

LIVARSKI VESTNIK

67/2020

2



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY

100 LET TRADICIJE IN INOVACIJ

Z vami že od leta 1920

100



Livarna Titan, d.o.o.
Kovinarska cesta 28
SI-1241 Kamnik

T: +386 (0)1 83 09 247
www.livarna-titan.eu
info@livarna-titan.eu

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@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 Rosteck, Düsseldorf
Slovenski jezik / Slovene: prof. Janina Šifrer

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

Naklada / Circulation:

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

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: junij 2020



LIVARNA TITAN d.o.o.
Kovinarska cesta 28
SI-1241 KAMNIK

Direktor
mag. Drago Brence

T: +386 1 83 09 350
E: drago.brence@livarna-titan.eu
www.livarna-titan.eu

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

T. MARUYAMA: Potencial duktilnih zlitin z visoko entropijo kot material za litje / Potential of Ductile High-Entropy Alloys as Casting Materials	64
R. Bähr, C. Michaelis, S. Scharf: Aluminijevi ulitki: postopki, uporabe, kakovost / Aluminum Casting: Processes, Applications, Quality	70
F. Zupanič, T. Bončin: Razvoj žaroobstojnih aluminijevih zlitin / Development of heat resistant aluminium alloys	88
Predstavitev izvodov predavanj iz WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019 (nadaljevanje – 3.skupina)	98

AKTUALNO / CURRENT

100 let podjetja LIVARNA TITAN d.o.o. Kamnik	110
Razstava z naslovom »Ko zapoje kovina«	116
80-letni jubilej, zasl. prof. dr. Alojza Križmana	118
IN MEMORIAM mag. Boris Čuk	120

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

Potencial duktilnih zlitin z visoko entropijo kot material za litje

Potential of Ductile High-Entropy Alloys as Casting Materials

Povzetek

Predstavljen je nov pristop, ki se je izkazal za učinkovitega v zasnovi novih zlitin z visoko entropijo z razširjenimi grafitnimi delci, ki jih odlikuje visoka natezna trdnost in žilavost pri nizkih temperaturah, kot je temperatura tekočega dušika (77 K). Ogljik je bil dodan zlitinam CrMnFeCoNi v ozračju Ar prek električne peči. Matrika lite zlitine za vse primerke je bila fcc. Največja količina ogljika je bila porazdeljena v karbidih, ki so nastali v primarni fazi strjevanja. Količina karbidov se je zmanjševala z zmanjšanjem dejavnosti Cr. V primerih, kjer je bila dejavnost ogljika visoka, so nastajali grafitni delci, količina krčenja v primerkih ulitkov pa se je zmanjšala. Livna zlitina z razširjenim grafitom in visoko entropijo se lahko zasnuje z nadziranim dodajanjem ogljika in dejavnostjo kroma.

Ključne besede: karbidi, zlitina CrMnFeCoNi, fcc, grafit, krčenje

Summary

A new approach which has been successful in designing the novel high-entropy alloys with dispersed graphite particles, showing high tensile strength and high toughness at low temperature, such as liquid nitrogen temperature (77K) is presented. Carbon was added into CrMnFeCoNi alloys in Ar atmosphere by an electric furnace. The matrix of cast alloys was fcc in all specimens. Most amount of carbon was distributed in carbides formed as primary solidification phase. The amount of carbides decreased with decreasing Cr activity. In cases that carbon activity was high, graphite particles were formed, and the amount shrinkage in casting specimens decreased. Graphite dispersed ductile high-entropy casting alloy is possible to design by controlling carbon activity and chromium activity.

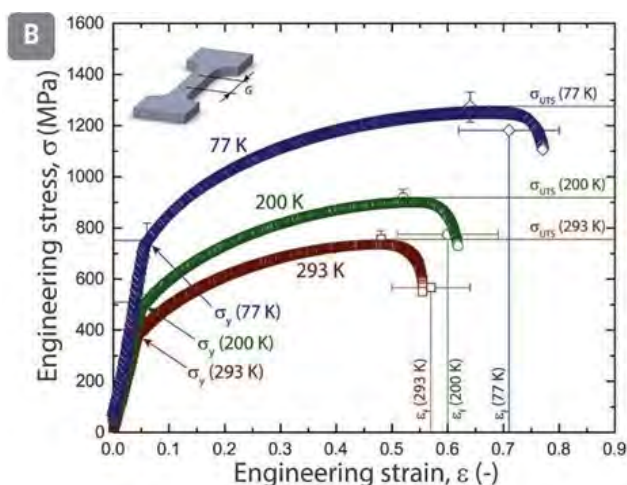
Key words: carbide, CrMnFeCoNi alloy, fcc, graphite, shrinkage

1 Uvod

V zadnjih letih so se raziskave osredotočale na razvoj zlitin z visoko entropijo, kjer se zmesi entropij zlitin povečujejo in enofazne trdne raztopine se preprosto pridobivajo ne glede na večkomponentne zlitine [1]. Zlitina CrMnFeCoNi, ki so jo odkrili Cantor in sod. [2], je poznana kot reprezentativna zlitina z visoko entropijo in ima edinstvene lastnosti.

1 Introduction

In recent years, research has been focused on high-entropy alloys in which the mixing entropy of alloys is increased and single-phase solid solutions are easily obtained regardless of multicomponent alloys [1]. A CrMnFeCoNi alloy discovered by Cantor et al. [2] is known as a representative high-entropy alloy showing unique properties.



Slika 1. Mehanske lastnosti zlitine CrMnFeCoNi z visoko entropijo (zlitina Cantor) [3]

Figure 1 Mechanical properties of the CrMnFeCoNi high-entropy alloy (Cantor alloy) [3]

Na primer natezna trdnost in raztezek se povečujeta z nižanjem temperature, kot je prikazano na Sliki 1 [3].

Zaradi obdelovanja in oblikovanja te zlitine je zlitini smiselno določiti talilno in livno tehnologijo. Ker pa vsebuje zlitina Cr in Mn, ki hitro oksidirata, lahko oksidira med taljenjem v zračni atmosferi in oksid se ujame v talino. Ker so zlitine običajno enofazne trdne raztopine, lahko med strjevanjem nastaja skorja, npr. kot čista kovina, prav tako pa lahko nastanejo težave zaradi napak zaradi krčenja med strjevanjem. Da bi zavrli oksidacijo taline, je učinkovito dodati element, ki deluje kot redukcijsko sredstvo. V izogib povečanja krčenja ulitkov med strjevanjem je učinkovita uvedba elementa, ki pohitri strjevanje in poveča raztezanje. V tej študiji smo se osredotočili na ogljik kot legirni element, ki bi lahko hkrati rešil obe težavi.

2 Poskusni postopek

Čiste kovine Cr, Mn, Fe, Co in Ni smo stehtali in atomske koncentracije uskladili z atomskimi sestavami. Ogljik smo dodajali

For example, the tensile strength and the elongation increases with decreasing temperature as shown in Figure 1 [3].

In order to process and form this alloy, it is fruitful to establish a melting and casting technology of the alloy. However, since it contains Cr and Mn which are easily oxidized, the alloy may be oxidized during melting at air atmosphere, and the oxide is suspended in the molten metal. In addition, since the alloy tends to be a single-phase solid solution, the solidification mode may be a skin-forming type solidification, such as a pure metal, and it is also a problem that solidification shrinkage defects can easily occur. In order to suppress the oxidation of the molten metal, it is considered as an effective way to introduce an element to be a reducing agent. Moreover, for avoiding an increase of shrinkage in castings during solidification, it is effective to introduce an element that contributes to solidification and expansion. In this research, we focused on carbon as an additive element that could solve both problems simultaneously.

v razponu od 5 do 15 at%. Električna peč iz molibden disilicida je bila uporabljena za taljenje. Skupna količina taljene zlitine v enem vzorcu je bila 250 g, vzorec s premerom 30 mm in višino pribl. 43 mm pa je bil staljen v atmosferi argona. Temperatura med taljenjem je bila nastavljena na 1600 °C in vzorec se je strdil v peči po toplotni obdelavi pri vnaprej določeni temperaturi. V nekaterih vzorcih je bila količina Cr in Mn, ki tvorita karbide, zmanjšana in količina Ni in Co, ki povzročata grafitizacijo, je bila povečana. Pripravili smo tudi vzorec zlitine MnFeCoNiCu. Mikrostrukture, vzorce XRD, trdnost in preslikavanje elementov z EDS smo raziskali na vzorcih v litem stanju.

2 Rezultati in razprava

Slika 2 prikazuje optično mikrostrukturo (OM), sliko s sekundarnimi elektroni (SEI) in porazdelitev Cr in C z EDS zlitine $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{20}\text{Ni}_{20}$ v litem stanju z dodatkom 5 at% ogljika. Dendriška struktura je bila zaznana v optični mikrostrukturi. Igličaste strukture so bile zaznane v meddendritskih prostorih in so ustrezale Cr in C. V strukturi je bil vsebovan tudi Mn. Prav tako so bili v strukturi Fe, Co in Ni, čeprav so bile količine Fe, Co in Ni manjše kot v matrici. V vzorcu XRD na vzorcu s Sliko 2 so bili zaznani kromovi karbidi, kot je Cr_7C_3 . Grafit se v vzorcu ni pojavil.

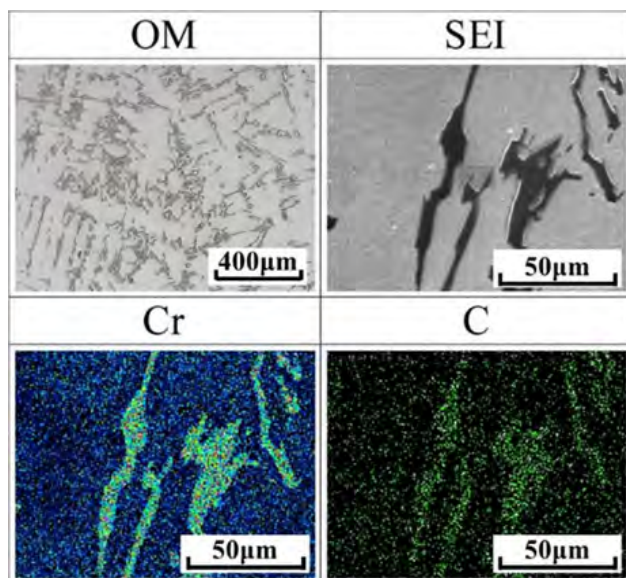
Slika 3 prikazuje OM, SEI in porazdelitev elementov zlitine $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ v litem stanju z dodatkom 5 at% ogljika. Količina igličastih struktur se je zmanjšala, čeprav je bila mikrostruktura podobna kot na Sliki 2. Ogljik je lahko tako v matrici kot v karbidih. Velja, da se količina ogljika v matrici povečuje z nižanjem vsebnosti Cr zaradi dekrementa karbidov.

2 Experimental Procedure

Pure metals of Cr, Mn, Fe, Co, and Ni were weighed to which the atomic concentrations became equal atomic compositions, respectively. Carbon was added in the range of 5 to 15 at%. A molybdenum disilicide electric furnace was used as the melting furnace. The total amount of molten alloy of one sample was 250 g, and a sample with a diameter of 30 mm and a height of about 43 mm was melted in an argon gas atmosphere. The temperature during melting was set to 1600 °C, and the sample solidified in a furnace after holding at a predetermined temperature. In some of the samples, amounts of Cr and Mn as carbide-forming element were decreased and amounts of Ni and Co as graphitization promoting element were increased. A MnFeCoNiCu alloy sample was also prepared. Microstructures, XRD patterns, hardness and elemental mapping by EDS were investigated in the as-cast samples.

3 Results and Discussion

Figure 2 shows an optical microstructure (OM), a secondary electron image (SEI) and Cr and C distributions by EDS of the as-cast $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{20}\text{Ni}_{20}$ alloy added with 5 at% of carbon. Dendrite structure was observed in the optical microstructure. Needle-like structures were observed at inter-dendrite, and the structures were corresponded to Cr and C. Mn was also contained in the structure. In addition, Fe, Co and Ni existed in the structure although the amount of Fe, Co and Ni were smaller than those in the matrix. As a result of XRD pattern of the sample of Figure 2, chromium carbides, such as Cr_7C_3 were identified. Graphite has not appeared in the sample.

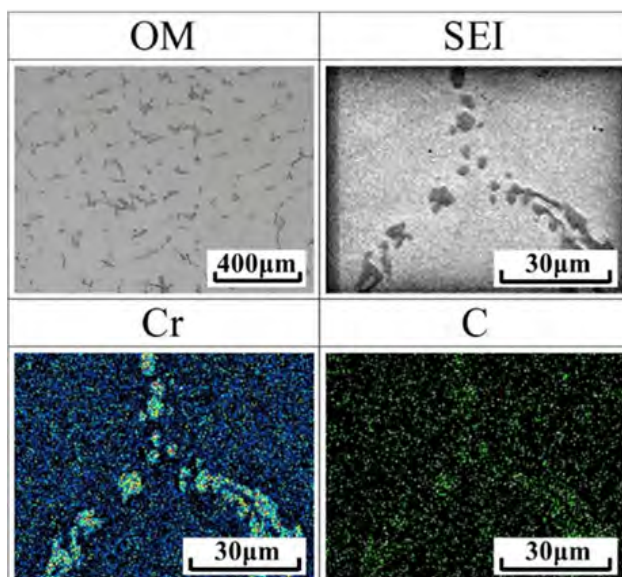


Slika 2. Mikrostruktura z optično mikroskopijo (OM), slika s sekundarnimi elektroni (SEI) in porazdelitev Cr in C z EDS zlitine $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{20}\text{Ni}_{20}$ v litem stanju z dodatkom 5 at% ogljika

Figure 2. Microstructure by EDS of as-cast $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{20}\text{Ni}_{20}$ with 5 at% of carbon

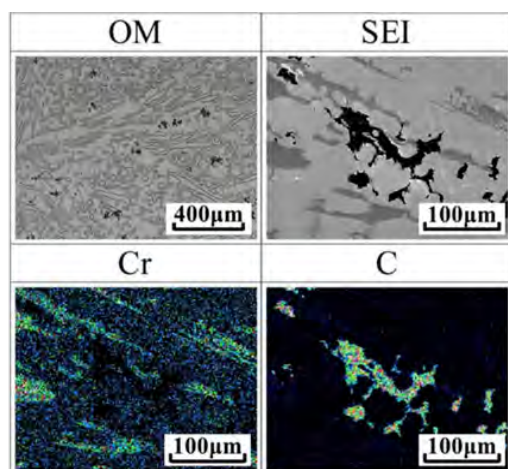
Slika 4 prikazuje OM, SEI in porazdelitev elementov zlitine $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ v litem stanju z dodatkom 15 at% ogljika. Količina igličastih struktur je bila največja. Predel, ki je na SEI obarvan črno, predstavlja izključno ogljik. Predeli so grafit, saj je bil grafit zaznan v analizi vzorca XRD zlitine

Figure 3 shows OM, SEI and elemental distributions of the as-cast $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ alloy added with 5 at% of carbon. The amount of the needle-like structures decreased although the microstructure was similar to that of Figure 2. Carbon may be contained in the



Slika 3. Mikrostruktura, slika s sekundarnimi elektroni (SEI) in porazdelitev elementov z EDS v vzorcih zlitine $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ z dodatkom 5 at% ogljika

Figure 3. Microstructure, secondary electron image (SEI) and elemental distribution by EDS of as-cast $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ alloy added with 5 at% of carbon



Slika 4. Mikrostruktura, slika s sekundarnimi elektroni (SEI) in porazdelitev elementov z EDS v zlitini $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ v litem stanju z dodatkom 15 at%

Figure 4. Microstructure, secondary electron image (SEI) and elemental distribution by EDS of as-cast $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ alloy added with 15 at% of carbon

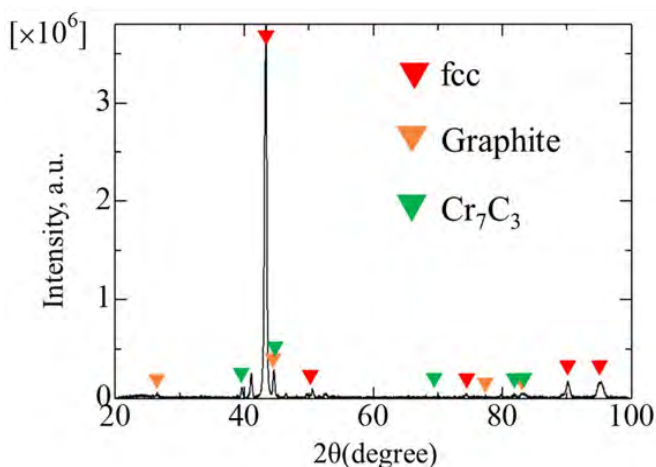
$\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ v litem stanju, kot je prikazano na Sliki 5.

Slika 6 prikazuje spremembo porazdelitve ogljika v fazah zlitin CrMnFeCoNi . Vsebnosti ogljika v fazah so

matrix and the carbides. It is considered that the amount of carbon in the matrix increases with decreasing Cr content due to decrement of the carbides.

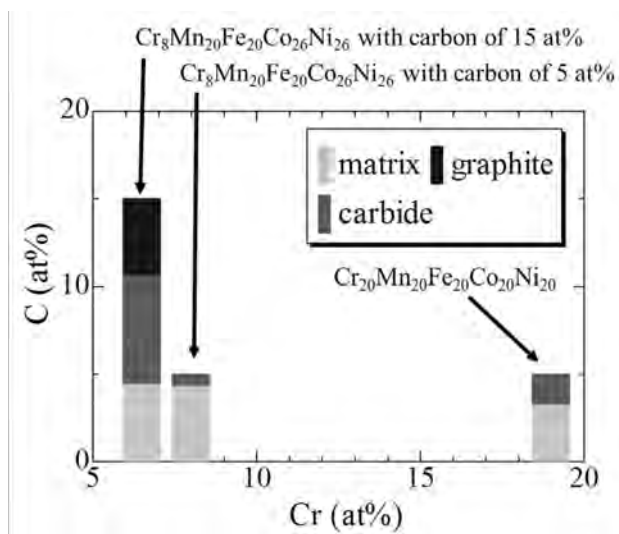
Figure 4 shows OM, SEI and elemental distributions of the as-cast $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ alloy added with 15 at% of carbon. The amount of the needle-like structures was the largest. Regions which is black in SEI corresponded to only carbon. The regions are graphite since graphite was identified by an analysis of XRD pattern of the as-cast $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ alloy, as shown in Figure 5.

Figure 6 shows the change in carbon distribution in the phases of the CrMnFeCoNi alloys. Carbon contents in the phases were evaluated from carbon ratio and area ratio in the phases. As shown in Figure 6, the carbon content of matrix decreasing with increasing Cr content. The solid solubility limit in the matrix of the $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ alloy was evaluated to about 4 at%. In addition, graphite forms when the carbon content is larger than about 11 at%.



Slika 5. XDR vzorec zlitine $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ v litem stanju z dodatkom ogljika 15 at%

Figure 5. XRD pattern of as-cast $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ alloy added with 15 at% of carbon



Slika 6. Sprememba porazdelitve ogljika v fazah zlitin CrMnFeCoNi

Figure 6. Change in carbon distribution in phases of CrMnFeCoNi alloys

bile ocenjene na podlagi razmerja ogljika in površine v fazah. Kot je prikazano na Sliki 6, se vsebnost ogljika v matrici zmanjšuje z višanjem vsebnosti Cr. Meja topnosti v matrici zlitine $\text{Cr}_8\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{26}\text{Ni}_{26}$ je bila ocenjena na pribl. 4 at%. Prav tako grafit nastaja, ko je vsebnost ogljika višja kot pribl. 11 at%.

3 Sklepi

Ob dodatku legirnih ogljikov zlitinam CrMnFeCoN z visoko entropijo, tj. kromovih karbidov, ki vsebujejo mangan in majhne količine železa, se tvorita kobalt in nikel. Karbidi se zmanjšajo zaradi manjše količine Cr. Grafit lahko nastaja v primeru nižje vsebnosti kroma in višje vsebnosti ogljika.

4 Conclusions

As a result of alloying carbon with the CrMnFeCoN high-entropy alloys, chromium carbides containing manganese and small amounts of iron, nickel and cobalt are formed. The carbides decreased due to the reduction of the amount of Cr. Graphite can form in the case of lower chromium content and higher carbon content.

Viri / References

- [1] Edited by M. C. Gao, J. Yeh, P. K. Liaw and Y. Zhang, High-Entropy Alloys -Fundamentals and Applications-, Springer, 8-12 (2016).
- [2] B. Cantor, I. T. H. Chang, P. Knight, A. J. B. Vincent: Materials Science & Engineering A, 375-377, 213-218 (2004).
- [3] B. Gludovatz, et al., Science, 345, 1153-1158 (2014).

Aluminijevi ulitki: postopki, uporabe, kakovost

Aluminum Casting: Processes, Applications, Quality

Povzetek

Potrebe po izboljšanih lastnostih, nižjih proizvodnih stroških in boljšem razmerju med trdnostjo ter težo skupaj z zahtevami, kot so zmanjšanje onesnaženja, izboljšanje učinkovitosti porabe goriva in izboljšano delovanje, so aluminijevim ulitkom pomagale na številnih področjih izpodriniti železne zlitine. Ravno zaradi teh razločevalnih lastnosti se aluminij v prvi vrsti povezuje z vesoljsko in avtomobilsko industrijo.

V tipičnem delovišču livarne se pred litjem izvede niz previdnostnih ukrepov za izdelavo visokokakovostnih delov brez por. Na lastnosti aluminijevih izdelkov vplivajo obdelava taline, livne tehnike in mikrostruktura. Strjevanje je faza, v kateri nastaja mikrostruktura. Izcejanje in razpoke v vročem spadajo med napake, ki lahko nastanejo med strjevanjem. Napake, ki nastanejo v fazi taljenja in med rokovanjem z zlitino tekom postopka litja. Vsi ti procesi potečejo pred fazo strjevanja. Nedvomno vse napake, ki so prisotne oziroma ki nastanejo med fazo taljenja in ki se lahko prenesejo na končno mikrostrukturo, prispevajo tudi k nastanku napak med strjevanjem in vsekakor vplivajo na življenjsko dobo komponente. Zato je očitno, da se nadzorovanje kakovosti izdelka začne z nadzorovanjem kakovosti taline.

Odstranjevanje vodika iz tekočega aluminija (razplinjevanje) je ključnega pomena za proizvodnjo visokokakovostnih ulitkov. Obstaja več metod za razplinjevanje, ki so jih v zadnjih desetletjih preučili, med drugim razplinjevanje med ponovnim taljenjem, vakuumsko razplinjevanje, ultrazvočno razplinjevanje, razplinjevanje s pršenjem, vrtiljivo mešalo in razplinjevanje s tabletami.

Najprej bo podana zbirka znanja o vakuumski tehnologiji kot enega največjih tehničnih izumov 17. stoletja Otta von Guericke do uporabe v današnji livarski industriji. Prav tako bomo podrobneje opisali pomembnost obdelave aluminijevih talin z mešalom v povezavi z njihovimi okvirnimi pogoji. Še posebej se bomo osredotočili na učinke obdelave in vpliv na nastanek por, distribucijo in morfologijo.

Nato sledi razprava o kakovosti ulitkov, ki se osredotoča na najresnejšo napako v ulitkih, tj. poroznost, ki jo je mogoče potrditi z uporabo tridimezionalne rentgenske računalniške tomografije. Skladno se rentgenska računalniška tomografija uporablja pri aluminijevih zlitinah za določitev velikosti in morfologije poroznosti ulitka. Prav tako smo razpravljali tudi o koristnosti rentgenske mikrotomografije za preiskovanje vpliva mikrostrukture ulitka na mehanske lastnosti aluminijevih zlitin.

Ključne besede: aluminij, obdelava taline, vakuum, razplinjevanje, kakovost, pore, mehanske lastnosti

Summary

The driving force for improved properties, lower production cost and greater strength/weight ratios together with demands such as reduced pollution, improved fuel efficiency and increased performance have helped aluminum alloy castings replace iron-based alloys in

many applications. It is these distinctive properties why aluminum has been predominantly associated with aerospace and automotive industries.

In a typical foundry floor, several precautions are taken prior to the casting in order to achieve pore-free, high quality parts. In an aluminum product, the properties are influenced by melt treatment, casting technique and microstructure. Solidification is the stage at which the microstructure is formed. Segregation and hot tearing are among the kind of defects that can occur during solidification. Defects that are formed at the melting stage and during the handling of the melts in a casting process. All these processes occur before the stage of solidification. Undoubtedly, any defect present or created at the melting stage could be carried to the final microstructure, effectively adding to any solidification defects, and will, of course, affect the component's life. Therefore it is apparent that the control of the quality of the product begins with the control of the quality of the melt.

The elimination of the hydrogen in molten aluminum (degassing) is crucial for producing high-quality castings. There are several degassing methods that have been studied in the past few decades, including re-melting degassing, vacuum degassing, ultrasonic degassing, spray degassing, rotary impeller and tablet degassing.

At first a compendium of vacuum technology from one of the greatest technical inventions of the 17th century by Otto von Guericke to its application in today's foundry industry will be given. In addition the importance of impeller treatment of aluminium melts and their framework conditions will be discussed in more detail. In particular the effects of the treatment and their influence pore formation, distribution and morphology are illustrated.

Adjoined to this a digression on the casting quality with illumination of the most striking casting failure porosity, which can be determined by the use of X-ray computed tomography three- dimensional. According to this X-ray computed tomography is applied to aluminium alloy to characterize the size and morphology of casting porosity. Furthermore the usefulness of X-ray microtomography to study the influence of the casting microstructure upon the mechanical properties of an aluminium alloy are discussed.

Key words: aluminum, melt treatment, vacuum, degassing, quality, pores, mechanical properties

1 Postopki

1.1 Vakuumsko razplinjevanje

Med proizvodnim postopkom lahko kovinske komponente postanejo zasičene s prevelikimi količinami plina. Posledično lahko neželene nepravilnosti in neželeni učinki vplivajo na celovitost ali lastnosti produkta. Vakuumsko razplinjevanje je ena izmed metod za zmanjšanje pojavnosti takšnih nepravilnosti.

Okoli leta 1650 je nemški znanstvenik Otto von Guericke poskusil ustvariti vakuum

1 Processes

1.1 Vacuum degassing

During the production process, a metal components can become infused with excess amounts of gases. As a result, unwanted imperfections and side effects can impact the integrity or performance of the product. Vacuum degassing is one method to reduce these imperfections.

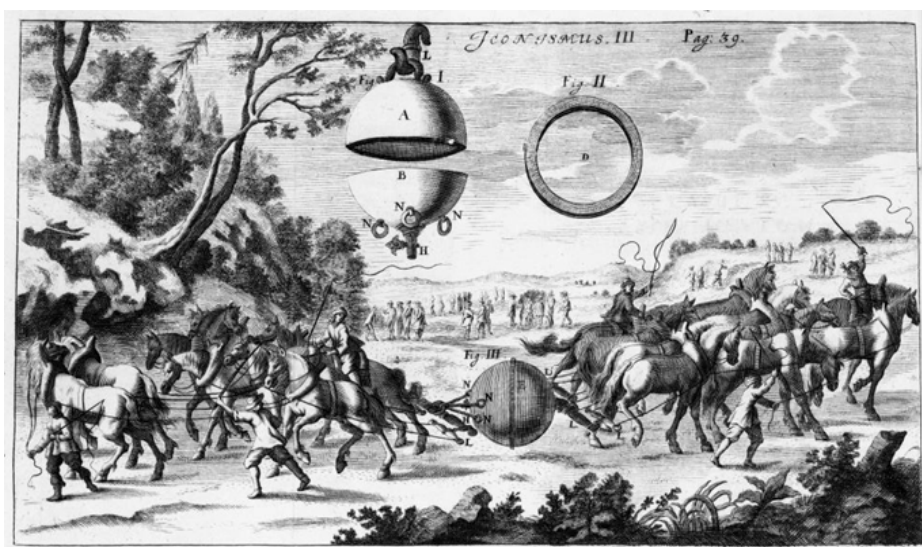
Around 1650 a German scientist named Otto von Guericke tried to produce a vacuum in a water- filled, wooden cask by

v lesenih sodih, napolnjenih z vodo, in sicer tako, da je s črpalko magdeburških gasilcev iz sodov izčrpal vodo. Bil je eden prvih znanstvenikov, ki se je pri reševanju težav iz narave zatekal k metodi poskusa. Vendar pa je poskus spodletel. Posledično je Guericke ukazal zgraditi veliko bakreno kroglo, vendar je tudi ta poskus spodletel in krogla se je uničila. Z izdelavo debelejših in natančneje oblikovanih krogel je mu je težavo skoraj uspelo rešiti, vendar je Guericke, ko je kroglo izpraznil in se je nekaj dni nihče ni dotikal, ugotovil, da vanjo vdira zrak. Posledično je izdelal novo črpalko, pri kateri so bili ti deli zatesnjeni z oljem, ki se še vedno uporabljajo v vakuumskih črpalkah. Te črpalke so lahko proizvedle veliko večje količine vakuuma kot Torricellijeve cevi. Beseda črpalka se dandanes še vedno uporablja tudi za vakuumске črpalke, čeprav gre v resnici za zračni kompresor. Leta 1654 je izvedel spektakularne poskuse za nemški Reichstag v Regensburgu. Najslavnejši poskus, s katerim je predstavil nove vakuumске tehnike, je izvedel v Magdeburgu leta 1657. Guericke je uporabil dve polkrogli s polmerom 40 cm, poznani pod imenom magdeburški polkrogli (glej Sliko 1). Ena polkrogla je imela ventil, skozi katero je bilo mogoče izčrpati zrak, med obe polkrogli pa je Guericke namestil usnjen obroč, prepojen z voskom in terpentinom, ki sta delovala kot tesnilo. Vprega osmih konj na vsaki strani je komaj uspešno ločila obe polkrogli, ko je Guericke iz njih izčrpal zrak. Ta slaven eksperiment je bil pomemben mejnik na poti do današnjega razvoja naše vakuumске tehnologije. [1]

Vakuumsko razplinjevanje, koristna tehnika, ki se uporablja v Evropi, se je izkazala za koristno in okolju prijazno metodo za proizvodnjo visokokakovostnih izdelkov. V postopku vakuumskega razplinjevanja se staljeno jeklo izpostavi okolju z nizkim tlakom, v katerem se

pumping out the water with a pump used by the fire brigade in Magdeburg. He was one of the first scientist who gave experiments a clear priority when attempting to solve problems about nature. But the experiment failed. Subsequent Guericke ordered to build a large sphere out of copper, but this experiment failed too and the sphere was crushed. By constructing a thicker and more precisely shaped sphere, the problem was nearly solved, but after evacuating this sphere and leaving it untouched for several days, Guericke found that the air was seeping into the sphere. Consequently he constructed a new pump where these parts were sealed by oil, still used in today's vacuum pumps. These pumps were capable of producing vacua in much larger volumes than Torricellian tubes. The word pump is still used for today's vacuum pumps, although they are actually rarefied gas compressors. In 1654, he performed several spectacular experiments for the German Reichstag in Regensburg. The most famous experiment demonstrating the new vacuum technique was displayed in Magdeburg in 1657. Guericke used two hemispheres with a diameter of 40 cm, known as the Magdeburg hemispheres (see Figure 1). One of the hemispheres had a valve for evacuation, and between the hemispheres, Guericke placed a leather ring soaked with wax and turpentine as seal. Teams of eight horses on either side were just barely able to separate the two hemispheres after the enclosed volume had been evacuated. This famous experiment was one milestone on the way to today's development of our vacuum technology. [1]

Vacuum degassing, a practical technique used in Europe, has been demonstrated as a beneficial and clean method in producing high quality products. Vacuum degassing processes involve the exposure of molten steel to a low-pressure



Slika 1. Skica magdeburških polkrogel 1657 [1]

Figure 1. Illustration of the Magdeburg hemispheres 1657 [1]

odstranijo plini (predvsem dušik in kisik). Zaradi zmanjšane tlaka v posodi oziroma komori postane plin manj topen in se loči od utekočinjenega materiala. Vakuumsko razplinjevanje zmanjšuje ne samo verjetnost nepravilnosti, ampak vodi tudi v večjo duktilnost kovin oziroma olajša njihovo oblikovanje in obdelavo skozi hladne postopke. Raven vodika v talini se bo zmanjšala, ko se nad površino taline ustvari vakuum. Za učinkovitega se je izkazal tudi že delni vakuum. Mehanska trdnost vakuumsko razplinenih ulitkov je večja kot pri ulitkih, razplinenih s klorom. [2, 3]

[2] Vakuumsko razplinjevanje se v industriji kovin med drugim uporablja za naslednje namene:

- odstranjevanje vodika,
- proizvodnjo taline z majhnim razponom kemijske sestave,
- kontrola livnih temperatur, ae posebej pri kontinuirnem litju.

environment to remove gases (chiefly hydrogen and oxygen). The reduced pressure inside the vessel or chamber causes the gas to become less soluble and separate from the liquefied material. Vacuum degassing to remove not only reduces imperfections, but also makes metals more ductile, or easily shaped and formed through cold metalworking. By creating a vacuum above the melt surface, the hydrogen level in the melt will decrease. Even partial vacuum have been found to be effective. The mechanical strength of vacuum-degassed castings is greater than that of chlorim (Chlorine?) degassed ones [2, 3]

To [2] vacuum degassing is practiced in the metal industry for purposes such as:

- Removing hydrogen
- Producing melt with close chemical composition ranges
- Controlling pouring temperatures, especially for continuous casting operations

1.2 Centrifugalno razplinjevanje

Centrifugalno razplinjevanje je trenutno najbolj priljubljena metoda za odstranjevanje vodika iz talin aluminijevih zlitin. Pri metodi centrifugalnega razplinjevanja se inerten oziroma kemijsko neaktiven plin (argon, dušik) doda skozi vrtljivo gred in rotor. Energija vrteče se gredi povzroči nastanek velikega števila mehurčkov, ki imajo zelo veliko razmerje med površino in prostornino. Velika površina privede do hitrejšega in učinkovitejšega raztapljanja vodika v mehurčke plina, zaradi česar se izenači dejavnost vodika v tekočem in plinastem agregatnem stanju. Centrifugalno razplinjevanje torej zagotavlja učinkovitejše odstranjevanje vodika v primerjavi z razplinjevanjem z razplinjevalnim sredstvom. Centrifugalno razplinjevanje prav tako ne vključuje uporabe škodljivega klora in soli, ki vsebujejo klor. Centrifugalno razplinjevanje lahko vključuje kombinacijo tako razplinjevanja kot dovajanja razplinjevalnega sredstva. [4]

Porazdelitev plinskih mehurčkov v talini je poleg homogenizacije in porazdelitve trdnih delcev ključnega pomena za učinkovitost postopka obdelave. Cilj je homogena porazdelitev velikega števila majhnih plinskih mehurčkov po celotni količini taline, glej Sl. 2. Takšno veliko razmerje med površino in prostornino plinskih mehurčkov (razmerje med površino in prostornino) je izredno pomembno za rezultate obdelave. Kadar je treba v razmeroma kratkem času obdelati velike količine taline, se uporabljajo posebej zasnovane naprave za centrifugalno razplinjevanje. Pomembni procesni parametri, ki vplivajo na porazdelitev plina in posledično na učinkovitost obdelave, so:

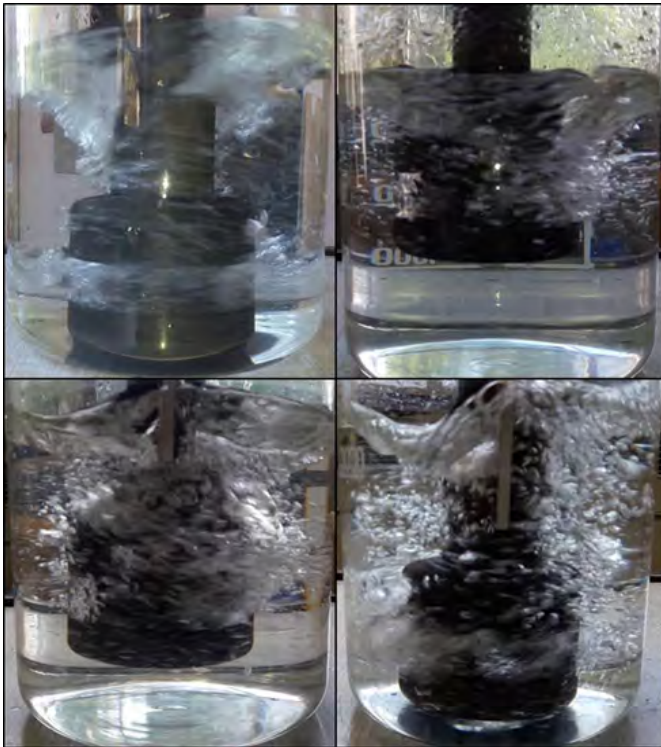
- premer, zasnova mešala (črpanje ali brez črpanja),
- položaj mešala in globina potopitve

1.2 Rotary degassing

Rotary degassing is currently the most popular method used to remove hydrogen from aluminium alloy melts. In the rotary degassing method an inert or chemically inactive gas (Argon, Nitrogen) is purged through a rotating shaft and rotor. Energy of the rotating shaft causes formation of a large number of fine bubbles providing very high surface area-to volume ratio. Large surface area promotes fast and effective diffusion of hydrogen into the gas bubbles resulting in equalizing activity of hydrogen in liquid and gaseous phases. Rotary degasser allows achieve more complete hydrogen removal as compared to the flux degassing. Additionally rotary degasser does not use harmful chlorine and fluorine containing salts. Rotary degasser may also combine the functions of degassing and flux introduction. [4]

The gas bubble distribution within the melt is, in addition to the homogenization and solids distribution, of decisive importance for the effectiveness of the treatment process. The aim is a homogeneous distribution of many, small gas bubbles over the entire melt volume, see Fig. 2. This high ratio of gas bubble surface to melt volume (surface-area-to-volume ratio) is fundamental for the treatment results. So that in a relatively short time a large amount of melt is treated, especially rotor systems are predestined for this application. Important process parameters determining the gas distribution and thus the effectiveness of the treatment are:

- Impeller diameter, design, design (pumping or non-pumping)
- Impeller position & immersion depth Impeller (distance to the crucible bottom)
- crucible size, geometry, bath level (filling quantity)



Slika 2. Nastajanje mehurčkov na mešalu s plini za razplinjevanje

Figure 2. Bubble formation on impeller with purge gases

- mešala (razdalja do dna lončka),
- velikost lončka, geometrija, raven kopeli (napolnjenost),
- položaj meča in globina potopitve,
- hitrost, čas obdelave,
- pretok plina.

- Sword position and immersion depth
- speed, treatment time
- Gas flow

1.3 Ultrazvočna obdelava

Ultrazvočno razplinjevanje vključuje uporabo močnih ultrazvočnih vibracij, ki v staljenem aluminiju povzročajo oscilacijske tlake. Pri minimalnem tlaku pride v talini do kavitacij in nastajajo majhni mehurčki. Med kavitacijo nastali mehurčki bi lahko vodikovim mehurčkom oddala jedra, vodikovi mehurčki pa posledično združijo in iztečejo iz taline.

1.3 Ultrasonic treatment

Ultrasonic degassing uses high-intensity ultrasonic vibrations to generate oscillating pressures in molten aluminum. In the region of minimum pressure, cavitations occur in the melt, and fine bubbles are produced. The bubbles produced during cavitations could provide nuclei for hydrogen bubbles to coalesce and flow out of the melt.

High sound intensities in liquid media lead to two significant effects: [5]

- cavitation
- acoustic flow

Zvok velike jakosti v tekočem mediju povzroči dva glavna učinka: [5]

- kavitacije,
- akustični tok.

Kavitacija je tvorba plinskih mehurčkov zaradi zvoka velike jakosti v vakuumski fazah zvočnega tlaka. Tukaj je treba razlikovati med plinskimi in parnimi kavitacijami. Zaradi plinov, raztopljenih v tekočinah, lahko v mediju nastajajo klice, trdni delci in veliki mehurčki plina, ki se ohranijo v fazah prekomernega tlaka zvočnega tlaka in se dvigajo v tekočini. Ta postopek se imenuje plinska kavitacija. Parna kavitacija je konkretna kavitacija, ki nastane pri zelo veliki jakosti zvoka. Vendar ti plinski mehurčki ne ostanejo v fazi prekomernega tlaka zvočnega tlaka, ampak implodirajo, zaradi česar lahko pride do izredno visokih tlakov in temperatur v tekočem mediju. Kavitacija ima velik vpliv na razplinjevanje taljenih kovin kot tudi na udrobnjevanje. Poleg kavitacij povzroča zvok velike jakosti tudi pojav akustičnih tokov. Njihovo nastajanje je močno odvisno od mesta nastajanja. Akustični tokovi lahko torej nastajajo v izključno tekočih medijih.

Under cavitation is the formation of gas bubbles due to high sound intensities in vacuum phases of the sound pressure to understand. Here, a distinction can be made between gas cavitation and steam cavitation. Due to dissolved gases in liquid Media can develop on germs, solid particles, larger gas bubbles, which remain in overpressure phases of the sound pressure and rise in the liquid. This process is called gas cavitation. Steam cavitation is understood to be real cavitations that form under very high sound intensities. However, these gas bubbles do not remain in overpressure phases of the sound pressure, but implode, which can result in very high pressures and temperatures in liquid media. The effect of cavitation has a decisive influence on the degassing of molten metals as well as on grain refining. In addition to cavitation, high sound intensities lead to the appearance of acoustic currents. Their education depends heavily on the place of origin. Thus, acoustic currents can arise in pure liquid media. Their training can change but by interfaces, such as solidification fronts. Regardless of the place of origin, the sound intensity and the temperature of the medium exercise



a



b

Slika 3. Primerjava med mirno površino med ultrazvočnim razplinjevanjem (a) in razburkana talina med rotacijskim razplinjevanjem [7]

Figure 3. Comparison between quiet surface upon ultrasonic degassing (a) and a turbulent melt upon rotary degassing [7]

Njihovo upravljanje se lahko spremeni, in sicer fazne meje, npr. postopki strjevanja. Ne glede na mesto izvora imata zvok velike jakosti in temperatura medija odločilen vpliv na nastajanje zvočnih tokov. Viskoznost tekočine je še posebej močno povezana s temperaturo. Z večanjem jakosti zvoka začnejo akustični tokovi delovati na konvekcijske tokove. Učinek se odraža predvsem na temperaturni porazdelitvi in na transportu delcev v taljenih kovinah. [6]

2 Uporabe

2.1 Ultrazvočna obdelava aluminijeve taline

Skladno z vzročno povezavo »hitro hlajenje > drobna struktura > dobre mehanske lastnosti« (pri klasičnem gravitacijskem litju, še posebej mehanske lastnosti) se nazadnje strdijo predeli v preostanku ulitka. En način za spremembo in zagotavljanje homogene porazdelitve mikrostrukture ter mehanske lastnosti je uporaba ultrazvoka (UZ) (visokofrekvenčne mehanske vibracije in posledično velika nihanja tlaka) med strjevanjem. Učinki kavitacije, povezani z obdelovanjem (nastanek, rast in implozija majhnih mehurčkov) ter t. i. akustični tok vodita do motenj v že strjenih mikrostrukturah in posledično nastajanje drobnejših mikrostrukturnih sestavin. Po drugi strani pa akustični tok povzroča transport materiala in toplote, saj se toplejša talina iz središča ulitka konstantno pomika proti robovom. To vodi v bolj homogeno distribucijo temperature v ulitku, posledica česar je zmanjšanje temperaturnega gradienta v talini in hitrejšo ohlajanje nasploh. Trenutno so največji izzivi za daljnosežno industrijsko uvedbo te tehnologije (glej Sliko 4) omejena količina taline, ki jo je mogoče obdelati, in zapletena

one decisive influence on the training of acoustic currents. In connection with the temperature is in particular the viscosity of the liquid. With increasing sound intensity, the acoustic currents begin to interact with convective flows. This effect is mainly responsible for influencing the temperature distribution and for the transport of particles in molten metals. [6]

2 Applications

2.1 Ultrasonic treatment of aluminium melt

According to the causal connection "fast cooling - fine structure - good mech. Properties" (are e.g. in the classical gravity casting especially the mech. Properties of the food near, last solidifying areas those in the rest of the casting after. One way to change this and achieve homogeneity in microstructure distribution and mechanical properties is the use of ultrasound (US) (high frequency mechanical vibration and thus large pressure fluctuations) during solidification. The effects of cavitation associated with the treatment (formation, growth and implosion of small bubbles) and the so-called acoustic flow lead to a disruption of already solidified microstructures and thus to the appearance of finer microstructural constituents. On the other hand, the acoustic flow causes a mass and heat transport, which constantly transported warmer melt from the casting center to the edge areas. This results in a more homogeneous temperature distribution within the casting, which in turn leads to a reduction in the temperature gradient in the melt and an overall faster cooling. The greatest challenges for a far-reaching industrial implementation of this technology (cf. figure 4) so far are



Slika 4. Uporaba ultrazvoka za obdelavo aluminijevega ulitka v kalupu

Figure 4. Use of ultrasound to treat an aluminum casting in the mold

simulacija visokofrekvenčnih zaporedij premikov kot tudi s tem povezanih fizičnih učinkov kavitacije in zvočnega toka.

V okviru nedavno zaključenega projekta bi lahko prikazali, da vodi obdelava z ultrazvokom do močne spremembe mikrostrukture ter končno do znatnega izboljšanja mehanskih lastnosti, predvsem natezne trdnosti. V prihodnosti bi bilo mogoče na takšen način izdelati močnejše ulitke ali takšne s tanjšimi stenami.

2.2 Kombinirana vakumska in ultrazvočna obdelava

AMC je pretežno s keramičnimi vlakni ojačan aluminijev kompozitni material, v katerem je kovinska matrica, prisotna v aluminijevi zlitini, posebej prilagojena posebnemu področju uporabe. Keramični

the limited treatable melt volume and the difficulty of simulating the high-frequency motion sequences and the associated complex physical effects cavitation and acoustic flow.

In the context of the recently completed project it could be shown that the ultrasound treatment leads to a significant modification of the microstructure and finally to a considerable increase of the mechanical properties, above all the tensile strength. In the future, higher-load castings or smaller wall thicknesses could be realized in this way.

2.2 Combined vacuum and ultrasonic treatment

AMC is a mostly ceramic-reinforced aluminum composite material in which the

delci se poleg aluminijevega oksida (Al_2O_3), primarno silicijevega karbida (SiC), uporabljajo, ker zagotavljajo veliko trdnost, nizko gostoto in majhen koeficient toplotnega raztezanja. Pomembni koraki v razvoju novega livnega postopka so bili napajanje, popolno omočenje in homogena disperzije delcev v aluminijevo talino. Naslednji pomemben parameter materiala za omočenje delcev s talino aluminije je površinska energija delcev. Določa namreč, ali bo tekoči aluminij omočil fazne meje delcev. Stična površina med talino aluminija in npr. površino SiC ima kot omočenja $> 90^\circ$ pod atmosferskimi pogoji, kar ne velja za omočenje. Za izboljšanje omočljivosti delcev in posledično izboljšanje kakovosti AMC se celoten postopek izvaja pod majhnim vakuumom. V obratu (glej sliko) se keramični delci neprenehoma vmešavajo v taljen aluminij ter se popolnoma omočijo s pomočjo ultrazvočne obdelave ter se enakomerno razporedijo.

Metalurško rokovanje taline kompozitnih materialov omogoča izdelavo

metallic matrix is present in an aluminum alloy specially adapted to the particular application. For the ceramic particles in addition to aluminum oxide (Al_2O_3) primarily silicon carbide (SiC) is used because it has in addition to the high hardness, a low density and a low thermal expansion coefficient. The relevant development steps of a newly developed casting process were the feeding, a complete wetting and a homogeneous dispersion of the particles in the aluminum melt. For the wetting of the particles with the aluminum melt, the surface energy of the particles is a next important material parameter. This determines whether the interface of the particles is wetted by liquid aluminum. The interfacial contact between an aluminum melt and e.g. a SiC surface has a wetting angle $> 90^\circ$ under atmospheric conditions, which is classified as non-wetting. In order to improve the wettability of the particles used and thus the quality of the AMC produced therefrom, the entire process under fine vacuum. Within the plant (see figure), the

Slika 5. Prototip livnega procesa s pomočjo ultrazvoka za proizvodnjo AMC na Univerzi Otto von Guericke v Magdeburgu

Figure 5. Prototype of the ultrasonic assisted vacuum casting process for AMC production at the Otto von Guericke University Magdeburg



geometrijsko kompleksnih komponent, ki v primerjavi z alternativnimi metodami, npr. kompaktiranjem s pršenjem, prinašajo bistvene (orodne) stroškovne prednosti. Do pribl. dodatnih 20 vol.% je mogoče zlitine AMC zanesljivo izdelati skozi trenutne tehnološke postopke. Vendar pa te proizvodne metode za proizvodnjo večjih količin niso gospodarsko smiselne. Da bi lahko še dodatno povečali odpornost komponent iz AMC na obrabo, bi postala proizvodnja takšnih komponent iz kompozitnih materialov z dodatkom pribl. 35 % volumna keramičnih delcev gospodarsko smiselna tudi v primeru proizvodnje večjih količin. To bi omogočilo proizvodnjo npr. kolutnih zavor iz AMC, ki bi predstavljale lažjo alternativo (z ventilacijo in brez) za hibridna in električna vozila. Poleg razvoja novih livnih postopkov za proizvodnjo materialov MMC igra modifikacije faznih mej med materialom matrice in fazo, namenjeno ojačitvi, pomembno vlogo v raziskovalnih dejavnostih na področju. Izboljšanje površinske energije delcev kot tudi izogibanje intermetalnim fazam, ki negativno vplivajo na mehanske lastnosti ter odpornost materiala proti koroziji, je torej še posebej pomembno.

2.3 Centrifugalno doplinjevanje

Še posebej pri tlačnem litju, povezanem z zahtevnim napajanjem, se med obdelavo taline aluminijevih zlitin uporabljajo plini, ki vsebujejo vodik, glej Sl. 6. Glede na izkušnje se z obdelavo izboljšajo livne lastnosti ter zmanjša se krčni lunke. Vendar pa visoka vsebnost vodika v talini pomeni povečan indeks gostote (DI – density index), ki je posledica preizkusa pri zmanjšanem tlaku (RPT – reduced pressure test). Običajno predstavlja indeks gostote stopnjo kakovosti taline in mora biti karseda nizek,

ceramic particles are continuously mixed with the aluminum melt, completely wetted supported by an ultrasound treatment and homogeneously distributed.

The melt-metallurgical material handling of the composite material allows near-net-shape fabrication of the components, which, in comparison to alternative methodologies, e.g. the spray-compacting, has significant (tool) cost advantages. Up to a gain of about 20 vol.-% AMC alloys can be manufactured process reliable according to current state of the art. However, the corresponding manufacturing methods are not economically applicable for larger quantities. In order to be able to further increase the wear resistance of the AMC components, the production of such composite components with a reinforcement proportion of about 35% by volume should also be possible and economical, even for large quantities. This allows e.g. the production of AMC brake discs as a lightweight alternative (with and without ventilation) for hybrid and electric vehicles. Besides the development of new casting processes for the production of MMC materials, the modification of the interface between the matrix material and the reinforcement phase plays the next important role of research activities in this field. The improvement of the surface energy of the particles as well as the avoidance of intermetallic phases, which have a negative effect on the mechanical or the corrosion properties of the composite material, are thereby particularly forced.

2.3 Rotary upgasing

Particularly for die castings that are hard to feed, hydrogen-containing gas mixtures are used during melt treatment of aluminum alloys, cf. fig. 6. Experimentally both the

če želimo izdelati izdelke visoke kakovosti. Posledično se pojavi povišan indeks gostote zahvaljujoč preprihovanju z aktivnim plinom v primerjavi z običajnim rokovaljem s talino.

Posledica teh obdelav so stanja taline, ki so postopoma obdelane, razplinjene in doplinjene. Določitev poroznosti z računalniško tomografijo je pokazalo porazdelitev por, ki je odvisna od stanja taline, glej Sl. 7.

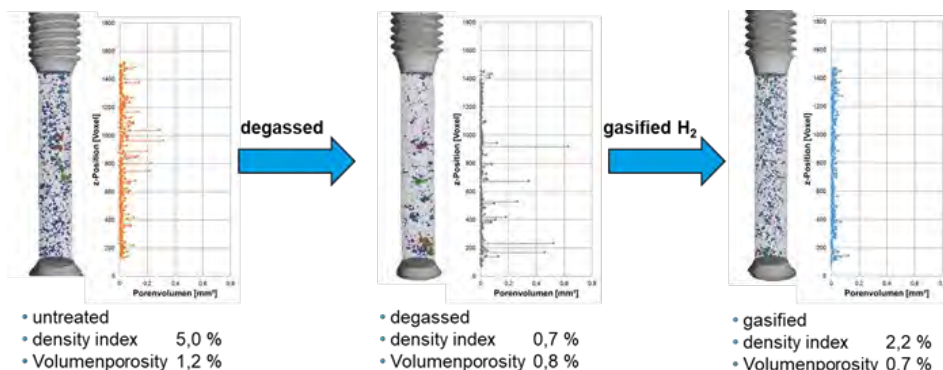
filling capacity is raised with treatment and generation of shrinkage cavities is reduced. But a high content of hydrogen in the melt entails an increased density index (DI) which results from reduced pressure test (RPT). Usually the density index is considered as a degree of melt quality und should be as low as possible in order to cast high-quality products. Due to that an activated raise of the index via flushing with active gases is said against the common handling of the density index.

Caused by these treatments there are states of the melt, which are incrementally untreated, degassed and gasified. A



Slika 6. Razplinjevanje (levo) in doplinjevanje (desno) aluminijeve taline

Figure 6. Degassing (left) and Upgassing (right) of an aluminium melt



Slika 7. Porazdelitev por v vzorcu pri različnih stanjih taline

Figure 7. Pore distribution in an specimen by different states of melt

3 Kakovost

Eden glavnih izzivov, s katerim se soočajo livarski tehnologi in raziskovalci, je zagotavljanje dosledne visoke kakovosti. Zato so bili vloženi veliki napor v izdelavo kakovostnih izdelkov iz različnih zlitin, ki bi ustrezali strogim zahtevam za zdravstvo. Obstajajo tri glavne lastnosti, ki opredeljujejo kakovost kovine:

- nadzor nad elementi v sledovih,
- zmanjšanje količine raztopljenega plina,
- odstranjevanje nekovinskih vključkov.

3.1 Inovativna tehnologija za pametno in trajnostno načrtovanje postopkov

Za zmanjšanje obsega postopkov ponovnega polnjenja in povečanje kakovosti ulitkov je bil razvit nov koncept dovajanja taline, glej Sl. 8. Takšna poenotena zasnova, ki obsega tudi tehnične rešitve in optimizacijo postopkov, je visoko inovativna in edinstvena na globalni ravni. Tehnološki razvoj t. i. »toplotnih postaj«, distribuiranih ogrevalnih postaj ter talilnih lončkov za prenos, popolnoma premične rešitve za taljenje in segrevanje kovine predstavljajo registrirano lastninsko pravico. Razvoj primerne zasnove dobavne verige za oskrbo s kovinami, ki temelji na načelu »vnaprejšnje proizvodnje« in uvedbi integriranega spremljanja postopkov predstavlja še en ključni del enotne zasnove.

Namen projekta je zagotoviti popolnoma premičen, distribuiran sistem za dovajanje taline, vključno z razvojem, dizajnom in razvojem. Tri ključne procesne korake »taljenje in prenašanje taline«, »prenašanje taline« in »zadrževanje taline« bo v prihodnosti nadomestil en sam proces, tj. »taljenje in zadrževanje kovine v distribuiranem, popolnoma

characterization of porosity via computed tomography visualized the pore distribution depending on the state of the melt, see fig. 7.

3 Quality

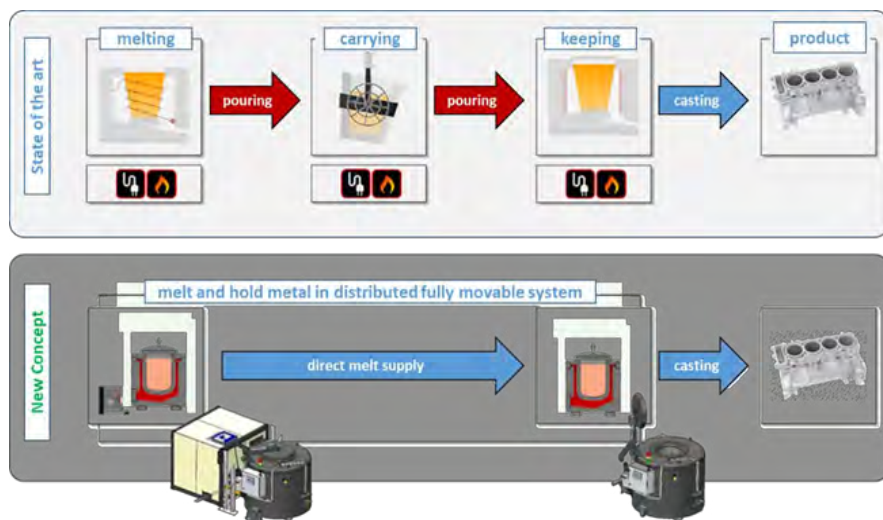
One main challenge facing the foundry technologist and researchers is to obtain a permanent high quality. Therefore extensive efforts have been made to produce quality products from various alloys to achieve the demanding mechanical behaviour. There are three important features that define metal quality:

- control of trace elements,
- reduction of dissolved gas,
- removal of non-metallic inclusions.

3.1 Innovative technology for smart and sustainable process design

In order to reduce refilling operations and to increase the quality of the castings, a new melt supply concept, see fig. 8, was developed. This unified design incorporating technical solution and process optimization is highly innovative and globally unique. The technological development of so-called "heat docks", distributed heating stations, and the design of the transfer crucible, a fully movable melting and heating solution to supply metal, are registered property rights. The development of suitable supply chain designs for demand-driven metal supply based on the "push" principle and the implementation of integrated process monitoring is another integral part of the unified design.

The project is intended to deliver a draft solution for a fully movable distributed melt supply system, including development, design engineering and manufacturing



Slika 8. Primerjava konceptov dovajanja taline

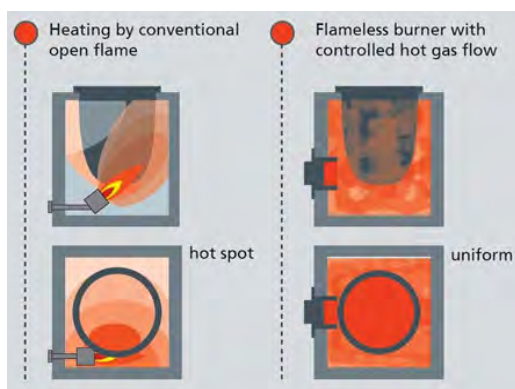
Figure 8. Comparative depiction of melt supply concepts

premičnem sistemu». Projekt bo izveden z razvojem novih komponent sistema, ki omogočajo združevanje posameznih postopkovnih korakov in posledično popolno reorganizacijo tokov materiala in proizvodnih dobavnih verig v livarnah.

Najpomembnejši tehnični del zasnove so novi gorilniki (glej Sliko 9), ki delujejo s cenovno ugodnim naravnim plinom. Recirkulacija in rekuperacija odpadne toplote visoke temperature, ki se proizvaja med postopki, za predgrevanje zgorevalnega zraka, bosta še dodatno izboljšala učinkovitost in posledično zmanjšala stroške. Proizvedena toplotna energija se bo dovajala v ogrevalne postaje in se sproščala v premične lončke – trpežne izolirane posode za pretovarjanje, ki so hkrati tudi talilni lončki. Uporaba takšnih premičnih talilnih in grelnih sistemov bi odpravilo potrebo po vsaj dveh postopkih pretovarjanja. Znatno pa bi se zmanjšalo tudi nastajanje oksidov kot tudi izgube materiala v povezavi z žilindro.

engineering. The three hitherto necessary process steps of “melt and transfer metal”, “transfer melt” and “hold metal” will be replaced in the future by a single process “step melt and hold metal in distributed fully movable systems”. The project will be implemented by developing novel system components that make it possible to combine individual process steps and, thus, to reorganize material streams and manufacturing supply chains in foundries completely.

The design’s technical centerpiece is novel burner technology (see figure 9) based on inexpensive natural gas. The recirculation and recovery of high-temperature waste heat produced by processes to preheat combustion air will boost efficiency further, thus cutting costs. The thermal energy produced will be supplied in heating stations (heat docks) and released to movable transfer crucibles – robust insulated transfer vessels with integrated crucibles. The use of such a fully movable melting and heating system will



Slika 9. Poenostavljen prikaz nove tehnologije gorilnikov

Figure 9. Simplified depiction of the novel burner technology

Inovativni pristop prav tako odpravlja že uveljavljeno prenašanje taline z žerjavi ter tako odpira povsem nove priložnosti zasnovane internih tokov materiala za načrtovanje proizvodnje in proizvodnjo dobavnih verig. To pa bo bistveno zmanjšalo odstotek recikliranega materiala in neposredno tudi porabo energije. Enote, ki ustvarjajo vrednost (livne postaje), bodo kot popolnoma povezani sistemi po potrebi prenašale taljivo zlitino iz premičnih talilnih lončkov. Tako bo omogočena optimizacija v dobavnih verigah skozi bolj prilagodljive procesne toke in družine izdelkov, kar bo zadovoljilo zahteve po trajnostni, energetsko učinkoviti in visoko prilagodljivi rešitvi, katere glavni cilji so:

- zmanjšanje emisij CO₂ do 80 odstotkov,
- zmanjšanje primarne porabe energije za ulitke iz barvnih kovin za kar 25 odstotkov, kar je ustreza približno 2,5 megavatnim uram na tono aluminija,
- zmanjšanje nastajanja žilindre za kar 20 odstotkov, kar ustreza približno 2 megavatnima urama na tono surovin in taline med taljenjem,
- bistveno izboljšanje kakovosti

eliminate at least two transfer processes. This will also reduce the formation of oxides substantially and minimize material losses concomitant with slagging.

The innovative draft approach also dispenses with craneway melt transfer routes that predominated earlier and opens completely new opportunities to design internal material streams for production scheduling and manufacturing supply chains. This, in turn, will significantly reduce the percentage of recycled material and, thus, indirect energy consumption. As fully connected systems, value-creating units (pouring stations) will ladle fusible alloy from transfer crucibles whenever it is needed. This will facilitate route optimization in supply chains through more flexible process flows and product families and satisfy the demands of a sustainable, energy-efficient and highly flexible solution with the main aims:

- Reduce CO₂ emissions by as much as 80 percent
- Reduce primary energy consumption for non-ferrous cast parts by as much as 25 percent, corresponding to approximately 2.5 megawatt hours per ton of aluminum
- Reduce slagging by as much as 20 percent, corresponding to a savings of over 2 megawatt hours per ton of raw material and melt during casting
- Improve casting quality significantly by using homogeneously heated tools and eliminating ladling
- Shorten cycle times significantly by enhancing the responsiveness of the melt supply and thus managing job orders efficiently
- Employ easy and adaptive tool- and indicator-based scenario evaluation of design options in the simulation environment as the basis for sustainable corporate decisions (e.g. major capital

ulitkov skozi notno segreta orodja iz odpravljanje prelivanja,

- bistveno skrajšanje časa cikla skozi hitrejšo dovajanje taline, kar vodi v izboljšanje učinkovitosti upravljanja posameznih opravil,
- uporaba enostavnih in prilagodljivih orodij ter ocenjevanja scenarijev na podlagi kazalnikov za zasnovne možnosti v simulacijskem okolju kot podlaga za trajnostne poslovne odločitve (npr. večje investicijske izdatke),
- zasnova sistemov dobavne verige in postopkov, ki ustrezajo zahtevam na podlagi obsežnih analiz tehnologij in ocene učinkovitosti in trajnostni, kot ju opredeljujejo skupni stroški lastništva.

3.2 Upravljanje poroznosti

Najpomembnejši parameter za ocenjevanje ulitkov iz lahkih kovin je njihova trdnost ob upoštevanju poroznosti, povezane s proizvodnjo in ki zmanjšuje trdnost. Mednarodni trendi v smeri proti lahkim konstrukcijam in vedno pogostejše zahteve strank po zmanjševanju porabe materialov in energije kot tudi teže komponent ob sočasnem daljšanju življenjske dobe kot tudi parametrov učinkovitosti dosledno povečujejo delež lahkih kovinskih ulitkov v številnih industrijah. Avtomobilska industrija izkorišča prednosti takšnih ulitkov iz lahkih kovin, še posebej za varnostne komponente in sestave delov. Hitra, nedestruktivna in hkrati notranja ocena poroznosti, ki zmanjšuje trdnost, v ulitkih je ključnega pomena za mnoge livarne. Prednosti nedestruktivnega tridimenzionalnega testiranja tehnologijami CT so že dobro poznane. Vendar pa so trenutne industrijske rabe hitrih sistemov CT povezane z naslednjimi velikimi ovirami. Po drugi strani

expenditures)

- Design supply chain systems and processes that satisfy requirements based on substantial analyses of technology and assessments of performance and sustainability as defined by total cost of ownership
-

3.2 Porosity control

The most important parameter for the evaluation of light metal castings is their strength, taking into account the production-related and strength-minimizing porosity. The international trend towards lightweight construction and the increasing demands of customers for reducing the use of materials and energy as well as the weight of the components while simultaneously increasing the service life and performance parameters are steadily increasing the share of light metal castings in many industries. In the automotive industry, the advantages of these light metal castings are used, in particular for safety-relevant components and component groups. A fast, non-destructive and at the same time inline assessment of the strength-minimizing porosity in castings is of outstanding importance for many foundries. The advantages of a non-destructive three-dimensional test using CT technology are well known. However, the current industrial use of fast CT systems faces the following major obstacles. On the one hand, with increasing complexity of the cast products, it is not possible to realize a homogeneous dissolution of internal structures over the entire component with only one test run. It should be noted that the test and scan parameters are to be adapted both to the individual components (alloy composition, transmission length) and with regard to the target position. In addition to the creation of a three-dimensional data set (reconstruction),

zaradi vedno večje kompleksnosti litih izdelkov ni mogoče realizirati homogenega topljenaj notranjih struktur skozi celotno komponento v samo enem preskusu. Treba je pomniti, da je treba parametre preskusa in skeniranja prilagoditi tako posamezni komponenti (sestava zlitine, dolžina prenos) kot tudi z vidika ciljnega položaja. Poleg ustvarjanja nabora tridimenzionalnih podatkov (rekonstrukcija) je pridobljena analiza podatkov ključni del analiza CT, glej Sl. 10. Glavni izziv je zagotavljanje za industrijo uporabnih časov ciklov kljub majhni hitrosti ocenjevanja in zanemaranju številnih različnih varnostnih zank.

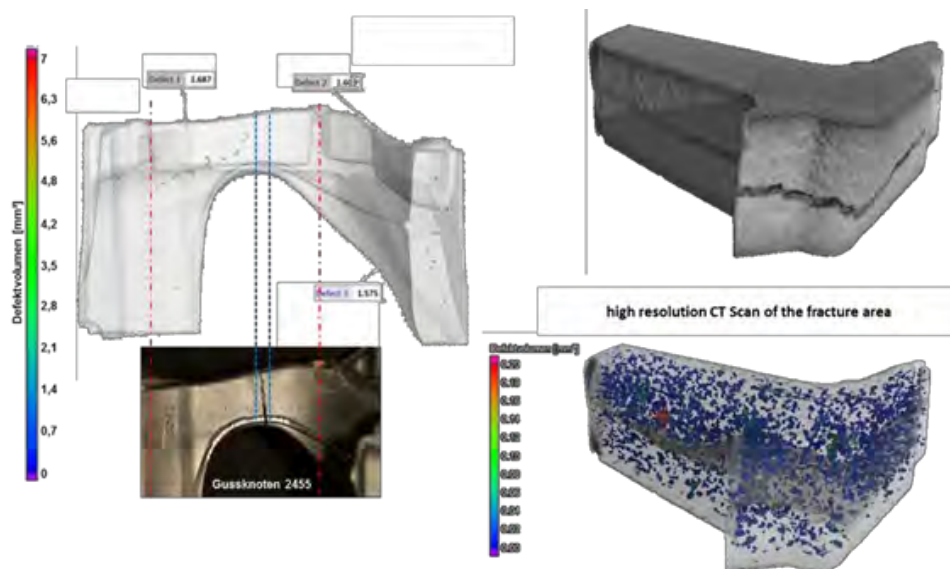
Razvoj postopkovne tehnologije za kvantitativno nedestruktivno oceno poroznosti lahkih kovinskih ulitkov v proizvodni liniji z uporabo industrijske rentgenske računalniške tomografije je še vedno potreben in obsega naslednje ključne točke:

- določitev in opredelitev tipičnih lastnosti

the analysis of the data obtained is an essential point of CT examination, cf. fig. 10. The main challenge here is to ensure an industrially usable cycle time despite the limited evaluation speed and the passage of many different safety loops.

Considering that the development of a process technology for the quantitative non-destructive inline porosity assessment of light metal castings by using industrial x-ray computed tomography is still necessary and contains of the following essential points:

- Determination and definition of characteristic pore characteristics for castings (representative parts for component groups)
- Development of a process principle for the defined, individual positioning of cast parts in the working area of the CT
- Determination of functional quantification as a relationship between non-pore loaded device areas and pore loaded local areas



Slika 10. Rekonstrukcija rentgenske tomografije v bližini področja preloma

Figure 10. Reconstruction of a x-ray tomography of the near fracture area

- por za ulitke (reprezentativni deli za skupine komponent),
- razvoj postopkovnega načela za opredeljene, posamezne lite dele na delovnem področju CT,
- določitev funkcionalne kvantifikacije kot odnosa med površinami naprave brez por in lokalnimi površinami s porami,
- izdelava tridimenzionalne ocene poroznosti za »dobro« / »odpadek«.
- Creation of a three-dimensional porosity evaluation in "good" / "waste".

Viri / Literature

- [1] Jousten, K.: „The History of Vacuum Science and Vacuum Technology“. In Handbook of Vacuum Technology, 2016
- [2] Grandfield, J.: „A new vacuum degassing process for molten aluminum“, Light Metals (The Minerals, Metals & Materials Society), 2014
- [3] Samuel, A. M.; Samuel, F. H. "Various Aspects Involved in the Production of Low-hydrogen Aluminium Castings", Journal of Materials Science, 27(1992), p. 6533-6563
- [4] Scamans, G.; Li, H.-T.; Nebreda, J. L.; Patel, J.; Stone, I.; Wang, Y.; Yang, X.; Fan, Z.: Chapter 8 - Advanced Casting Technologies Using High Shear Melt Conditioning, Editor(s): Roger N. Lumley, Fundamentals of Aluminium Metallurgy, Woodhead Publishing, 2018, p. 249-277
- [5] Havlvor, K.: Ultrasonic Degassing of Molten Aluminum under Reduced Pressure, Light Metals, 2005.
- [6] Abramov O.V, Action of high intensity ultrasound on solidifying metal, Ultrasonics, Vol. 25, 1987, p. 73-82.
- [7] Eskin D.G. (2017) Overview of Ultrasonic Degassing Development. In: Ratvik A. (eds) Light Metals 2017. The Minerals, Metals & Materials Series.

Razvoj žaroobstojnih aluminijevih zlitin

Development of heat resistant aluminium alloys

Povzetek

Proizvodnja aluminijevih zlitin narašča zaradi njihove majhne gostote ter velikega specifičnega modula in trdnosti. Te lastnosti lahko bistveno zmanjšajo emisije CO₂ in porabo energije v transportu ter gradbeništvu. Konvencionalne aluminijeve zlitine imajo sorazmerno majhno toplotno obstojnost, saj izgubijo večji del svoje trdnosti, če jih segrejemo nad 250 °C. V zadnjih letih so se povečale zahteve po žaroobstojnih aluminijevih zlitinah, zato so v zadnjih letih raziskovali in razvili več novih zlitin. Pri številnih pristopih so bile uporabljene nove tehnologije, kot sta litje na vrteče se kolo (melt-spinning) in ekstruzija trakov pri izdelavi Scalmarloy®, plinska atomizacija and sintranje pri izdelavi nanokvazikristalnih zlitin ter izdelava z dodajalnimi tehnologijami (npr. s selektivnim laserskim taljenjem). Raziskovali so tudi številne aluminijeve livarske zlitine, kot sta Al-Si in Al-Cu-Si, kakor tudi gnetne zlitine. Toplotna obstojnost aluminijevih zlitin se poveča z nastankom temperaturno obstojnih faz, ki lahko nastanejo pri strjevanju kot tudi pri toplotni obdelavi. V predstavitvi bo podan pregled različnih pristopov, v središču pa bodo aluminijeve livarske zlitine.

Ključne besede: aluminij, toplotna obstojnost, trdnost, lezenje

Summary

The production of Al-alloys strongly increases due to their low density, high specific modulus and strength. These properties can significantly reduce CO₂ emissions and energy consumption in transportation and construction. The conventional Al-alloys possess rather low heat resistance as lose very rapidly their strength when heated above 250 °C. The demands for the high heat-resistant Al-alloys have been increased recently. Therefore, several new alloys have been investigated and developed over the last years. The most important approaches are through the application of modern technologies; such as melt-spinning and extrusion of ribbons by the development of Al-Mg-Sc-Zr alloys, gas atomisation and sintering of nanoquasicrystalline strengthened alloys and additive technologies (selective laser melting). There are several investigations regarding heat resistance of casting alloys, such as Al-Si and Al-Cu-Si, and wrought alloys. The heat resistance is improved by the formation of the temperature resistant phases, which can be formed during solidification or heat treatment. In the article different approaches will be presented, with the focus on the casting alloys.

Key words: aluminium, heat resistance, strength, creep

Definicije pomembnih pojmov [1]

Visokotemperaturne lastnosti

Visokotemperaturne lastnosti so lastnosti, ki jih imajo materiali pri povišanih

Definition of important terms [1]

High-temperature properties

Properties were tested at higher temperature, depending on the soaking

temperaturah. Odvisne so od časa zadrževanja pri povišanih temperaturah. Na napetost tečenja in natezno trdnost močno vpliva tudi hitrost deformacije.

Rekuperacija

Rekuperacija je povezana s primerjavo lastnosti po izpostavitvi povišani temperaturi in lastnostmi pred izpostavitvijo. Preizkuse navadno izvajamo pri sobni temperaturi.

Regresija

Regresija se pogosto pojavi v toplotno obdelovalnih zlitinah, kadar je temperatura uporabe višja od temperature staranja. Izpostavitve višji temperaturi v začetku povzroči raztapljanje izločkov, ki so nastali pri staranju, kar sčasoma vodi do zmanjšanja lastnosti pri povišani temperaturi in pri rekuperaciji. Kasneje se pojavi ponovno izločanje pri temperaturi testiranja in povzroči rekuperacijo trdnosti.

Lezenje

Lezenje je rezultat številnih mikroplastičnih procesov, ki potekajo v sorazmerno dolgih časovnih obdobjih. Obremenitve ob hkratni izpostavljenost povišanim temperaturam povzročajo trajno deformacijo v smeri delujoče napetosti. Pri hujših obremenitvah se poškodbe akumulirajo in privedejo do loma.

Temperaturna odvisnost napetosti tečenja

Slika 1 prikazuje značilno spreminjanje napetosti tečenja aluminijevih zlitin s temperaturo [2]. Visokotemperaturna trdnost se močno zmanjša pri temperaturah nad 250 °C. Pri okoli 300 °C znaša visokotemperaturna napetost tečenja le 0,15–0,40 trdnosti pri sobni temperaturi. Napetost tečenja pri 500 °C je manjša kot 5 % napetosti tečenja pri sobni temperaturi. To jasno kaže, da aluminijeve zlitine

time at this temperature. Also, the strain rate during testing has a very strong effect on the values of yield and ultimate strengths.

Recovery properties

Recovery properties relate to the effect of exposure at any temperature on the property characteristics, compared with those achieved before the exposure. Testing is normally performed at room temperature.

Regression or reversion

Regression or reversion is often observed in heat treatable alloys when the application temperature is higher than the aging temperature. Exposure initially results in resolution of precipitates characteristic of the aging temperature, leading to a significant decrease in both recovery and elevated temperature strength. This is followed by a second precipitation, characteristic of the exposure temperature and leading to a partial recovery in strength.

Creep

Creep is a manifestation of the accumulation of many microplastic events occurring over a nominally long period of time. The application of stress at the exposure temperature leads to a permanent strain in the direction of the applied stress. Under severe conditions, this leads to significant damage accumulation and finally rupture.

Temperature dependence of the yield strength

Figure 1 shows typical variation of the yield strength of aluminium alloys with temperature [2]. The elevated-temperature strength drops to strongly above 250 °C. At about 300 °C, the elevated yield strength is from 0.15–0.40 of the room temperature strength. The yield strength at 500 °C is less than 5% of the room temperature yields

hitro izgubljajo trdnost pri segrevanju na povišane temperature.

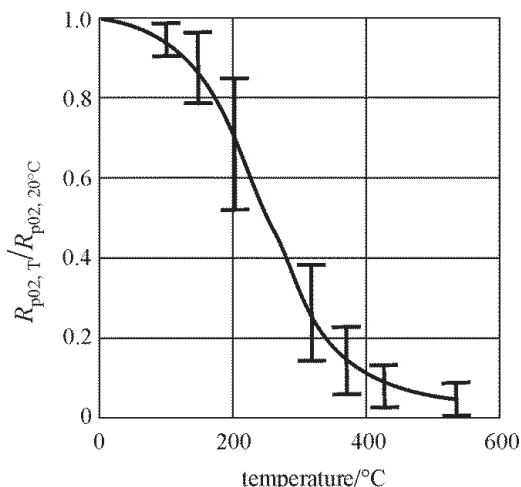


Figure 1. Spreminjanje napetosti tečenja aluminijevih zlitin s temperaturo [2]

Figure 1. Variation of the yield strength with temperature of aluminium alloys [2]

Zlitina 2618 Hiduminium RR 58

Zlitina 2618 je temeljna primerjalna zlitina za uporabo pri povišanih temperaturah. Slika 2 kaže njene značilne lastnosti pri teh temperaturah. Njena kemijska sestava v masnih deležih je 0.18% Si; 2.30% Cu, 1.60% Mg, 1.1% Fe, 1.0% Ni and 0.07% Ti [3]. V stanju T6 je utrjena z izločki S' (Al_2CuMg).

Pri izpostavitvi povišanim temperaturah začne ob enourni izpostavitvi izgubljati trdnost nad 175 °C, medtem ko začne trdnost pojmati že pri temperaturah nad 100 °C, ko je zlitina izpostavljena povišani temperaturi 1000 h (Fig. 2).

Desni diagram na Fig. 2 prikazuje spreminjanje napetosti tečenja po izpostavitvi temperaturam 200 °C in 250 °C v odvisnosti od časa izpostavitve, pri čemer se močnejše zmanjšanje napetosti pojavi

strength. This clearly shows that typical aluminium alloys rapidly lose their strength when heated to higher temperatures.

Alloy 2618 Hiduminium RR 58

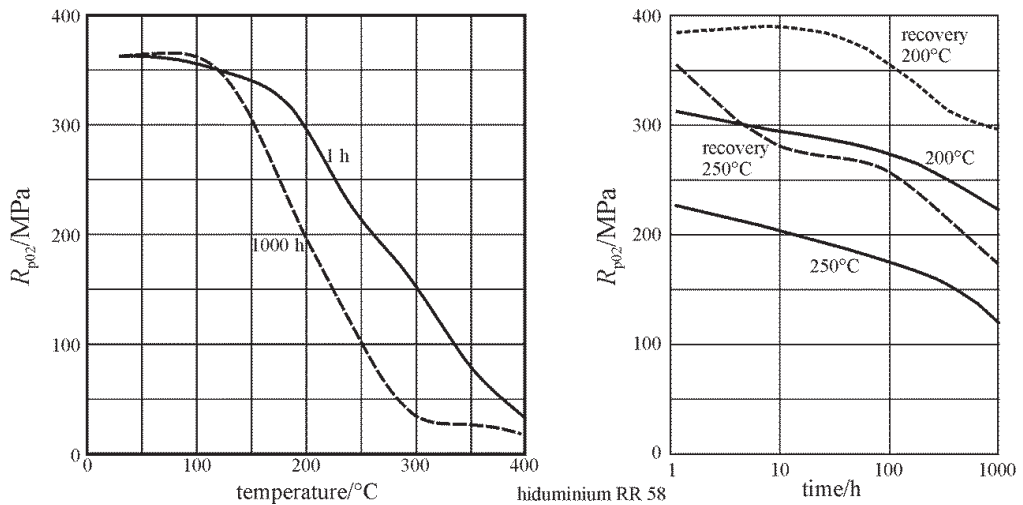
The alloy 2618 presents a benchmark for Al-alloys used at elevated temperatures. Figure 2 shows typical high temperature properties. The chemical composition in wt.% is 0.18% Si; 2.30% Cu, 1.60% Mg, 1.1% Fe, 1.0% Ni and 0.07% Ti [3]. In the T6 condition, the alloy has S' (Al_2CuMg) precipitates.

When the alloy is exposed to an elevated temperature for 1 h, the strength starts to drop rapidly above 175 °C, while the strength drops rapidly at temperatures as low as 100 °C, when the alloy is exposed to this temperature for 1000 h (Fig. 2).

The right diagram in Fig. 2 shows the variation of yield strength after exposure to 200 °C and 250 °C, where stronger reduction of properties occur at exposure longer than 100 h. Fig. 3 shows typical creep curves.

Casting alloys

Nasa developed a series of Al-Si alloys having improved mechanical properties at elevated temperatures. The patented composition of the alloy in the weight percentages is: 6.0-25.0 % Si, 5.0-8.0%Cu, 0.05-1.2% Fe, 0.5-1.5 %Mg, 0.05-0.9%Ni, 0.05-1.2 % Mn, 0.05-1.2% Ti, 0.05-1.2%Zr, 0.05-1.2%V, 0.05-0.9 %Zn, 0.001-0.1 % Sr, 0.001-0.1 % P, and the balance is aluminium [4]. The aluminium alloy contains a simultaneous dispersion of three types of Al_3X compound precipitates ($\text{X}=\text{Ti}$, V, Zr) having a L1_2 crystal structure. These precipitates are coherent with the aluminium matrix. One of the very known alloys is Nasa



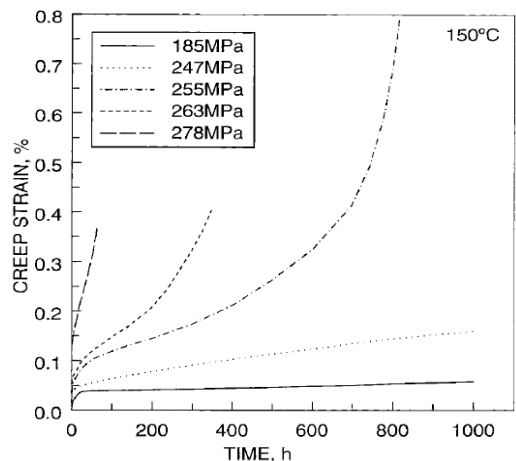
Slika 2. Visokotemperaturne lastnosti gnetne zlitine 2618 (Hiduminium RR 58), ki je primerjalna zlitina za temperaturno obstojne aluminijeve zlitine. a) Spreminjanje napetosti tečenja s časom in temperaturo (preizkusi so bili izvedeni pri povišani temperaturi b) Spreminjanje napetosti tečenja pri 200 °C in 250 °C (polne črte), in pri sobni temperaturi po izpostavitvi povišanih temperaturi (rekuperacija); rekuperacija 200 °C in 250 °C. [1]

Figure 2. The elevated temperature of the wrought alloy 2618 (Hiduminium RR 58), which represents a benchmark for heat resistant aluminium alloys. a) Dependence of the yield strength from time and temperature (the test were carried out at elevated temperature. b) Variation of yield strength at 200 °C and 250 °C (full lines), and at room temperature after exposure to elevated temperature; recovery 200 °C and 250 °C. [1]

po 100 h. Slika 3 prikazuje značilne krivulje lezenja.

Livne zlitine

Nasa je razvila serijo zlitin Al-Si, ki imajo izboljšane mehanske lastnosti pri povišanih temperaturah. Sestava patentirane zlitine je 6,0–25,0 % Si, 5,0–8,0%Cu, 0,05–1,2% Fe, 0,5–1,5 %Mg, 0,05–0,9%Ni, 0,05–1,2 % Mn, 0,05–1,2% Ti, 0,05–1,2%Zr, 0,05–1,2%V, 0,05–0,9 %Zn, 0,001–0,1 % Sr, 0,001–0,1 % P, razlika je aluminij [4]. Aluminijeva zlitina vsebuje disperzijo treh vrst izločkov Al_3X , kjer je $X = Ti, V, Zr$, ki imajo kristalno zgradbo $L1_2$. Ti izločki so koherentni z aluminijevo osnovo. Ena od zelo znanih zlitine je Nasa 238, ki ima pri 315 °C napetost tečenja 124 MPa in natezno trdnost 152 MPa.



Slika 3. Lastnosti lezenja preoblikovalne zlitine 2618 (Hiduminium RR 58) [1]

Figure 3. Creep properties of the wrought alloy 2618 (Hiduminium RR 58) [1]

Ave in sodelavci [5] so razvili novo evtektično aluminijevo zlitino Al-Cu-Si, ki lahko vsebuje do 1,5 % Ni in je primerna za uporabo v temperaturnem območju 300–400 °C. Sestava zlitine je Al-27%Cu-5%Si, ter do 1,5 % Ni. Pri strjevanju poteka ternarna evtektična reakcija $L \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{Cu} + \alpha(\text{Al}) + \beta(\text{Si})$. V zlitini, ki vsebujejo Ni, se pojavi še ternarna intermetalna spojina $\text{Al}_7\text{Cu}_4\text{Ni}$ forms. Zlitina ima kar dobre trdnostne lastnosti pri 300 °C in 400 °C (300 °C: $R_{p0.2} = 267 \text{ MPa}$, $R_m = 272 \text{ MPa}$, $A = 4 \%$; 400 °C: $R_{p0.2} = 80 \text{ MPa}$, $R_m = 104 \text{ MPa}$, $A = 7 \%$). Te zlitine so precej boljše kot v primerjalni zlitini A319 (8,6 Si; 3.8 Cu; 0.3 Mn, 0,05 % Cr, 0,023 % Ni, 0,015 % Pb, 0,012 % Sr, 0,013 % Ti) z $R_{p0.2} = 91 \text{ MPa}$, $R_m = 85 \text{ MPa}$, $A = 8 \%$ at 300 °C in 400 °C: $R_{p0.2} = 25 \text{ MPa}$, $R_m = 25 \text{ MPa}$, $A = 43 \%$ pri 400 °C.

Casari in sodelavci [6] so študirali vpliv do 2 % Ni na mikrostrukturo in mehanske lastnosti zlitine A356 pri povišanih temperaturah. Ugotovili so, da dodatek Ni višji od 0.5 % zmanjša napetost tečenja $R_{p0.2}$ in natezno trdnost R_m v stanju T6. Zlitina z 0.5 % Ni je imala $R_{p0.2} = 180 \text{ MPa}$, $R_m = 190 \text{ MPa}$, $A < 4 \%$ at 235 °C. Te lastnosti so bile podobne kot v standardni zlitini A356.

Bogdanoff in sodelavci [7] so raziskovali vpliv Co in Ni na mikrostrukturo in mehanske lastnosti hipoevtektične zlitine Al-Si7 pri sobni in povišanih temperaturah. Ugotovili so, da Co in Ni spremenita morfologijo evtektičnega silicija, ki ga lahko dodatno oplemeniti še Sr. Toda velikost kristalnih zrn se je povečala ob dodatku Co in Ni. Skupen dodatek Co in Ni je povišal R_m pri 230 °C za 32 %, kar je okoli 100 MPa. 1000-urna izpostavitve pri 240 °C je zmanjšala natezno trdnost na 60–70 MPa.

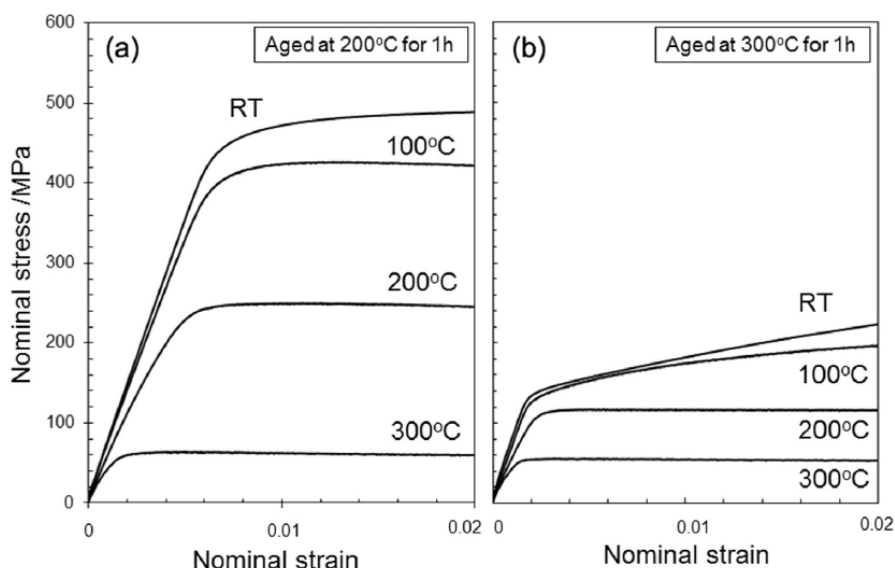
Jeong [8] je študiral učinek Cu, Ni in Ti na visokotemperaturne mehanske lastnosti zlitine za bate, ki je v bistvu zlitina na osnovi Al-Si (11.75–12.21 % Si). Ugotovil je, da se

238. At 315 °C, its yield strength is 124 MPa and tensile strength 152 MPa.

Ave et al. [5] have developed a new eutectic Al-Cu-Si, which can also contain up to 1.5 % Ni for high temperature performance from 300 °C to 400 °C. The composition of the alloy is Al-27%Cu-5%Si, with up to 1.5wt.% Ni. During solidification occurs a ternary eutectic reaction $L \rightarrow \theta\text{-Al}_2\text{Cu} + \alpha(\text{Al}) + \beta(\text{Si})$. In the Ni-bearing alloy also a ternary intermetallic compound $\text{Al}_7\text{Cu}_4\text{Ni}$ forms. The alloy has rather high tensile properties at 300 °C and 400 °C (300 °C: $R_{p0.2} = 267 \text{ MPa}$, $R_m = 272 \text{ MPa}$, $A = 4 \%$; 400 °C: $R_{p0.2} = 80 \text{ MPa}$, $R_m = 104 \text{ MPa}$, $A = 7 \%$). This values are rather different in comparison to A319 alloy (8.6 wt.% Si; 3.8 wt.% Cu; 0.3 wt.% Mn, 0.05 wt.% Cr, 0.023 wt.% Ni, 0.015 wt.% Pb, 0.012 wt.% Sr, 0.013 wt.% Ti) with $R_{p0.2} = 91 \text{ MPa}$, $R_m = 85 \text{ MPa}$, $A = 8 \%$ at 300 °C and 400 °C: $R_{p0.2} = 25 \text{ MPa}$, $R_m = 25 \text{ MPa}$, $A = 43 \%$ at 400 °C.

Casari et al. [6] studied the effect of up to 2 wt.% Ni on the microstructure and high-temperature mechanical properties of A356 alloy. They found that Ni contents higher than 0.5 wt % yield a significant reduction in both $R_{p0.2}$ and R_m the T6 heat-treated alloys. The alloy with 0.5 wt.% Ni possessed $R_{p0.2} = 180 \text{ MPa}$, $R_m = 190 \text{ MPa}$, $A < 4 \%$ at 235 °C. These properties were almost the same as in standard A356 alloy (Fig. 4).

Bogdanoff et al. [7] studied the effect of Co and Ni additions on the microstructure and mechanical properties of a hypoeutectic Al-Si7 alloy at room and elevated temperatures. They found that Co and Ni modified the eutectic silicon morphology, which can be further refined by the addition of Sr. However, the grain sizes increased by the additions of Co and Ni. The combined additions of Co and Ni increased R_m at 230 °C for 32 %, which was approximately 100 MPa. An exposure in duration of 1000



Slika 4. Lastnosti zlitine Al-Mn-Zn alloy. a) Staranje pri 200 °C, 1h, b) Staranje pri 300 °C, 1 h [9].

Figure 4. Properties of the Al-Mn-Zn alloy [9]. a) Ageing at 200 °C for 1 h, b) ageing at 300 °C for 1 h.

lastnosti močno povečajo pri dodatku teh zlitinskih elementov.

Takata in sodelavci [9] so razvili novo temperaturno obstojno zlitino Al-Mn-Zn alloy. To zlitino utrjujejo izločki $T\text{-Al}_6\text{Mg}_{11}\text{Zn}_{11}$ pri povišanih temperaturah. Preiskovana zlitina, ki je bila predstarana 1 h pri 200 °C je imela visoko napetost tečenja 260 MPa pri 200 °C. To je precej več kot običajne Al-zlitine (Fig. 4).

Druge aluminijeve zlitine

Zlitine Al-Cu-Li spadajo med najbolj perspektivne preoblikovalne toplotno obstojne aluminijeve zlitine. Balducci in sodelavci [10] so raziskali toplotno stabilnost toplotno obdelovalne zlitine 2099 v stanju T83. Po daljšem prestaranju je imela zlitina Al-Cu-Li boljše lastnosti kot aluminijeve zlitine za uporabo pri povišanih temperaturah, zraven tega pa je njena prednost, da ima še manjšo gostoto.

h at 240 °C reduced the tensile strength to 60–70 MPa.

Jeong [8] studied the effect of Cu, Ni and Ti on high-temperature mechanical properties for piston alloy, which is in fact an eutectic Al-Si alloy (11.75–12.21 wt.% Si). He found that the properties at elevated temperatures considerably increased with increased quantity of alloying elements.

Takata et al. [9] developed a novel heat-resistant aluminum alloy Al-Mn-Zn alloy. This alloy is strengthened by $T\text{-Al}_6\text{Mg}_{11}\text{Zn}_{11}$ precipitates at elevated temperatures. The investigated alloy (pre-aged at 200 °C for 1 h) exhibited high yield strength of approximately 260 MPa at 200 °C, much higher than those of the conventional Al alloys (Fig. 4).

Other Al-alloys

The Al-Cu-Li alloys belong to the most perspective wrought aluminium heat-

Ugotovili so, da 24-urna izpostavitve zlitine AA 2099 temperaturi 305 °C zmanjša R_m pri sobni temperaturi s 635 MPa na 266 MPa (72 HV), medtem ko pri zlitini AA2618 s 423 na 231 MPa (62 HV).

V zadnjem obdobju je v velikem interesu izboljšati lastnosti aluminijevih zlitin z dodajanjem skandija. Airbus je razvil več zlitin Al-Mg-Sc, med katerimi je povsem dozorela zlitina 5028 [11]. Te zlitine izdelajo z litjem na vrteče se kolo, visokotemperaturno ekstruzijo, valjanjem in toplotno obdelavo. Zlitine so utrjene z izločki Al_3Sc or $Al_3(Sc,Zr)$. Za zlitine so značilne visoka trdnost, velika toplotna stabilnost, dobra varivost in odlična korozijska obstojnost. Značilne lastnosti pri sobni temperaturi so $R_{p0.2} = 325$ MPa, $R_m = 400$ MPa, $A = 12$ %.

V ternarni zlitini Al-Cu-Mn nastanejo izločki $T-Al_{20}Mn_3Cu_2$ med toplotno obdelavo T5. Ti so toplotno stabilni pri povišanih temperaturah in lahko zagotovijo dobro toplotno obstojnost [12]. Belov in sodelavci so v zlitine Al-Cu-Mn dodajala Sc in Zr [13]. Poleg izločkov $T-Al_{20}Mn_3Cu_2$ so pri toplotni obdelavi T5 nastali tudi lupinasti izločki $Al_3(Sc,Zr)$, ki so še dodatno povečali trdnost in toplotno obstojnost. Zupanič in sodelavci [14] so odkrili kroglaste kvazikristalne izločke v zlitinah Al-Mn-Cu, ki vsebujejo tudi manjši delež Be. Kvazikristalni izločki se transformirajo v $T-Al_{20}Mn_3Cu_2$ v $T-Al_{20}Mn_3Cu_2$ nad 450 °C. Ne glede na to lahko zagotovijo odlične visokotemperaturne lastnost najmanj do 350 °C.

Kvazikristali lahko nastanejo tudi med hitrim strjevanjem (pri litju na vrteče se kolo ali pri atomizaciji taline). Deli se lahko izdelajo ali s postopki prašne metalurgije s postopkom ekstruzije ali po drugih postopkih. Huo in Mais [15] sta poročala, da imajo lahko nekatere zlitine pri 400 °C natezno trdnost okoli 250 MPa.

Zelo trdne in toplotne obstojne zlitine je možno izdelati z naprševanjem. Yan

resistant alloys. Balducci et al. [10] studied the thermal stability of T83 heat-treated 2099 alloy. After prolonged overaging, the alloy exhibited a better performance compared to aluminium alloys specifically developed for high temperature applications, with the advantage of a considerable lower density. They found that exposure to 305°C for 24 h reduces the R_m at room temperature from 635 MPa to 266 MPa (72 HV) AA 2099, and by AA2618 from 423 to 231 MPa (62 HV).

Over the last period, there is a great interest in improving properties of aluminium alloys with additions of scandium. Airbus developed several Al-Mg-Sc alloys, from which the alloy 5028 reached the status of maturation [11]. These alloys are produced by melt spinning, elevated temperature extrusion, rolling and heat treatment. They are strengthened by Al_3Sc or $Al_3(Sc,Zr)$ precipitates. The alloys are characterized by high-strength, high thermal stability, good weldability and excellent corrosion resistance. The typical properties at room temperature are $R_{p0.2} = 325$ MPa, $R_m = 400$ MPa, $A = 12$ %.

In the ternary Al-Cu-Mn, $T-Al_{20}Mn_3Cu_2$ precipitates formed during T5 heat treatment. They are thermally stable at higher temperatures and can provide good heat resistance [12]. Belov et al. added Sc and Zr to Al-Cu-Mn alloys [13]. In addition to $T-Al_{20}Mn_3Cu_2$ precipitates, also core-shell $Al_3(Sc,Zr)$ precipitates during T5 heat treatment, which additionally increased strength and heat resistance. Zupanič et al. [14] discovered that spherical quasicrystalline precipitates can form during T5 heat treatment in cast Al-Mn-Cu alloy that contain a small amount of Be. The quasicrystalline precipitates transform to $T-Al_{20}Mn_3Cu_2$ above 450 °C. Nevertheless, they can provide excellent high temperature properties up to 350 °C.

in sodelavci [16] poročajo, da ima zlitina sestavljena iz 8,5 % Al, 8,5 Fe, 1,3 V in 1,7 % Si [zlitina FVS0812] pri 450 °C natezno trdnost kar 70 MPa. V tem primeru so bili deli izdelani z naprševanjem, ekstruzijo in končnim valjanjem.

Pomen dodajalnih tehnologij narašča. Pri kovinskih materialih je osnova droben kovinski prah (kroglasti delci s premerom 20–40 mm). S selektivnim laserskim taljenjem (SLM) se lahko izdelajo zahtevne oblike. Pri selektivnem laserskem taljenju laser tali prah v plasteh. Poleg tega, da nastanejo zahtevne oblike, je dosti raziskav usmerjenih v to, kako izdelati načrtovano mikrostrukturo in lastnosti [17].

Obstojnost pri povišanih temperaturah se lahko doseže tudi z izdelavo kompozitov z aluminijevo osnovo. Primer je izdelava zlitin, ki ji dodajo CoNi delci [18].

Zaključna misel

Razvoj toplotno obstojnih Al-zlitin je dobil pospešek v zadnjih letih. Uporabijo se lahko v vesoljski in avtomobilski industriji, vse več aplikacij pa je v gradbeništvu, predvsem na področju ognjevarnih zlitin.

Najpomembnejše lastnosti so trdnost pri povišanih temperaturah, rekuperativna trdnost (trdnost pri sobni temperaturi po izpostavitvi na višjo temperaturo) in odpornost proti lezenju. Primerjava zlitin, ki so dostopne v literaturi, ni preprosta, kajti vplivni parametri testiranja navadno niso enaki. Potrebno je poudariti, da je visokotemperaturna trdnost odvisna od več dejavnikov, kot so hitrost segrevanja, čas zadrževanja na temperaturi preizkušanja ter hitrost deformacije.

Več Al-zlitin lahko zdrži mnogo višje temperature kot konvencionalne aluminijeve zlitine, ki izgubijo večino trdnosti pri segrevanju nad 250 °C. Mnoge od teh

Quasicrystals can also form during rapid solidification (melt spinning or melt atomisation). The parts can be produced via powder metallurgy route with further extrusion or other compaction methods. Huo and Mais [15] reported that the alloy has tensile strength at 400 °C as high as 250 MPa.

Very strong and heat resistant alloys can be produced by spray deposition. Yan et al. [16] reported that the Al-alloy with 8.5 wt.% Fe, 1.3 wt.% V and 1.7 wt.% Si [alloy FVS0812] possessed the tensile strength as high as 70 MPa at 450 °C. In this case the parts were produced by spray deposition, extrusion and rolling to the final size.

Additive manufacturing has been gaining importance. In case of metals, the basic material is fine metallic powder (spherical with diameters in the range 20–40 mm). Selective laser melting (SLM) can produce intricate shapes. By SLM, the laser melts the powder in layers. In addition to obtain very complex shapes, there are also many investigations how to design a microstructure and mechanical properties [17].

High temperature resistance can be also achieved by production of aluminium matrix composites. An example is manufacturing of alloys with CoNi particles [18].

Concluding remarks

The development of heat resistance Al-alloys obtained impetus over the last years. They can be applied in the aerospace and automotive industries, and the application are more often in construction, especially as fire resistant alloys.

The most important properties are strength at elevated temperatures, recovery strength (strength at room temperature after the exposure to an elevated temperature)

so bile izdelane v laboratorijskem okolju, zato bo za njihov prenos v tehnično prakso potrebnega še nekaj časa. Kljub vsemu nastajajo obširni znanstveni temelji, ki lahko prinesejo pozitivne učinke na različnih področjih uporabe aluminijevih zlitin.

and creep resistance. Comparison between alloys published in the literature is not straightforward because testing conditions are usually not equal. It is important to stress that high-temperature strength depends on the heating rate, soaking time at the testing temperature and the strain rate during testing.

Several Al-alloys can withstand much higher temperatures than classical aluminium alloys that lose the most of their strength when heated to temperatures above 250 °C. Most of them were made in the laboratory scale, thus, for the application in the practise they will need some times. Nevertheless, there is a scientific basis for use of aluminium alloys at higher temperature, which can bring several benefits in different areas of application.

Viri / References

- [1] J.S. Robinson, R.L. Cudd, J.T. Evans, Creep resistant aluminium alloys and their applications, *Mater. Sci. Technol.*, 19 (2003) 143-155.
- [2] J.G. Kaufman, Properties of aluminium alloys – Tensile, creep and fatigue data at high and low temperatures, ASM international, Metals Park, 1999.
- [3] Hiduminium technical data, Slough, High Duty Alloys, 1967.
- [4] J.A. Lee, P.-S. Chen, High strength aluminum alloy for high temperature applications in, United States of America, 2005.
- [5] S.A. Awe, S. Seifeddine, A.E.W. Jarfors, Y.C. Lee, A.K. Dahle, Development of new Al-Cu-Si alloys for high temperature performance, *Advanced Materials Letters*, 8 (2017) 695-701.
- [6] D. Casari, F. Poli, M. Merlin, M.T. Di Giovanni, Y. Li, M. Di Sabatino, Effect of Ni additions on A356 alloy's microstructure and high-temperature mechanical properties, *La Metallurgia Italiana*, (2016).
- [7] T. Bogdanoff, A.K. Dahle, S. Seifeddine, EFFECT OF CO AND NI ADDITION ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES AT ROOM AND ELEVATED TEMPERATURE OF AN Al-7%Si ALLOY, *Int. J. Met.*, 12 (2018) 434-440.
- [8] C.Y. Jeong, Effect of Alloying Elements on High Temperature Mechanical Properties for Piston Alloy, *Mater. Trans.*, 53 (2012) 234-239.
- [9] N. Takata, M. Ishihara, A. Suzuki, M. Kobashi, Microstructure and strength of a novel heat-resistant aluminum alloy strengthened by T-Al₆Mg₁₁Zn₁₁ phase at elevated temperatures, *Materials Science and Engineering: A*, 739 (2019) 62-70.
- [10] E. Balducci, L. Ceschini, S. Messieri, S. Wenner, R. Holmestad, Thermal stability of the

- lightweight 2099 Al-Cu-Li alloy: Tensile tests and microstructural investigations after overaging, *Mater. Des.*, 119 (2017) 54-64.
- [11] M. Vorel, S. Hinsch, M. Konopka, M. Scheerer, AlMgSc alloy 5028 status of maturation, in: 7TH EUROPEAN CONFERENCE FOR AERONAUTICS AND SPACE SCIENCES (EUCASS), Milan, Italy, 2017.
- [12] S.M. Dar, H. Liao, A. Xu, Effect of Cu and Mn content on solidification microstructure, T-phase formation and mechanical property of AlCuMn alloys, *J. Alloy. Compd.*, 774 (2019) 758-767.
- [13] N.A. Belov, A.N. Alabin, I.A. Matveeva, Optimization of phase composition of Al-Cu-Mn-Zr-Sc alloys for rolled products without requirement for solution treatment and quenching, *J. Alloy. Compd.*, 583 (2014) 206-213.
- [14] F. Zupanič, D. Wang, C. Gspan, T. Bončina, Precipitates in a quasicrystal-strengthened Al-Mn-Be-Cu alloy, *Mater. Charact.*, 106 (2015) 93-99.
- [15] S. Huo, B. Mais, Characteristics of heat resistant nanoquasicrystalline PM aluminum materials, *Metal Powder Report*, 72 (2017) 45-50.
- [16] Q. Yan, D. Fu, X. Deng, H. Zhang, Z. Chen, Tensile deformation behavior of spray-deposited FVS0812 heat-resistant aluminum alloy sheet at elevated temperatures, *Mater. Charact.*, 58 (2007) 575-579.
- [17] H. Zhang, D. Gu, J. Yang, D. Dai, T. Zhao, C. Hong, A. Gasser, R. Poprawe, Selective laser melting of rare earth element Sc modified aluminum alloy: Thermodynamics of precipitation behavior and its influence on mechanical properties, *Additive Manufacturing*, 23 (2018) 1-12.
- [18] S.-H. Choi, S.-Y. Sung, H.-J. Choi, Y.-H. Sohn, B.-S. Han, K.-A. Lee, High Temperature Tensile Deformation Behavior of New Heat Resistant Aluminum Alloy, *Procedia Engineering*, 10 (2011) 159-164.



Predstavitev izvlečkov predavanj iz WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019 (nadaljevanje – 3.skupina)



V tej številki podajamo še 3.skupino izvlečkov predavanj iz mednarodnega livarskega kongresa v Portorožu, kot osrednjega dogodka Društva livarjev v letu 2019:

1. J. CAMBELL, Univerza Birmingham, (Velika Britanija): Izmet jekel kot posledica napak med litjem.

Gravitacijsko litje jekla, ki uporablja preoblikovane ognjevarne keramične nalive cevi, je splošno uveljavljen postopek tehnologije litja, ki pa zahteva zelo dobro razumevanje procesa litja in strjevanja. Glavni problem pri tem litju je reakcija z zrakom na površini tekočega jekla, kar ustvarja oksidne filme. Spodnja stran teh oksidnih filmov je v popolnem kontaktu s talino. Med turbulenco ob samem litju pa ti površinski filmi ostajajo v matrici. Ob kontaktu s keramično površino nastajajo kombinirani dvojni oksidni filmi (bi filmi), ki ob strjevanju jekla povzročajo nastanek razpok v strukturi ulitka. Te napake so bili pojasnjene in slikovno predstavljene. Ob tem je bilo izpostavljeno, da tudi predhodno vakuumsko taljenje ne preprečuje nastanka teh napak, ki nastajajo med samim litjem in strjevanjem. Kljub taljenju v vakuumu, postopek litja preko keramičnih napitkov ne zagotavlja kakovosti zahtevnih jekel. Bistveno manj oksidnih vključkov bi lahko zagotavljalo elektro prekajevanje pod žlindro.

2. M. PURG, Talum d. d., Kidričevo, (Slovenija): Učinkovit poslovni model za inovativen razvoj in trajnostno rast na področju proizvodnje aluminijevih ulitkov v podjetju Talum d. d..

Za zmanjšanje vpliva borzne cene aluminija in nepredvidljivih stroškov energije, na poslovanje podjetja je Talum razvil svoj model povečanja proizvodnje izdelkov z višjo dodano vrednostjo, kot so rodnice in rodile, izmenjevalci toplote in v zadnjem desetletju tudi aluminijski ulitki. Razvoj proizvodnje ulitkov obsega tri osnovne postopke litja: gravitacijsko-nagibno, nizkotlačno in visokotlačno litje. Razvoj livarske proizvodnje je zasnovan na dosedanjih R&D osnovah: dolgoletna tradicija in znanje o Al- zlitinah, načrtovanju in proizvodnji orodij za litje, izkušnjah v proizvodnji strojne opreme in izvajanju avtomatizacije ter močan oddelek za informacijsko tehnologijo. Nadaljnje osnove te proizvodnje so v pridobljenih večletnih izkušnjah na osnovnih pomembnih področjih: poznavanje kemijskih sestav in tehnologije ter izboljšanja lastnosti Al-zlitin; lastna predelava krožnega materiala; kompleksnost livnih strojev in celic ter njihovo upravljanje ter vzdrževanje; izkušnje z avtomatizacijo in robotizacijo proizvodnje; lastna orodjarna; dosednji razvoj kontrolnih postopkov; lasten celovit informacijski sistem; obvladovanje različnih proizvodnih tehnologij; dosedanja partnerstva na področju proizvodnje aluminija in mreže povezav s potencialnimi odjemalci; inovativno in v razvoj usmerjeno podjetniško okolje.

3. J. BAST, S. POLIAKOV, Tehniška univerza Rudarska akademija, Freiberg (ZR Nemčija): Razvoj litih jeklenih komponent na osnovi programske opreme- castdesigner.

Z uporabo konvencionalnega CAD-programa so pri zahtevnih jeklenih ulitkih pogoste težave: nezadostno napajanje, višji tehnološki stroški, višja poraba taline in s tem dražji ulitki. Načrtovanje ulitkov s CAD programom ob uporabi programskega modula »castdesigner« omogoča odpravo navedenih slabosti in s tem izdelavo kakovostnejših in cenovno konkurenčnejših ulitkov. Bistvo je v zagotavljanju zaključka strjevanja v samem napajalniku in s tem v napajanju samega litega proizvoda s talino vse do zaključenega strjevanja. Programski modul »castdesigner« vključuje dovajalne modele za jeklene ulitke. Prav tako je zmožnost napajanja potrjena z interaktivno spremembo geometrije ulitka. S tem se zagotovi usmerjeno dovajanje taline v ulitek, ki se strjuje. S 3D računalniško analizo je mogoče tako dovolj natančno opredeliti pravilnost livnega sistema in tako zagotoviti kakovostno izdelavo ulitkov.

4. J. JEZERSKY¹, J.J. SZAJNAR¹, R. DOJKA^{1,2}, ¹Šlezjska tehnološka univerza, oddelek za livarski inženiring, Gliwice, (Poljska), ² Livarna RAFAMET Sp z.o.o.,Kuznia Raciborska, (Poljska): Varianta poskusa optimizacije napajalnega sistema za težke ulitke

Predstavljen je primer izboljšave dovajalnega sistema za zagotavljanje ustreznega polnjenja livne forme za izdelavo primera težkega ulitka. Upoštewane so predpostavke za zagotavljanje stabilnega pretoka litine pri ustrezni hitrosti. Prikazana sta bila nabor računalniških simulacij, ki prikazuje možnosti oblikovanja ustreznega dovajalnega sistema in analiza možnih rešitev. Ob tem je ključen parameter tekočnosti, še posebej pri majhnih presekih. Razvita je metoda tekočnosti, katere najpomembnejša lastnost je enaka površina preseka ob spreminjanju dimenzij stranic kvadrata. Razlika obsega vzorca namreč vpliva na modul, na trenje ob pretoku ter površino prenosa toplote med talino in formo. Izveden je bil preizkus ocene tekočnosti litine za primere ozkega dovajalnega sistema. Izvedeni so preizkusi v sami livarni, ki obetajo rešitev v praksi litja težkih ulitkov iz železovih litin in jeklene litine.

5. R. RUDOLF¹, T. RAVLAN², G. LOJEN¹, I. ANŽEL¹, P. MAJERIČ¹, J. MELE³, E. HUDRAP², ¹ Univerza v Mariboru, ² SIJ Ravne Systems d.o.o., ³ CPPE d.o.o., (Slovenija): Razvoj naprednega orodnega jekla za najzahtevnejše aplikacije v industriji.

Predstavljene so bile smernice za izpeljavo postopkov razvoja novega jekla, ki imajo temelj v karakterizaciji mikrostrukture in identifikaciji ključnih lastnosti. Razvoj je povezan z ugotavljanjem bistvenih lastnosti orodnega jekla, ki predstavljajo konkurenčno prednost v primerjavi z ostalimi konvencionalnimi jekli, kot so: udarna žilavost, natezna trdnost in rezilna sposobnost. V eksperimentih so za izdelavo vzorcev nožev uporabili obstoječe srednje ogljično malo legirano orodno jeklo s Cr, Mo in V in analizirali konvencionalne mehanske lastnosti vključno z udarno žilavostjo. Razvoj naprednega orodnega jekla je ciljno usmerjen na korekcije kemijske sestave in toplotne obdelave, kar bi naj rezultiralo izboljšane lastnosti.

Razvoj naprednega orodnega jekla je ciljno fokusiran na korekcijo kemijske sestave obstoječega orodnega jekla in toplotne obdelave, ki bo rezultirala v izboljšanih lastnostih orodnega jekla. Iz tega razloga je za primerjavo bil izbran referenčen nož, ki dosega najboljše rezultate. Cilj modifikacije kemijske sestave je v stabilizaciji popuščene martenzita in

doseganju mikrostrukture, ki bi zagotavljala zahtevane končne lastnosti orodnega jekla in s tem nožev.

6. P. GROENING, Hüttenes Alberus Chemische Werke GmbH, Düsseldorf, (ZR Nemčija): **Trajnostni cold –box sistemi.**

Sistemi z organskimi vezivi še vedno prednjačijo v proizvodnji jeder, zlasti velja to pri serijski izdelavi ulitkov. Zaradi vse strožjih okoljskih zahtev ter zahteve po regeneraciji uporabljenih peščenih mešanic, se družba Hüttenes Albertus ubada s trajnostnimi rešitvami s sistemi coldbox, predvsem na osnovi zmanjšanja organskih vsebnosti in zmanjšanja monomera v samem coldbox sistemu. Klasična aromatska in alifatna topila v smoli in aktivatorske komponente želijo zamenjati s silikatnimi oz. anorganskimi sestavinami. Prednosti takih silikatnih sistemov so v manj kondenzata in plinov. Odsotnost fenola in zmanjšana vsebnost formaldehida, lahko pozitivno vpliva na znižanje fenola indeksa, kar pozitivno pripomore k deponiranju uporabljenega peska na odlagališčih. Podjetju je uspelo razviti sistem veziv z manjšo vsebnostjo organskih snovi in z vsebnostjo monomera $< 1,0\%$ ponuja tudi prednosti za okoljsko pomembno označevanje pri uporabi alifatih topil. Z novo inovativno rešitvijo lahko sedaj predstavijo prvo silikatno smolo coldbox brez kakršnihkoli oznak.

7. M. GRANT, DataProphet, Cape Town, (Južnoafriška republika): **Študija vpliva livnih parametrov na dimenzije ulitkov z uporabo najsodobnejšega strojnega učenja.**

Proizvodne parametre so začeli pri posameznih ulitkih meriti in shranjevati in ob tem upoštevati tudi podatke elementov, ki so bili zavrnjeni ali ponovno obdelani. Te informacije se nato uporabljajo za spoznavanje elementov nenadzorovanega modela. Izkorišča se poglobljeno matematično in statistično znanje za pridobitev zgoščene stalne pridobitve parametrov, ki omogoča določanje vsakega posameznega litega elementa. Latentna upodobitev, ustvarjena z modelom, zbira elemente o litju in ulitkih, ki so bili izdelani pod podobnimi pogoji ter ločuje ulitke, izdelane pod drugačnimi pogoji. Zato lahko latentna upodobitev zbira skupke proizvodnih parametrov, ki so povzročili različne hitrosti krčenja. Iz grupiranja visokokakovostnih meritev je mogoče določiti najprimernejše pogoje za proizvodnjo določenega litega dela. Model omogoča izbiro optimalnih proizvodnih pogojev, ki so dovolj zanesljivi in upoštevajo dejanska dovoljena odstopanja v proizvodnih sistemih.

8. M.PETRIČ, R.C: KOROŠEC, M.VONČINA, P.MRVAR, S.KASTELIC, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, oddelek za materiale in tehnologijo, (Slovenija): **Uporaba 3D tiskanih polimernih modelov v livarstvu.**

Prispevek podaja raziskave različnih materialov za 3D tisk in natisnjenih modelov za uporabo pri različnih tehnologijah litja. Za izdelavo modelov sta bili uporabljeni dve tehnologiji 3D tiskanja: tehnologija ciljnega nalaganja materiala (FDM) in stereolitografska tehnika (SLA). Natisnjeni so bili trije različni materiali: material na osnovi polilaktične kisline (PLA), material na osnovi polivinil alkohola (PVA) in material na osnovi akrilatne fotosenzitivne smole (Castable). Natisnjeni vzorci so bili analizirani z metodami: diferenčna vrstična kalorimetrija (DSC), dilatometrijska analiza ter določevanje vsebnosti pepela. Materiali so bili analizirani glede uporabnosti pri precizijskem litju. Rezultati so pokazali, da sta temperaturi tališča PLA in PVA materialov nižji kot pri smoli Castable in znašata med

140 in 180 °C , kar je primerno za proces izžiganja modela. Prav tako je toplotna razteznost navedenih dveh materialov ugodna, saj pri segrevanju do 120 °C ne izkazujeta znatnega širjenja, nasprotno pa to kaže smola Castable. Delež pepela je bil največji pri PLA, manjši pa pri PVA in Castable. Rezultati raziskav so tako pokazali, da je za proizvodnjo modelov za precizijsko litje najugodnejši material PVA.

9. B. BAUER, I. M. POKOPEC, M. ŠABAN , Univerza v Zagrebu, Zagreb, (Republika Hrvaška): **Vpliv hitrosti ohlajanja na lastnosti duktilne litine z večjo vsebnostjo silicija.**

Večja vsebnost silicija v duktilni litini z namenom boljših mehanskih lastnosti in boljšimi lastnostmi za mehansko obdelavo, je rezultirala s tremi novimi razredi popolnoma feritne duktilne litine v evropskem standardu EN-1563:2012. Kombinacijo z dobro natezno trdnostjo in višjim raztezkom je možno doseči z utrditvijo feritne matrice s silicijem v mejah med 3 in 4,3 ut.%. Ta kombinacija lastnosti v duktilni litini omogoča zmanjšanje debeline sten ulitka in s tem možnost nadomestitve jeklenih ulitkov z ulitki iz duktilne sive litine. Podana je predstavitev raziskav vpliva hitrosti ohlajanja in visoke vsebnosti silicija na mikrostrukturo in mehanske lastnosti. Rezultati raziskav dajejo naslednje zaključke: silicij poviša natezno trdnost in mejo plastičnosti duktilne litine, previsok delež silicija pa ima negativen vpliv na morfologijo grafita, večja hitrost ohlajanja povišuje natezno trdnost in raztezek, nižja hitrost ohlajanja (debelejše stene ulitkov) pa kaže negativen vpliv na mehanske lastnosti.

10. R. LUMLEY, A.W. Bell Pty.Ltd, Dandenong, (Avstralija): Ocena mehanskih lastnosti in kakovosti ulitka pri precizijskem litju duktilne litine.

Za razliko od litja duktilne litine v peščene forme se precizijsko litje duktilne litine izvaja v keramične lupine, ki so predogrete do visokih temperatur(npr. 700-1000 °C). Zaradi vročih form je nižja hitrost ohlajanja ulitih delov, kar ima za posledico tendenco nastanka perlitnih struktur. Tipični precizijsko uliti deli imajo težo med 20 in 60 kg in možno je ulivati izdelke z debelino stene navzdol do 1mm. V aplikativni raziskavi so bili primerjani rezultati proizvodnje vzorcev za več kot 40 po kemični sestavi različnih talin. Predstavljeni so vzroki rezultatov (visoka in nizka duktilnost, visoka in nizka trdnost, kombinacija visoke trdnosti in duktilnosti ter nizke trdnosti in duktilnosti) glede na vsebnost ogljika, žvepla in magnezija, kot tudi elementov ki tvorijo perlitne strukture(baker, kositer).Raziskave so pokazale, da na podlagi znanih kemijskih sestav, obstaja enostaven način napovedovanja mehanskih lastnosti. Predlagan je model za kvalifikacijo vloge posameznih elementov za doseganje specifičnih razredov duktilne litine in kako lahko na kakovost znatneje vpliva prisotnost napak (Mg oksidni filmi, neustrezna morfologija ogljika, vpliv vsebnosti ogljika na delež perlita in ferita). Predstavljene so metode za doseganje visoke ravni duktilnosti ob sočasno visoki trdnosti.

11. M. GOŠNJAK, N.R. BOBEK, Weiler Abrasives d.o.o., Maribor, (Slovenija): Izboljšana produktivnost brušenja v livarstvu z novo generacijo superabrazivnih orodij.

Tudi v livarstvu se z uvajanjem visoke stopnje avtomatizacije pri odstranjevanju ostankov litja uvaja robotizacija. Avtomatizirana proizvodnja zahteva stabilno brusno orodje, s čim manj zastojev oz. menjav, k čemur lahko svoje prispeva predvsem dolga življenjska doba ustreznega brusnega orodja. V podjetju Weiler Abrasives (prej Swaty) so v sodelovanju z livarno Titan Kamnik, pristopili k razvoju brusnega orodja za brušenje srha

ulitkov iz visokokakovostne bele temprane litine. Razvoj brusnega orodja je bil osredotočen na veliko- serijske izdelke- spojni elementi za povezovanje cevi (fitingi).Pri tem so izhajali iz že obstoječe tehnologije brušenja. Cilj je bil izdelava novega brusnega orodja s povečano obstojnostjo, skrajšanje časa brušenja in zmanjšanje števila zastojev in s tem upravičiti robotizacijo brušenja ulitkov. V predavanju je bil predstavljen razvit novi super brusni kolut z diamantnim nanosom podjetja Weiler Abrasives. Novo superabrazivno brusno orodje ima v primerjavi s klasičnimi smolno vezanimi brusi ter brusnimi trakovi in diamanti v galvanski vezi , daljšo življenjsko dobo, omogoča večjo produktivnost in nižje stroške obdelave.

12. C. BLEICHER, Frauenhofer inštitut za strukturno trajnost in zanesljivost sistema LBF, Darmstadt, (ZR Nemčija): Ocena cikličnega ponašanja nepravilnosti v materialu pri debelostenski nodularni litini s pomočjo neporušnih raziskav.

Pri velikih ulitkih in različnih debelinah sten ulitkov iz nodularne litine, je mogoče nepravilnosti, kot so skrčevalna poroznost in delci žlindre, zlahka odkriti z metodami neporušnega testiranja (NDT). Trenutni standardi in smernice preiskav ne omogočajo nedvoumne ocene o življenjski dobi določenega izdelka oz. komponente. Odstranjevanje lokalnih napak je le delna rešitev in ni nedvoumen odgovor o pričakovani življenjski dobi take komponente. Namen predstavljenih raziskav je bil poiskati ustrezne metode neporušnega testiranja za določanje življenjske dobe ulite komponente. V okviru raziskav so bili izdelani veliki liti bloki iz različnih nodularnih litin in dovolj velikimi območji napak zaradi skrčevalne poroznosti in vključkov žlindre. Ti bloki so bili raziskani z različnimi metodami neporušnih raziskav: ultrazvočno vzorčenje faznih nizov in ultrazvočne mehanske preiskave, magnetne preiskave, računalniška tomografija, testi prisotnosti žvepla, vse z namenom pridobitve digitaliziranih informacij o položaju in lastnostih napake. Vzorci z napakami so bili izrezani in testirani z mehanskimi statičnimi in dinamičnimi preizkusi. Tako so lahko določili posebne parametre nepravilnosti in te digitalno prenesli v številčne analize in nato uporabili pri oceni utrujenosti posamezne komponente.

13. M. VARGAS, Hüttenes Albertus, France S.A.R.L., (Francija): PENTEX-izboljšanje kakovosti proizvodov.

V prihodnosti bodo za izdelavo peščenih jeder na evropskem tržišču uspela samo tista veziva, ki bodo omogočala visoko zmogljivost ob nizkem dodatku veziva ,majhni stopnji onesnaževanja okolja ter hkrati imela kratke čase dobav za livarne. Pri konvencionalnih poliuretanskih sistemih, ki ne zahtevajo termične obdelave (no bake) je pogosta uporaba aromatičnih ogljikovodikov z nizko vsebnostjo naftalenskih ali tetraetilortosilikatnih topil. TetraEthylorthOSilicate (TEOS), najnovejša generacija topila za uretansko vezivo, ima anorganski del, saj njihove molekule namesto ogljikovodikov vsebujejo silicijeve vezi. Zaradi te strukture to topilo prispeva pri: izboljšavi mehanske odpornosti pri formah in jedrih ter zmanjšanju benzena, toluena in ksilena med termičnim razpadom. Najnovejša generacija poliuretanskega sistema brez peke, ki jo je razvil HA, temelji na topilih, vključno z anorganskimi sestavnimi deli (TEOS),ponuja številne prednosti med katerimi so: zmanjšanje učinka razogljčenja pri jeklenih ulitkih, zmanjšanje nevarnih emisij v livarni, zmanjšanje vonjav v primerjavi z aromatičnimi poliuretanskimi sistemi brez pečenja.

14. S. DÜWE¹, B. TONN¹, M. LIEPE², R. BÄHR², M. SCHRUMPF³, ¹ Univerza Clausthal, Clausthal, (ZR Nemčija), ² Otto Von Guericke Univerza Magdeburg, Magdeburg, (ZR Nemčija), ³ Livarna valjev in obrabno obstojne litine Quedlinburg, (ZR Nemčija): **Razvoj obrabno odporne duktilne litine s simulacijo karakterizacije osnovnega procesa in metod za preizkušanje materiala.**

Ob visokih mehanskih in termičnih obremenitvah konvencionalni materiali kot so perlitna in acikularna lita železa, zaradi slabše duktilnosti, ne prenašajo obremenitev intenzivnega valjanja. Na podlagi takšnih mejnih pogojev je bil cilj razviti duktilno litino z lastnostmi, ki bi odgovarjale vsem obremenitvam. Z neposrednimi meritvami ter simulacijami toplega valjanja so bile opredeljene časovne in geometrijske temperaturne distribucije tekom celotnega procesa valjanja. Merjenje temperature valjanca s pomočjo infrardeče kamere je omogočilo vpogled v rezultate simulacije. Z izbiro legirnih elementov in toplotne obdelave so razvili mikrostrukturo materiala, ki vsebuje bainit, avstenit in martenzit. Razvite zlitine so bile raziskane z vidika mehanskih lastnosti in analize mikrostrukture s svetlobno in elektronsko mikroskopijo. Izvedeni so bili preizkusi dilatacije, ki so omogočali optimizacijo toplotne obdelave. S primerjavo rezultatov in s pomočjo matematičnega modela so opredelili najboljšo sestavo zlitine, ki je najbolj odgovarjala toplotnim in obrabnim obremenitvam pri pogojih valjanja.

15. G. FEGYVERNEKI, M. BUBENKO, D. MOLNAR, Univerza Miskolc, Miskolc, Madžarska: **Učinek udrobnjevanja zrn na primarno strjevanje.**

Nastanek razpok v vročem v aluminijevih zlitinah je močno odvisna od števila in velikosti kristalnih zrn v primarni zgradbi. Količina titana za udrobnjevanje zrn je predpisana in se kontrolira s spektralno analizo. Namen raziskav je bil preučiti spremembe mikrostrukture z dodajanjem manjših količin predzlitine AlTi5B1. Termična analiza taline za kokilno litje glave motorja, je bila izvedena za različne sestave litine. Rezultati so potrdili pozitiven vpliv osnovnih majhnih količin dodane predzlitine na udrobnjevanje. Pri spremembah vložnega materiala in uporabi sekundarnih odpadkov, ki spreminjajo pogoje strjevanja, pa se zaradi sprememb v fazi kristalizacije pojavljajo anomalije, ki niso skladne z udrobnjevanjem strukture primarne zlitine. Zaradi tega je potrebno spreminjanje več pogojev sočasno. Raziskave so pokazale, da z dodatkom 750 g AlTi5B1/na tono predzlitine za udrobnjevanje, pozitivno vplivamo na kakovost, četudi osnovna vsebnost titana izpolnjuje zahteve livarne v zvezi s kakovostjo ulitkov.

16. Z. Z. BRODARAC, F. KOZINA, T. RUPČIČ, D. MAŠINOVIĆ, Univerza v Zagrebu, Fakulteta za metalurgijo, Sisak, (Republika Hrvaška): **Vpliv cepljenja zlitine AISi12 na razvoj mikrostrukture in na mehanske lastnosti.**

Ves širša uporaba aluminijevih zlitin v različnih industrijskih vejah je posledica izboljšav lastnosti, ki so posledica koristnih intermetalnih faz, ki nastajajo pri medsebojni reakciji s številnimi legirnimi elementi, kot so silicij, baker, magnezij, skupaj z elementi v sledih kot sta železo in mangan. Drugi pomembni elementi, kot so titan, bor, stroncij ali natrij so namerno dodani za izboljšanje lastnosti ob povečanju potenciala nukleacije in spreminjanja morfologije strukture. Ob tem je pomembna tudi hitrost ohlajanja in morebitni ostali tehnološki parametri. Predstavljena je raziskava evtektične zlitine EN AC AISi12 (EN AC 44100) z ozkim intervalom strjevanja namenjena za tehnologije hitrega

ohlajanja/strjevanja. Raziskan je bil način obdelave taline, ki z dodatkom predzlitine AlSi10 zajema spremembo evtektika. Ciljno pa je bila dodajana tudi predzlitina AlTi5B. Korelacija rezultatov je pokazala izboljšanje mikrostrukture, vendar tudi ugotovitev, da je evtektična zlitina AlSi12 zelo primerna za litje tankostenskih ulitkov s HPDC tehnologijo in ob tem ne potrebuje dodatnega oplemenitenja mikrostrukture, saj že s hitrim ohlajanjem dosežemo drobno mikrostrukturo, ki zagotavlja predvidene mehanske lastnosti.

17. V. KOLDA, Mecas ESI, Pilsen (Češka Republika): Koristi analize velikega števila podatkov pri visokotlačnem litju.

Industrija 4.0 temelji na povezavi strojev in računalnikov, ki bina osnovni zapleteni virtualni modeli omogočili optimizacijo tehnoloških postopkov in procesov. Sestavni del te industrije 4.0 je tudi velika količina podatkov, ki jih je potrebno analizirati. To je možno izvesti le z uporabo naprednih matematičnih algoritmov statistike in strojnega učenja. Tehnologija visokotlačnega litja (HPDC) je zelo dober primer za obdelavo velikega števila podatkov. Naprava za tlačno litje združuje veliko različnih sistemov (bat in hidravlika za odpiranje in zapiranje orodja, sistem za doziranje taline, hladilni grelni sistemi orodij za litje in številne druge). Ti sistemi nadzorujejo tehnološko nastavitve parametrov strojnega dela, kar je osnova za doseganje kakovostne in stabilne proizvodnje litja. Sposobnost medsebojne koordinacije vseh povezav in njihovega razumevanja vpliva na tehnološki proces in je osnova za razumevanje napak pri litju. Podjetje ESI Group je razvilo izdelek MINESET. V predstavitvi je bil prikazan rešitev Mineset za uporabo velikega števila podatkov in njene prednosti pri razumevanju povezav med temi podatki, ki izhajajo iz sistema strojnih naprav in omogočajo spremljanje kakovosti proizvedenih ulitkov.

18. P. MILANESE, M. TANGHETI, IDRA S.r.l., Travagliato, (Italija): IDRA razmišlja velikopotezno - rast in nove strategije.

Podjetje Idra je kot ugleden in dolgoleten proizvajalec strojev za visokotlačno litje uveljavilo svojo serijo novih strojev najvišjega razreda –OLCS z zaporno silo 420 do 5.500 ton, s številnimi inovacijami predvsem na sistemu injiciranja in sistemih za varčevanje z energijo ter z novimi oblikovnimi konstrukcijami. Osnovne inovacije teh naprav za visokotlačno litje so: nove rešitve za hidravlični del naprave, ki lahko prihranijo do 40% energije; stabilni pogoji injiciranja v vseh fazah, ki zagotavljajo proizvodnjo večjih strukturnih ulitkov s tanjšimi stenami; modularnost v rešitvah; razvoj celice tlačnega litja s centralnim nadzorom in vso preostalo periferno opremo; senzorska kontrola livnega bata; enostavna, hitra in avtomatizirana menjava livnih form. Idra svojo strategijo bazira na stalnih inovacijah ter popolnoma avtomatizirani in računalniško podprti proizvodnji najzahtevnejših ulitkov.

19. P. WAN, J. ZHOU, Y. LI, Y. YIN, X. PENG, X. JI, X. SHEN, Univerza za znanost in tehnologijo Huazong, Wuhan (Kitajska): Raziskava procesa toplotne dekompozicije smolnatih veziv v livarski industriji.

Tehnologija s smolo vezanega livarskega peska se zelo pogosto uporablja zaradi svoje visoke učinkovitosti, dimenzijske natančnosti ulitkov dobre kolapsibilnosti form oz. jeder in visoke stopnje recikliranja uporabljenega peska. Zaradi toplotne razgradnje smolnatih veziv, pa pogosto prihaja do določenih napak. Zaradi tega je v študijo ocene procesa toplotne razgradnje smolnatih lepil bil vključen postopek TG-DTA (Termogravimetrija - diferenčno termična analiza). Glede toplotnega razkroja so bile analizirane tri samolepilne

smole, ki se najpogosteje uporabljajo v livarski industriji in sicer v območju od 20 do 1000 °C. Nato je bil z metodo reakcijske kinetike opravljen izračun parametrov na vsaki stopnji procesa toplotne razgradnje smole. Ta študija je lahko osnova za raziskave procesa toplotne razgradnje smolnatih veziv v livarski industriji ter je lahko tudi osnova za teoretične in praktične smernice v zvezi z napakami pri ulitkih.

20. C. GAWERT, E. RIEDEL, R. BÄHR, S. SCHARF, Univerza Otto von Guericke Magdeburg, Magdeburg (ZR Nemčija): **Potencial numerično podprte ultrazvočne obdelave za proizvodnjo kompozitov z aluminijevo osnovo.**

V zadnjem obdobju je vse večje zanimanje za razvoj kompozitov z aluminijevo osnovo in delci ojačitve (AMC – Aluminium matrix composites), saj so fizikalne in mehanske lastnosti teh materialov bistveno boljše kot pri monolitnih aluminijevih zlitinah, prav tako imamo 60% prihranka pri teži v primerjavi s komponentami iz jekla ali litega železa. Problem pri izdelavi Al-kompozitov je predvsem v slabem omočenju keramičnih delcev z aluminijevo talino. Posledično pride do nizke kakovosti ulitkov. Obetavna tehnologija pa je tako imenovana ultrazvočna obdelava (UST-Ultrasonic treatment). Za uvajanje visokotlačnih ultrazvočnih valov v talino se uporablja poseben hladilni element, imenovan sonotroda. Velika tlačna nihanja povzročajo nastajanje in večanje kavitacijskih mehurčkov, ki se razpočijo, ko dosežejo kritično velikost. Udarni valovi lahko povzročijo deaglomeracijo nakopičenih keramičnih delcev. Zaradi eksponentnega nižanja tlačne amplitude, so njeni učinki vezani le na majhno območje. Preiskava ultrazvočne obdelave aluminijeve zlitine je zelo zapleten proces. Z uporabo orodja FLOW-3D za fluide (CFD-Computational fluid dynamics) bi bilo možno pripraviti model za primer procesa stalne obdelave taline in s tem omogočiti proizvodnjo AMC komponent v prihodnosti.

21. P. LARSEN, J. TROJAN, DISA Industries A/S, Taastrup, (Danska): **Sodobna izdelava form iz svežega peska za širšo uporabo v livarski industriji.**

Prispevek predstavlja tehnologijo vertikalnega formanja DISAMATIC in specifično prilagoditev potrebam manjših livarn. Manjše livarne zahtevajo kakovostne nizkocenovne naprave, ki so sposobne hitrega vračanja investicije (ROI-Return on investment). Podjetje DISA si je tako zastavilo nalogo izdelati napravo usmerjeno neposredno za operativno delo in enostavno uporabo z nizkimi proizvodnimi stroški in nizkimi vzdrževalnimi stroški, ob tem pa na osnovi izkušenj izvesti inovativen mehanski, pnevmatski, hidravlični in električni sistem. Za doslednejšo kakovost litja, ki jo želijo manjše livarne, je bila razvita naprava s samodejnim postopkom vertikalnega oblikovanja, ki izboljšuje površinsko obdelavo in natančnost. Tesne tolerance z le 0,25 mm neskladnosti, so enake prejšnji seriji DISAMATIC 2013. Takšna naprava zagotavlja dober produkt in omogoča manjši livarni konkurenčnost. Novi stroj je na voljo v dveh najpogostejših dimenzijah komor (480x600 mm in 535x650mm) ter omogoča tri različne hitrosti oblikovanja: 150, 250 in 350 form na uro. S tako izbranim strojem majhne livarne izboljšajo svojo konkurenčnost in omogočen je njihov nadaljnji razvoj.

22. T. MARUYAMA, Kansai University, Osaka (Japonska): **Potencial duktilnih zlitin z visoko entropijo kot material za litje.**

Raziskave so bile osredotočene na visoko entropijske zlitine. Zlitina CrMnFeCoNi je znana kot reprezentativna zlitina z visoko entropijo in ima edinstvene lastnosti. Natezna

trdnost in raztezek naraščata z zniževanjem temperature. Za predelavo in oblikovanje te zlitine je smiselno raziskati tehnologijo taljenja in litja. Zaradi vsebnosti Cr in Mn se zlitina med taljenjem zlahka oksidira in oksid se suspendira v staljeni kovini in povzroča težave pri strjevanju. Za preprečitev oksidacije staljene kovine je lahko učinkovit vnos elementa kot reducirnega sredstva. Prav tako je za preprečevanje večjega krčenja ulitkov med strjevanjem, učinkovit vnos elementa, ki prispeva k širjenju. Raziskava se je pri tem osredotočila na ogljik kot dodaten element, ki bi lahko rešil obe težavi. Ogljik se je dodal zlitini med taljenjem v električni peči v zaščitni atmosferi argona. V prvi fazi strjevanja je sicer prišlo do delne tvorbe karbidov. Količina karbidov se je z zmanjšanjem vpliva kroma zniževala. Tako se lahko z nadziranim dodajanjem ogljika in zmanjšanim vplivom kroma izdelata dovolj kakovostna zlitina, ki jo odlikuje visoka natezna trdnost in žilavost pri zelo nizkih temperaturah, kot je na primer temperatura tekočega dušika (77 K).

22. E. POTATURINA, K. SEEGER, Hüttenes Albertus Chemische Werke GmbH, Düsseldorf (ZR Nemčija): **Premazi za forme izdelane z aditivno tehnologijo.**

Aditivna tehnologija (3D –tiskanje) se vse pogostejše uporablja v proizvodnji. Tudi v livarstvu lahko s tem postopkom uspešno proizvajamo prototipe in manjše serije izdelkov. V primeru tiskanja forme in jedra je potrebno upoštevati veziva, ki jih je potrebno prilagajati postopku. Natisnjena jedra se redno premažejo z ognjevarnimi premazi, ne le pri jeklenih ulitkih in ulitkih iz sive litine, temveč tudi v primeru aluminijevih ulitkov. Posebna struktura površine in kompleksnost natisnjenih jeder zahtevata tudi posebne lastnosti ognjevarnih premazov in njihovo odpornost na napake. Upoštevati je potrebno tudi trdnosti v smeri različnih osi in specifične površinske strukture. Da bi uporabili zanesljive rešitve je potrebno lastnosti premazov prilagoditi značilnostim aditivne proizvodnje form in jeder. Na podlagi teh zahtev je podjetje Hüttenes Albertus razvilo povsem novo skupino ognjevarnih premazov v okviru blagovne znamke Arkopal RP, ki je namenjena aditivni proizvodnji form in jeder. Predstavljeni so bili različni primeri teh premazov.

23. N.TALIJAN¹, V.ČOSOVIĆ², ¹ Akademija inženirskih znanosti R Srbije, ² Univerza v Beogradu, Inštitut za kemijo, tehnologijo in metalurgijo (Republika Srbija): **Kakovost električnih kontaktov na osnovi srebra ob upoštevanju ustaljenih in novih alternativnih izdelovalnih metod.**

Zaradi izvrstnih funkcionalnih lastnosti se materiali za stikala na osnovi sistema Ag-CdO že daljše obdobje v veliki količinah uporabljajo v električni in elektronski industriji. Glavna omejitev uporabe teh stikal je zaradi svoje strupenosti kadmij. Direktiva EU zahteva maksimalno omejitev uporabe Cd ter predvideva uvedbo okolju prijaznejše alternative. Kot alternativa sta materiala Ag-SnO₂ in Ag-ZnO. Prednosti teh materialov so visoka temperaturna stabilnost, visoka trdnost, nižji stroški ter nepovezanost z onesnaževanjem okolja. Slabosti teh materialov pa so v slabi stabilnosti pri višjih temperaturah in slabši preoblikovalnosti, posebej še pri izdelavi iz postopka metalurgije prahov. Te slabosti je možno delno popraviti z izboljšano disperzijo oksidov in uporabo zelo drobnih oksidov. Bistveno primernejši postopek kot prašna metalurgija, pa je postopek notranje oksidacije ulitih ingotov. V tem primeru so oksidni delci dispergirani v matriki Ag. Nadaljnja izboljšava bi bila v zelo finih, ali celo nano oksidnih delcih. Obravnavane so prednosti in omejitve te metode z vidika končnih kakovosti električnih stikal Ag-MeO.

24. I. ANDREWS, Capital Refractories Ltd., Derbyshire (Velika Britanija): **MetCon G-edinstven nov koncept filtra za stroškovno učinkovito in dosledno modifikacijo toka in filtracije jeklenih in težkih železnih ulitkov.**

Filtriranje tekoče kovine je konvencionalen postopek prečiščevanja litin pred vstopom v livno votlino. Sestava filtra je odvisna od vrste lite kovine. V primeru litja jekla je filter običajno izdelan iz cirkonija ali karbonsko vezanih sestavin. V primeru litega železa je filter običajno izdelan iz silicijevega karbida. Filtri so izdelani iz pene, stisnjeni ali ekstrudirani. Vsaka vrsta filtrov je povezana s prednostmi in slabostmi. MetCon G je nova vrsta karbonsko vezanega filtra, ki zagotavlja najboljše lastnosti. Ima zgradbo rešetke, ki jo je mogoče dosledno izdelovati in omogoča optimalno hitrost pretoka. Podobno kot penasti filter omogoča visoko stopnjo učinkovitosti in spreminjanja pretoka. Nov koncept filtra omogoča različne variacije poroznosti in se le ta prilagaja določeni aplikaciji. Kompleksna notranja struktura filtra zmanjšuje kinetično energijo taline. Dosledna in ponovljiva struktura zagotavlja enako raven doslednosti kot celični filtri. Filtri so lahko izdelani iz različnih materialov.

25. A. KLIMM, Simpson Technologies GmbH, Euskirchen, (ZR Nemčija): **Nov razvoj visoko učinkovitega mešanja pri sistemih s svežim peskom.**

Konkurenčni razvojni trg zahteva za doseganje višje delovne učinkovitosti hitrejših livarskih linij. Kljub temu pa je prvotni razvoj kontinuirnega mešalnika svežega peska Simpson Multi-Mull prehitel razvoj avtomatiziranih sistemov litja in se še danes uporablja. Z napredovanjem v razvoju tipal, krmilnih sistemov, mehanskih komponent in povezanih tehnologij je kontinuirni mešalnik Simpson Multi-Mull napredoval v učinkovitosti ter zagotavlja višjo zmogljivost kot drugi šaržni mešalniki. Sodobni mešalnik Simpson Multi-Mull, s hladilnikom Simpson Multi-Cooler, še vedno sledi vsem livarskim linijam. Kontinuirani sistemi priprave peska imajo ob tem naslednje prednosti: nižji stroški kapitalne naložbe, nižje število komponent in nižji obratovalni ter vzdrževalni stroški; nižja poraba električne energije na uro obratovanja; višja kakovost ulitkov in doseganje višje kakovosti peska ob optimalni uporabi drugih surovin. Z naprednim krmilnim sistemom in sistemom za nadzor in avtomatizacijo kompaktnosti Simpson+Hartley, ima poln nadzor nad vsemi dejavniki.

26. J. ŠPORIN¹, P. MRVAR², Ž. VUKELIČ², ¹ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, oddelek za geotehnologijo, rudarstvo in okolje, ² Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, oddelek za materiale in tehnologijo, (Slovenija): **Mehanizem obrabe kotalnih dlet.**

Pri izdelavi hidroloških, naftnih, plinskih in drugih vrtin se uporabljajo kotalna dleta. Poškodovano ali izrabljeno kotalno dleto je potrebno odstraniti iz votline. Zaradi tega je podaljšanje efektivnega časa uporabe dlete zelo pomembno. Pri raziskavi so bile izvedene »in situ« spremljave vrtnih parametrov med izvajanjem vrtnih del s kotalnima dletoma Smith SB117PS premera 215,9 mm in proizvajalca Baker Hughes J3 136 premera 155,57 mm. Po izvedenem vrtnanju v mehkejših hribinah, sta bili dleti temeljito preiskani za ugotovitev poškodb in obrabe. Uporabljene so metode: analiza mikro in makrostrukture hribine in materialov kotalnih dlet z optično in elektronsko mikroskopijo, simultana termična analiza materialov kotalnih dlet, analiza kemijske sestave hribine in kotalnih dlet ter določitev geomehanskih parametrov hribine. Nastale obrabe, lokalne porušitve in razpoke so kvantitativno bile opredeljene in povezane z režimom vrtnanja in mineraloško sestavo

hribine. Ugotovljene so bile strukturne spremembe materiala kotalnih dlet ter način in potek njihove obrabe.

27. A. CZIEGLER, P. SCHUMACHER, Univerza za montanistiko, Leoben , (Avstrija): **Vidiki udrobnjevanja bakrovih zlitin .**

Udrobnjevanje s cepljenjem je že dugo predmet podrobnih preučevanj pri aluminijevih zlitinah. Bakrove zlitine so se do sedaj preučevale redkeje. Udrobnjevanje bakrovih zlitin je po dosedanjih podatkih močno odvisno od zlitinskega sistema, vsebnosti topljenca, elementov v sledi in nečistoč, pa tudi od pogojev litja. Zaradi različnih preučevanih zlitinskih sistemov, dodatka različnih legiranih elementov in spreminjajočih se pogojev litja, še vedno nimamo osnovnega znanja o mehanizmu udrobnjevanja. Za boljše razumevanje dejavnikov, ki vplivajo na velikost zrn , so v eksperimentalni raziskavi preučevali učinek omejevanja rasti ob določenih pogojih litja in standardnih preizkusih žarjenja, ob natančno določenih dejavnikih rasti in na podlagi paketov programske opreme za termodinamične izračune. Nadalje je podan pregled vpliva nekovinskih vključkov na velikost zrn pri bakrovih zlitinah.

29. A. JUG, I. ANŽEL, Univerza v Mariboru , Maribor, (Slovenija): **Vpliv pogojev strjevanja na mikrostrukturo zlitine Ag-La.**

Srebro se zaradi odlične električne in toplotne prevodnosti pogosto uporablja za izdelavo električnih kontaktnih materialov , saj izkazuje tudi dobro oksidacijsko odpornost. Pomanjkljivosti pa sta v doseganju ustreznih mehanskih lastnosti ter odpornosti površine proti pojavu obloka. Močno izboljšanje teh lastnosti pa lahko dosežemo s fino disperzijo kovinskih oksidov v volumnu Ag matice. Neskladnost na meji matica-delec omogoča sprostitvev napetostnega polja dislokacije in je zato za ločitev lokacije od delca potrebna večja sila. Oksidni delci prispevajo k gašenju obloka le, če so termično dovolj stabilni. Zaradi tega so zanimivi elementi iz skupine redkih zemelj, ki so termično dovolj stabilni. Kot primeren element je lantan, ki ni topen v srebru, kar se odraža v prisotnosti intermetalnih faz in minimalnem znižanju električne prevodnosti. La_2O_3 je termodinamsko zelo stabilen. Za tvorbo oksidov se lahko porablja postopek visokotemperaturne notranje oksidacije. Za uspešno disperzijsko utrjanje se zahteva, da so oksidni delci dovolj majhni in homogeno dispergirani. Pri tem je pomembna hitrost ohlajanja. Pri raziskavi je bila uporabljena zlitina z 2. ut. % lantana.. Raziskave so pokazale, da je možno pri zlitini Ag-La doseči ugodno mikrostrukturo le z hitrim ohlajanjem in postopkom Melt Spinning.

30. P. MARTIN, D. FRANZEN, A. BÜHRIG – POLACZEK , Livarski Inštitut RWTH Aachen University, Aachen (ZR Nemčija): **Modifikacija mehanskih lastnosti duktilne litine z visoko vsebnostjo silicija in njenim vplivom na mikrosegregacijo silicija v smeri aluminija in niklja.**

S proizvodnjo sferoidalne sive litine (SGI) s povečano vsebnostjo silicija je mogoče doseči odlično razmerje med duktilnostjo in natezno trdnostjo. Če pa skupna vsebnost silicija preseže 4,3 ut.%, se raztezek močno zmanjša. Vzrok je v nastanku FeSi superstruktur, ki zavirajo gibanje dislokacij. Do obogatitve s silicijem v primarnem avstenitu prihaja zaradi izcejanja Si. Kot posledica višjih lokalnih vsebnosti Si v bližini okroglastih grafitnih delcev, tam nastajajo superstrukture. Z raziskavami je bilo ugotovljeno, da je možno mikrosegregacijski profil Si izravnati z dodatkom aluminija. Podobno velja tudi za nikelj. V

ta namen so preizkušali različne vsebnosti Al in Ni, vključno s kombinacijami obeh. V obeh primerih je zapažen obrat profila izcejanja aluminija. Analize mikrostrukture so pokazale, da je možna večstopenjska korelacija med pojavom mikrosegregacij in mehanskih lastnosti.

**31. M. KURIŠ, D. BOLIBRUCHOVA, M. MATEJKA, Univerza Žilina, Žilina, (Slovaška):
Učinek različnih dodatkov Zr na mehanske lastnosti aluminijeve zlitine
AlSi9Cu1Mg, kise uporablja za proizvodnjo natančnih ulitkov, proizvedenih s
precizijskim litjem .**

Prispevek je osredotočen na analizo vpliva cirkonija (Zr) na lastnosti aluminijeve zlitine AlSi9Cu1Mg. Učinek Zr je bil ocenjen na podlagi sprememb mehanskih lastnosti in toplotne odpornosti ob postopnem dodajanju v korakih + 0,05 ut.%. Polovica ulitih vzorcev v poskusu vsake različice je bila toplotno utrjena s precipitacijskim utrjevanjem T6. Najboljše mehanske lastnosti se dosegajo pri različici 0,20 ut.% Zr in 0,25 ut.% Zr. Iz raziskav mikrostrukture je razvidno, da se začne faza s Zr izločati že pri 0,10 ut.%. Nad 0,20 % Zr je vidna iglasta faza z zelo finimi manjšimi razpokami. Razvoj poskusne zlitine z vsebnostjo Zr bi omogočil proizvodnjo ulitkov s tankimi stenami in višjo možnostjo toplotnih obremenitev.

Pripravila:
zasl. prof. dr. Alojz Križman
mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

**100 let podjetja
LIVARNA TITAN d.o.o.
Kamnik****Mag. Drago Brence, direktor****Razgovor z direktorjem mag. Dragom
Brencetom**

Mag. Drago Brence je vodenje podjetja Livarna Titan Kamnik prevzel leta 2010 in po dolgoletnih izgubah podjetje v naslednjih štirih letih popeljal do pozitivnih poslovnih rezultatov. Uspešnost sprememb je bila zasnovana na zmanjšanju stroškov, povečanju prodaje in skrbi za denarni tok. Zahtevala pa je veliko napora, vztrajnosti ter predvsem spremembo miselnosti in kulture podjetja. Od leta 2014 je Livarna Titan d.o.o. družinsko podjetje, ki je specializirano za proizvodnjo in obdelavo ulitkov iz kakovostne bele temprane litine, ki 90% svojih proizvodov prodaja kupcem v srednji in zahodni Evropi in je med tremi vodilnimi proizvajalci kakovostnih izdelkov iz bele temprane litine v Evropi.

LIVARNA TITAN d.o.o., praznuje letos 100 letnico svojega delovanja, ki ga je označila z motom 100 let tradicije in inovacij. S kakšno začetno proizvodnjo se lahko pohvali podjetje?

Vodna sila Kamniške Bistrice je bila konec 19. stoletja edini vir energij in je poganjala tudi mlinska kolesa. Posestvo na katerem dane stoji LIVARNA TITAN je je že leta 1896 kupil češki inženir Špalek in pričel s proizvodnjo kovinske stroke. Vendar je njegova bogata soproga avstrijskega rodu kot lastnica že leta 1908 prodala podjetje ga. Anne Hartmann, inženir Špalek pa je postal direktor tovarne. Leta 1909 pa je ga. Hartmann prodala tovarno g. Hermannu Bessemerju, ki je ustanovil družbo »Kreinische Autowaren Fabrik«. Novi lastnik je nadaljeval s proizvodnjo. Zaradi slabega pa je prišlo do prekinitve dela in je bila tovarna vse do konca 1. svetovne vojne zaprta. Začetek livarske proizvodnje je tako bil leta 1920 z namestitvijo prve kupolne peči Ø 500, za pretaljevanje sive litine. To leto velja tako tudi kot začetek livarske proizvodnje.

Leta 1922 je bila družba preimenovana v »TITAN« Hrvatsko dioničko društvo za trgovino železom Zagreb«. Leta 1925 pa je tovarno kupil OLT iz Osijeka. Proizvodnja cevnihi spojnih elementov, t. i. fittingov, se je pričela leta 1933 in to proizvodnjo so dopolnjevali z izdelavo pohištenih ključavnic, tehtnic, uteži in manjših enostavnih gospodinskih strojkov.



Začetek obratovanja prve kupolne peči za pretaljevanje sive litine leta 1920 in s tem začetek livarstva



Slika podjetja na lokaciji v Kamniku leta 1921

Po drugi svetovni vojni Titan postane državno podjetje in kasneje podjetje s samostojnim upravljanjem. Posodobljena je bila livarna in termična obdelava ulitkov in po letu 1960 sledi močno povečanje obsega proizvodnje. Ob družbenih spremembah je sledila tudi statusna sprememba in družba Titan je bila vpisana v sodni register kot delniška družba. Leta 2001 pride do izločitve livarske dejavnosti. Livarna postane hčerinska družba poslovnega sistema CIMOS in posluje z imenom CIMOS TITAN, livarna z obdelavo d.o.o.. V tem času je bila izvedena tehnološka in ekološka sanacija. Leta 2014 je CIMOS d. d. svoj 100% poslovni delež v družbi CIMOS TITAN prodal sedanjemu lastniku, ki je podjetje prevzel kot družinsko podjetje in ga preimenoval v LIVARNA TITAN d.o.o..

Danes je Livarna Titan d.o.o. med tremi vodilnimi proizvajalci ulitkov in kakovostnih izdelkov iz bele temprane litine v Evropi. Podjetje ima dve zaključeni celoti: livarno in obdelavo. Kako je mogoče, da ste iz podjetja, ki je bilo pred Vašim prihodom pred stečajem, zagotovili tako hitro preobrazbo podjetja in zagotovili njegove tržne pozicije ter v branži kakovostnih izdelkov iz bele temprane litine dosegli tako ugledno poslovno pozicijo?

Po letu 2010 je je družba sicer obdržala osnovno dejavnost litja in obdelave ulitkov. Osredotočili smo se izključno na proizvodnjo ulitkov iz kakovostne bele temprane litine. Pri tem gre tehnološko pri izdelavi za dve fazi: pri litju zagotavljanje kemijske sestave in strukturne zgradbe in pri termični obdelavi zagotavljanje zelo visoke stopnje razpada cementitne faze in razogljčenja. Procesi zahtevajo natančno opredeljene omejitve v kemijski sestavi in zgradbi ulitka ter zelo dosleden in kontroliran postopek termične obdelave, ki zagotavlja končno dovolj visoko žilavost izdelka. S posodobitvijo tehnologije in

energetsko varčnejšimi procesi, smo tehnološko sedaj sposobni izdelati zelo kakovostne ulitke iz zahtevne litine tako za serijsko proizvodnjo fittingov, kot tudi za zahtevne ulitke po naročilih kupcev. In sicer po standardih GTW35 do GTW55 in GTW S 38 z dobro varljivostjo. Naknadna površinska in strojna obdelava zagotavlja višjo stopnjo kakovosti in merskih toleranc izdelkov. Tako po naboru, kot po obliki in dimenzijskih zahtevah ter lastnostih, se ob dobrih poslovnih povezavah v celoti prilagajamo kupcem. Uvajanje novih tehnoloških postopkov, naše znanje in pridobljene izkušnje nam zagotavljajo konkurenčnost na zahtevnih trgih. Tako smo lahko zagotavljali tudi količinsko rast proizvodnje.

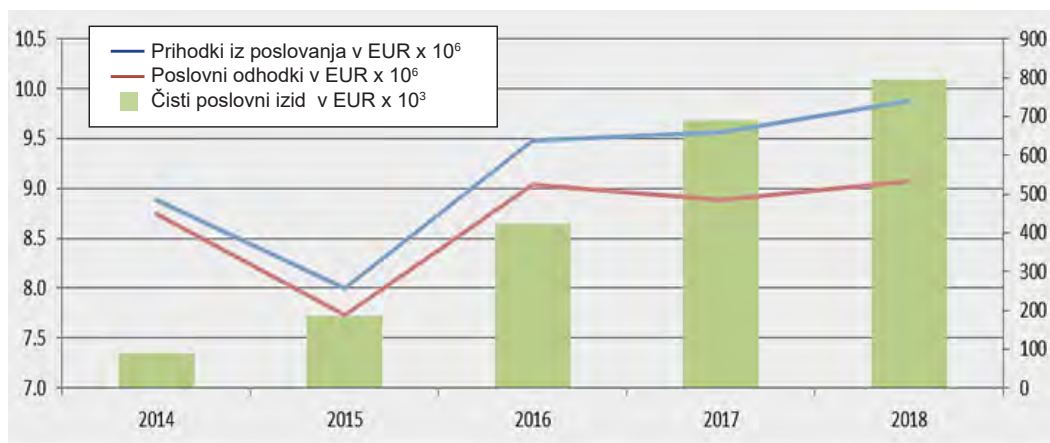
Količinska rast proizvodnje v obdobju 2005 do 2019

Leto:	Količinska proizvodnja v 000 kg
2015	2.850
2016	2.980
2017	3.100
2018	3.500
2019	3.400

Družba je vse od leta 2010 začela zmanjševati negativne poslovne rezultate, začela obnavljati poslovne prostore in investirati v novo opremo. Največji poudarek je bil na optimizaciji procesov, zmanjšanju izmeta in dvigu produktivnosti. Predvsem zadnjih pet let je bilo obdobje velikih sprememb. Ugodni zunanji makroekonomski dejavniki in velika prizadevanja v samem podjetju sta omogočila, da je Livarna Titan v tem obdobju beležila vsakoletno povečanje prodaje ter ustvarjanje pozitivnih poslovnih rezultatov. Vse to je omogočilo tudi številne aktivnosti izboljšanja delovnih pogojev in varnosti zaposlenih.



Poslovni izid podjetja Livarna Titan v obdobju 2010 do 2019



Prihodki, odhodki in dobiček v obdobju 2014-2018

Katere kakovosti bele temprane litine danes proizvaja podjetje Livarna TITAN?

Zaradi zahtev trga po kakovosti spojin elementov-fitingov, je danes podjetje usmerjeno izključno v izdelavo kakovostne bele temprane litine. Skladno s standardi EN 1562 izdelujemo naslednje standardne temprane litine : EN -GJMW 360-12(oznaka materiala o.8038) , EN GJMW 400-5 (oznak materiala 0.8040) , EN-GJMW 450-7 (oznaka materiala 0.8045) in EN-GJMW 550-4(oznaka material 08055). Ob tem proces izdelave prilagajamo zahtevanim mehanskim lastnostim posameznega kupca.

Za intenziven razvoj podjetja, ki ga zahteva trg so bila potrebna prav gotovo tudi investicijska vlaganja ter vlaganja v kadre ter tržno dejavnost. Nam lahko predstavite ta del vaših aktivnosti?



T-kos v različnih fazah obdelave ter plošča jedrovnika s peščenim jedrom, na razstavi: »Ko zapoje kovina« v Narodnem muzeju Slovenije ob 100 letnici Univerze v Ljubljani in študija metalurgije.

Največjega deleža investicij so v preteklih letih bili deležni proizvodni obrati, kar je pripomoglo k nižjim stroškom v sami proizvodnji, nižjemu izmetu, stabilnejši kakovosti, manjšemu številu zastojev in večji rentabilnosti poslovanja ter manjšemu številu reklamacij. Vse investicije so povezane tudi s skrbjo za zmanjševanje vplivov na okolje. Tako se lahko izbirajo le okolju prijazne in energetske varčne tehnološke rešitve. Najpomembnejše investicije v obdobju 2015-2019 so bile: novi kompresorji, novi mešalec za pesek, nabava novih CNC strožnic in obdelovalnega stroja, avtomatizacija in robotizacija proizvodnje, nabava in montaža ter zagon novih talilnih peči, zamenjava vseh dotrajanih viličarjev, postavitve lastnega skladišča. Livarna TITAN se tudi redno predstavlja na največjih sejmišnih sanitarnih in ogrevalnih opreme, instalacij in obnovljivih virov energije. Prav tako pomembno vlogo pri vstopu na nove trge ima stoletna tradicija in prepoznavna blagovna znamka. Livarna TITAN se je ob 100 letnici Univerze v Ljubljani vključila v razstaveni projekt: »Ko zapoje kovina«, kjer je tudi bronasti pokrovitelj razstave in prikaza metalurške dejavnosti v Sloveniji.

Za ves ta razvoj je seveda potreben tudi kader, ki skrbi za poslovno, proizvodno in razvojno dejavnost. Kolikšno je število zaposlenih in kakšna je bila izobrazbena struktura v letu 2018?

Skupno število zaposlenih ob koncu leta 2019 je bilo 135, bistveno boljša je pa v primerjavi s prejšnjimi leti tudi izobrazbena struktura zaposlenih.



Spremljanje poslovanja, tehnološki razvoj, avtomatizirane proizvodne celice ter linije, zahtevajo digitalizacijo celotnega proizvodnega in podpornega sistema. Kako je s tem razvojem v Livarni Titan?

Ob sodelovanju s podjetjem SAP d.o.o. Ljubljana imamo podprte vse poslovne in proizvodne funkcije. Sistemi so v celoti povezani in se dopolnjujejo tako, da lahko dobivajo vse informacije, ki jih potrebujejo. Vnos posameznega podatka je samo enkrat, v odvisnosti narave poslovnega in proizvodnega sistema, kar je bistveno. Možna je nadgradnja in aktiviranje vseh informacij, ki so pomembne za posamezne aktivnosti in izboljšajo proces. V naslednjem obdobju bomo vzpostavili energetske informacijske sisteme z namenom ciljnega spremljanja porabe energije na ključnih mestih in integracijo različnih podatkov v enotno platformo SCADA.

Izboljšave in inovacije lahko bistveno prispevajo k razvoju. Vaš moto je tudi 100 let tradicije in inovacij. Ali lahko opravičite, da ob tradiciji vključuje moto tudi inovacije?

Inovacije so ključne za naš obstoj in nadaljnji razvoj podjetja in jih imamo na vseh ravneh od tehnologije do poslovnih procesov, pogosto tudi ob sodelovanju poslovnih partnerjev. V procesu gre za različne tehnologije, od priprave form pa do končne mehanske obdelave izdelkov. Tako so potrebna različna znanja in velika mera inovativnosti, da ob različnosti tehnologij lahko izdelujemo proizvode višje vrednosti.

Livarska proizvodnja zahteva tudi stalno spremljanje in analizo pogojev dela ter nadzor vseh emisij v okolje. Kako rešujete to vprašanje?

Naše podjetje ima veljavno uradno okoljevarstveno dovoljenje. Dnevno spremljamo pogoje dela, nadziramo in analiziramo vse ključne sisteme, ki morajo zagotavljati skladnost emisij in pogojev dela z dovoljenji. Investiramo izključno le v tehnologije in opremo, ki izpolnjuje zahteve vseh uradnih predpisov.

Livarna TITAN ima številne certifikate, ki dokazujejo profesionalno delo in poslovnost: DIN DVGW za proizvode namenjene oskrbi z vodo in plinom, IQ Net za načrtovanje, proizvodnjo in prodajo neobdelanih in mehansko obdelanih Fe ulitkov po ISO 001, SIQ certifikat za razvoj, proizvodnjo in prodajo ulitkov Fe zlitin ter njihovo mehansko obdelavo ter v letu 2019 pridobljeno najvišjo bonitetno oceno odličnosti.



Bisnode Slovenija podeljuje podjetju
LIVARNA TITAN, d.o.o.
Zlati certifikat bonitetne odličnosti 2019.

Ko razmišljam o naših certifikatih sem seveda zadovoljen, da vloženemu delu sledijo priznanja, vendar mi osebno največ pomeni nekaj, kar nihče uradno ne omenja »**Tlačni test naših fitingov**«, ki dokazuje, da je naš izdelan iz trdnjše in na deformacije odpornejše bele temprane litine, ki se ob visokih obremenitvah le deformira in ne zdrobi, tako kot je to pri fitingih izdelanih iz črne temprane litine.

Spoštovani gospod direktor, mag, Drago Brence, iskrene čestitke Livarni TITAN in Vam osebno za kakovosten izdelek, ki je rezultat uspešnega strokovnega dela in verjamem, da bo še naprej spoštovan moto podjetja, ki izhaja iz črk besede TITAN (Tradicija, Inovativnost, Tekmovalnost, Ambicije, Nagrajevanje). Titani so namreč povzeto po grški mitologiji bili otroci boga vesolja in boginje zemlje.

Hvala za čestitke. Livarna TITAN bo tudi v prihodnje temeljila na tradiciji in inovativnosti, ob sočasnem zavedanju, da so ključni zavzeti sodelavci, ki morajo biti tekmovalni, ambiciozni ter primerno nagrajeni.

Razgovor vodil in za objavo uredil
zasl. prof. dr. Alojz KRIŽMAN,
glavni in odgovorni urednik Livarskega vestnika

AKTUALNO / CURRENT

RAZSTAVA Z NASLOVOM »KO ZAPOJE KOVINA«

Razstava *»Ko zapoje kovina«* - Tisočletja metalurgije na Slovenskem je prva celovita večja razstava o metalurgiji, materialih ter tehnikah in tehnologijah livarstva, predelave in obdelave kovinskih materialov na območju današnje Slovenije saj prikazuje, več kot pet tisočletno zgodovino te panoge. Razstava je postavljena v Narodnem muzeju Slovenije, Muzejska 1 v Ljubljani. Odprta bo do 15. avgusta 2020.

Pridobivanje in procesiranje kovin in zlitin ima v slovenskem prostoru zelo bogato zgodovino.

Prvi začetki metalurgije in s tem tudi livarstva segajo v čas koliščarjev, ki so živeli in delovali na Ljubljanskem barju. Že vsaj od halštatske dobe, ko so naši predniki osvojili obdelovanje železa, pa tudi barvnih kovin (slovita situla z Vač) – je metalurgija postala ena najpomembnejših gospodarskih panog.

O tej razgibani zgodovini pričajo mnogi dragoceni spomeniki tehniške dediščine, med drugim tudi pomembno, a v javnosti premalo znano gradivo iz zbirk Narodnega muzeja Slovenije.

Ob razstavi *»Ko zapoje kovina«*, ki smo jo profesorji Oddelka za materiale in metalurgijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani skupaj s sodelavci osrednjega in





najstarejšega slovenskega muzeja pripravili, smo želeli obiskovalcem predstaviti zgoščen, kolikor le mogoče celovit prikaz dediščine metalurgije na Slovenskem od najzgodnejših začetkov do moderne dobe.

Ta zgodovinska zapuščina je zanimiva in pomembna tudi iz vidika sedanjosti in prihodnosti. Izgleda da je bila izročilna vrednost metalurgije skozi stoletja in tisočletja uspešno izvedena.

Na razstavi je tradicionalno zgodovinski aspekt uspešno dopolnjen in evolucijsko nadgrajen z bogato predstavitvijo sodobne metalurške, livarske in kovinskopredelovalne dejavnosti, podprte s predstavitvijo raznovrstnih reprezentativnih proizvodov slovenske industrije.

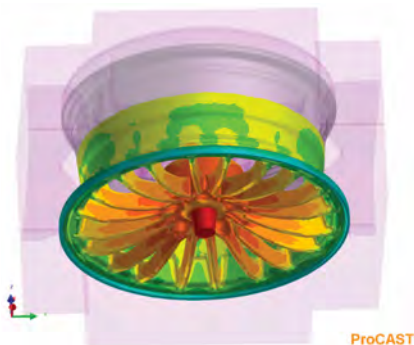
Ne le, da te panoge pomenijo enega od ključnih stebrov domačega gospodarstva – odlikujejo se tudi po izraziti izvojni naravnosti, vrsti mednarodno prepoznavnih izdelkov, ki so v povezavi s tehničnimi inovacijami in raziskovalnimi dosežki.

Gre za eno ključnih in prednostnih gospodarskih panog v Evropski uniji in Sloveniji. V kovinskopredelovalni verigi je zaposlen vsak deseti Slovenec in prispeva 8,5 % BDP. Dodana vrednost panoge je bila več kot 3 milijarde. V obdobju 2014–2018 je povprečna rast dodane vrednosti znašala 8,8 %. Produktivnost dela se je povečevala s povprečno stopnjo 4,3 %. Dodana vrednost na zaposlenega je bila 49.460 evrov, delež prodaje na tujih trgih pa je dosegel 80 %.

Obenem smo ob častitljivi 100-letnici Univerze v Ljubljani oz. 315-letnici visokošolskega izobraževanja na slovenskem opozorili na vrhunsko znanje, zbrano pod okriljem te ustanove, na kateri se je metalurgija uveljavila kot ena najstarejših študijskih smeri.

Razstavo so finančno podprli: Univerza v Ljubljani, Ministrstvo za kulturo, Slovenska industrija jekla SIJ, d. o. o., Impol 2000, d. d., Talum, d. d., Štore Steel, d. o. o., Akrapovič, d. d., LTH Casting, d. o. o., Magneti Ljubljana, d. d., Livarna Titan, d. o. o., Inštitut za kovinske materiale in tehnologije in SRIP MATPRO. Še več podjetij pa je za potrebe razstavne postavitve prispevalo reprezentativne izdelke iz svoje proizvodnje.

Vsi tisti, ki si razstave še niste uspeli ogledati, vam sporočamo da je vredna ogleda.



Prof. dr. Primož MRVAR,
Katedra za livarstvo, Oddelek za materiale in metalurgijo,
Naravoslovnotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani

AKTUALNO / CURRENT



zasl. prof. dr.
Alojz Križman

80-letni jubilej, zasl. prof. dr. ALOJZA KRIŽMANA

Zasl. prof. dr. ALOJZ KRIŽMAN, univ. dipl. ing. metalurgije, glavni in odgovorni urednik Livarskega vestnika, programski vodja vsakoletnega mednarodnega livarskega posvetovanja v Portorožu in častni član Društva livarjev Slovenije je 24. maja praznoval 80. življenjski jubilej. Iz njegovega življenjepisa povzemamo najpomembnejše mejnike, ki so zaznamovali njegovo delo.

Študiral je na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, Oddelku za metalurgijo, Univerze v Ljubljani, kjer je diplomiral leta 1965. Leta 1964 se je kot absolvent zaposlil v Mariborski livarni v Mariboru. Do leta 1970 je deloval kot tehnolog in razvojni inženir, od leta 1971 naprej pa kot vodja razvoja tehnologije. Kot inženir se je vključeval v delo Društva inženirjev Maribor in Društva livarjev Slovenije. S slednjim je povezan že 52 let. Že v letu 1968 se je začel redno udeleževati njegovih strokovnih posvetovanj, leta 1968 pa je objavil svoj prvi avtorski prispevek v Livarskem vestniku št. 4/1968.

Leta 1969 se je kot pogodbeni asistent vključil v delo takratne Višje tehniške šole v Mariboru. Ob ustanovitvi Univerze v Mariboru leta 1975 se je redno zaposlil na Visoki tehniški šoli kot višji predavatelj. Istega leta je začel z doktorskim študijem na Univerzi za montanistiko v Leobnu, Avstrija. Na osnovi industrijske prakse ter izvedenih raziskovalnih in razvojnih del mu je na Katedri za livarstvo bilo neposredno omogočeno opravljanje doktorskega študija. Leta 1980 je doktoriral in pridobil akademski naziv doktorja montanističnih znanosti.

Na univerzi v Mariboru je vzpostavil Laboratorij za raziskavo materialov ter Katedro za tehnologijo materialov. Kot docent za predmete Tehnologija materialov I. in II. in Investicijska izgradnja je počasi oblikoval manjšo raziskovalno skupino. Leta 1984 je pridobil naziv izrednega profesorja, leta 1989 pa še naziv rednega profesorja. Bil je štiri leta predstojnik oddelka za strojništvo, v obdobju 1983 do 1985 dekan Visoke tehniške šole, nato od 1985 do 1987 dekan Tehniške fakultete ter v obdobju od 1987 do 1993 rektor Univerze v Mariboru. Leta 2000 je bil imenovan za častnega senatorja in leta 2011 za zaslužnega profesorja univerze v Mariboru.

Alojz Križman je dobitnik 39 javnih priznanj za svoje strokovno, pedagoško in raziskovalno delo. Prvo javno priznanje je prejel leta 1974 ob 50-letnici Mariborske livarne Maribor. Za svoje znanstveno raziskovalno delo je leta 1985 prejel državno nagrado Sklada B. Kidriča in državno odlikovanje reda dela s srebrnim vencem za izjemne zasluge za razvoj Visoke tehniške šole. Za zasluge za razvoj univerze v Mariboru je leta 1991 prejel Zlato plaketo Univerze, za sodelovanja z mestom Maribor pa Zlati grb mesta. Leta 2014 mu je mesto Maribor v zahvalo za opravljeno delo podelilo naziv častni občan. Fakulteta za strojništvo pa mu je v letu 2019 podelila javno priznanje za življenjsko delo na

fakulteti."Bibliografija v Cobissu pod njegovim imenom beleži skupno kar 755 enot, od tega 79 izvirnih znanstvenih člankov.

Alojz Križman je od leta 2005 glavni in odgovorni urednik Livarskega vestnika, v katerem je do sedaj objavil 28 strokovnih in znanstvenih člankov. V istem obdobju opravlja tudi funkcijo vodje programskega odbora vsakoletnega Mednarodnega livarskega posvetovanja v Portorožu. Od leta 2014 je član Strateškega sveta za razvoj metalurgije v RS. Društvo ga je leta 2008 ob 40-letnici delovanja v Društvu imenovalo tudi za častnega člana Društva.

Cenjeni zaslužni profesor Alojz Križman, hvala Vam za opravljeno delo in iskrene čestitke ob 80. jubileju s livarskim pozdravom SREČNO!

prof. dr. Primož Mrvar,
predstojnik Katedre za livarstvo



IN MEMORIAM

IN MEMORIAM mag. Boris Čuk

Boris Čuk

Neprijetno nas je presenetila žalostna vest o smrti našega stanovskega kolega in prijatelja, mag. Borisa Čuka, katero smo prejeli iz Cerkna, 4. junija. Boris Čuk nas je zapustil veliko prezgodaj, v svojem 64 letu. Rojen je bil 25. septembra 1956 v Cerknem, kjer je pomembno soustvarjal in s svojim predanim raziskovalnim delom usmerjenim v tehnološko industrijsko prakso zaznamoval livarno Eta Cerkno, sedaj del podjetja EGO, ki je tudi po njegovi zaslugi moderna, urejana in celovita livarna za majhne do srednje velike ulitke iz različnih sivih litin z lamelnim grafitom.

Mag. Boris Čuk je začel svojo strokovno pot v začetku leta 1977 kot metalurški tehnik v takratni stari livarni ETA. Ob delu je zaključil znanstveni magisterij iz managementa. Zvest livarskemu stanu in podjetju ETA je ostal ves čas do upokojitve 24. 3. 2016.

V okviru strokovnega Društva livarjev Slovenije se je pogosto udeleževal vsakoletne mednarodne livarske konference (IFC) z razstavo v Portorožu, kot tudi številnih livarskih seminarjev, ki jih je organiziralo Društvo livarjev Slovenije in Katedra za livarstvo, NTF, Univerza v Ljubljani. Glede na njegov položaj v podjetju ETA, kjer je bil vodja procesov livarne, je poleg vodstvenih nalog, predano in z entuziazmom deloval raziskovalno inovacijsko.

V svojem življenju je vzorno skrbel za livarstvo v celovitem trikotniku litina-tehnologija-forma in se proslavil z zahtevnimi tankostenskimi ulitki z veliko kakovostjo površin. Boris Čuk je bil predvsem kolegalen, inovativen ter delaven livar-metalurg. Kar je mogoče še najpomembnejše – njegov blagi-veseli temperament in živ duh, s katerim si je odkrival nova obzorja in nas razveseljeval v človeškem in strokovnem smislu, sta ga zapisala v naša srca. Pogrešali te bomo, dragi kolega Boris.

Prof. Primož Mrvar,
Podpredsednik Društva livarjev Slovenije



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE

Vabilo za

60. IFC PORTOROŽ 2020

z livarsko razstavo

16.-18. SEPTEMBER 2020

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



VISOKOKVALITETNI PROIZVODI NA BAZI BENTONITA

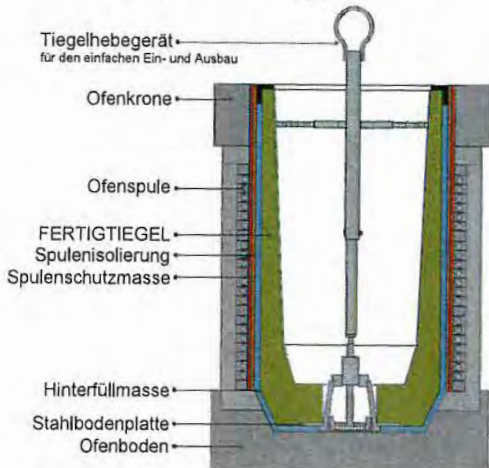
BENTOPROCARBO
NOSIOCI SJAJNOG UGLJENIKA I PREMIKSI
BENTOPRO-A
LIVAČKI BENTONIT

T R U E A L C H E M Y T R U E A L C H E M Y T R U E A L C H E M Y

Bentoproduct d.o.o. Šipovo | Društvo za proizvodnju i promet proizvoda od nemetalnih minerala
Sokolac bb, 70270 Šipovo | PJ Banja Luka: Vojvode Stepe Stepanovića 181C, 78000 Banja Luka
T: + 387 51 225 210 F: + 387 51 225 212 W: www.bentoproduct.ba E: contact@bentoproduct.ba



DORIT FERTIGTIEGEL - aus hochwertigen Trockenstampfmassen



Vorteile beim Einsatz:

- + Humanisierung des Arbeitsplatzes
- + Produktivitätssteigerung im Schmelzbetrieb
- + Erhöhte Feuerfestqualität
- + Einsparung von Einschmelzschablonen

SPAREN SIE ZEIT UND GELD MIT DORIT FERTIGTIEGEL!

Wir haben die Lösung! Kontaktieren Sie uns!

G I B A Gießerei Handels - Gesellschaft m.b.H.

A-3134 Reichersdorf



+43 2783 7777



office@giba.at



Industriestraße 12

+43 2783 7777-19



www.giba.at





TERMIT

Družba TERMIT je rudarsko podjetje
za pridobivanje kremenovih peskov



NAŠ PROGRAM:

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

www.termit.si