velja za našo konferenco in razstavo v Portorožu, ki pravi takole: »Tisti, ki enkrat pride v Portorož, zagotovo pride zopet»

V zadnjem desetletju smo ohranili tudi tradicionalni kontakt oz. srečanje s županstvom Občine Piran, vsakokrat na predvečer pričetka konference. Dolgoletno vzdrževanje te prijateljske vezi s lokalno skupnostjo ni običajno dejanje in, je bolj redkost. Če upoštevamo, da je Občina Piran s svojim kongresnim Portorožem polna raznih kongresnih dogodkov, ki se tudi ponavljajo vsako leto, si verjetno težko predstavljamo, da bi županstvo lahko namenilo posebno pozornost dolgi vrsti teh konferenčnih dogodkov. Zato se počutimo posebno počaščeni, da ta odnos, ki smo ga zgradili nazaj, v več kot treh desetletjih ohranjamo. V zadnjih petih letih smo to srečanje pomensko delno tudi spremenili in razširili, zaradi novih časov, pogojev in naših potreb, ki terjajo spremembe in prilagoditve. Danes več ne govorimo o sprejemu na občini Piran, ampak pozdravno spoznavnem srečanju udeležencev konference, katerim županstvo občine namenijo tudi nekaj pozdravnih besed.

Večino teh srečanj smo imeli v preteklosti v lepi baročni mestni hiši, ki nam je postala tesna in tudi ni omogočala časovno nekaj več sproščenega medsebojnega druženja. V zadnjih dveh letih pozdravno spoznavno srečanje organiziramo na izjemno lepi lokaciji vrta Kulturnega centra Georgios pri stolni cerkvi v Piranu. Lahko bi celo rekli, da nam je ta lokacija pisana za našo livarsko kožo, ker nas v ozadju spremlja naravna kulisa dveh starih arhivskih cerkvenih zvonov. Vsa pohvala tistemu, ki je s velikim občutkom in spoštovanjem do te livarske dediščine zvonova ohranil in poskrbel tudi za njihovo odlično domovanje.

In ne nazadnje v tem zgodovinskem orisu za zadnjih 10 let konference in razstave v Portorožu moramo omeniti tiste, ki so s finančnim sponzorstvom in pokroviteljstvom pomagali, da smo vsakoletno konferenco lahko uspešno izpeljali po vseh načrtovanih in pričakovanih vsebinah. V veliki večini so pokrovitelji konference bili člani Društva. Posebna zahvala zato gre LTH Castings d.o.o., Exoterm-it d.o.o., Omco Metals Slovenia d.o.o., Siapro d.o.o., Difa d.o.o., Kovis Livarna d.o.o., WEILER ABRASIVES d.o.o. (prej SwatyComet d.o.o.), Livar d.d., Mariborska livarna Maribor d.d., Livarna Gorica d.o.o. Livarna Titan d.o.o. in Talum d.d.. Zahvala tudi naslednjim tujim pokroviteljem: Huettenes Albertus GmbH, Magma GmbH, Caldery's Deutschland GmbH, Omega Sinto Ltd in TCT Tesci GmbH. Vsem pokroviteljem in sponzorjem gre velika zahvala za dolgoletno sodelovanje.



HÜTTENES ALBERTUS, razstavlja in generalni pokrovitelj konference, l. 2019

Posebnost konference v Portorožu v tem desetletju in tudi prej je v primerjavi s podobnimi konferencami v tujini v tem, da jo operativno pripravlja in izvaja zelo majhna skupina entuziastov, pretežno prostovoljcev, ki so v veliki večini iz Naravoslovno tehniške fakultete Univerze v Ljubljani in Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru. Zato vsem tem, kot tudi vsem drugim soudeležencem v

pripravah in izvedbi konference in razstave, gre velika zahvala za trud, ki so ga bili pripravljeni vložiti za dobrobit Društva livarjev Slovenije in uspešen razvoj tega osrednjega mednarodnega livarskega dogodka.



Glavna dolgoletna odgovorna nosilca aktivnosti na recepciji konference, Maja Vončina in Mitja Petrič, katerima nikoli ni zmanjkalo dobre volje in prijaznega nasmeha

Zapisa
mag. Mirjam Jan-Blažič
Predsednica
Organizacijskega
odbora IFC

AKTUALNO / CURRENT

Pregled svetovne livarske proizvodnje v letu 2019

V tem prispevku povzemamo tabelarne podatke in komentar iz letošnje januarske številke ameriške revije Modern Casting in sicer iz članka »Cenzus World Casting Production 2019«. Opozarjamo, da so podatki za slovensko livarsko industrijo povsem napačni. Kako je prišlo do te napake nam še ni znano.

V pregledu revije Modern casting o doseženi svetovni livarski proizvodnji v letu 2019 je razviden podatek o celotni livarski proizvodnji, ki je znašala nekaj manj kot 110 milijonov ton, kar je za 3,2% manj kot v preteklem letu. Od 29 držav, ki so poslale podatke v zadnjih dveh letih, jih je 22 poročalo o padcu livarske proizvodnje v letu 2019 v primerjavi z letom 2018. Največjih deset držav po livarski proizvodnji je predstavljeno v Tabeli 1. Kitajska, Indija in ZDA so zopet na prvem mestu. Največja svetovna proizvajalka ulitkov, Kitajska, je poročala o 1,2-odstotnem padcu proizvodnje do katerega je prišlo v tej državi tudi v letu 2018. Indija je zabeležila 14,2-odstotno padec proizvodnje, ZDA pa 5,1-odstotno rast. V poročilu je zajeto 45.377 livarn, največji del proizvodnje odpade na železove livarne, sledijo aluminijeve livarne in livarne jeklene litine. Podatke, objavljene v pregledu svetovne livarske proizvodnje so posredovala livarska združenja posameznih držav ali sorodni predstavniki, pa tudi WFO- Svetovna livarska organizacija in CAEF - Evropsko združenje livarn.

Tabela 1. Največjih deset držav po livarski proizvodnji v letu 2019

Največjih 10 proizvajalcev ulitkov		
Država	Proizvodnja v tonah	Gibanje na leto 2018
Kitajska	48.750.000	-1,22%
Indija	11.491.810	-14,17%
ZDA	11.305.302	5,1%
Japonska	5.275.700	-5,38%
Nemčija	4.951.011	-8,87%
Rusija	4.200.000	ni novih podatkov
Mehika	2.855.650	-1,85%
Koreja	2.380.200	-5,43%
Turčija	2.314.245	2,6%
Brazilija	2.288.889	0,24%

Proizvodnja ulitkov v 2019 (v tonah)										
Država	Siva litina	Nodularna litina	Temprana litina	Jeklo litina	Baker	Aluminij	Magnezij	Cink	Druge neželezne	Skupno
Avstrija	42.300	104.700	100	11.400	-	129.415	3.991	-	-	291.906
Belorusija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	329.000
Belgija	55.900	5.100	-	6.600	-	-	-	-	-	67.600
Bosna in Hercegovina ^A	17.500	9.100	-	1.350	-	10.500	-	-	-	38.450
Brazilijska	1.268.060	569.116	-	259.195	20.993	164.718	5.040	1.175	-	2.288.889
Bolgarija ^B	30.300	9.200C	-	10.400	292	5.540	-	42	-	55.774
KanadaD	330.841	-	-	90.091	14.237	211.374	-	-	-	646.543
Kitajska	20.400.000	1.395.000	600.000	5.900.000	800.000	6.850.000	-	-	250.000	48.750.000
Hrvaška ^A	31.100	11.800	-	50	21	25.174	-	25	15	68.385
Češka Republika	16.650	50.000	-	52.000	20.000	94.700	300	1.000	-	384.500
Danska	28.900	58.100	-	-	1.188	-	-	-	112	90.524
Egipt ^B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200.000
Finska	18.200	29.300	-	10.400	3.124	2.184	-	-	-	63.208
Francija	537.200	711.400	-	55.700	17.409	348.062	-	24.486	2.486	1.696.743
Nemčija	2.192.800	1.433.700	-	178.500	77.225	996.127	15.472	57.182	5	4.951.011
Madžarska	18.400	55.600	-	2.200	483	122.425	250	763	86	200.207
Indija	7.718.794	1.217.247	50.000	1.141.117	-	1.364.652	-	-	-	11.491.810
Italija	667.800	381.300	-	59.900	66.438	810.647	7.097	74.036	481	2.067.699
Japonska	2.183.800	1.362.600	37.900	153.000	70.900	437.500	-	-	1.030.000	5.275.700
Koreja	890.300	679.000	500	150.400	24.500	62.350	12.000	-	-	2.380.200
Mehika ^B	816.160	560.270	-	336.250	215.500	823.770	-	79.500	15.200	2.855.650
Norveška	8.800	22.300	-	-	-	6.526	-	-	-	37.626
Pakistan	181.000	24.540	-	48.750	14.200	21.200	-	-	2.730	292.420
Poljska	450.000	155.000	-	50.000	6.000	340.000	-	2.464	3.000	1.006.464
Portugalska	41.100	94.400	-	4.500	17.054	37.009	-	-	194.463	202.048
Romunija	15.000	1.500	3.500	3.000	60.000	2.000	250	90	85.340	104.936
Rusija	2.184.000 ^B	-	-	1.134.000	117.600	588.000	75.600	-	100.800	4.200.000
Srbija	26.300	3.100	-	18.150	3.100	10.120	1	30	-	60.801
Slovenija ^F	130.500	46.700	-	-	872	54.625	10.537	9.665	-	252.899
Južna Afrika	-	-	-	-	-	-	-	792	-	443.000
Španija	362.600	663.000	16.300	71.400	14.634	129.345	-	8.426	1.502	1.267.207
Švedska	154.900	62.000	-	23.500	-	48.000	-	-	-	288.400
Švica	9.300	14.700	-	2.300	2.131	12.699	-	1.051	-	42.181
Tajvan	641.178	215.796	-	68.577	31.202	421.283	-	-	-	1.378.036
Turčija	614.300	934.400	-	192.500	29.285	503.478	850	39.432	-	2.314.245
Ukrajina ^B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.560.000
Velika Britanija	144.500	220.500	-	49.200	8.650	146.460	2.600	8.090	-	580.000
ZDA	8.812.654 ^H	-	-	-	319.130	1.795.190	-	330.258	48.070	11.305.302
SKUPNA SVETOVNA PROIZVODNJA	51.190.987	23.656.061	704.800	10.085.330	1.899.368	17.205.447	60.138	637.875	464.627	109.059.975

A - podatki iz 2016 B - podatki iz 2017 C - vključuje nodularno železo D - podatki iz 2015 E - vključuje vse železove livarne
F - podatki za Slovenijo so napačni

Tabela 2. Pregled svetovne livarske proizvodnje v letu 2019

Vir: Podatki in tabeli iz Ameriške livarske revije Modern Casting.

mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT**Seje organov Društva livarjev Slovenije**

Redni Občni zbor Društva livarjev Slovenije, ki vsako leto poteka konec februarja ali v začetku marca, je letos zaradi izrednih razmer, ki jih je povzročila pandemija korona virusa, potekal 25. februarja po video konferenci, prek povezave Microsoft Teams. En dan pred tem sta na isti video povezavi potekali tudi seji Nadzornega odbora in Izvršnega odbora Društva. Letošnji redni Občni zbor je bil tudi volilni, saj je koncem februarja iztekel mandat vsem organom Društva. Občni zbor na katerem je bila prisotna več kot polovica delegatov - članov Društva, je obravnaval naslednji dnevni red:

1. Otvoritev Občnega zbora in sprejem dnevnega reda
2. Izvolitev delovnega predsednika in ostalih delovnih teles Občnega zbora:
3. Poročilo predsednice o delu in finančnem poslovanju Društva v letu 2020 s stališčem Nadzornega odbora
4. Volitve organov Društva (predsednik, dva podpredsednika, Izvršni odbor, Nadzorni odbor, častno razsodišče)
5. Program dela Društva livarjev Slovenije za leto 2021 in 2022
6. Spremembe in dopolnitve Statuta Društva livarjev Slovenije
7. Razno

Po vseh točkah dnevnega reda so vsi člani Društva ob sklicu Občnega zbora prejeli pisna gradiva. Pisna poročila o delu in finančnem poslovanju Društva za leto 2020, katera je predložila v obravnavo predsednica Društva, mag. M. Jan-Blažič, je pred sejo Občnega zbora obravnaval tudi Nadzorni odbor in potem še Izvršni odbor Društva. Oba sta vsa omenjena poročila potrdila brez pripomb s oceno, da je v bistveno spremenjenih in težavnih pogojih dela, ki jih je povzročila pandemija korona virusa, lansko leto sprejeti program Društva uspešno uresničen, finančno poslovanje pa je potekalo skladno s načrtovanim programom porabe sredstev. Predsednica je na Občnem zboru uvodoma na kratko predstavila obe poročili za leto 2020, stališče do le-teh pa še za tem predsednica Nadzornega odbora, ki je seznanila Občni zbor s sprejetim sklepom nadzornega odbora z dne 24.02.2021, ki glasi:

Finančno poslovanje Društva livarjev Slovenije v letu 2020 je vodeno v skladu z veljavnimi računovodskimi standardi za društva. Poraba sredstev je potekala v skladu s sprejetim programom dela Društva za leto 2020, ki je bil sprejet na Občnem zboru dne 4.3.2020.

Na poročilo ni bilo nobene razprave in pripomb, zato je Občni zbor z osebnim izjavljanjem delegatov soglasno potrdil poročili za leto 2020.

S sklicem Občnega zbora so vsi delegati prejeli tudi predlog kandidacijske liste za vse organe Društva za mandatno obdobje 2021-2025, ki jo je na svoji 36. seji, dne 24.02.2021 določil Izvršni odbor Društva, po predhodnem usklajevanju s članicami in posameznimi kandidati. Na predlagano kandidacijsko listo ni bilo pripomb. Občni zbor se je opredelil, da se vse volitve organov Društva opravijo javno s osebnim izjavljanjem posameznih delegatov članov Društva. Pred omenjenimi javnimi volitvami pa je predsednica Društva, mag. M. Jan-Blažič kot kandidatka za predsednico v naslednjem mandatnem obdobju predstavila nekaj

okvirnih programskih usmeritev za delovanje Društva v naslednjem štiriletnem obdobju, pred tem pa je na kratko predstavila tudi dosežke iz iztekajočega se mandata. Poudarila je, da novi mandat pomeni zagotovo obdobje velikih sprememb in izzivov na katere se bo potrebno hitro prilagajati in odzivati, tako v podjetjih kot tudi na Društvu. V temu mandatu bo potrebno poseben poudarek namenjati okoljevarstveni problematiki, ker ta bistveno posega z zelo velikimi zakonskimi zahtevami ravno do livarskih podjetij. Menila je, da bi se morali opredeliti ali se na nivoju Društva ustanovi posebna delovna skupina ali Komisija, ki bi obravnavala in ažurno spremljala to problematiko in predlagala potrebne aktivnosti do državnih institucij.

Povedala je, da je novo obdobje tudi obdobje velikih korakov v smeri digitalizacije, zato bo že v letu 2021 zagotovljeno nekaj sprememb (odprava papirnatih računov in prehod na digitalne račune, digitalizacija prijave na vse seminarje v organizaciji Društva, tako kot je to že urejeno za IFC v Portorožu). Predsednica je povedala, da bo potrebno v večji meri kot do sedaj aktivirati tudi spletno stran Društva z različnimi koristnimi povezavami za članice Društva. Poudarila je, da podpira pobudo podano na Izvršnem odboru, da bi v krog članic Društva poskušali pridobiti še manjše livarne po Sloveniji.

Pred volitvami se je na kratko predstavil tudi novi kandidat za podpredsednika Društva, mag. Avgust Šibila, direktor OE Ulitki iz družbe Talum d.d.

Na zadnji strani te št. Livarskega vestnika objavljamo seznam vseh izvoljenih organov Društva livarjev Slovenije v mandatnem obdobju 2021- 2025.

Programa dela Društva za leti 2021 in 2022, katere je predložila v obravnavo predsednica Društva, mag. M. Jan-Blažič, je pred sejo Občnega zbora obravnaval in potrdil tudi Izvršni odbor. Predsednica Društva je uvodoma na kratko predstavila programa dela za obe leti in pojasnila, da je potrebno letos sprejeti program dela kar za dve leti, ker to zahteva Zakon o nevladnih organizacijah od vseh subjektov, katerim je Ministrstvo za izobraževanje znanost in šport podelilo status društva, ki deluje v javnem interesu. Ker na oba programa dela Društva ni bilo vsebinskih pripombah, je Občni zbor soglasno odločil da oba Programa dela Društva za leto 2021 in leto 2022 sprejme.

Občni zbor je na koncu podprl pobudo, ki jo je na 36. redni seji dne 24.02.2021 podal Izvršni odbor, nanaša pa se na spremembo Statuta Društva livarjev Slovenije. Do pobude za spremembo statuta je prišlo zaradi razglasitve pandemije nalezljive bolezni COVID-19 in sprejetih ukrepov za zaježitev širjenja korona virusa, s čemer je prišlo do izrednih okoliščin zaradi katerih je delovanje organov in delovnih teles Društva ovirano. Zato se je izkazala potreba, da se v Statutu opredeli tudi možnost konferenc na daljavo kot možno obliko izvajanja aktivnosti Društva skozi organe in delovna telesa, s tem da se ta možnost lahko izrabi samo v nujnih primerih in v primerih izrednih razmer. Predlog akta Dopolnitev Statuta Društva livarjev Slovenije so prejeli s sklicem vsi člani Društva. Na predlagane dopolnitve ni bilo pripomb, zato je Občni zbor s osebnim izjavljanjem delegatov sprejel soglasno sklep o spremembi statuta.

Predsednica Društva, M. Jan-Blažič je v točki razno obvestila Občni zbor, da je na seji Izvršnega odbora, dne 24.02.2021 prišlo do kadrovske spremembe na funkciji strokovnega tajnika Društva. Dolgoletni strokovni tajnik Društva, mag. Martin Debelak je že pred časom zaprosil za razrešitev. Zato je na omenjeni seji Izvršni odbor sprejel njegovo razrešitev in sklep o imenovanju dr. Sebastjana Kastelica iz Naravoslovno tehniške fakultete, Katedre za livarstvo za novega strokovnega tajnika Društva.

Poročala mag. Mirjam Jan-Blažič



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE

Vabilo za

61. IFC PORTOROŽ 2021

z livarsko razstavo

15.-17. SEPTEMBER 2021

Kontakt: DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE,
Lepi pot 6, p.p. 424, 1001 Ljubljana
T: +386 1 2522 488, F: +386 1 4269 934
drustvo.livarjev@siol.net, www.drustvo-livarjev.si

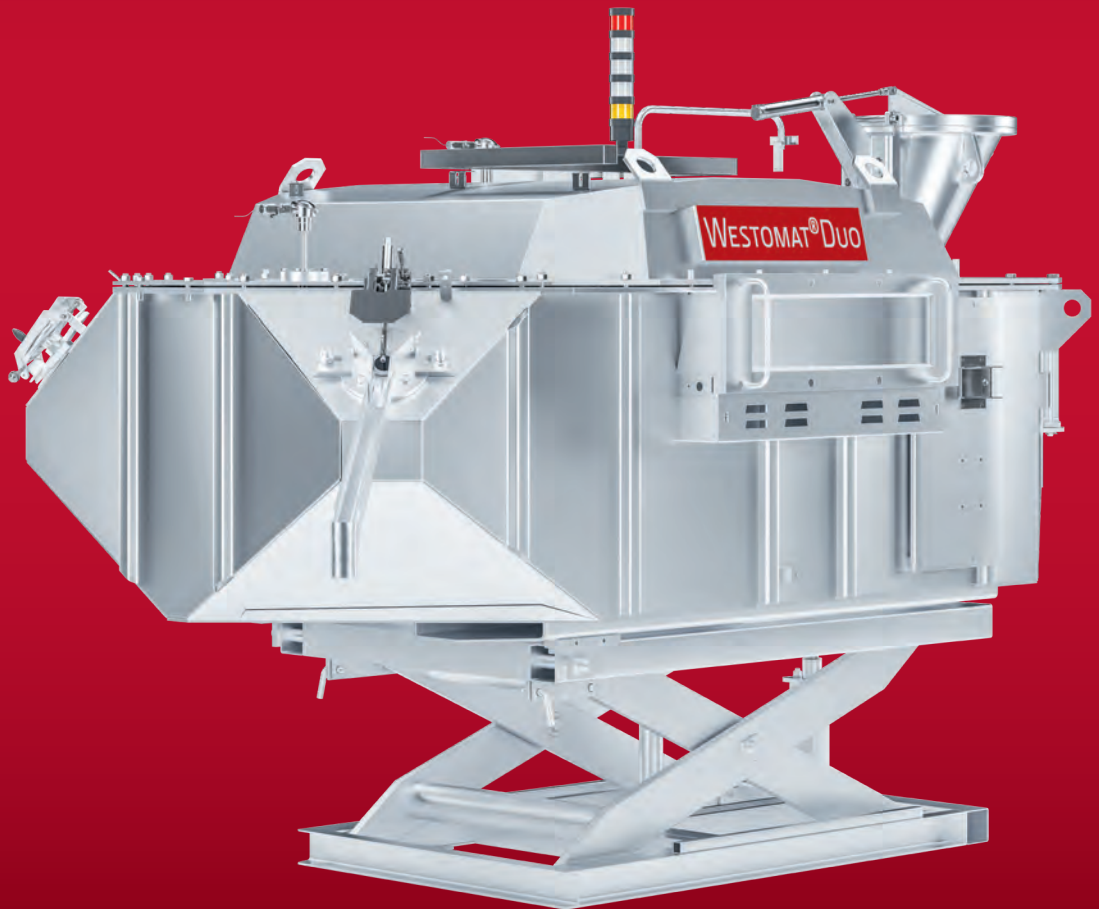
AKTUALNO / CURRENT

Organi Društva livarjev Slovenije za mandatno obdobje 2021 - 2025

Predsednica:	mag. Mirjam JAN-BLAŽIČ
Podpredsednik:	prof. dr. Primož MRVAR, NTF, Univerza v Ljubljani
Podpredsednik:	mag. Avgust ŠIBILA, Talum d.d., PE Ulitki
Strokovni tajnik:	Dr. Sebastjan KASTELIC, NTF, Univerza v Ljubljani
Člani Izvršnega odbora:	Mag. Drago BRENCÉ, Livarna Titan d.o.o. Dr. Matej DROBNE, Valji d.o.o. Mag. Andrej MIKLOŽIČ, Mariborska livarna Maribor d.d. Igor SKOK, ETA d.o.o. Cerkno Janko ČEVKA, Exoterm d.d. Brane RUS, LTH Castings d.o.o. Anton SERIANZ, Termit d.d. Andrej RESNIK, OMCO Metals Slovenia d.o.o. Jerica VRANC, Kovis Livarna d.o.o. prof. dr. Ivan ANŽEL, Fakulteta za strojništvo Univerze v Mariboru
Člani nadzornega odbora:	Andrej KOVAČIČ, Hidria d.d. PE Alutec Simona STEGNE CERAJ, Livarna Gorica d.o.o. Aleksander FERJANČIČ, Living d.o.o.
Častno razsodišče:	Renato PAVŠIČ, Hidria d.d. PE Alutec Boštjan VODOPIVEC, MAHLE Electric Drives Komen, d.o.o. Bojan DAMJANOVIČ, EKW-Kremen d.o.o.
ČASTNA IMENOVANJA	
Častni predsednik:	† prof. dr. Ciril PELHAN, Ljubljana
Častni predsednik:	† prof. dr. Milan TRBIŽAN, Ljubljana
Častni člani:	† Borut MARINČEK, Zürich † Franz SIGUT, Dunaj † Eberhard SCHÜRMANN, Clausthal prof. dr. Gerhard ENGELS, Düsseldorf † Erich NECHTELBERGER, Dunaj prof. dr. Karel RUSIN, Brno prof. dr. Friedrich KLEIN, Aalen prof. dr. Alojz KRIŽMAN prof. dr. Reinhard Doepp, Clausthal

Westomat Duo

Compact and highly customized



Increasing productivity in light metal foundry industries

Easy to install, integrate and maintain, this digitally enabled Westomat model delivers the benefits of 14 % less footprint due to parallel arrangement with the diecasting machine. There are two pouring positions which deliver greater flexibility and the possibility of sample taking.

www.strikowestofen.com

StrikoWestofen ^o
A Norican Technology



TERMIT

Družba TERMIT je rudarsko podjetje
za pridobivanje kremenovih peskov



NAŠ PROGRAM:

- Proizvodnja kremenovega peska za: livarstvo, gradbeništvo, športna in otroška igriška, travnate površine, vrtnarstvo
- Proizvodnja keramičnih in kremenovih oplášenih peskov
- Proizvodnja jeder po Croning in Cold box postopku
- Proizvodnja pomožnih livarskih sredstev za: vse vrste aluminijevih, bakrovih, železovih ter jeklenih zlitin

www.termit.si