

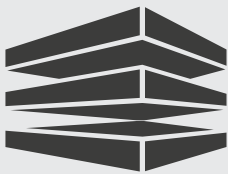
LIVARSKI VESTNIK

71/2024

3



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY



BENTO
PRODUCT



BENTOPRODUCT d.o.o. is a regional leader in the processing and supply of high-quality bentonite products.



BENTOPRO-A

High-quality bentonite binders



BENTOPROCARBO

Lustrous carbon formers
blended with bentonite binder

- High and Stable Quality
- Professional Technical Support
- On-time Delivery

ISO 9001:2015

ISO 14001:2015

ISO 45001:2018



Bulevar Vojvode Stepe Stepanovića 181c, 78000 Banja Luka, BiH



+ 387 51 225 214



+ 387 51 225 212



bentoproduct.ba

PRODUCTS FOR FOUNDRIES AND STEELWORKS



**COATINGS FOR
FOUNDRIES**



**THERMOINSULATION
MATERIALS FOR
STEELWORKS AND
FOUNDRIES**



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



REPRESENTATIVES
*Magma, Tribo - Chemie,
Henschke*

 **exoterm-it**

exoterm@exoterm.si

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

Društvo livarjev Slovenije
Lepi pot 6, P.P. 424, SI-1001 Ljubljana
Tel.: + 386 1 252 24 88
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: alojz.krizman@um.si

Tehnično urejanje / Technical editing:

mag. Mirjam Jan-Blažič

Uredniški odbor / Editorial board:

prof. dr. Alojz Križman, Univerza v Mariboru
prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani
dr. Mitja Petrič, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Rebeka Rudolf, 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:

Leemeta d.o.o.

Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:
Yvonne Rostek, Düsseldorf
Slovenski jezik / Slovene: Leemeta d.o.o.

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

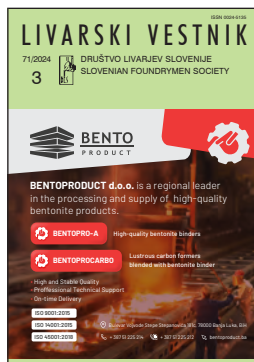
Naklada / Circulation:

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: september 2024



Bentoproduct d.o.o.
Bulevar Vojvode
Stepe Stepanovića 181c
BiH – 78000 Banja Luka

Gen. direktor: Saša Grbić

T: +387 66 382 644
E: aleksandar.slijepcevic@bentoproduct.ba
bentoproduct.ba
www.bentoproduct.ba

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

S. Link, C. Geiger: Optimizirana ločilna sredstva v orodjih za nove konstrukcijske komponente iz zlitin, ki se starajo pri sobni temperaturi / Optimized Mold Release Agents for New Structural Components Made From Naturally Hard Alloys	116
Z. Zovko Brodarac, F. Kozina, J. Medved, J. Burja: Preiskava reciklirane zlitine AlSi9Cu3(Fe) / Investigation of Recycled AlSi9Cu3(Fe) Alloy	127
E. Offenbacher : Zelena livarna – napredno odpravevanje s sproizvodnjo toplote / Green Foundry – Advanced Dedusting with Combined Heat Recovery	141
E. Arko: Avtomatizirana robotska rešitev za razigljevanje in čiščenje robotskih ulitkov z uporabo 3D strojnega vida / Automated Robotic Solution for Deburring and Cleaning Robotic Castings Using 3D Machine Vision	148

AKTUALNO / CURRENT

Pregled livarskih prireditev v letu 2024	147
Razporejen evropske livarske industrije, avgust 2024	157
64. IFC Portorož 2024	159
Portorož 2025	173

Livarski vestnik je vpisan v razvid medijev Ministrstva za kulturo pod zaporedno številko 588
Izdajanje Livarskega vestnika sofinancira ARIS javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije.

Publishing of the Livarski vestnik is supported by Slovenian Researching Agency ARIS

Optimizirana ločilna sredstva v orodjih za nove konstrukcijske komponente iz zlitin, ki se starajo pri sobni temperaturi

Optimized Mold Release Agents for New Structural Components Made From Naturally Hard Alloys

1 Uvod

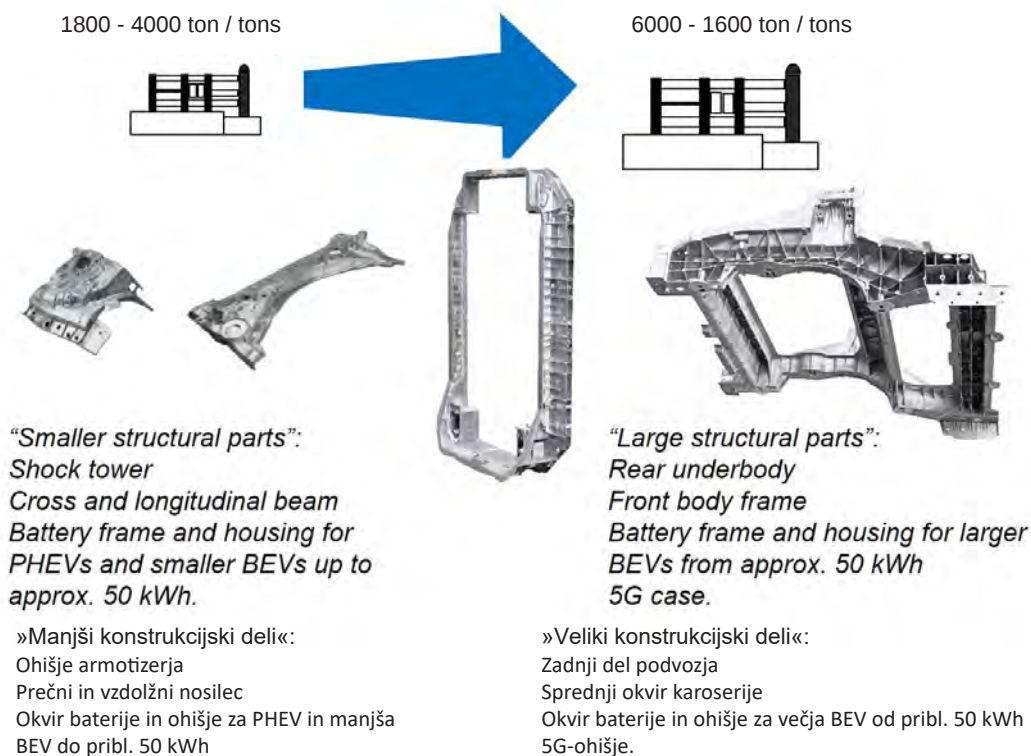
Eden od novih dosežkov, ki je v zadnjih letih revolucioniral tlačno litje aluminija, je ulivanje zelo velikih konstrukcijskih ulitkov na zelo velikih strojih, znano kot Giga- ali Megacasting. Še pred nekaj leti se je zdelo, da je zgornja meja zaporne sile strojev za tlačno litje dosežena pri 4400 tonah. Zdaj so na trgu na voljo 9000-, 12.000- in celo 16.000-tonski stroji za tlačno litje. Skladno s tem so ulitki, ki jih je mogoče izdelati s takšnimi stroji, čedalje večji. Medtem ko so tradicionalni konstrukcijski ulitki v prvi vrsti nadomestili pločevinaste konstrukcijske dele z enim samim ulitkom, novi veliki stroji omogočajo združevanje več konstrukcijskih ulitkov, kot so ohišja arnotizerjev, vzdolžni nosilci in prečni nosilci, v en sam, zelo velik konstrukcijski ulitek, tako imenovani sprednje ali zadnji del podvozja. Poleg tega ti veliki stroji omogočajo tudi izdelavo ohišja za baterije v enem kosu – ne le za hibridne avtomobile, temveč tudi za velike električne avtomobile in električna gospodarska vozila.

Tlačne livarne se trenutno soočajo z velikimi izzivi. Po eni strani vse večje število električnih vozil povečuje povpraševanje po večjih in kompleksnejših komponentah, po drugi strani pa energetska kriza od livarn zahteva znatne prihranke pri stroških, da bi ostale konkurenčne v mednarodni

1 Introduction

One of the new developments that have revolutionized aluminum die casting in recent years is the casting of very large structural castings on very big machines, known as Giga- or Megacasting. Just a few years ago, it looked as if the upper limit of the locking force of die-casting machines had been reached at 4,400 tons. Now, there are 9,000-, 12,000- and even 16,000-ton die casting machines available on the market. [1,2] Accordingly, the castings that can be made with such machines are becoming increasingly larger. While traditional structural castings primarily replaced sheet metal structures with a single casting, the new large machines make it possible to combine several structural castings such as shock towers, longitudinal beams and cross members into one single, very large structural casting, the so-called front or rear underbody. Furthermore, these large machines also make it possible to produce the battery box in one shot, not only for hybrid cars but also for large electric cars and electric commercial vehicles.

Aluminum die casters are currently faced with major challenges. On the one hand, the increasing switch to electric vehicles is increasing the demand for larger and more complex components, and on the other hand, the energy crisis is



Slika 1. Prikaz napredka v razvoju v smislu velikosti strojev za tlačno litje in z njimi izdelanih ulitkov. Leva polovica: stanje do leta 2020 – desna polovica: razvoj od leta 2020.

Figure 1. Representation of the leap in development in the size of die-casting machines and the castings produced with them. Left half: status until around 2020 - right half: development since 2020.

konkurenci. Poleg tega se sprejemajo vedno strožja trajnostna merila, ki jih je treba upoštevati vzdolž dobavnih verig.

Eden od načinov za reševanje teh izzivov je prehod iz utrjevalnih zlitin na zlitina, ki se starajo pri sobni temperaturi ali samotrjevalne zlitine. To omogoča izdelavo celo zelo velikih aluminijastih konstrukcijskih ulitkov ob bistveno nižjih stroških energije in z manj procesnimi koraki. Zlitine, ki se starajo pri sobni temperaturi imajo mehanske lastnosti, ki jih dobijo utrjevalne zlitine med toplotno

requiring foundries to make significant cost savings in order to remain competitive in international competition. In addition, there are increasingly strict sustainability criteria that must be adhered to along the supply chains.

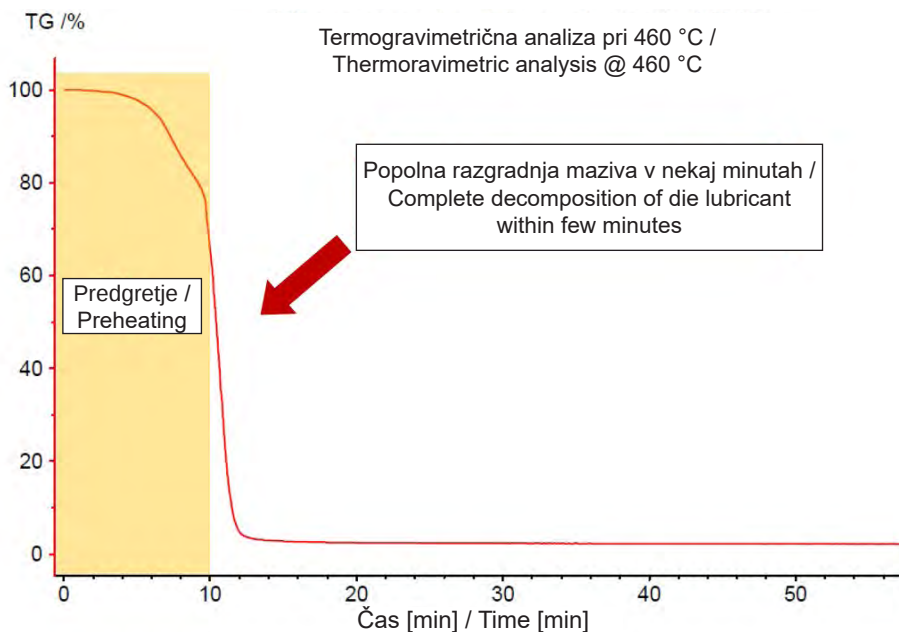
One way to address these challenges is to switch from hardenable alloys to naturally hard or self-hardening alloys. This makes it possible to produce even very large aluminum structural castings with significantly lower energy costs and fewer process steps.[3] Naturally hard alloys show

obdelavo že v stanju »takoj po ulivanju«. Samoutrjevalne zlitine prav tako ne zahtevajo toplotne obdelave, le naravno staranje pri sobni temperaturi. Vendar pa ne smemo spregledati, da ima lahko menjava zlitine včasih ogromne učinke na nadaljnje korake postopka. Z opustitvijo energijsko intenzivnega raztopnega žarjenja morda ostankov pomožnih materialov, kot so aditivi iz hladilnih rezervoarjev, rezalne tekočine ali ločilna sredstva, ne bo več mogoče odstraniti iz ulitkov.

Da bi preizkusili to tezo, smo s termogravimetrično analizo (TGA) pregledali več vzorcev tipičnih ločilnih sredstev za konstrukcijske ulitke. Da bi to naredili, smo vzorce segreli do 460 °C, kar ustreza raztopnemu žarjenju. Kot prikazuje Slika 2, se komponente ločilnega sredstva začnejo

the mechanical properties that hardenable alloys receive during heat treatment already in the state "as cast". Self-hardening alloys also do not require any heat treatment, just natural aging at room temperature. However, it should not be overlooked that changing the alloy can sometimes have enormous effects on the further process steps. By dispensing with energy-intensive solution annealing, residues of operating materials such as additives from the cooling tanks, cutting fluids or release agents are possibly no longer removed from the castings.

In order to test this thesis, we examined several samples of typical release agents for structural castings using thermogravimetric analysis (TGA). To do this, we heated the samples up to 460°C, which corresponds



Slika 2. Simulacija raztopnega žarjenja s termogravimetrično analizo: pri 460 °C se komponente ločilnega sredstva razgradijo v samo nekaj minutah

Figure 2. Simulation of solution annealing using thermogravimetric analysis: at 460°C, the release agent components decompose within just a few minutes

razgrajevati že med fazo segrevanja. Ko je dosežena temperatura 460 °C, traja le nekaj minut, da se komponente ločilnega sredstva popolnoma razgradijo.

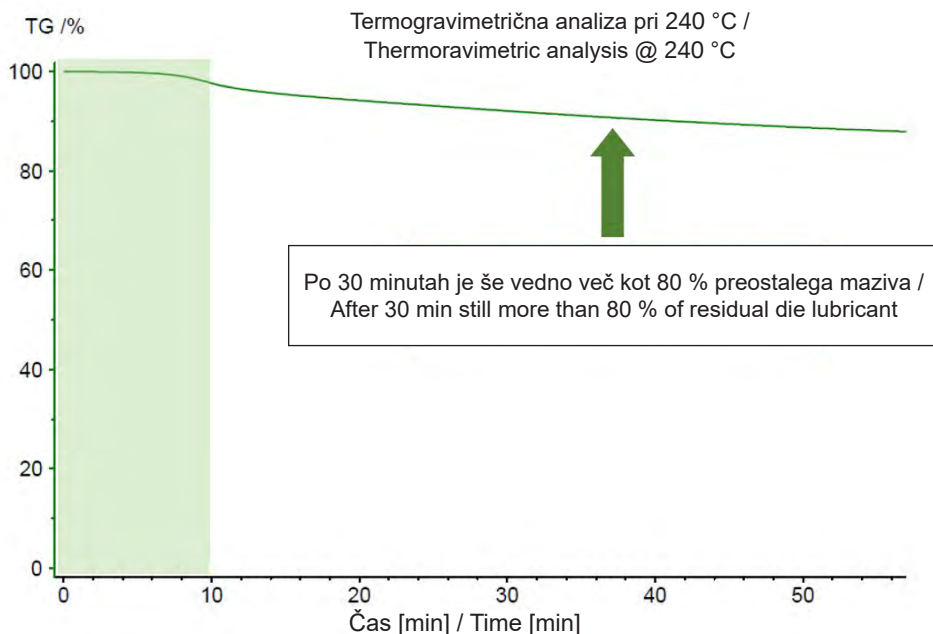
Če namesto na 460 °C segrevamo le na temperaturo 240 °C, kar ustreza umetnemu staranju, bo tudi po daljši toplotni obdelavi razpadel le majhen del sestavin ločilnega sredstva, gl. Slika 3.

Zato je treba pri naravno trdih ali samoutrjevalnih zlitinah, ki ne zahtevajo razstopnega žarjenja, veliko več pozornosti nameniti zadostnemu in procesno zanesljivemu čiščenju in predobdelavi konstrukcijskih ulitkov. Še posebej, če so se stari konstrukcijski ulitki, ki se jih je ulivalo precej časa, zdaj ulivajo v zlitino, ki ne zahteva več raztopnega žarjenja, se je treba

to solution annealing. As Figure 2 shows, the components of the release agent begin to decompose already during the heating phase. Once the 460°C is reached, it only takes a few minutes until the components of the release agent are completely decomposed.

If instead of 460°C we only heat to a temperature of 240°C, which corresponds to artificial aging, then even after a long period of heat treatment only a small part of the ingredients of the release agent will decompose, see Figure 3.

Therefore, with naturally hard or self-hardening alloys, that do not require solution annealing, much more attention must be paid to sufficient and process-reliable cleaning and pre-treatment of the structural



Slika 3. Simulacija umetnega staranja s termogravimetrično analizo: pri 240 °C se razgradi le majhen del komponent ločilnega sredstva, tudi po dolgem času

Figure 3. Simulation of artificial aging using a thermogravimetric analysis: at 240°C, only a small part of the release agent components decompose, even after a long time

zavedati, da lahko na komponentah ostane bistveno več ostankov in kontaminacije in da bo zaradi tega treba prilagoditi naslednje procesne korake.

2 Razvoj ločilnih sredstev

Kot proizvajalec ločilnih sredstev smo se tega izziva lotili že v zgodnji fazi in razvili ločilna sredstva za orodja, ki izpolnjujejo povečane tehnične zahteve in so obenem bolj združljivi z nadaljnjimi procesi. Izkazalo se je, da je izbira ustreznih surovin ključnega pomena za razvoj novih ločilnih sredstev.

Novi konstrukcijski deli, ki zahtevajo stroje za tlačno litje z zapornimi silami nad 4000 ton, imajo ogromno težo strele, tudi 100 kg ali več. To pomeni ogromno količino taline, kar zahteva visoko temperaturno stabilnost ločilnega sredstva pri polnjenju livne votline. Poleg tega imajo zlitine z nizko vsebnostjo železa veliko nagnjenost k lepljenju in krčenju, postavljajo visoke zahteve glede mazalnega učinka ločilnih sredstev. Primerjava temperaturne stabilnosti običajnih sestavin ločilnih sredstev za tlačno litje je prikazana na Sliki 4. Primerjava termogravimetričnih analiz različnih sestavin kaže, da imajo polisiloksani na splošno največjo temperaturno stabilnost. Tudi voski kažejo visoko temperaturno stabilnost. Nasprotno pa je temperaturna stabilnost mineralnih in rastlinskih olj pogosto okoli 50 do 100 °C nižja kot pri polisiloksanih in voskih.

Mazalni učinek ločilnega sredstva med drugim temelji na dejstvu, da se na vročem orodju oblikuje stabilna, viskozna plast maziva. Preglednica 1 prikazuje kinematične viskoznosti različnih sestavin ločilnega sredstva pri 100 °C. Primerjava kaže, da imajo lahko polisiloksani visoko viskoznost tudi pri povišanih temperaturah zaradi visokega indeksa viskoznosti, ki

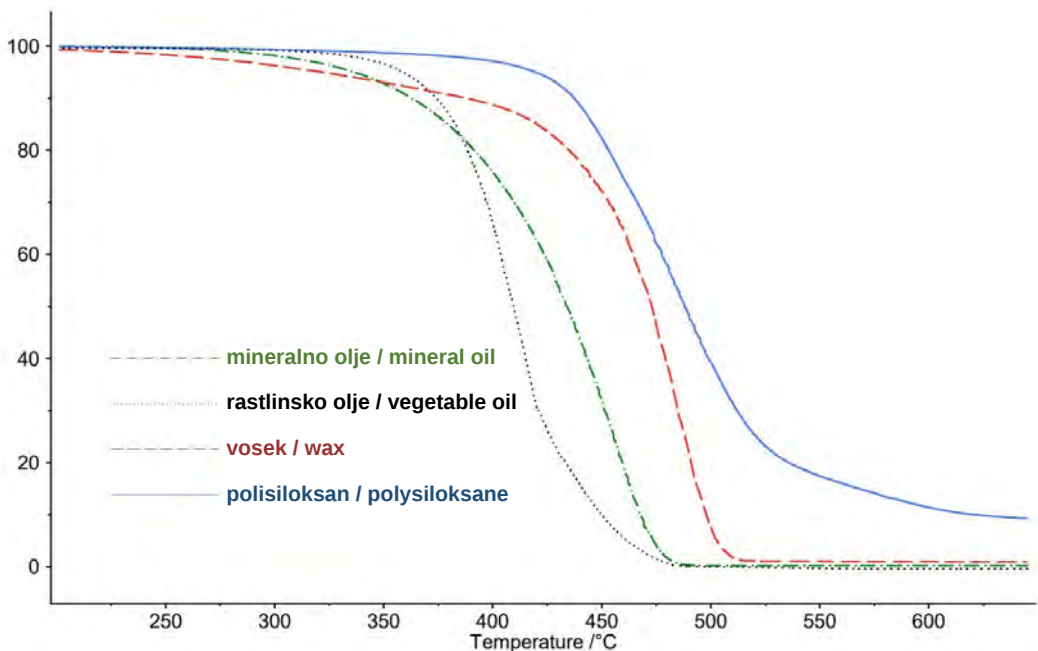
castings. Especially if older structural castings that have been cast for quite a long time are now converted to an alloy that no longer requires solution annealing, one must be aware that significantly more residues and contamination may remain on the components and that the following process steps may therefore have to be adjusted.

2 Release Agent Development

As a manufacturer of release agents, we addressed this challenge at an early stage and developed new mold release materials that both meet the increased technical requirements and are at the same time as compatible as possible with the subsequent processes. It has been shown that the selection of suitable raw materials is crucial for the development of new release agents.

The new structural parts, which require die-casting machines with locking forces of over 4,000 tons, have enormous shot weights of 100 kg or more. This means a huge amount of liquid metal that asks for a high temperature stability of the release agent when filling the mold. In addition, the low-iron alloys, some of which have strong sticking and shrinking properties, put high demands on the lubricating effect of the release agents. A comparison of the temperature stability of common ingredients of die-casting release agents is shown in Figure 4. The comparison of the thermogravimetric analyses of various ingredients shows that polysiloxanes generally have the highest temperature stability. Waxes also show high temperature stability. In contrast, the temperature stability of mineral oils and vegetable oils is often around 50 to 100°C lower than that of polysiloxanes and waxes.

The lubricating effect of a release agent is based, among many other factors,



Slika 4. Termogravimetrična analiza tipičnih sestavin ločilnega sredstva: polisiloksana, voska, mineralnega olja in rastlinskega olja

Figure 4. Thermogravimetric analysis of typical release agent ingredients: polysiloxane, wax, mineral oil and vegetable oil. All measurements were carried out in our laboratory

zagotavlja dober mazalni učinek ločilnega sredstva na vročih orodjih. Še višje viskoznosti omogočajo voski. Večinoma sintetični voski so trdni pri sobni temperaturi in se stopijo šele pri povišanih temperaturah orodja za tlačno litje (med 80 in 160 °C, odvisno od vrste voska). Voski tvorijo trde, visoko viskozne plasti na orodju za tlačno litje, ki imajo visoko oprijemljivost tudi pri visokih hitrostih pretoka taline. Zahvaljujoč dobri oprijemljivosti in viskoznosti voski nudijo tudi zanesljiv izmet ulitka, ki se pri strjevanju močno skrči na orodju. V nasprotju z voski in polisiloksani imajo mineralna ali rastlinska olja znatno nižjo viskoznost pri višjih temperaturah. Ta sredstva torej pokažejo svojo uporabnost predvsem pri nižjih temperaturah orodja.

on the fact that a stable, viscous film of lubricant forms on the hot mold. Table 1 shows the kinematic viscosities of various release agent ingredients at 100°C. The comparison shows that polysiloxanes can have a high viscosity even at elevated temperatures thanks to their high viscosity index, which ensures a good lubricating effect of the release agent on hot molds. Even higher viscosities are made possible by waxes. The mostly synthetic waxes are solid at room temperature and only melt at the elevated temperatures of the die-casting mold (between 80 and 160°C, depending on the type of wax). Waxes form tough, highly viscous films on the die-casting mold, which exhibit high adhesion even at high metal flow velocities. Thanks to their good adhesion and viscosity,

Preglednica 1. Kinematična viskoznost tipičnih sestavin ločilnega sredstva: polisiloksana, voska, mineralnega olja in rastlinskega olja

Table 1. Kinematic viscosity of typical release agent ingredients: polysiloxane, wax, mineral oil and vegetable oil. All measurements were carried out in our laboratory

	viskoznost / viscosity @ 100 [°C]
Rastlinsko olje / Vegetable oil	3
Mineralno olje / Mineral oil	33
Polisiloksan / polysiloksane	180
Vosek / wax (ox-PE)	250–1500 ^[1]

^[1] pri 140 °C / ^[1] at 140°C

Če upoštevamo le učinek ločevanja in mazanja, bi bilo idealno ločilno sredstvo za velike konstrukcijske dele sestavljeno predvsem iz voskov in polisiloksanov. Vendar pa meritve na Sliki 2 in Sliki 3 kažejo, da se pri uporabi naravno trdih zlitin ostanki ločilnega sredstva med kasnejšim razstopnim žarjenjem ne razgradijo več. Vibracijsko brušenje ali peskanje nista primerni metodi čiščenja velikih konstrukcijskih delov. Pri obeh metodah so konstrukcijski ulitki običajno preprosto preveliki. Poleg tega lahko abrazivno peskanje povzroči deformacijo in poškodbe ulitkov s tankimi stenami. V posameznih primerih lahko kritična mesta peskamo ročno ali z robotom. Možno je tudi dodatno lasersko čiščenje površin, na katere se bo lepilo, za boljši oprijem lepila. Dolgoročno pa ta dodaten postopek na splošno ni vzdržen pri serijski obdelavi. Zato je treba pri velikih konstrukcijskih ulitkih zlitin, ki se starajo pri sobni temperaturi ostanke ločilnega sredstva najbolje enostavno sprati s čistili na vodni osnovi. Vendar je nekatere sestavine v ločilnih sredstvih, kot so visoko viskozni voski, težko odstraniti s čistilnimi sredstvi na vodni osnovi. To pogosto zahteva visoke pH-vrednosti in hkrati visoke temperature za čistilno sredstvo (glejte Preglednico 2). Nasprotno pa je mogoče novo razvite polisiloksane, ki so bili posebej optimizirani za enostavno barvanje, kljub

waxes also offer reliable demolding for alloys that shrink significantly on the mold when solidifying. In contrast to waxes and polysiloxanes, mineral oils or vegetable oils have significantly lower viscosities at higher temperatures. These ingredients therefore show their strength primarily at lower mold temperatures.

If only considering the release and lubricating effect, the ideal release agent for large structural parts would primarily consist of waxes and polysiloxanes. However, the measurements in Figure 2 and Figure 3 have shown that when using naturally hard alloys, the release agent residues are no longer decomposed during the subsequent solution annealing. Vibratory grinding or sandblasting are not suitable cleaning methods for large structural parts. For both methods structural castings are usually simply too large. Furthermore, abrasive blasting can also lead to distortion and damage to the thin-walled castings. In individual cases, critical areas can be sanded by hand or using a robot. It is also possible to clean the areas that are to be glued additionally with a laser in order to improve the adhesion of the glue.[4] In the long term, however, this additional effort is generally not sustainable in series operation. Therefore, in the case of large structural castings made of naturally hard alloys, the release agent residues must

Preglednica 2. Lastna ocena razvrstitve sestavin ločilnih sredstev glede na možnost pranja z različnimi čistili

Table 2. Own assessment of the classification of release agents ingredients in relation to their washability with various cleaners.

	topilo / solvent	vodno nevtralen / aqueous neutral	vodno alkalen / aqueous alkaline	temperatura / temperature
mineralna olja/rastlinska olja/sintetična olja / mineral oils / vegetable oils / synthetic oils	++	++	++	20–40 °C
polisiloksani (za barvanje) / polysiloxanes (paintable)	+	+	++	20–50 °C
voski / waxes	-	o	+	60–80 °C

++ = zelo primerno / + = primerno / o = primerno samo v določenih okoliščinah / - = ni primerno
 ++ = very suitable / + = suitable / o = suitable only under certain circumstances / - = not suitable

visoki viskoznosti zlahka sprati z ustreznimi čistili. Mineralna olja, rastlinska olja ali visokokakovostna sintetična olja imajo na splošno najmanj težav s čiščenjem in kasnejšimi postopki. Vendar, kot prikazujeta Slika 4 in Preglednica 1, njihova temperaturna stabilnost in mazalni učinek pogosto nista zadostna, tako da je treba ta olja v mnogih primerih kombinirati z voski ali polisiloksani.

Na podlagi različnih predhodnih preskusov temperaturne stabilnosti in možnosti pranja s komercialno dostopnimi čistili na vodni osnovi smo razvili več novih ločilnih sredstev za ulitke iz zlitine, ki se stara pri sobni temperaturi. Ta ločilna sredstva imajo nizko vsebnost voska oziroma so brez voska. Lahko vsebujejo polisiloksane ali pa so brez teh sredstev.

Ločilna sredstva brez polisiloksana so zagotovo najmanj problematična v smislu možnosti pranja in premazovanja. Ta ločilna sredstva se že leta uspešno uporabljajo za enostavnejše ravne ulitke, kot so toplotni izmenjevalci ali elektronska ohišja. Vendar se zdi, da so ta ločilna sredstva dosegla svoje meje pri zelo velikih konstrukcijskih delih, ki so izdelani s stroji za Gigacasting. Polisiloksane in voske je še vedno težko

best be easily washed off with water-based cleaners. However, some ingredients in release agents, such as highly viscous waxes, are difficult to remove with aqueous cleaners. This often requires high pH values and at the same time, high temperatures for the cleaner (see Table 2). In contrast, newly developed polysiloxanes, which have been specifically optimized to be easy to paint, can be easily washed off with suitable cleaners despite their high viscosity.[5] Mineral oils, vegetable oils or high-quality synthetic oils generally have the fewest problems with washability and subsequent processes. However, as Figure 4 and Table 1 show, their temperature stability and lubricating effect are often not sufficient, so that in many cases these oils have to be combined with waxes or polysiloxanes.

Based on various preliminary tests on temperature stability and washability with commercially available aqueous cleaners, we have developed several new release agents for castings made of naturally hard alloys. These release agents are low-wax or wax-free. They can contain polysiloxanes or be polysiloxane-free.

Polysiloxane-free release agents are certainly the least critical in terms of

nadomestiti tako v smislu temperaturne stabilnosti kot mazalnega učinka. Zato smo se odločili vzporedno pospešiti razvoj novih ločilnih materialov za konstrukcijske dele iz zlitine, ki se stara pri sobni temperaturi, tako na osnovi posebnih polisiloksanov kot tudi brez njih. S tem želimo zagotoviti, da naše stranke dobijo ustrezen izdelek glede na zahteve za ulitek kot tudi tehnične možnosti čiščenja komponente.

3 Možnosti uporabe za stranke

V večini primerov smo za serijsko proizvodnjo izbrali ločilno sredstvo, ki vsebuje polisiloksane. Slika 5 prikazuje primer zadnjega dela podvozja električnega avtomobila. Ta komponenta je ulita na 9000-tonskem stroju za tlačno litje. Ulitek združuje dva vzdolžna in tri prečne nosilce ter tako nadomešča vsaj pet klasičnih konstrukcijskih ulitkov.

Za začetek serijske proizvodnje je bilo izbrano ločilno sredstvo Trennex, ki vsebuje polisiloksan. Že od samega začetka je to ločilno sredstvo nudilo najboljši kompromis med izmetom iz orodja in združljivostjo s kasnejšim elektroforetskim premazom.

Za posamezne komponente s posebnimi zahtevami glede kakovosti površine, kot so konstrukcijski ulitki s površinami za lepljenje, se trenutno na strojih za Gigacasting testirajo ločilna sredstva brez polisiloksana. Poseben razvoj so brezvodna ločilna sredstva, zasnovana posebej za velike konstrukcijske dele brez toplotne obdelave. Pričakuje se, da bodo brezvodna ločilna sredstva zagotovila enakomerne temperature orodja, saj ne odvajajo toplote iz orodja. To lahko znatno izboljša pretočne lastnosti staljene kovine v velikih ulitkih s tankimi stenami. Pri uporabi ločilnega sredstva brez vode pa mora biti hlajenje orodja v celoti doseženo

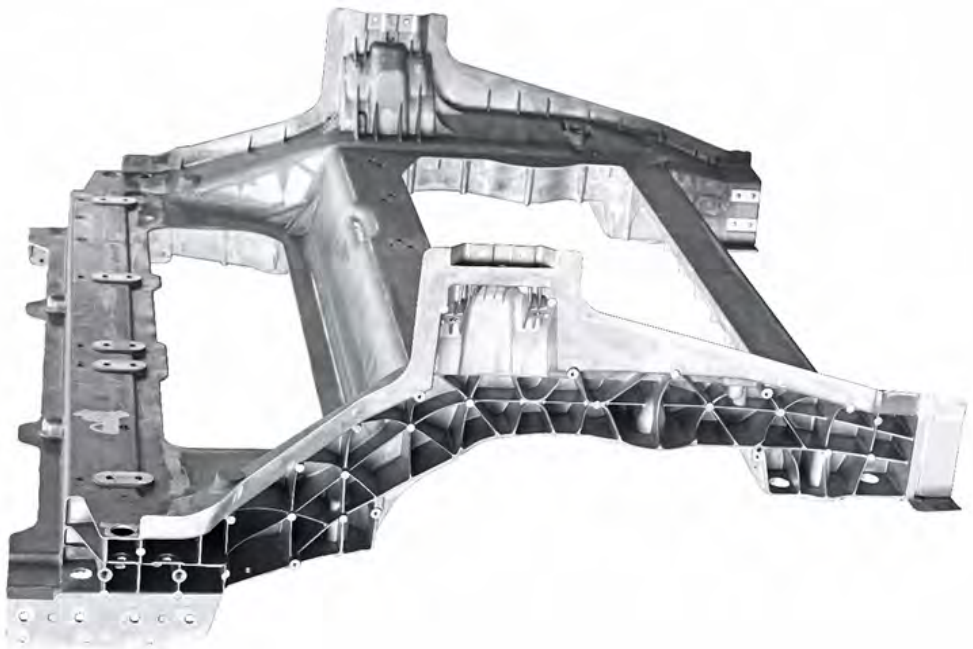
washability and coatability. These release agents have been used successfully for years for simpler flat castings such as heat sinks or electronic housings. However, these release agents seem to have reached their limits with the very large structural parts that are manufactured with Gigacasting machines. Polysiloxanes and waxes are still difficult to replace in terms of both temperature stability and lubricating effect. We have therefore decided to advance the development of new release materials for structural parts made of naturally hard alloys in parallel, both based on special polysiloxanes and on a polysiloxane-free basis. This should ensure that our customers receive a suitable product depending on the requirements of the casting as well as the technical possibilities for cleaning the component.

3 Application by Customers

In most cases, a release agent containing polysiloxane was chosen for series production. Figure 5 shows an example of the rear underbody of an electric car. This component is cast on a 9000 tons die-casting machine. The casting combines two longitudinal beams and three cross beams and thus replaces at least five conventional structural castings.

Apolsiloxane-containing release agent from Trennex was chosen as the release agent for the start of series production. From the outset, this release agent offered the best compromise between release from the mold and compatibility with the subsequent electrophoretic coating.

For individual components with special demands on surface quality, such as structural castings with adhesive bonding, polysiloxane-free release agents are currently being tested on Gigacasting machines. A special development is water-



Slika 5. Celotno zadnje podvozje je izdelano iz enega samega ulitka za azijskega OEM proizvajalca ki je ulito z ločilnim sredstvom podjetja Trennex

Figure 5. Complete rear underbody made of one single casting for an Asian OEM, cast with release agent from Trennex

z notranjim nadzorom temperature orodja. Zaradi enormne vhodne toplotne obremenitve orodja, ki jo povzroča velika količina tekočega aluminija, lahko pride do lokalnega pregrevanja v velikih konstrukcijskih delih, predvsem v predelu dovodnih kanalov in na vročih mestih, kar poslabša stabilno serijsko delovanje. V tem primeru je rešitev mogoče iskati v tako imenovanem »hibridnem pršenju« s hlajenjem območja dovodnih kanalov in, če je potrebno, posameznih vročih mest z ločilnim sredstvom, ki se meša z vodo, in pršenjem preostale konture ulitka s tankimi stenami z brezvodnim ločilnim sredstvom.

Naši ločevalni materiali za konstrukcijske ulitke iz zlitine, ki se stara pri sobni temperaturi in samoutrjevalnih zlitin

free release agents specifically for large structural parts without heat treatment. Water-free release agents are expected to provide uniform mold temperatures because these release agents do not remove any heat from the mold. This can significantly improve the flow properties of the molten metal in large, thin-walled castings. However, when using a water-free release agent, mold cooling must be achieved entirely by internal mold temperature control. Due to the enormous heat input into the mold due to the large amount of liquid aluminum, this can lead to local overheating in large structural parts, especially in the gate area and on the hot spots, which impairs stable series operation. A remedy here can be found through so-called "hybrid

so se že večkrat izkazali v praksi, tako za običajne konstrukcijske dele kot za nove projekte na tako imenovanih strojih za Gigacasting.

spraying” by cooling the gate area and, if necessary, individual hot spots with a water-miscible release agent and spraying the remaining contour of the thin-walled casting with a water-free release agent.

Our mold release materials for structural castings made of naturally hard and self-hardening alloys have already proven themselves many times in practice, both for conventional structural parts and for new projects on so-called Gigacasting machines.

Viri / References

- [1] Groß, größer, am größten, GIESSEREI 108, 2021, Vol 8, p 16
- [2] <https://www.foundry-planet.com/de/d/lk-dreampress-16000t-die-casting-machine-unveiled-a-momentous-occasion/> [24.07.2024]
- [3] S. Wiesner, Characteristics of the Alloys AlMg4Fe2 and AlMg4Zn3Fe2 (Castaduct®-42 and -18) for Aluminum Structure Parts, GIESSEREI-PRAXIS 4, 2019, pp 47-53.
- [4] E. Minin, G. Wisner, M. Frauenhofer, K. Dilger, Welche Vorbehandlung wirkt am besten?, adhäsion, 2011, Vol 6, pp 38-43.
- [5] H. Pries, J. Shi, E. Stammen, K. Dilger, Prozesssicheres Kleben von Aluminiumdruckguss-Komponenten, GIESSEREI 103, 2016, p 28-35.

Preiskava reciklirane zlitine AlSi9Cu3(Fe)

Investigation of Recycled AlSi9Cu3(Fe) Alloy

Izvilleček

Zaradi zakonodaje Evropske unije in težav, s katerimi se v zadnjem času soočajo proizvajalci ulitkov, se vse več pozornosti namenja surovinam. Surovine se nahajajo na začetku vseh industrijskih vrednostnih verig. Te kritične (CRM) in strateške surovine (SRM) so pogosto nepogrešljive za številne strateške sektorje, vključno z obnovljivimi viri energije, digitalno industrijo, vesoljskim in obrambnim sektorjem ter zdravstvenim sektorjem, ki so vsi povezani s kovinsko industrijo. Aluminij in njegove zlitine so pomembne kritične in strateške surovine. Standardna aluminijeva zlitina AlSi9Cu3(Fe) (EN AC 46000) se pogosto uporablja v avtomobilski industriji in sektorju prevoza. Glavne prednosti zlitine AlSi9Cu3(Fe) so vrhunske mehanske lastnosti, kot so trdnost in trdota ter raztezek in odpornost proti koroziji.

Funkcionalne in uporabne lastnosti aluminijevih zlitin so odvisne od kemijske sestave, obdelave taline, hitrosti strjevanja, postopka litja in morebitne toplotne obdelave. Večina jih je odvisna od razvoja mikrostrukture. V tem članku je raziskan potencial recikliranja zlitine AlSi9Cu3(Fe) z uporabo popolnoma povratnega materiala brez dodatkov ali prečiščevanja. Prisotnost širokega spektra legiranih elementov zlitin AlSi9Cu3(Fe) kaže na razvoj α -Al₁₅Si₂M₄ (M= Cr, Fe, Mn, Mo), β -AlFeSi, Al₂Cu in še bolj kompleksnih, kot je AlCu₂Mg₉Si₇, z uporabo teoretičnega modeliranja. Kompleksna pot strjevanja kaže na primarni aluminij α_{Al} , evtektično fazo ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$), intermetalno fazo na železovi osnovi v obliki AlFeSi in morfologijo »kitajske pisave«, intermetalno fazo na osnovi magnezija in bakra, kot sta Mg₂Si in Al₂Cu, ter kompleksne intermetalne faze, kot sta AlMg₃FeSi₂ in Al₅Mg₈Si₂Cu₂. Termodinamični učinki interakcije elementov med strjevanjem pomembno vplivajo na potek in način strjevanja. Čeprav preučevani vzorci ohranijo visoko natezno trdnost in raztezek, rahlo poslabšanje kemijske sestave in s tem termodinamičnega učinka pomembno vplivata na razvoj mikrostrukture. Kljub degeneraciji kemijske sestave je bila dobljena mikrostruktura pravilna in je zato upravičeno dosegla odlične mehanske lastnosti. Zato je na podlagi preučevanja termodinamičnih in mikrostrukturnih lastnosti sekundarne zlitine AlSi9Cu3(Fe) navedeno, da je surovina kakovosten polnilni material z dobrim potencialom za uporabo in recikliranje.

Ključne besede: zlitina AlSi9Cu3(Fe), strjevanje, termodinamika, mikrostruktura

Abstract

Due to European Union legislative and recently the difficulties faced by casting manufacturers, more and more attention is focused on raw materials. Raw materials are found at the beginning of all industrial value chains. These critical (CRMs) and strategic raw materials (SRMs) are often indispensable inputs for a wide set of strategic sectors including renewable energy, the digital industry, the space and defence sectors, health

sector all connected to the metal industry. Aluminium and its alloys plays an important CRMs and SRMs. Standard aluminium alloy AlSi9Cu3(Fe) (EN AC 46000) is widely used in the automotive and transport industry. High mechanical properties such as strength and hardness, as well as elongation and corrosion resistance are the main advantages of AlSi9Cu3(Fe) alloy.

The functional and useful properties of aluminium cast alloys are dependent from the chemical composition, melt treatment, solidification rate, casting process and potential heat treatment. Most of them are conditioned by the microstructural development. This paper investigates the recycling potential of AlSi9Cu3(Fe) alloy using completely return material without any additions or refining. The presence of wide range of alloying elements AlSi9Cu3(Fe) alloys indicates development α -Al₁₅Si₂M₄ (M= Cr, Fe, Mn, Mo), β -Al₅FeSi, Al₂Cu and even more complex one such as Al₃Cu₂Mg₉Si₇ using theoretical modelling. Complex solidification path indicates primary aluminium α_{Al} , eutectic phase $\alpha_{Al}+\beta_{Si}$, intermetallic phase on the iron base in Al₅FeSi and "Chinese script" morphology, intermetallic phase on the magnesium and copper base such as Mg₂Si and Al₂Cu, and complex intermetallic such as Al₈Mg₃FeSi₂ and Al₅Mg₈Si₂Cu₂ phases. Thermodynamic effects of elements interaction during solidification sequence significantly influence on solidification path and manner. Although the investigated samples maintain high tensile strength and elongation, slight degradation in chemical composition and therefore in thermodynamic effect, significantly influence on microstructure development. In despite of chemical composition degeneration, obtained microstructure was correct and therefore justified achieved high mechanical properties. Therefore, on the base of thermodynamic and microstructural investigation of the secondary AlSi9Cu3(Fe) alloy indicated raw material as a quality charge material with good application and recycling potential.

Keywords: recycling potential, AlSi9Cu3(Fe) alloy, solidification, thermodynamics, microstructure

1 Uvod

Ogljični odtis evropskega primarnega proizvodnega procesa znaša 6,8 kg emisij CO₂ v primerjavi s svetovnim povprečjem 16,1 kg CO₂ na kg proizvedenega aluminija [1]. Surovine veljajo za izvor vseh industrijskih vrednostnih verig. Te kritične surovine (CRM) so nepogrešljiv vhodni material za strateške sektorje, kot so obnovljivi viri energije digitalna industrija, vesoljski in obrambni sektor ter zdravstveni sektor, ki so večinoma povezani s kovinsko industrijo. Pridobivanje in obdelava kritičnih surovin lahko, odvisno od uporabljenih metod in postopkov, negativno vplivata na okolje in družbo. Z najpomembnejšimi

1 Introduction

The carbon footprint of Europe's primary production process is 6,8 kg of CO₂ emissions compared to the global average of 16,1 kg CO₂ per kg of aluminium produced [1]. Raw materials are considered as an origin of all industrial value chains. These critical raw materials (CRMs) represent an indispensable input for a strategic sector such as renewable energy, the digital industry, the space and defence sectors and the health sector, most of them connected to metal industry. Extraction and processing of CRMs can have negative environmental impacts, depending on the methods and processes used, as well

surovinami, kot so navadne kovine, npr. aluminij, baker, svinec, nikelj, kositer in cink, se trguje na borzah. V zadnjem času razvoj gospodarstev v vzponu in širjenje ključnih omogočitenih tehnologij narekujeta povpraševanje po surovinah. Proizvajalci se odzivajo na razpoložljivost kritičnih (CRM) in strateških surovin (SRM) ter na nihanja cen z ustvarjanjem zalog, pogajanji o dolgoročnih pogodbah ali varovanjem pred tveganjem cen. V nedavni študiji o kritičnih surovinah za EU iz leta 2023 [3] je predstavljena ocena teh surovin za EU: 70 surovin kandidat, ki vključujejo 67 posameznih materialov, in tri skupine materialov: deset težkih (HREE) in pet lahkih (LREE) redkih zemeljskih elementov

as social impacts. The most important raw materials like base metals such as aluminium, copper, lead, nickel, tin and zinc are traded on stock exchanges. Recently, development of emerging economies and the diffusion of key enabling technologies dictate the demand for raw materials. Producers respond to availability of CRMs and Strategic Raw Materials (SRMs) as well as on the price fluctuations by stockpiling, negotiating of long-term contracts or price hedging. The recent Study on the critical raw materials for the EU 2023 [3] presents assessment of the critical raw materials for the EU: 70 candidate raw materials comprising 67 individual materials and three materials groups: ten heavy (HREEs) and

Preglednica 1. Uporaba aluminija, deleži uporabe in uporaba v sektorjih NACE2 [2]

Table 1. Aluminium application, uses shares and NACE2 sectors assignment [2]

Uporaba / Application	Delež / Share %	Sektor NACE / NACE sector
Gradbeništvo / Construction	21 %	C25 – Proizvodnja kovinskih izdelkov, razen strojev in naprav / C25 - Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment
Avtomobilska industrija / Automotive industry	19 %	C29 – Proizvodnja motornih vozil, prikolic in polprikolic / C29 - Manufacture of motor vehicles, trailers and semi- trailers
Transportna oprema / Transport equipment	19 %	C30 – Proizvodnja drugih vozil in plovil / C30 - Manufacture of other transport equipment
Embalaža / Packaging	15 %	C25 – Proizvodnja kovinskih izdelkov, razen strojev in naprav / C25 - Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment
Visokotehnološki inženiring / High tech engineering	11 %	C28 – Proizvodnja drugih strojev in naprav / C28 - Manufacture of machinery and equipment n.e.c.
Trajno potrošniško blago / Consumer durables	5 %	C25 – Proizvodnja kovinskih izdelkov, razen strojev in naprav / C25 - Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment
Ognjevzdržni materiali / Refractories	3 %	C23 – Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov / C23 - Manufacture of other non metallic mineral products
Cement / Cement	3 %	C23 – Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov / C23 - Manufacture of other non metallic mineral products
Brusi / Abrasives	2 %	C23 – Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov / C23 - Manufacture of other non metallic mineral products

ter pet kovin iz platinske skupine (PGM), skupaj 87 posameznih surovin. Aluminij in boksit sta bila ocenjena v sinergiji [2].

Kritičnost aluminija je ocenjena za dve različni fazi življenjskega cikla, pridobivanje in rafiniranje. Uporaba aluminija, deleži uporabe in uporaba v sektorjih iz statistične klasifikacije gospodarskih dejavnosti v Evropski skupnosti (NACE) so prikazani v preglednici 1 [2].

Strateški pomen za gospodarsko rast ter trajnost evropskega gospodarstva in družbe, vključno s preходом na podnebno nevtralnost in digitalno gospodarstvo, pri čemer je zagotovljena skladnost z načelom, da se ne škoduje bistveno, kot je navedeno v evropskem zelenem dogovoru, obravnava trajnostno pridobivanje in predelavo surovin, kjer [3]:

1. prispevajo h gospodarski rasti in socialno-ekonomskemu napredku skupnosti, vključno z avtohtonim prebivalstvom, ki je povezano s postopki pridobivanja in predelave ali je zaradi njih prizadeto;
2. se izvajajo za zagotavljanje dolgoročne trajnosti in ekonomske upravičenosti za razvoj in zadovoljevanje potreb sodobne družbe po mineralih in kovinah;
3. spodbujajo inovacije in uvajanje digitalnih tehnologij za varnejše, čistejše in stroškovno učinkovitejše proizvodne procese;
4. se izvaja krožno gospodarstvo in na učinkoviti rabi virov osnovane tehnološke vrednostne verige, ki temeljijo na mineralih, za spodbujanje predelave odpadkov ter omogočanje energetskega prehoda in
5. elektrifikacijo.

Ker aluminij (in njegove zlitine) spada v skupino zelenih materialov in ker je njegov pomen prepoznan v kritičnih in strateških surovinah, je možnost njegove uporabe kot sekundarne surovine

five light (LREEs) rare earth elements, and five platinum-group metals (PGMs), and 87 individual raw materials in total. Aluminium and bauxite have been evaluated in synergy [2].

The criticality of aluminium is assessed for two different life cycle stages, the extraction and refining. Aluminium application, uses shares and NACE sectors assignment are shown in Table 1 [2].

Strategic importance for economic growth and the sustainability of Europe's economy and society including the transition to climate neutrality and a digital economy while complying with the principle of do no significant harm as stated in the European Green Deal deals with sustainable raw materials extraction and processing in which they [3]:

1. contribute to the economic growth and the socio-economic advancement of communities, including indigenous people, associated with or affected by extraction and processing operations;
2. are carried out to ensure long-term sustainability and economic viability to develop and meet the needs of modern society for minerals and metals;
3. facilitate innovation and encourage the uptake of digital technologies for safer, cleaner and cost-effective production processes.
4. implement circular economy and resource efficiency driven mineral-based technology value chains to promote waste recovery, and enable energy transition and
5. electrification.

Since aluminium and its alloys belong to the group of green materials and due to its recognizes significance in the CRMs and SRMs, the potential of its' use as a secondary raw material is enormous. Usual application of secondary raw material in conventional foundries was dedicated to

ogromna. Običajna uporaba sekundarnih surovin v konvencionalnih livarnah je bila namenjena lastnemu ponovnemu pridobivanju (odpad) [4–5]. Nadzorovane lastnosti, kot sta kemična sestava in stopnja nečistoč, omogočajo dodajanje večjih količin odpadnega aluminija pri proizvodnji aluminijevih zlitin [6–7].

Večkratno ponovno taljenje je pomemben vidik pri podaljševanju življenjske dobe materiala. Pri običajni uporabi določenega deleža sekundarnih surovin v vložku je bilo ugotovljeno, da kemijska sestava zlitine ustreza tisti, ki jo zahteva standard [8], vendar tudi z določenim zmanjšanjem mehanskih lastnosti [9–10].

Zlitine iz skupine Al-Si igrajo zaradi "visoke trdnosti pri sobnih in povišanih temperaturah pomembno vlogo v avtomobilski industriji pri različnih varnostno kritičnih delih [11–12]. Razumevanje razvoja mikrostrukture med strjevanjem je splošnega pomena zaradi zahtev, povezanih z mehanskimi, tehnološkimi in korozijskimi lastnostmi materiala [13–14]. Poleg obdelave taline, hitrosti ohlajanja in toplotne obdelave je odvisna predvsem od kemijske sestave in možnih interakcij prisotnih elementov med postopkom strjevanja [15]. Med postopkom strjevanja je prišlo do številnih interakcij. Modelirani ravnotežni fazni diagram omogoča napovedovanje poteka strjevanja v ravnotežnem in neravnotežnem načinu [15]. Mikrostrukturne preiskave vzorcev z optično in vrstično elektronsko mikroskopijo potrjujejo prisotnost naslednjih faz: primarni razvoj aluminija (α_{Al}), faze na osnovi železa (Al_5FeSi , $Al_x(Fe, Mn, Cu)_ySi_z$ in/ali $Al_x(Fe, Mn)_yMg_zCu_uSi_w$), primarni evtektik ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$), sekundarni evtektik v obliki intermetalnih faz, kot so $Al_5Mg_8Si_6Cu_2$, Al_2Cu , in nazadnje $Al_{15}Cu_2Mg_8Si_6$.

own return (scrap) [4-5]. Controlled features such as chemical composition and level of impurities enables addition of higher amount of aluminium scrap in production of aluminium alloys [6-7].

Multiple remelting is an important aspect in extending the material end of life. In the conventional application of a certain share of secondary raw material in the charge material it has been noticed that chemical composition of an alloy corresponds to those required by norm [8], but also with certain reduction in mechanical properties [9-10].

Alloys from the Al-Si group have an important role in automotive industry for various safety critical parts due to their high strength at room and elevated temperatures [11-12]. Understanding of microstructure evolution during solidification is of general importance due to requirements related to mechanical, technological and corrosion properties of material [13-14]. Beside melt treatment, cooling rate and heat treatment it is mainly dependent from the chemical composition and possible interaction of present elements during solidification process [15]. Numerous interaction occurred during solidification process. Modelled equilibrium phase diagram enables solidification sequence prediction in equilibrium and non-equilibrium mode [15]. Microstructural investigation of samples by optical and scanning electron microscopy confirms the presence of following phases: primary aluminium evolution (α_{Al}), iron base phases (Al_5FeSi , $Al_x(Fe, Mn, Cu)_ySi_z$ and/or $Al_x(Fe, Mn)_yMg_zCu_uSi_w$), primary eutectic phase ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$), secondary eutectic phases in form of intermetallic phases like $Al_5Mg_8Si_6Cu_2$, Al_2Cu and finally $Al_{15}Cu_2Mg_8Si_6$.

In this work, the influence of completely return (secondary raw material - scrap) material as the only charge material

V tem delu je bil raziskan vpliv v celoti ponovno pridobljenega materiala (sekundarne surovine – odpad) kot edini vložek za proizvodnjo zlitine AlSi9Cu3(Fe) na razvoj mikrostrukture zaradi termodinamičnih interakcij prisotnih elementov. Ocena kakovosti vložka je temeljila na poslabšanju kemijske sestave zaradi ponovnega taljenja, morebitni spremembi poteka strjevanja in/ali temperatur ter posledično vplivu na druge funkcionalne lastnosti končnih izdelkov.

2 Materiali in metode

Novejša praksa v livarnah tlačnega litja (HPDC) je priprava vložka s 50 % povratnih surovin in 50 % novih surovin (konvencionalni vložek – CCM). V tem delu je bil vložek za taljenje pripravljen iz 100-odstotno, tj. popolnoma iz povratnega materiala (RCM).

Posebno zasnovano orodje za vlivanje preskusnih vzorcev zlitine AlSi9Cu3(Fe) v skladu s standardi ISO 377, ISO 6892-1 in ISO 1099 je bilo izdelano s tehnologijo HPDC na stroju BUHLER 53D. Litje in robotizirano nanašanje vodotesnih premazov je potekalo v popolnoma avtomatiziranih ciklih, vzorci pa so se hladili na zraku. Pridobljeni vzorci so bili pregledani glede mehanskih lastnosti s preskusnim strojem MTS 810 pri sobni temperaturi $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ v skladu s standardom EN 10002-1 [14].

Analiza kemijske sestave je bila opravljena z optičnim emisijskim spektrometrom ARL-3460. Termodinamični izračuni ravnotežnega in neravnotežnega faznega diagrama s Scheil-Gullerjevim modelom za zlitino AlSi7MgCu so bili opravljene s programom Thermo-Calc TCW 5.0 s podatkovno bazo TTAL7 [15]. Opravljena je bila primerjava dobljenih rezultatov z rezultati simultane termične

for AlSi9Cu3(Fe) alloy production on microstructure development due to thermodynamic interactions of present elements was investigated. Quality assesment of the charge material was based on the degeneration of chemical composition due to remelting, possible change in solidification sequence and/or temperatures and consequently influence at other functional properties of final products.

2 Materials and methods

Recent practice in High Pressure Die Casting (HPDC) foundries is designing the charge materials with 50% of return and 50% of new raw materials (conventional charge material – CCM). In this work, the charge material for melting was prepared from 100% i.e. completely return material (return charge material - RCM).

Specially designed tool for casting of AlSi9Cu3(Fe) alloy test samples according to ISO 377, ISO 6892-1 and ISO 1099 standards were produced using HPDC technology at BUHLER 53D machine. Casting and robotised coating with watertight coatings were carried out in a fully automated cycles and samples were cooled in the air. Obtained samples undergone the mechanical properties investigations performed on testing machine MTS 810, at room temperature $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ in accordance to EN 10002-1 [14].

Chemical composition analysis was performed using optical emission spectrometer ARL-3460. Thermodynamic calculations of equilibrium and Scheil–Gulliver non-equilibrium phase diagram of AlSi7MgCu alloy have been performed by Thermo-Calc software TCW 5.0, with database TTAL7 [15]. Obtained results were compared with those from simultaneous thermal analysis performed on STA 449

analize, opravljene na analizatorju STA 449 Jupiter. Simultana termična analiza omogoča določanje značilnih temperatur in toplotnih učinkov posameznih dogodkov med taljenjem in/ali strjevanjem.

Mikrostrukturo smo pregledali s svetlobnim OLYMPUS BX51 in vrstičnim elektronskim mikroskopom, opremljenim z energijsko disperzijskim spektrometrom JEOL-5610.

Jupiter. STA enables determination of characteristic temperatures and thermal effect of particular events during melting and/or solidification.

The microstructure was examined with a light OLYMPUS BX51 and scanning electron microscope equipped with energy dispersive spectrometer JEOL-5610.

3 Results and Discussion

3.1 Analysis of Chemical Composition

The chemical composition of AlSi9Cu3(Fe) alloy is given in Table 2. The comparison of the chemical composition of tested samples with certified data showed no deviations from the values required by the standard EN 1706.

Comparison of requirement and tested samples in common charge material (CCM 50%) and recycled – return charge material (RCM 100%) revealed that all obtained values for important elements are consequent with the norm but lower in return charge material. Due to the high values of copper and low content of magnesium the formation of Al_2Cu and $Al_5Mg_8Si_2Cu_2$ intermetallic phases is expected. With respect to the corresponding content of iron and manganese in the tested RCM

3 Rezultati in razprava

3.1 Analiza kemijske sestave

Kemijska sestava zlitine AlSi9Cu3(Fe) je navedena v Preglednici 2. Primerjava kemijske sestave preskusnih vzorcev s certificiranimi podatki ni pokazala odstopanj od vrednosti, ki jih zahteva standard EN 1706.

Primerjava zahtev in preskušanih vzorcev iz običajnega vložka (CCM 50 %) ter povratnega materiala (RCM 100 %) je pokazala, da so vse dobljene vrednosti pomembnih elementov skladne s standardi, vendar nižje pri 100 % povratnem materialu. Zaradi visokih vrednosti bakra in nizke vsebnosti magnezija se pričakuje nastanek intermetalnih faz Al_2Cu in $AlMg_8Si_2Cu_2$. Glede na ustrezno vsebnost železa in

Preglednica 2. Primerjava kemijske sestave zlitine EN AB AlSi9Cu3 po standardu EN 1706:2010, sestava zlitine iz običajnega vložka sestavljenega iz 50 % povratnega materiala, zlitina pridobljena iz 100 % povratnega materiala.

Table 2. Comparison of chemical composition of charge material EN AB AlSi9Cu3 by norm EN 1706:2010, conventional charge material consisted from 50% and return charge material consisted from 100% of return charge material

Element w/wt %	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
EN 1706	8,0-11,0	1,0	2,0-4,0	0,55	0,05-0,55	0,15	1,2	0,35	0,25
CCM (50 %)	9,75	0,89	3,26	0,24	0,12	0,04	0,99	0,06	0,012
RCM (100 %)	8,75	0,66	2,91	0,20	0,17	0,04	0,82	0,04	0,004

mangana v preskušeni zlitini RCM in zaradi uporabljene tehnologije HPDC se pričakuje nastanek faze $\text{Al}_{15}(\text{MnFe})_3\text{Si}_2$. Poleg tega lahko interakcija z magnezijem povzroči nastanek faze $\text{Al}_8\text{Mg}_3\text{FeSi}_2$ [15]. Druge nečistoče, svinec, krom in kositer, so v mejah, ki jih predpisuje standard.

3.2 Rezultati termodinamičnega modeliranja

Termodinamično modeliranje omogoča ravnotežno in neravnotežno napovedovanje poteka strjevanja glede na kemijsko sestavo [15]. Slika 1 prikazuje modelirano obnašanje zlitine iz običajnega vložka in zlitine iz vložka povratnega materiala na podlagi prisotnih termodinamičnih parametrov elementov. Termodinamično modeliranje omogoča napovedovanje in primerjavo poteka strjevanja ter s tem povezanih temperatur transformacije in razvoja faz.

Vrednotenje in primerjava dobljenih ravnotežnih in neravnotežnih faznih diagramov obeh zlitin sta razkrila razlike v poteku strjevanja. Reakcije v poteku strjevanja preskušanih zlitin AlSi9Cu3(Fe) , izdelanih iz različnih reciklažnih razmerij v skladu z neravnotežnim Scheilovim diagramom, so navedene v preglednici 3:

Reakcije v poteku strjevanja obeh primerjanih zlitin niso pokazale razlik v reakcijah, pridobljenih fazah in vrstnem redu njihovega pojavljanja. Glavna razlika je v pripadajoči temperaturi in intervalu strjevanja. Običajni AlSi9Cu3(Fe) ima širši interval strjevanja 92,71 °C, medtem ko je pri popolnoma ponovno pridobljenem polnilnem materialu interval 89,10 °C. Modeliranje zaporedja strjevanja zlitine AlSi9Cu3(Fe) za oba je pokazalo nekatere razlike v poteku strjevanja glede značilnih temperatur za intermetalno fazo na osnovi Fe in Cu/Mg kot končne faze strjevanja.

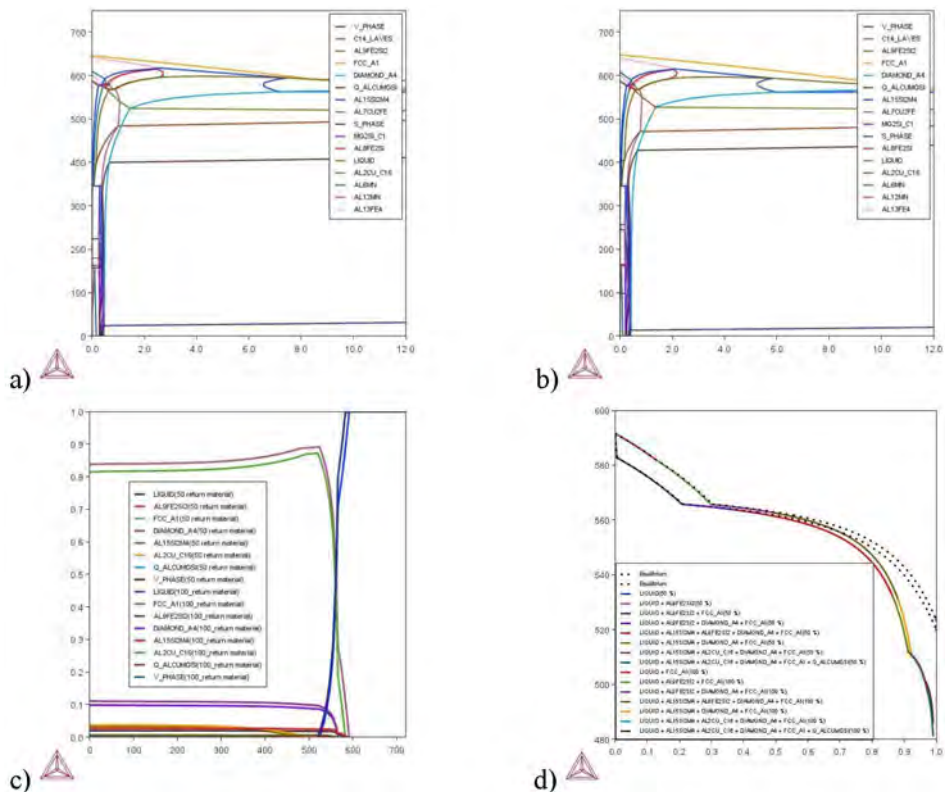
alloy, and due to applied HPDC technology, $\text{Al}_{15}(\text{MnFe})_3\text{Si}_2$ phase formation is expected. In addition, interaction with magnesium can lead to formation of $\text{Al}_8\text{Mg}_3\text{FeSi}_2$ phase [15]. Other impurities, lead, chrome and tin, are within the limits prescribed by norm.

3.2 Thermodynamic modelling results

Thermodynamic modelling enables equilibrium and non-equilibrium prediction of solidification sequence according to chemical composition [15]. Figure 1 indicate modelled behaviour of conventional and return charge material on the base of thermodynamic parameters present elements. Thermodynamic modelling enables prediction and comparison of solidification sequence and associated temperatures of phases' transformations and evolution.

Evaluation and comparison of obtained equilibrium and non-equilibrium phase diagram of both charge materials revealed differences in solidification sequence. Reactions in solidification sequence of tested AlSi9Cu3(Fe) alloys made from different recycling ratio according to non-equilibrium Scheil diagram are as follows in Table 3.:

Reactions in solidification sequence of both compared charge materials did not reveal differentiations in reactions, obtained phases and its order of appearance. The main difference occurs in belonging temperatures and solidification interval. Conventional AlSi9Cu3(Fe) exhibits wider solidification interval of 92.71°C, while for completely return charge material interval is 89,10°C. Modelling of AlSi9Cu3(Fe) alloy solidification sequence for both charges revealed some differences in solidification path regarding characteristic temperatures for intermetallic on the base of Fe and Cu/Mg as a final solidification phases.



Slika 1. Ocena in primerjava poteka strjevanja zlitine AlSi9Cu3(Fe) iz običajnega vložka in vložka iz povratnega materiala: a) Al-kot zlitine iz običajnega vložka; Al-kot zlitine iz povratnega materiala; c) primerjava poteka strjevanja obeh zlitin v ravnotežnem faznem diagramu; d) primerjava poteka strjevanja obeh zlitin v neravnotežnem Scheilovem diagramu

Figure 1. Evaluation and comparison of solidification sequence of AlSi9Cu3(Fe) alloy from conventional and return charge material: a) Al-corner of conventional charge material; Al- corner of return charge material; c) comparison of solidification sequence for both charge materials in equilibrium phase diagram; d) comparison of solidification sequence for both charge materials in non-equilibrium Scheil phase diagram

3.3 Rezultati simultane termične analize

Simultano termično analizo (STA) smo izvedli na več vzorcih zlitin iz popolnoma povratnega materiala, da bi ocenili skladnost obnašanja pri strjevanju s predhodno modeliranim. Primerjava krivulj ohlajanja je prikazana na sliki 2.

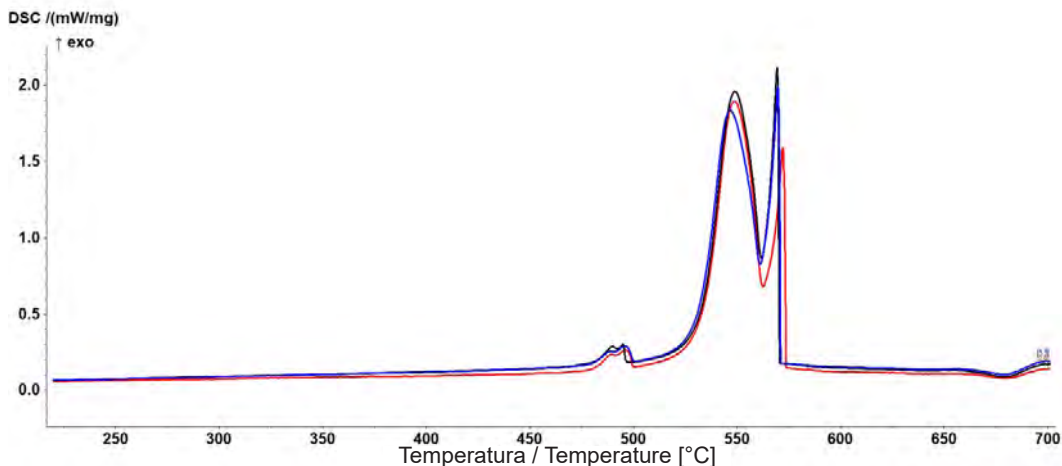
3.3 Simultaneous thermal analysis results

Simultaneous thermal analysis (STA) was performed on several samples of completely return charge material in order to estimate correspondence of solidification behaviour with previously modelled one. Comparison of cooling curves are shown in Figure 2.

Table 3. Comparison of solidification sequence and/or temperatures for both charges of tested AlSi9Cu3(Fe) alloys

Preglednica 3. Primerjava poteka strjevanja in/ali temperatur za obe preskušani zlitini AlSi₉Cu₃(Fe)

Vložek / Charge material	Reaction / Reakcija	
Običajni vložek (50 % povratnega materiala) / Conventional charge material (50% return material)	$L + \beta - Al_5FeSi$	590.62
	$L + \beta - Al_5FeSi + \alpha_{Al}$	583.53
	$L + \beta - Al_5FeSi + \alpha_{Al} + \beta_{Si}$	565.80
	$L + \beta - Al_5FeSi + \alpha_{Al} + \beta_{Si} + Al_{15}Si_2M_4$ (M = Cr, Fe, Mn, Mo)	563.77
	$L + \beta_{Si} + Al_{15}Si_2M_4$ (M = Cr, Fe, Mn, Mo)	532.42
	$L + \alpha_{Al} + \beta_{Si} + Al_{15}Si_2M_4$ (M = Cr, Fe, Mn, Mo) + Al_2Cu	512.39
	$L + \alpha_{Al} + \beta_{Si} + Al_{15}Si_2M_4$ (M = Cr, Fe, Mn, Mo) + $Al_2Cu + Al_3Cu_2 + Al_3Cu_2Mg_9Si_7$	497.91
Vožek iz povratnega materiala(100 % povratnega materiala) / Return charge material (100 % return material)	$L + \alpha_{Al}$	591.62
	$L + \beta - Al_5FeSi + \alpha_{Al}$	582.12
	$L + \beta - Al_5FeSi + \alpha_{Al} + \beta_{Si}$	565.73
	$L + \beta - Al_5FeSi + \alpha_{Al} + \beta_{Si} + Al_{15}Si_2M_4$ (M = Cr, Fe, Mn, Mo)	562.70
	$L + \beta_{Si} + Al_{15}Si_2M_4$ (M = Cr, Fe, Mn, Mo)	531.35
	$L + \alpha_{Al} + \beta_{Si} + Al_{15}Si_2M_4$ (M = Cr, Fe, Mn, Mo) + Al_2Cu	511.32
	$L + \alpha_{Al} + \beta_{Si} + Al_{15}Si_2M_4$ (M = Cr, Fe, Mn, Mo) + $Al_2Cu + Al_3Cu_2Mg_9Si_7$	502.52



Slika 2. Simultana termična analiza zlitine iz povratnega materiala

Figure 2. STA analysis of completely return charge material of AlSi9Cu3(Fe) alloy

Analiza krivulj segrevanja in ohlajanja pri simultani termični analizi kaže značilne temperature faznih transformacij in razvoja. Te so predstavljene v preglednici 4 skupaj s

Analysis of simultaneous thermal analysis heating / cooling curves indicates characteristic temperatures of phase transformations and evolution. Those are

Preglednica 4. Značilne temperature faznih transformacij in razvoj zlitine AlSi9Cu3(Fe)**Table 4.** Characteristic temperatures of phase transformations and evolution of AlSi9Cu3(Fe) alloy

Vzorec / Sample	T_L [°C]	T_E [°C]	T_{Al-Cu} [°C]	$T_{S:Al-Cu-Mg-Si}$ [°C]	AT_{L-S}	Rm [MPa]	A [%]
2	591,0	561,1	500,7	491,9	99,1	316,3	2,50
5	588,7	562,6	500,1	492,2	96,5	311,7	2,30
8	588,2	561,8	497,1	492,1	96,1	329,6	3,00

predhodno raziskanimi natezno trdnostjo in raztežkom.

Preučitev zlitine AlSi9Cu3(Fe) iz povratnega materiala s simultano termično analizo razkriva spremljanje poteka strjevanja, modeliranega s TCW. Opazno je znižanje evtektične in nizkotemperaturne faze. Solidus temperatura T_s je pri 10,62 °C nižja od modelirane, zato je interval strjevanja pri 7,4 °C daljši. Zanimivo je, da ima preiskovani material z višjimi vrednostmi mehanskih lastnosti tudi višjo potrebno energijo za začetek strjevanja in taljenja.

3.4 Rezultati preučitve mikrostrukture

Razvoj mikrostrukture ni pokazal bistvenih odstopanj od poteka strjevanja, razen neke v morfologiji mikrostrukturnih sestavin, kot je prikazano na sliki 3.

Rezultati optične mikroskopije (OM) in vrstične elektronske mikroskopije (SEM) kažejo značilno mikrostrukturo zlitine AlSi9Cu3(Fe), izdelane s HPDC. Preiskava mikrostrukture je sestavljena iz matrice primarnega aluminija α_{Al} , evtektika ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$), intermetalne faze na osnovi železa v pretežno igličasti morfologiji – AlFeSi in tudi v $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si_2$.

Morfologija »kitajske pisave«, neke črna razvejana Mg_2Si , faza intermetalne strukture $Al_8Mg_3FeSi_2$ in faze Al_2Cu ter $Al_5Mg_8Si_2Cu_2$ na osnovi bakra. Bakrovi skupki se izločijo na mejah zrn, medtem

presented in Table 4 along with previously investigated tensile strength and elongation.

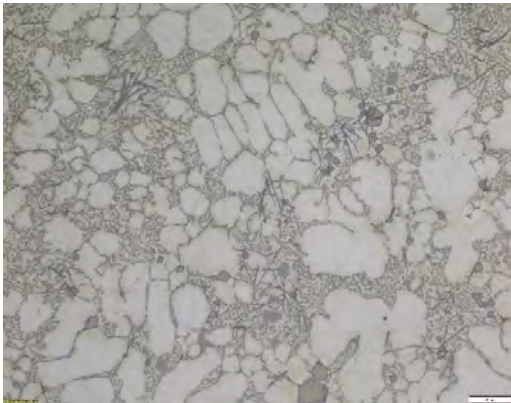
STA investigation of completely return charge material of revealed follow up of the AlSi9Cu3(Fe) alloy reveals follow up of solidification sequence modelled by TCW. The lowering of eutectic and low temperature phase is noticed. Solidus temperature T_s is lower than modelled for 10,62°C, and solidification interval is therefore wider for 7,4°C. It is interesting to notice that the investigated material with higher values of mechanical properties also has a higher required energy for the start of solidification, as well as melting process.

3.4 Microstructure Investigation Results

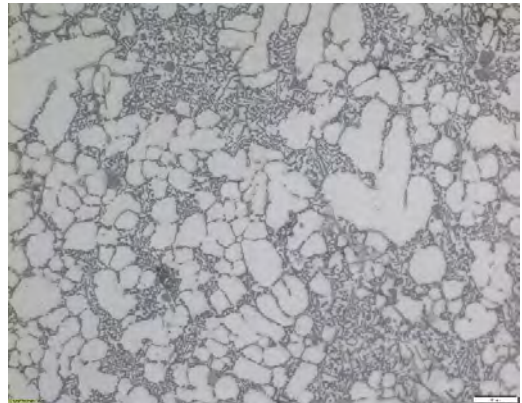
Microstructure development did not indicate any significant deviation from the solidification sequence except somewhere in the morphology of microstructural constituents as shown in Figure 3.

Results of optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEI) show the typical microstructure of AlSi9Cu3(Fe) alloy produced by HPDC. Microstructure investigation consists from matrix of primary aluminium α_{Al} , eutectic phase $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$, intermetallic phase on the iron base in predominantly needle-like morphology - Al_5FeSi and also in $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si_2$

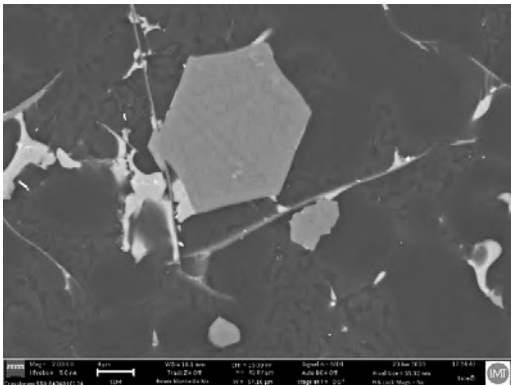
“Chinese script” morphology, somewhere black ramified Mg_2Si , intermetallic script $Al_8Mg_3FeSi_2$ phase,



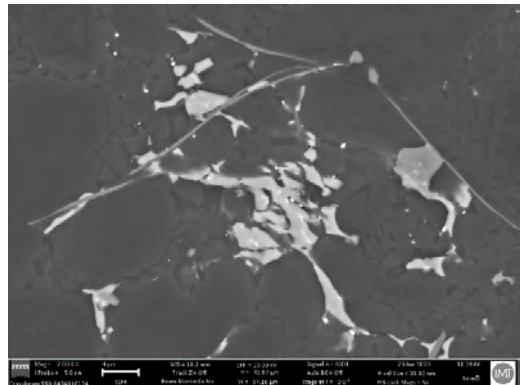
Light microscopy 500x



Light microscopy 500x



SEI 2000x



SEI 2000x

Slika 3. Razvoj mikrostrukture zlitine AlSi9Cu3(Fe)**Figure 3.** Microstructure development of AlSi9Cu3(Fe) alloy

ko se razvejana bakrova faza nahaja v interdendritnih prostorih.

4 Sklepne ugotovitve

V tem delu je bil raziskan vpliv reciklirane (ponovno taljene) zlitine AlSi9Cu3(Fe) na termodinamiko strjevanja in razvoj mikrostrukture. Raziskava je bila opravljena na zlitine AlSi9Cu3(Fe) izdelane iz povratnega materiala.

Preučitev povratnega materiala kot vložek za izdelano zlitino AlSi9Cu3(Fe)

and Al_2Cu and $\text{Al}_5\text{Mg}_8\text{Si}_2\text{Cu}_2$ phases on the copper base. Copper clusters are precipitated on the grain boundaries, while ramified copper phase is placed in interdendritic spaces.

4 Conclusions

Influence of recycled (remelted) AlSi9Cu3(Fe) alloy on solidification thermodynamics and microstructure development was investigated in this work.

s simultano termično analizo razkriva spremljanje poteka strjevanja, modeliranega s TCW. Opazno je znižanje evtektične in nizkotemperaturne faze. Solidus temperatura T_s je pri 10,62 °C nižja od modelirane, zato je interval strjevanja širši za 7,4 °C. Zanimivo je, da ima preiskovani material z višjimi vrednostmi mehanskih lastnosti tudi višjo potrebno energijo za začetek strjevanja in taljenja.

Mikrostruktura ni pokazala bistvenih odstopanj pri razvoju glavnih mikrostrukturnih sestavin primarnega aluminija α_{Al} , evtektika ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$), intermetalne faze na železovi osnovi v obliki Al_5FeSi in morfologije »kitajske pisave«, intermetalne faze na osnovi magnezija in bakra, kot sta Mg_2Si in Al_2Cu , ter kompleksne intermetalne faze, kot sta $Al_8Mg_3FeSi_2$ in $Al_5Mg_8Si_2Cu_2$. Razvoj mikrostrukture omogoča relativno visoke vrednosti mehanskih lastnosti, kot sta natezna trdnost in raztezek.

Rezultati termodinamičnih in mikrostrukturnih preiskav zlitine $AlSi9Cu3(Fe)$ so pokazali, da je popolnoma povraten material kakovosten vložek z dobrim potencialom za uporabo in recikliranje. Kljub slabšanju kemijske sestave je bil razvoj mikrostrukture pravilen, zato so bile upravičeno dosežene odlične mehanske lastnosti.

Investigation were performed on completely return charge material of $AlSi9Cu3(Fe)$ alloy.

STA investigation of completely return charge material of revealed follow up of the $AlSi9Cu3(Fe)$ alloy reveals follow up of solidification sequence modelled by TCW. The lowering of eutectic and low temperature phase is noticed. Solidus temperature T_s is lower than modelled for 10,62°C, and solidification interval is therefore wider for 7,4°C. It is interesting to notice that the investigated material with higher values of mechanical properties also has a higher required energy for the start of solidification, as well as melting process.

Microstructure did not show significant deviation in development of main microstructure constituent primary aluminium α_{Al} , eutectic phase $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$, intermetallic phase on the iron base in Al_5FeSi and "Chinese script" morphology, intermetallic phase on the magnesium and copper base such as Mg_2Si and Al_2Cu , and complex intermetallic such as $Al_8Mg_3FeSi_2$ and $Al_5Mg_8Si_2Cu_2$ phases. Microstructure development comprehend to relatively high values of mechanical properties regarding tensile strength and elongation.

Thermodynamic and microstructural investigation results of the $AlSi9Cu3(Fe)$ alloy indicated completely return material as a quality charge material with good application and recycling potential. In despite of chemical composition derogation microstructure development was correct and therefore justified achieved high mechanical properties.

Viri / References

1. European Aluminium, <https://european-aluminium.eu/projets/a-low-carbon-footprint/>
2. European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Grohol, M., Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023: final report, Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>
3. European Commission, EU principles for sustainable raw materials, Publications Office of the European Union, 2021, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/47815>
4. J.A. Taylor, Iron-containing intermetallic phase in Al-Si based casting alloys. *Procedia Mater. Sci.* 1, (2012) 19–33
5. V.S. Zolotarevsky, N.A. Belov, M.V. Glazoff, *Casting Aluminum Alloys* 1st Edition. Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, 2007
6. M. Mahfoud, A. K. Prasada Rao, D. Emadi, The role of thermal analysis in detecting impurity levels during aluminum recycling. *J Therm Anal Calorim*, 100, (2010) 847-851, ISSN 1388-6150
7. L. Sencakova, E. Vircikova, Life cycle assessment of primary aluminium production. *Acta Metallurgica Slovaca*, 13, (2007) 3, 412-419, ISSN 1338-1156
8. L. Kuchariková, E. Tillová, O. Bokuvka, Recycling and properties of recycled aluminium alloys used in the transportation industry. *Transp. Problem.* 11, (2016) 117– 122.
9. J. Kasínska, D. Bolibruchová, M. Marek, The Influence of Remelting on the Properties of AlSi9Cu3 Alloy with Higher Iron Content, *Materials* 13, (2020) 575; doi:10.3390/ma13030575
10. M. Cagala, M. Bruška, P. Lichý, J. Beno, N. Špirutová, Influence of aluminium-alloy remelting on the structure and mechanical properties. *Mater. Technol.* 47, (2013) 239–243.
11. Z. Zovko Brodarac, J. Kalinić, T. Holjevac Grgurić, Study of low pressure die casting AlSi11 alloy solidification, *Proceedings of the 72nd World Foundry Congress*, Nagoya, Japan, 2016., 1-2
12. Z. Zovko Brodarac, T. Holjevac Grgurić, J. Burja, Thermodynamic stability of AlSi11 alloy microconstituents, *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 127 (2017), 1; 431-438, doi:10.1007/s10973-016-5746-6
13. Z. Zovko Brodarac, N. Dolić, F. Unkić, Influence of copper content on microstructure development of AlSi9Cu3 alloy, *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* 50 (1) B (2014) 53 – 60
14. Z. Zovko Brodarac, D. Stanić, M. Folta, F. Kozina, Recycling potential of AlSi9Cu3(Fe) alloy, *Conference Proceedings 61st IFC PORTOROZ 2021*, Ljubljana: Slovenian Foundrymen Society, 2021, 24, 8
15. Z. Zovko Brodarac, F. Kozina, D. Stanić, M. Folta, Quality assessment of the AlSi9Cu3(Fe) alloy with regard to recycling ratio, *Congress Proceedings - MME SEE 2023 5th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe*, Beograd, Srbija: Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AMES), 2023, 251-256

Zelena livarna – napredno odpraševanje s soproizvodnjo toplote

Green Foundry – Advanced Dedusting with Combined Heat Recovery

Izvilleček

Zaradi strožjih okoljskih standardov in cen energije so napredni izpušni sistemi danes pomembnejši kot kdaj koli prej. Ne gre le za odstranjevanje prašnih delcev, temveč tudi strupenih sestavin, kot so dioksini in furani. Namesto da bi vroč izpušni zrak odvajali v ozračje, je rekuperacija toplote primerna tako iz ekonomskih kot tudi okoljskih razlogov, da se poveča trajnost.

Koncept je večstopenjska rešitev za učinkovito odstranjevanje prahu iz celotne livarne v kombinaciji z rekuperacijo toplote za klimatizacijo delavnice: Škodljivi plini z različnih območij livarne (npr. taljenje, hlajenje, priprava peska) se zajemajo in vodijo v filtrirno enoto, ki vključuje tudi doziranje dodatkov za izločanje dioksina in furana, predvsem od croning postopka.

Očiščen izpušni zrak, ki ima še vedno visoko temperaturo, se nato pretaka skozi rotacijski toplotni izmenjevalnik, ki latentno toploto prenaša v dovodni cevovod svežega zraka za klimatizacijo delavnice. Dovodni zrak v halo se nato brez prepiha dovede prek izstopnih odprtin za zrak na določenih nevtralizacijskih delovnih območjih. S tem se zmanjšajo obratovalni in investicijski stroški, povezani z zunanjo kotlovsko enoto, ki bi jo bilo sicer treba namestiti.

Kombinirana naprava za odpraševanje in rekuperacijo toplote v sodobnih livarnah je namenjena tudi za amine iz cold box postopka, ki se pogosto razgradijo v majhnih jedrih in izhlapijo v velikih jedrih. Nastali ogljikovodiki in fenoli se primejo prašnih delcev in jih je treba izločiti v visoko učinkovitih filtrih. Na področju bentonitno vezanih peskov za formiranje sta glavni težavi visoka vsebnost vlage in nastajanje pare.

Poleg osnovnega koncepta in tehničnih podrobnosti bodo v tem dokumentu predstavljeni tudi podatki iz referenčnih obratov, kot je Georg Fischer v Traisenu (Avstrija), kjer mora proizvodnja zagotavljati minimalne emisije, visoko energetske učinkovitost in največjo trajnost, da bi delavce v tovarni zaščitili pred škodljivimi plini in prahom ter ohranili čisto okolje – vse to s pomočjo najinteligentnejših ukrepov za prezračevanje zraka.

Približno 120.000 m³/h se odvaja iz različnih delov livarne in se prenaša v učinkovit ploski vrečasti filter, ki zmanjša emisije prahu na manj kot 3 mg/m³. Za tem filtrom rotacijski toplotni izmenjevalnik prenaša latentno energijo iz odpadnih plinov na svež zrak z zelo visokim izkoristkom približno 70 % (po standardu EN308). Predhodno segreti sveži zrak se nato pametno razporedi po številnih prostorih v delavnici.

Ključne besede: odpraševanje, čiščenje odpadnih plinov, rekuperacija toplote, trajnost, zelena livarna

Abstract

Given the increased environmental standards as well as energy prices, advanced exhaust systems become more important these days than ever before. It's not just about removal of dust particles, but also of toxic components such as dioxins and furans. And instead of just discharging the hot exhaust air right into the atmosphere, heat recovery is the way to go for both, economic as well as environmental reasons, to increase sustainability.

Aiming for a most comprehensive solution for efficient dust removal of the entire foundry combined with heat recovery for air conditioning of the workshop, the concept is a multistage process: The harmful gases from various foundry areas (e.g. melting, cooling, sand preparation) are captured and fed to the filter unit that also includes a downstream additive dosing for the separation of dioxin & furan, mainly from the croning.

The cleaned exhaust air, still at high temperature, is then passed through a rotary heat exchanger that transfers the latent heat to the fresh air supply line for air conditioning of the workshop. The hall supply air is then introduced draught-free via displacement air outlets at defined, neuralgic working areas. This reduces the operating and investment costs associated with an external boiler unit that had to be installed otherwise.

The combined dedusting and heat recovery plant of modern foundries is also addressing the amines of the cold box process that often decompose in small cores and evaporate in large cores. The resulting hydrocarbons and phenols will add to the dust particles and have to be separated in high-effective filters. In the area of bentonite-bonded molding sands, high moisture content and vapor formation are the main problems.

Beside the basic concept and technical details, this paper will also include records from reference plants such as Georg Fischer in Traisen (Austria) where production has to be at minimum emissions, high energy efficiency and maximum sustainability in order to protect workers in the factory from harmful gases and dusts as well as to keep the environment clean – all with most intelligent air ventilation measures.

About 120.000 m³/h are discharged from various areas of the foundry and transferred to an efficient flat bag filter, reducing the dust emissions to below 3 mg/m³. Downstream this filter, a rotary heat exchanger is transferring the latent energy from the off-gas to the fresh air through at a very high efficiency of about 70% (acc. to EN308). This preheated fresh air is then wisely distributed over numerous areas in the workshop.

Keywords: Dedusting, off-gas cleaning, heat recovery, sustainability, green foundry

Zaradi strožjih okoljskih standardov in cen energije so napredni izpušni sistemi danes pomembnejši kot kdaj koli prej. Ne gre le za odstranjevanje prašnih delcev, temveč tudi strupenih sestavin, kot so dioksini in furani. Namesto da bi vroč izpušni zrak odvajali v ozračje, je rekuperacija toplote primerna tako iz ekonomskih kot tudi okoljskih razlogov, da se poveča trajnost.

Koncept je večstopenjska rešitev za učinkovito odstranjevanje prahu iz celotne

Given the increased environmental standards as well as energy prices, advanced exhaust systems become more important these days than ever before. It's not just about removal of dust particles, but also of toxic components such as dioxins and furans. And instead of just discharging the hot exhaust air right into the atmosphere, heat recovery is the way to go for both, economic as well as environmental reasons, to increase sustainability.

livarne v kombinaciji z rekuperacijo toplote za klimatizacijo delavnice: Škodljivi plini z različnih območij livarne (npr. taljenje, hlajenje, priprava peska) se zajemajo in vodijo v filtrirno enoto, ki vključuje tudi doziranje dodatkov za izločanje dioksina & furana, predvsem iz croning postopka.

Najučinkovitejši filter za livarne je ploski vrečasti filter, ki deluje z vodoravno razporejenimi ploskimi filtrirnimi elementi. Te podpirajo distančni elementi z optimiziranim pretokom, pritrjeni v ohišje filtra in zatesnjeni. V celoti varjena komora za surove pline s prirobničnim delom za čiste pline ustvarja plinotesen kompaktni filter. Za vsako uporabo posebej se izberejo filtrirni mediji, ki zagotavljajo skladnost z vrednostmi čistih plinov.

Te ploske vrečaste filtre odlikujejo številne prednosti, kot je zelo nizek diferenčni tlak v filtru, kar zagotavlja visoko energetsko učinkovitost in s tem minimalno porabo dodatne energije. Odvisno od pretoka odpadnega zraka so prihranki pri stroških električne energije v razponu več deset tisoč evrov. Čas montaže ploskih vrečastih filtrov je zaradi visoke stopnje predmontaže skrajšan na minimum, kar pospešuje montažo.

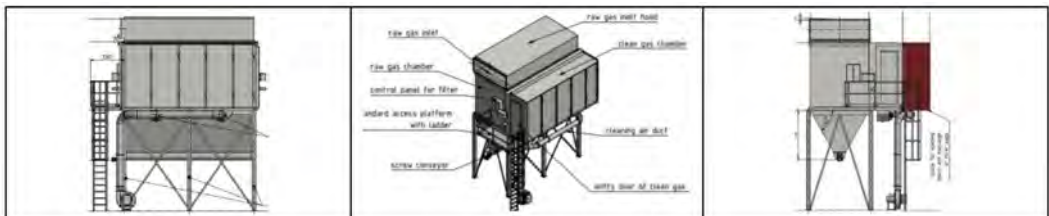
Še ena prednost je patentiran sistem čiščenja, ki ne potrebuje stisnjenega zraka: Pretok plina v vsaki od treh vrst filtrov se prekine, tako da so filtri »izvzeti« iz procesa. Filtrirna pogača in drobni prašni delci padejo na dno, potem ko je bil zrak za čiščenje doveden na določen način. Vsebnost preostalega prahu se zmanjša precej pod

Aiming for a most comprehensive solution for efficient dust removal of the entire foundry combined with heat recovery for air conditioning of the workshop, the concept is a multistage process: The harmful gases from various foundry areas (e.g. melting, cooling, sand preparation) are captured and fed to the filter unit that also includes a downstream additive dosing for the separation of dioxin & furan, mainly from the croning.

Most efficient filter for foundries is the flat bag filter that works with horizontally arranged flat filter elements. These are supported by flow-optimized spacer elements, fixed in the filter body and sealed. A fully welded raw gas chamber with flanged-on clean gas section creates a gas-tight compact filter. Individually for each application, filter media that guarantee compliance with the clean gas values are selected.

These flat bag filters are characterized by many advantages, such as very low filter differential pressure, resulting in high energy efficiency and therefore minimum auxiliary power consumption. Depending on the waste air flow, the cost savings for power are in the range of tens of thousands of Euros. Assembly times for the flat bag filters are reduced to a minimum due to high pre-assembly level, speeding up installation.

One more advantage is the patented cleaning system that does not need compressed air: The gas flow in each of three filter rows is interrupted, thus setting them "offline". Filter cake and fine





vrednosti, ki jih zahtevajo zakonski predpisi, hkrati pa je s tem zagotovljena dolga življenjska doba.

Očiščen izpušni zrak, ki ima še vedno visoko temperaturo, se nato pretaka skozi rotacijski toplotni izmenjevalnik, ki latentno toploto prenaša v dovodni cevovod svežega zraka za klimatizacijo delavnice. Dovodni zrak v halo se nato brez prepiha dovede prek izstopnih odprtín za zrak na določenih nevralgičnih delovnih območjih. S tem se zmanjšajo obratovalni in investicijski stroški, povezani z zunanjo kotlovsvo enoto, ki bi jo bilo sicer treba namestiti.

Jedro rotacijskega izmenjevalnika toplote je vrtljivo kolo, sestavljeno iz krožne matrice v obliki satja iz materiala, ki absorbira toploto, in se počasi vrti v tokovih dovodnega in odvodnega zraka v sistemu za obdelavo zraka. Med vrtenjem termičnega kolesa se toplota v eni polovici vrtljaja zajema iz toka odpadnega zraka, v drugi polovici vrtljaja pa se sprošča v tok svežega zraka.

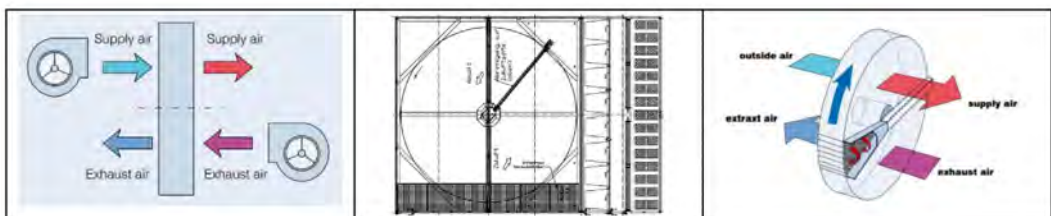
V idealnem primeru se iz različnih območij livarne vrne enaka količina izpuščenega zraka. Posamezne stopnje dovoda svežega zraka morajo biti v skladu s smernicami VDI, da se zagotovi

dust particles fall to the bottom after the purge air has been introduced in a defined manner. The residual dust content is reduced well below the values required by legal regulations – while at the same time ensuring a long service life.

The cleaned exhaust air, still at high temperature, is then passed through a rotary heat exchanger that transfers the latent heat to the fresh air supply line for air conditioning of the workshop. The hall supply air is then introduced draught-free via displacement air outlets at defined, neuralgic working areas. This reduces the operating and investment cost associated with an external boiler unit that had to be installed otherwise.

Core of a rotary heat exchanger is the rotating wheel that consists of a circular honeycomb matrix of heat-absorbing material, which is slowly rotated within the supply and exhaust air streams of an air-handling system. As the thermal wheel rotates, heat is captured from the exhaust air stream in one half of the rotation and released to the fresh air stream in the other half of the rotation.

Ideally the same amount of air discharged from the various foundry areas



Stopnje dovajanja svežega zraka (VDI 3802) / Fresh Air Supply Rates (VDI 3802)	m ³ /h/m ²
Priprava peska / Sand preparation	50–60
Proizvodnja jedra / Core production	60–80
Kalup / Flask mold	60–80
Talilnica / Melting shop	90–140
Ulivanje in hlajenje / Pouring and cooling	100–200

sprejemljivo okolje za delavce. Poleg količine svežega zraka je pomembna tudi njegova optimalna porazdelitev. Prilagojene preusmerjevalne plošče in druge vrste zelo učinkovitih difuzorjev bodo še povečale učinek prezračevanja.

Kombinirana naprava za odpraševanje in rekuperacijo toplote v sodobnih livarnah je namenjena tudi za amine iz cold box postopka, ki se pogosto razgradijo v majhnih jedrih in izhlapijo v velikih jedrih. Nastali ogljikovodiki in fenoli se primejo prašnih delcev in jih je treba izločiti v visoko učinkovitih filtrih. Na področju bentonitno vezanih peskov za formiranje sta glavni težavi visoka vsebnost vlage in nastajanje pare.

Izmed številnih referenčnih obratov je treba posebej omeniti obrat podjetja Georg Fischer v mestu Traisen (Avstrija). Obrat, ustanovljen leta 1833, proizvaja cevne armature za različne namene, kot so plinske napeljave ali napeljave pitne vode v stavbah. Georg Fischer je z armaturo iz temprane litine in navojnim priključkom bolj kot s katerim koli drugim izdelkom oblikoval obrtniško delo na področju gradnje cevovodov.

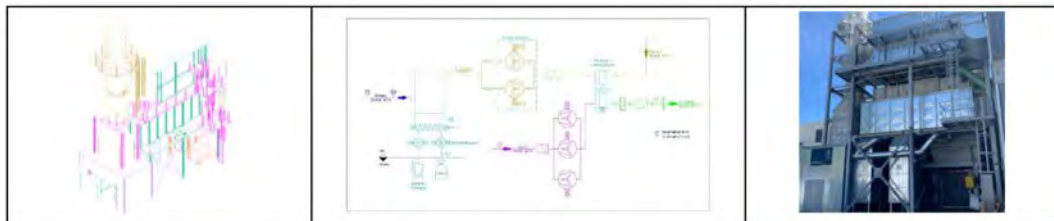
V letu 2018 je bil v podjetju Georg Fischer v avstrijskem mestu Traisen narejen velik korak k posodobitvi. Zamenjan je bil stari filter in nameščen nov sistem za rekuperacijo toplote. Jasen cilj je bil zagotoviti proizvodnjo z minimalnimi emisijami, visoko energetske učinkovitostjo in največjo trajnost, da bi delavce v tovarni zaščitili pred škodljivimi plini in

will be brought back. The individual supply rates of fresh air have to follow the VDI guideline, this to make sure that workers are in an acceptable environment. Beside the amount of fresh air is also about its optimised distribution. Tailor-made baffle plates and other types of very effective diffusors will further increase the effect of ventilation.

The combined dedusting and heat recovery plant of modern foundries is also addressing the amines of the cold box process that often decompose in small cores and evaporate in large cores. The resulting hydrocarbons and phenols will add to the dust particles and have to be separated in high-effective filters. In the area of bentonite-bonded molding sands, high moisture content and vapor formation are the main problems.

Out from many reference plants, the one at Georg Fischer in Traisen (Austria) is especially worth mentioning. Founded in 1833 the plant produces pipe fittings for various applications such as gas or drinking water installations in buildings. More than with any other product Georg Fischer has shaped the craftsmanship in piping construction with the malleable cast iron fitting and its thread connection.

In 2018 a big modernisation step has been set at Georg Fischer Traisen. The old filter had been replaced and a new heat recovery system has been installed. Clear goal was to run production minimum emissions, high energy efficiency and maximum sustainability in order to protect



prahom ter ohranili čisto okolje – vse to s pomočjo najinteligentnejših ukrepov za prezračevanje zraka.

Približno 120.000 m³/h se odvaja iz različnih delov livarne in se prenaša v učinkovit ploski vrečasti filter, ki zmanjša emisije prahu na manj kot 3 mg/m³. Za tem filtrom rotacijski toplotni izmenjevalnik prenaša latentno energijo iz odpadnih plinov na svež zrak z zelo visokim izkoristkom približno 70 % (po standardu EN308). Predhodno segreti sveži zrak se nato pametno razporedi po številnih prostorih v delavnici.

Po skoraj petih letih delovanja je treba omeniti dosežene rezultate. Nov obrat ni le izpolnil pričakovanj, temveč je tudi presegel stroge zahteve na nekaterih področjih, kot so emisije prahu. Oskrba delovnih prostorov z zrakom je več kot zadovoljiva, kar znatno izboljša delovno okolje. Razpoložljivost in zanesljivost sta na najvišji ravni, vzdrževanje je enostavno obvladljivo.

Od novega obrata pa nimajo koristi le delavci v livarni, temveč tudi okolica, ki iz dneva v dan čuti boljšo kakovost zraka. Visoko učinkovit filter odstrani skoraj ves prah in zagotavlja čistejši zrak za dihanje. Poleg tega se je občutno zmanjšala raven hrupa, saj novi obrat na razdalji 1 m ustvarja manj kot 70 dB(A), na meji livarne pa manj kot 35 dB(A).

Tudi s finančnega vidika je novi obrat zelo uspešen. Že pred velikim povečanjem stroškov energije so letni prihranki zaradi sistema za rekuperacijo toplote znašali približno 60.000,- EUR na leto. Ta znesek

workers in the factory from harmful gases and dusts as well as to keep the environment clean – all with most intelligent air ventilation measures.

About 120.000 m³/h are discharged from various areas of the foundry and transferred to an efficient flat bag filter, reducing the dust emissions to below 3 mg/m³. Downstream this filter, a rotary heat exchanger is transferring the latent energy from the off-gas to the fresh air through at a very high efficiency of about 70% (acc. to EN308). This preheated fresh air is then wisely distributed over numerous areas in the workshop.

After almost five years of operation, the track record is worth to be mentioned. The new plant did not only meet the expectation but did also exceed the tough requirements in some areas, such as the dust emissions. Air supply to the workplaces is more than satisfying, improving the working environment quite significantly. Availability and reliability are at highest levels, maintenance is easily manageable.

But not only the workers in the foundry are profiting from the new plant, it's also the neighbourhood who feel the improvement day by day. While removing almost all dust, the highly efficient filter provides them with a cleaner air to breathe. And also the noise level has been significantly reduced as the new plant generates less than 70 dB(A) in 1m distance and keeps less than 35 dB(A) at the foundry boundary.

And also financially-wise, the new plant is a big success. Even before the huge

je dejansko veliko višji in skrajša dobo vračanja celotne naložbe. Napredno odpraševanje s kombinirano rekuperacijo toplote je velik prispevek k zeleni livarni in je prava pot za trajnostno prihodnost.

increase in energy cost, the annual savings due to the heat recovery system were about 60.000,- EUR per year. This amount is actually much higher and brings down the payback period of the total investment. All over all, advanced dedusting with combined heat recovery is a huge contribution to a green foundry – the way to go for a sustainable future.

AKTUALNO / CURRENT

Pregled livarskih prireditev v letu 2024

Datum dogodka	Ime dogodka	Mesto in država
08.10. – 10.10. 2024	Aluminium	Düsseldorf, Nemčija
25.10 – 30.10. 2024	The 75 th WFC in generalna skupščina WFO	Deyang, Kitajska
13.12. 2024	Polish Foundryman's Day	Krakov, Poljska

Avtomatizirana robotska rešitev za razigljavanje in čiščenja robotskih ulitkov z uporabo 3D strojnega vida

Automated Robotic Solution for Deburring and Cleaning Robotic Castings Using 3D Machine Vision

Povzetek

Predstavili vam bomo avtomatizirano robotsko celico za razigljavanje robotskih ulitkov, ki je namenjena izboljšanju učinkovitosti procesa ter natančne obdelave. Robotska celica je opremljena z robotom YASKAWA GP25, ki se odlikuje po svoji zmogljivosti in fleksibilnosti. Za razigljavanje je integrirano vreteno z nastavljivimi obrati do 25.000/ min.

Sama os vretena ima brezstopenjsko nastavljivo naležno kompenzacijo in pa možnost avtomatske menjave obdelovalnih orodij - kot so rezkarji, krtače, brusni papir.

Vsa ta tehnika omogoča natančno in učinkovito razigljavanje ulitkov.

Poleg tega je celica opremljena z napravami za izpihovanje in odsesavanje emulzije ter ostružkov, s čimer dosežemo, da je po mehanski obdelavi ulitek popolnoma očiščen istočasno pa tako lahko vzdržujemo čisto delovno okolje na obdelovalnem mestu.

Ključna prednost celotnega robotskega sistema je njegova kreacija v digitalnem dvojčku s pomočjo programskih orodij, kot je Process simulate. To omogoča natančno načrtovanje in optimizacijo celotnega postopka programiranja razigljavanja posameznega ulitka.

Robotski sistem je popolnoma avtomatiziran in je povezan v FMS sistem - sistem za avtomatsko strego CNC strojev in skladiščenje materialov. Ta povezava omogoča hitro dostavo vpenjalnih orodij z vpetimi ulitki v pozicijo razigljavanja in optimizacijo celotnega proizvodnega procesa.

Končno obdelavo ulitkov predstavlja čiščenje ulitkov in robotsko izpihovanje ter odsesavanje preostale tekočine, kjer s pomočjo 3D strojnega vida - ki ga sestavljajo stereo kamere. Naloga strojnega vida je ta, da pošlje koordinate pozicije ulitka na paleti in pozicijo vseh točk na ulitkih ki so predmet obdelave.

Robotska rešitev predstavlja inovativen korak za potrebe livarske industrije, saj omogoča humanizacijo na delovnem mestu, večjo učinkovitost, natančnost in stabilno kakovost izdelkov.

Ključne prednosti robotskega razigljavanja so : humanizacija delovnega mesta - konstantna kvaliteta opravljenega razigljavanja, delo sedaj opravlja robot, izločen je subjektiven faktor, visoka produktivnost - robot lahko dela avtonomno 24 ur/ dan, visoka fleksibilnost - programe pripravimo v off line programu in jih vnaprej stestiramo v CAD/ CAM.

Z implementacijo celic za robotsko razigljavanje smo pripomogli k še večji ekologiji in skrbi za čisto mikroklimo, saj smo popolnoma omejili uhajanje prašnih delcev v prostor, prav tako smo zmanjšali hrup, ki nastaja pri procesu razigljavanja in kar je ključno, proces je varen za operaterja - saj le ta iz daljave preko monitorja spremlja delovni proces.

Ključne besede: robotizacija, razigljavanje, digitalen dvojček, MES sisteme

Abstract

We will present an automated robotic cell for deburring robotic castings, designed to improve process efficiency and precise processing. The robotic cell is equipped with a YASKAWA GP25 robot, known for its performance and flexibility. For deburring, a spindle with adjustable speeds up to 25,000/min is integrated. The spindle axis itself has continuous adjustable bearing compensation and the possibility of automatic tool change, such as milling cutters, brushes, and sandpaper.

All of this technology enables precise and efficient deburring of the castings. Additionally, the cell is equipped with devices for blowing and extracting emulsion and chips, ensuring that the casting is thoroughly cleaned after mechanical processing, while maintaining a clean working environment at the machining site.

The key advantage of the entire robotic system is its creation in a digital twin using software tools like Process Simulate. This allows for precise planning and optimization of the entire deburring programming process for each individual casting.

The robotic system is fully automated and connected to an FMS system - an automatic storage and retrieval system for CNC machines and material storage. This connection enables fast delivery of clamping tools with mounted castings to the deburring position and optimization of the entire production process.

The final processing of the castings includes cleaning and robotic blowing, as well as suctioning of the remaining liquid, aided by 3D machine vision, consisting of stereo cameras. The task of machine vision is to send the coordinates of the casting's position on the pallet and the position of all points on the castings that require processing.

This robotic solution represents an innovative step for the foundry industry, as it enables workplace humanization, increased efficiency, precision, and stable product quality.

The key advantages of robotic deburring include: workplace humanization - constant quality of deburring work, now performed by a robot, eliminating the subjective factor; high productivity - the robot can work autonomously 24 hours a day; high flexibility - programs can be prepared in an offline program and tested in advance using CAD/CAM.

By implementing robotic deburring cells, we have contributed to greater ecology and concern for a clean microclimate by completely eliminating the escape of dust particles into the environment. We have also reduced the noise generated during the deburring process. Importantly, the process is safe for the operator, who can monitor the work process remotely via a monitor.

Keywords: robotization, deburring, digital twin, MES system

1 Uvod

V sodobnem svetu se robotsko razigljavanje izkazuje kot izjemno pomembna in inovativna tehnologija z mnogimi ključnimi prednostmi. Eden najpomembnejših vidikov je zagotovljena humanizacija delovnega mesta, saj vlogo razigljavanja prevzame robot, kar zmanjšuje fizično obremenitev delavcev in omogoča njihovo preusmeritev k bolj kreativnim in intelektualno zahtevnim nalogam. S tem se dviga kvaliteta opravljenega razigljavanja, saj robot delo izvaja z natančnostjo in doslednostjo, brez subjektivnih vplivov, ki jih lahko prinese človeški dejavnik.



Slika 1. Obdelani ulitki segmentov industrijskih robotov

Figure 1. Machined castings of industrial robot segments

Poleg tega je visoka produktivnost še ena izmed izjemnih prednosti robotskega

1 Introduction

In today's world, robotic deburring is proving to be an extremely important and innovative technology with many key advantages. One of the most important aspects is the humanisation of the workplace, as the robot takes over the role of deburring, reducing the physical strain on workers and allowing them to be redirected to more creative and intellectually demanding tasks. This improves the quality of the burring work, as the robot carries out the work with precision and consistency, without the subjective influences that the human factor can bring.

In addition, high productivity is another one of the great advantages of robotic deburring. The robots are able to operate autonomously 24 hours a day, 7 days a week, allowing continuous and efficient production without the need for breaks. This leads to optimised production and increased capacity utilisation.

At the same time, robotic deburring is extremely flexible. Programs are developed in an off-line environment where they can be thoroughly tested in simulations using CAD/CAM technologies. This allows work processes to be optimised and production to adapt quickly to new requirements and products.

Figure 1 shows a typical example of machined ductile iron castings. The requirement is to deburr all contacts between the treated and untreated surface. The complexity of the pieces and the higher tolerances make the robotisation of the process particularly challenging. In order to meet the requirements in terms of processing quality, cycle time and complexity of the software code, we at YASKAWA have developed an optimal solution based on our experience, using the latest tools in robotics and implementing them in a robotic cell application.

razigljevanja. Roboti so sposobni delovati avtonomno 24 ur na dan, 7 dni v tednu, kar omogoča neprekinjeno in učinkovito proizvodnjo brez potrebe po časovnih premorih. To vodi k optimizaciji proizvodnje in povečanju izkoristka proizvodnih zmogljivosti.

Hkrati pa je robotsko razigljevanje izjemno fleksibilno. Priprava programov poteka v off-line okolju, kjer se lahko programi temeljito preizkusijo v simulacijah s pomočjo Cad Cam tehnologij. To omogoča optimizacijo delovnih procesov in hitro prilagajanje proizvodnje novim zahtevam in produktom.

Slika 1 prikazuje tipičen primer obdelanih ulitkov iz sive litine s kroglastim grafitom. Zahteva je po razigljevanju vseh stikov med obdelano in neobdelano površino. Zaradi kompleksnosti kosov in večjih toleranc predstavlja robotizacija procesa še posebej velik izziv. Da bi zadostili zahtevam po kvaliteti obdelave, časa cikla in tudi kompleksnosti programske kode, smo v YASKAWI na podlagi izkušenj pripravili optimalno rešitev, kjer smo uporabili najnovejša orodja v robotiki in jih implementirali v aplikacijo robotske celice.

V aplikaciji smo uporabili 6 ključnih gradnikov, ki skupaj tvorijo robotsko celico z visoko učinkovitostjo:

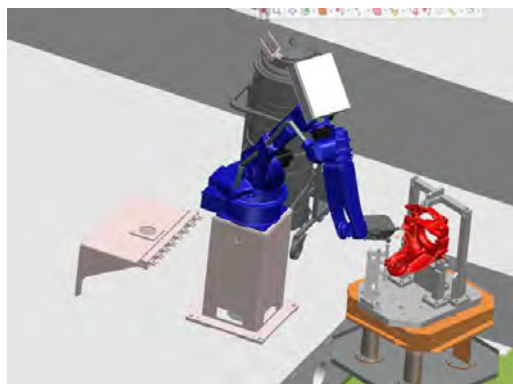
- Industrijski robot YASKAWA GP25 ter GP25-12.
- Offline okolje Process Simulate MOTOSim VRC.
- Vreteno Gravostar z nastavljenim odmikom, krmiljenimi obrati ter izmenljivimi orodji.
- Sistem za izpihovanje in odsesovanje ostružkov in praha.
- 3D Vision sistem za lociranje pozicije ulitkov.
- Povezava v popolnoma avtomatiziran FMS sistem skladiščenja.

We have used 6 key building blocks in the application, which together form a high-efficiency robotic cell:

- YASKAWA GP25 and GP25-12 industrial robots
- Process Simulate off-line environment MOTOSim VRC
- Gravostar spindle with adjustable offset, controlled rotational speeds and interchangeable tools
- System for blowing out and extracting shavings and dust
- 3D Vision system for locating the position of castings
- Connection to a fully automated FMS storage system

2. The Process Simulate Off-Line Software Environment and Motosim VRC

A key advantage of the complete robotic system is that it is created in a digital twin using software tools such as Process Simulate.



Slika 2. Postavitev robotskega sistema v virtualnem okolju

Figure 2: Setting up a robotic system in a virtual environment

It is used to create 3D models of production systems, robotic simulation,

2 Offline programsko okolje Process Simulate in Motosim VRC

Ključna prednost celotnega robotskega sistema je njegova kreacija v digitalnem dvojčku s pomočjo programskih orodij, kot je Process simulate.

Uporablja se za ustvarjanje 3D-modelov proizvodnih sistemov, robotsko simulacijo, postavljanje naprav in orodij ter analizo toka dela. To omogoča natančno načrtovanje in optimizacijo celotnega postopka programiranja razizgljevanja posameznega ulitka.

MotoSimVRC pa je offline programsko okolje, ki lahko še dodatno skrajša čas učenja za robota. Ker so robotski programi pred pripravljeni in jih je potrebno le naložiti na realen sistem z manjšimi modifikacijami, se poveča produktivnost in zagotovi varnost operaterja z omogočanjem programiranja robota na osebem računalniku.

MotoSim uporablja isti kinematični model kot krmilnik robota in vse instrukcije INFORM programskega jezika, kar omogoča popolno kompatibilnost z realno celico (Slika 2).

Sam postopek programiranja poteka na več načinov. Za naš primer smo v Process simulatu uporabili CAM (Computer-Aided Manufacturing), ki vključuje funkcije, kot so avtomatsko generiranje poti robota, določanje parametrov orodij, simulacija montaže in preverjanje trkov (Slika 3).

3 Vreteno Gravostar

Ključni element sistema engraflexx ESP je prilagodljivo električna vreteno s spremenljivo hitrostjo. Ta vključuje zračno hlajeni visokofrekvenčni motor z vgrajeno prirobnico za pričvrstitev orodja. Zahvaljujoč krmiljenemu električnemu pogonu so učinkovitost in procesna varnost

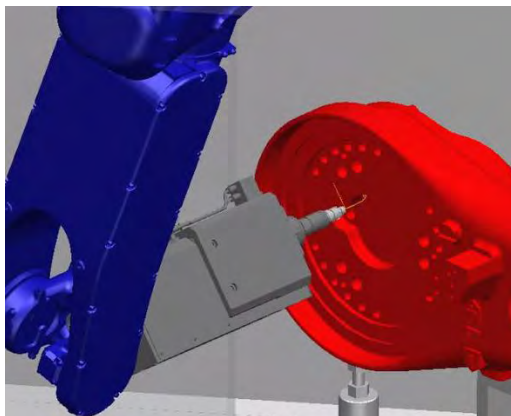
machine and tool placement and workflow analysis. This allows precise planning and optimisation of the entire process of programming the deburring of each casting.

MotoSimVRC is an off-line software environment that can further reduce the learning time for the robot. As the robot programs are prepared beforehand and only need to be uploaded to a real system with minor modifications, productivity is increased, and operator safety is ensured by allowing the robot to be programmed on a PC.

MotoSim uses the same kinematic model as the robot controller and all the INFORM programming language instructions, allowing full compatibility with the real cell (Figure 2).

The programming process itself is carried out in several ways. In our example, we used CAM (Computer-Aided

Manufacturing), which includes features such as automatic robot path generation, tool parameterisation, assembly simulation and collision checking (Figure 3).



Slika 3. CAM funkcija za generiranje poti robota

Figure 3. CAM function for robot path generation

med posebnimi značilnostmi vretena. (Slika 4)



Figure 4. Gravostar engraflexx ESP adjustable spindle

Slika 4. Nastavljivo vreteno Gravostar engraflexx ESP

Vreteno (ukaz za zagon/ustavitev, določitev hitrosti itd.) se krmili prek frekvenčnega pretvornika, ki je povezan z robotom in nadrejenim krmilnikom stroja. Ta oprema omogoča pobiranje srha tudi na mestih, kjer prihaja do manjših sprememb geometrije izdelka ki je posledica vlivanja. Sistem je izredno fleksibilen prav zaradi naslednjih lastnosti:

- radialna kompenzacija,
- aksialna kompenzacija za čiščenje,
- prilagajanje sile kompenzacije,
- prilagajanje števila vrtljajev do 25000 obr/min,
- avtomatsko menjanje orodij.

4 Industrijski robot Yaskawa GP25 in GP25-12

V aplikaciji razigljevanja smo uporabili robota GP25 (Slika 5), v aplikaciji izpihovanja pa robota GP25-12. Industrijski roboti Yaskawa GP25 in GP25-12 zagotavljajo izredno natančnost trajektorije in so primerni za uporabo v aplikacijah brušenja, ko mora natančnost in ponovljivost trajektorije

3 Gravostar Spindle

The key element of the engraflexx ESP system is the adaptive electric spindle with variable speed. This includes an air-cooled, high-frequency motor with a built-in flange for tool attachment. Thanks to the controlled electric drive, efficiency and process safety are among the spindle's special features. (Figure 4)

The spindle (start/stop command, speed setting, etc.) is controlled via a frequency changer connected to the robot and the machine's master controller. This equipment also allows for deburring in areas where there are minor changes in the geometry of the product as a result of the casting process. The following features make the system extremely flexible:

- radial compensation,
- axial compensation for cleaning,
- adjusting the compensation force,
- speed adjustment up to 25,000 rpm,
- automatic tool changing.

4 Yaskawa GP25 and GP25-12 Industrial Robot

The GP25 robot was used in the deburring application (Figure 5) and the GP25-12 robot in the blowing-out application. The Yaskawa GP25 and GP25-12 industrial robots provide exceptional trajectory accuracy and are suitable for use in grinding applications where trajectory accuracy and repeatability must be guaranteed by the robot. The robot has been developed to perform precise movements and is the ideal choice for applications where flexibility is required. With a load capacity of up to 25 kg, it allows the spindle to be guided precisely around the 3D shape of the product, while at the same time its engineered geometry is crucial to achieve all the required contours on the product. The robot's reach, combined

zagotoviti je bil razvit za izvajanje natančnih gibov in je idealna izbira za aplikacije, kjer je potrebna fleksibilnost. Z nosilnostjo do 25kg omogoča natančno vodenje vretena po 3D obliki izdelka, hkrati pa je tudi njegova izdelana geometrija, ključnega pomena, da dosegamo vse zahtevane kulture na izdelku. Doseg robota v kombinaciji z zunanjim pozicionerjem, podprtim z YASKAWINIM servo motorjem, prav tako omogoča veliko delovno področje in dostopnost do robov za raziglevanje.

Robota in pozicioner krmili visoko zmogljiv robotski krmilnik YRC1000, ki omogoča sinhrono krmiljenje do 72 osi.

5 3D Vision Sistem za lociranje pozicije ulitkov

Po končanem raziglevanju operater vzame ulitek iz vpenjalnega orodja in ga položi na določeno mesto na paleti. Pozicija ulitka je tu približna in lokacija zato neprimerna za robotsko obdelavo. Da bi zagotovili prilagajanje robotske trajektoriji trenutni lokaciji na paleti, smo v robotsko celico za izpihovanje lukenj opremili s 3D strojnim vidom na principu stereovisiona, ki zajame trenutno sliko in jo pretvori v 3D oblak točk (Slika 7). S pomočjo vision knjižnjic HALCON smo razvili razpoznavo vseh tipov ulitkov in na ta način procesna enota sporoči robotskemukrmilju natančno pozicijo aktualnega kosa, ki pride iz stroja za pranje.

Strojni vid je sestavljen iz slikovnega modula in procesne enote. Kameri sta pritrjeni na mesto nad ulitkom v prilagojenem ohišju, ki zagotavlja robusten zajem slike. Procesna enota pa komunicira z robotskim krmilnikom.

V našem primeru je režim v kombinaciji z offline programiranjem najbolj optimalen

with an external positioner supported by a YASKAWA servo motor, also allows for a large working area and accessibility to the edges for deburring.

The robot and positioner are controlled by the high-performance YRC1000 robot controller, which provides synchronous control of up to 72 axes.



Slika 5. Yaskawa Robot GP25

Figure 5. YASKAWA Robot GP25

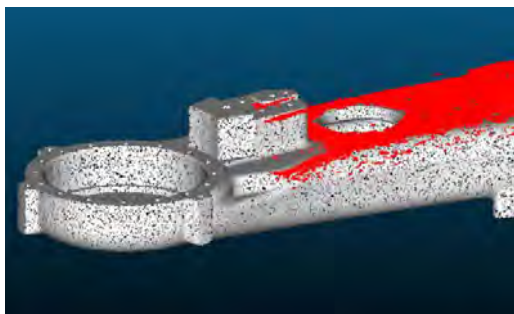
5 3D Vision Locating System Casting Positions

When the deburring is complete, the operator removes the casting from the clamping tool and places it on the pallet at the designated position. The position of the casting here is approximate, and the location is therefore unsuitable for robotic machining. To ensure that the robot's trajectory is adapted to the



Slika 6. 3D Stereo Vision sistem

Figure 6. 3D Stereo Vision System



Slika 7. Generiran 3D oblak točk s poravnavo

Figure 7. Generated 3D point cloud with alignment



Slika 8. Ostružki na orodju

Figure 8. Shavings on the tool

current location on the palette, we equipped the robotic hole blow-out cell with 3D machine vision, which captures the current image and converts it into a 3D point cloud (Figure 7). With the help of the HALCON vision libraries, we have developed a recognition of all types of castings and in this way the process unit communicates to the robot controller the exact position of the current piece coming out of the machine for washing.

Machine vision consists of an imaging module and a processing unit. The cameras are fixed in place above the casting in a customised housing that ensures robust image capture. The processing unit communicates with the robot controller.

In our case, the mode combined with off-line programming is the most optimum for implementing the robot trajectory for the selected process.

6 System for Blowing out and Extracting Shavings and Dust

Removing shavings from machined surfaces and holes of products that have been pre-machined in a CNC machine and are intended for further machining, such as bolting or assembly, has a crucial impact on the quality, reliability and durability of the finished products. This step ensures that there is no residual material that could reduce the precision of the fit of the components or interfere with the smooth assembly (Figure 8), therefore, the robotic cell is equipped with devices for blowing and suction of emulsion and shavings to ensure that the casting is completely cleaned after machining, while at the same time maintaining a clean working environment at the machining station. (Figure 9).

za implementacijo robotske trajektorije za izbran proces.

6 Sistem za izpihovanje in odsesovanje ostružkov in prahu

Odstranjevanje ostružkov iz obdelanih površin in lukenj izdelkov, ki so bili predhodno obdelani v CNC stroju in so namenjeni nadaljnji obdelavi, kot so vijachenje ali sestava, ima ključen vpliv na kakovost, zanesljivost in trajnost končnih izdelkov. Ta korak zagotavlja, da ni ostankov materiala, ki bi lahko zmanjšali natančnost prileganja sestavnih delov ali ovirali tekočo montažo (Slika 8). Zato je je robotska celica opremljena z napravami za izpihovanje in odsesavanje emulzije ter ostružkov, s čimer dosežemo, da je po mehanski obdelavi ulitek popolnoma očiščen istočasno pa tako lahko vzdržujemo čisto delovno okolje na obdelovalnem mestu. (Slika 9)

7 Zaključek

Z rešitvami, ki so rezultat tudi lastnega razvoja smo kupcu integrirali visoko tehnološki robotski sistem, ki lahko izvaja razigljevanje široke palete izdelkov iz različnih materialov. Z implementacijo celic za robotsko razigljevanje smo pripomogli k še večji ekologiji in skrbi za čisto mikroklimo, saj smo popolnoma omejili uhajanje prašnih delcev v prostor, prav tako smo zmanjšali hrup, ki nastaja pri procesu razigljevanja in kar je ključno, proces je varen za operaterja - saj le ta iz daljave preko monitorja spremlja delovni proces.



Slika 9. Površina po procesu čiščenja

Figure 9. Surface area after cleaning process

7 Conclusion

With solutions that are also the result of our own development, we have integrated a high-tech robotic system for the customer that is able to carry out the deburring of a wide range of products made of different materials. The implementation of the robotic deburring cells has contributed to even greater ecology and clean microclimate, as we have completely limited the escape of dust particles into the room, we have also reduced the noise generated by the deburring process and, crucially, the process is safe for the operator – who can monitor the working process from a distance via a monitor.

AKTUALNO / CURRENT**Razpoloženje evropske livarske industrije, avgust 2024****FISI beleži rahel padec v avgustu**

Avgusta 2024 je kazalnik razpoloženja evropske livarske industrije (FISI) doživel rahel padec in dosegel 94,8 indeksnih točk. To predstavlja zmanjšanje za 0,7 točke v primerjavi s prejšnjim mesecem, ko je kazalnik znašal 95,5 točke.

Ta padec je delno mogoče pripisati zapleteni makroekonomski situaciji po vsej Evropi. Kljub določenemu izboljšanju cen energije in stroškov surovin, ki niso več na svojih vrhuncih, splošni gospodarski obeti napovedujejo stagnacijo. Številna gospodarstva po Evropi še vedno ne kažejo znatne rasti, kar vodi v opazen primanjkljaj novih naročil.

Dodatno negotovost ustvarjajo prihajajoče predsedniške volitve v ZDA letos, zaradi česar mnogi kupci odlagajo odločitve, dokler ne bo znan izid. To je še posebej pomembno za panoge z globalnimi dobavnimi verigami, saj bi morebitne spremembe v politikah imele daljnosežne posledice. Podobno oblikovanje nove Evropske komisije povzroča previdnost med kupci, saj so podjetja zadržana zaradi morebitnih prihodnjih regulativnih sprememb na evropskem trgu.

Kljub temu upadanju ostaja zmerno optimistično pričakovanje glede prihodnosti. Trenutne tržne razmere pa poudarjajo nadaljnje izzive, s katerimi se mora spopadati livarska industrija v Evropi.

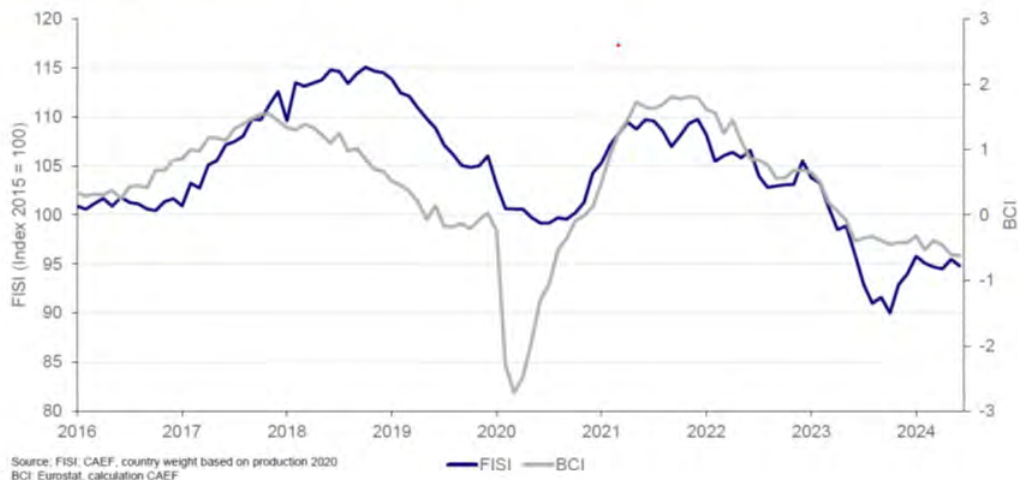
Medtem se je kazalnik poslovnega okolja (BCI) v avgustu še naprej zniževal in padel z -0,61 na -0,62 indeksnih točk. Ta rahel padec poudarja trajajoče težave v poslovnem okolju, saj BCI ostaja precej pod nevtralnim pragom 0 indeksnih točk.

Padec BCI za avgust je mogoče pripisati več dejavnikom. Prvič, podjetja izražajo bolj zadržana pričakovanja glede stanja knjige naročil, kar nakazuje na oslABLJENE obete povpraševanja v industriji. Ta upad naročil povzroča skrb glede proizvodnih zmogljivosti v prihodnjih mesecih. Poleg tega je običajni poletni zastoj v gospodarski dejavnosti dodatno prispeval k upočasnitvi. Nazadnje je trajajoča negotovost glede sestave in politik nove Evropske komisije povzročila večjo previdnost med podjetji, kar prispeva k splošno zadržanemu razpoloženju. Skupaj ti elementi ustvarjajo bolj previdno sliko poslovnega okolja, saj podjetja ostajajo neodločna glede kratkoročnih in dolgoročnih gospodarskih obetov.

FISI – Kazalnik razpoloženja evropske livarske industrije** – je najzgodnejši sestavljeni kazalnik, ki zagotavlja informacije o uspešnosti evropske livarske industrije. CAEF, Evropsko združenje livarjev, ga vsak mesec objavi na podlagi odgovorov iz anket evropske livarske industrije. Člani CAEF so zaproseni, da ocenijo trenutno poslovno stanje v livarskem sektorju in svoja pričakovanja za naslednjih šest mesecev.

BCI – Kazalnik poslovnega okolja** – je kazalnik, ki ga objavlja Evropska komisija. BCI vsak mesec ocenjuje pogoje razvoja v proizvodnem sektorju evropskega območja in uporablja pet bilančnih kazalnikov iz industrijske ankete: proizvodni trendi, knjige naročil, izvozne knjige naročil, zaloge in proizvodna pričakovanja.

European Foundry Industry Sentiment Indicator (FISI) and Business Climate Indicator Euro Area (BCI) August 2024



Priloženi graf ali dodatne informacije so na voljo na www.caef.eu.

Informacije o CAEF-u:

CAEF je krovna organizacija nacionalnih evropskih livarskih združenj. Ustanovljena leta 1953, organizacija vključuje 22 evropskih držav članic in deluje v smeri promocije ekonomskih, tehničnih, pravnih in socialnih interesov evropske livarske industrije. Hkrati CAEF izvaja dejavnosti, usmerjene v razvoj nacionalnih livarskih industrij in usklajevanje njihovih skupnih mednarodnih interesov. Generalni sekretariat od leta 1997 domuje v Düsseldorfu.

CAEF zastopa 4.400 evropskih livarn. Skoraj 260.000 zaposlenih ustvarja 39 milijard evrov prihodkov. Evropske livarne vsako leto zaposlijo 20.000 delavcev in inženirjev. Glavne panoge kupcev so avtomobilska industrija, splošno inženirstvo, gradbena industrija ter elektroindustrija. Ni industrijskega sektorja, ki ne bi uporabljal ulitih komponent.

Več informacij je na voljo na www.caef.eu in na LinkedIn profilu CAEF.

Kontakt CAEF:

Johannes Kappes

CAEF, Evropsko združenje livarjev

Sekretar Komisije za ekonomijo in statistiko

Telefon: +49 211 68 71 – 291

E-pošta: johannes.kappes@caef.eu

Informacijo CAEF v slovenskem prevodu priredila:
mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

Poročilo z 64. IFC Portorož 2024 - 1. del (1st part)

Osrednji vsakoletni livarski dogodek v Portorožu – Livarska konferenca s spremljajočo razstavo je letos potekal od 18. do 20. septembra. Tradicionalno so se udeleženci na predvečer konference lahko udeležili pozdravno-spoznavnega srečanja v Piranu na vrtu stolne cerkve svetega Jurija, kjer sta jih pozdravila v imenu organizatorjev konference mag. Mirjam Jan-Blažič, predsednica organizacijskega odbora in predsednica Društva livarjev Slovenije, ter podžupan občine Piran Robert Fakin. To srečanje v Piranu je postalo zelo priljubljena destinacija za udeležence konference in razstave, saj v prijetnem ambientu in vzdušju omogoča pomembno mreženje, spoznavanje novih ljudi ter krepitev že obstoječih povezav.

Na konferenci in razstavi je sodelovalo 254 udeležencev iz 18 tujih držav in Slovenije, kar je nekoliko manj kot lani. Zaradi velike sejemske prireditve Ankiros v Turčiji, ki je bila letos organizirana v istem času kot konferenca v Portorožu, so nekateri dolgoletni udeleženci konference dali prednost Ankirosu. Na konferenci je bilo predstavljenih 38 predavanj in 8 plakatnih predstavitev. Konferenco je z otvoritvenim nagovorom pričela mag. Mirjam Jan-Blažič, predsednica organizacijskega odbora konference in predsednica Društva livarjev Slovenije. V uvodnem nagovoru je pozdravila vse prisotne: avtorje in soavtorje predavanj, razstavljalce na livarski razstavi, goste in častne člane Društva livarjev Slovenije, predstavnike univerz in inštitutov, gospodarskih zbornic, predstavnike WFO – Svetovne livarske organizacije, predstavnike nacionalnih livarskih združenj in društev ter akreditirane predstavnike medijev.



Robert Fakin, podžupan občine Piran z mag. Mirjam Jan-Blažič in prof. Rebeko Rudolf



Pozdravno-spoznavno srečanje v Piranu



Utrip pozdravno-spoznavnega srečanja v Piranu



mag. Mirjam Jan Blažič-DLS, Andraž Čevka-Exoterm-it d.o.o., prof. dr. Maja Vončina-Univerza v Ljubljani, prof. dr. Franc Zupanič-Univerza v Mariboru, Simona Stegne Ceraj-Livarna Gorica d.o.o., Avgust Šibila-Livarna Talum d.d.

Nato je na kratko predstavila program in potek konference ter razstave, v nadaljevanju pa orisala stanje, s katerim se globalno sooča livarstvo po letu 2020, letu pandemije koronavirusa. Na koncu je izrazila hvaležnost pokroviteljem konference, sponzorjem-razstavljalcem in medijskim partnerjem.

Prvega delovnega dne konference je bilo predstavljanih deset plenarnih predavanj in predavanje generalnega pokrovitelja Olma/Quaker Houghton. Skozi plenarna predavanja so bile obravnavane aktualne teme, kot so razvoj evropskega livarstva, konkurenčnost in trajnost, digitalizacija in avtomatizacija v livarstvu ter problematika kadrov z vidika visokošolskega izobraževanja in usposabljanja. Predstavljeni so bili konkretni dosežki na področju termične analize, določanja nekovinskih vključkov, digitalne jedrarne prihodnosti, virtualni procesi litja s thixomolding postopkom ter nove testne metode za določanje obstojnosti premazov. V zaključnem plenarnem predavanju so bile predstavljene petdesetletne raziskave sivih litin, izvedene v egiptovskem inštitutu CMRDI.

Drugi dan je konferenca potekala v sekcijah: Železove litine, livarske tehnike in tehnologije; Neželezove zlitine ter Mladi predavatelji in raziskovalci. V sekcijah so bila obravnavana predavanja o livarskih peskih, zeleni prehod k trajnostnim vidikom v livarnah, zmanjšanje izpustov CO₂ v proizvodnji jekla, okolju prijazni premazi, trajnostne rešitve za talilne peči, digitalizacija proizvodnih procesov, razvoj zlatih dentalnih zlitin, optimizacija tlačnega litja na podlagi dvofazne simulacije, trajnostno tlačno litje aluminija ter implementacija vakuumu v tlačnem litju.



Na livarski razstavi je letos sodelovalo 50 razstavljalcev, med njimi deset novincev. Na razstavi so bila prisotna podjetja, ki so dobavitelji pomožnih in drugih materialov, strojev in različnih naprav ter storitev za livarsko industrijo. V naslednji, zadnji letošnji številki Livarskega vestnika bomo slikovno predstavili tudi vse udeležence razstave.

V nadaljevanju predstavljamo celoten program predavanj konference in slikovno* vse avtorje predavanj.



Sekcija: Železove litine, livarske tehnike in tehnologije

PROGRAMME / PROGRAM

64th IFC Portoroz 2024 / 64. IFC Portorož 2024

► R. DEIKE, University Duisburg Essen (D): **What do we currently know about the future development of the foundry industry in Europe?** / Kaj danes vemo o bodočem razvoju na področju livarstva v Evropi?

G. GEIER, D. HOWE, Siempelkamp Giesserei GmbH (D): **New game changers to increase competitiveness. Practical examples of digitalization and automation in hand mould foundries to increase productivity and quality while reducing costs** / Nova pravila igre za povečanje konkurenčnosti: Praktični primeri digitalizacije in avtomatizacije v livarnah z ročnim formanjem za povečanje produktivnosti in kvalitete in zmanjšanju stroškov

P. MRVAR, M. PETRIČ¹, A. MAHMUTOVIĆ², S. KASTELIC^{2,1} in M. ŽBONTAR¹, ¹University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, ²TC livarstvo (SI): **Determination of nonmetallic inclusions in AlMg6Si2MnZr alloy** / Določanje nekovinskih vključkov v zlitini AlMg6Si2MnZr

► D. M. STEFANESCU, The Ohio State University, Columbus, OH and The University of Alabama, Tuscaloosa (USA): **Thermal analysis of casting alloys—techniques and applications** / Termična analiza livarskih zlitin – tehnike in aplikacije



prof. dr. Rüdiger Deike, University Duisburg-Essen (D) - plenarni predavatelj in predsedujoči sekcije



prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani (SI) – plenarni predavatelj in predsedujoči sekcije



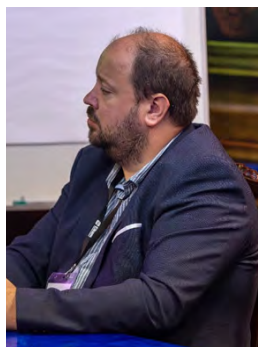
prof. dr. Franc Zupanič, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo (SI) - predavatelj in predsedujoči sekcije



prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani (SI) - plenarni predavatelj in predsedujoči sekcije



Dr. Mitja Petrič, Univerza v Ljubljani (SI) – plakatna predstavitev in predsedujoči sekcije



dr. Sebastijan Kastelic, Univerza v Ljubljani (SI) - predavatelj in predsedujoči sekcije



prof. dr. Maja Vončina, Univerza v Ljubljani (SI) -plakatna predstavitev in predsedujoča sekcije



prof. dr. Rebeka Rudolf, Univerza v Mariboru, Zlatama Celje d.o.o. (SI) - predavateljica in predsedujoča sekcije

► K. WEISS, C. BAITIANG, RWP. Gesellschaft beratender Ingenieure für Berechnung und rechnergestützte Simulation m.b.H. (D): **One step ahead to achieve future competitiveness and sustainability with the aid of process data analytics for foundries** / Korak naprej za doseganje konkurenčnosti in trajnosti s pomočjo analitične obdelave podatkov v livarnah

► J. MEDVED, T. BALAŠKO, M. VONČINA, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Materials and Metallurgy (SI): **The role of higher education in the training of professionals and the transfer of knowledge to industry** / Poslanstvo visokošolskega izobraževanja pri usposabljanju strokovnjakov in prenosu znanja v industrijo



prof. dr. Iveta Vaskova, Tehnical University of Košice (SK) - plakatna predstavitev in predsedujoča sekcije



prof. dr. Zdenka Zovko Brodarac, University of Zagreb (CRO) - plakatna predstavitev in predsedujoča sekcije



dr. Daniel Molnar, University of Miskolc (HU) - predavatelj in predsedujoči sekcije



dr. Matej Drobne, VALJI d.o.o. (SI) - predsedujoči sekcije



dr. Georg Geier, SIEM-PELKAMP GIESSEREI GmbH (D) - plenarni predavatelj



prof. dr. Doru Stefanescu, The Ohio State University, University of Alabama (USA) - plenarni predavatelj



mag. Chinnadit Baitiang, RWP GmbH (D) - plenarni predavatelj



Carsten Müller, LAEMPE MÖSSNER SINTO GmbH (D) - plenarni predavatelj

D. JEZIERSKI, Quaker Houghton (NL): **Sustainability and EV in foundries** / Trajnost in električna vozila v livarnah

C. MÜLLER, Laempe Mössner Sinto GmbH (D): **The hybrid and digital core shop of the future** / Hibridna in digitalna jedrarna

H. BRAMANN, H. ROCKMANN, MAGMA Gießereitechnologie GmbH (D): **Virtual process industrialization of magnesium thixomolding** / Virtualni proces industrializacije litja magnezija s thixomolding postopkom

► M. BERBIĆ, P. HOFER-HAUSER, R. GSCHWANDTNER, Austrian Foundry Research Institut ÖGI (A): **New quantitative test methods for a realistic determination of the coating durability in die casting** / Nove količinske testne metode za realno določitev obstojnosti premazov pri kokilnem litju

► A. NOFAL, CMRDI (EG): **Fifty years of cast iron research at CMRDI** / Petdeset let raziskav sivih litin na CMRDI

J. HOMAR, R. P. JUNG, C. STÖLTING, Resand Oy (FIN): **Thermomechanical sand reclamation** / Termomehanska regeneracija peska

J. PROCHAZKA, T. BAJER, J. BENO, SAND TEAM, spol. s r.o. (CZ): **Introduction of the new Omega Sinto agent and its portfolio** / Predstavitev novega Omega Sinto zastopnika in njegovega portfelja

A. TEKAVČIČ, J. POKLIČ, J. VRANC, Kovis Livarna d.o.o. (SI): **Green transformation and sustainability measures in cast iron foundries** / Zeleni prehod in trajnostni vidiki v livarnah železovih litin



dr. Horst Bramann, MAGMA GIEßEREITECHNOLOGIE GmbH (D) - plenarni predavatelj



Mirnes Berbić, ÖGI (A) - plenarni predavatelj



prof. dr. Adel Nofal, CMRDI (EG) - plenarni predavatelj



Dominik Jeziarski, QUAKER HOUGHTON (NL) - predavatelj

R. OPACITY¹, K. WAKITA², S. MURATA², ¹Itochu Europe PLC (UK), ²Itochu Ceratech Corporation (JP): **Comparison of various ceramic sands, way to environmentally friendly and costbeneficial foundry solution** / Primerjava različnih keramičnih peskov, pot do okolju prijaznih in cenovno ugodnih livarskih rešitev

M. PESCI¹, S. AL JASIM², ¹HA ITALIA S.p.A. (IT), ²Kovis Livarna d.o.o. (SI): **A new shape of tele miniriser for an increased thermal efficiency** / Nova oblika mini napajalnikov za povečanje toplotnega izkoristka

G. KLANČNIK¹, M. BOJINOVIĆ¹, A. RESNIK², L. KRAJNC¹, ¹Pro Labor d.o.o., ²Omco Metals Slovenia d.o.o (SI): **Advanced control over the gray cast iron properties concerning the quality of secondary material used during the melt preparation – a case study** / Napreden nadzor pri uporabi različnih sekundarnih materialov pri pripravi taline sive litine za doseg ciljanih končnih karakteristik - študija

D. HOLLAND, CALDERYS DEUTSCHLAND (D): **Environmentally friendly & sustainable solutions for induction furnaces** / Okolju prijazne in trajnostne rešitve za indukcijske peči

L. HORN, R. DEIKE, Universität Duisburg Essen (D): **Intersections between CO₂ reducing operating points during the operation of blast furnaces and cupola furnaces, within the context of carbon capture and utilization (ccu): a steel making perspective** / Presečišče med delovnimi točkami, ki zmanjšujejo CO₂ pri obratovanju plavžev in kupolnih peči v kontekstu zajemanja in uporabe ogljika (ccu): perspektiva proizvodnje jekla

F. MALIN, A. LUKAČ, TERMIT D.D. (SI): **Ecofriendly antiveining coating for cold box cores without additive** / Okolju prijazen premaz z višjim učinkom proti pokanju cold box jeder



Jernej Homar, RESAND OY (FIN) – predavatelj



Jan Prochazka, SAND TEAM spol. s. r. o. (CZ) – predavatelj



mag. Anže Tekavčič, KOVIS LIVARNA d.o.o. (SI) – predavatelj



Radim Opacity, ITOCHU EUROPE PLC (UK) – predavatelj

G. KARAGÜLMEZ, R. DEIKE, Universität Duisburg Essen (D): **Optimization of graphite precipitation in cast iron: investigation of sulfide nucleation through sulfur and manganese enrichment** / Optimizacija strjevanja grafita v sivi litini: raziskava sulfidne nukleacije z obogatitvijo z žveplom in manganom

I. ŠKRINJAR, Weiler Abrasives (SI): **Grinding tools in the foundry industry** / Brusna orodja v livarski industriji

V. KRUTIŠ¹, V. KAŇA¹, A. ZÁDĚRA¹, V. BRYKSI², ¹ Institute of Manufacturing Technology, Brno University of Technology,² Kovolis Hedvikov a.s. (CZ): **Determination of boundary conditions for the definition of numerical simulation of HPDC** / Določitev robnih pogojev za definiranje numeričnega izračuna tlačnega litja



Matteo Pesci, HA Italia (IT) – predavatelj



dr. Grega Klančnik, PRO LABOR d.o.o. - predavatelj



dr. Dirk Holland, CALDERYS DEUTSCHLAND (D) – predavatelj



mag. Lucas Horn, University of Duisburg-Essen (D) – predavatelj



dr. Franc Malin, TERMIT d.d.
(SI) – predavatelj



mag. Gökhan Karagölmez,
University of Duisburg-Essen
(D) – predavatelj



mag. Inja Škrinjar, WEILER
ABRASIVES (SI) –
predavateljica



dr. Vladimir Krutiš, Institute
of Manufacturing Technology
(CZ) – predavatelj

► L. MAZZONI, PiQ2 (IT): **High pressure die casting expert system based optimization and dual phase simulation** / Optimizacija tlačnega litja na osnovi ekspertnega sistema in dvofazne simulacije

F. ZUPANIČ⁽¹⁾, T. HAGA⁽²⁾, T. BONČINA, ⁽¹⁾ University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering (SI), ⁽²⁾ Osaka Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering (JP): **Microstructure of a microalloyed AlMnCu alloy, cast by rapid asymmetric dualroll casting** / Mikrostruktura mikrolegirane zlitine AlMnCu, ulite s postopkom hitrega asimetričnega dvovaljnega litja

J. LI, Montanuniversität Leoben (A): **AlCuMg based composites produced by additive manufacturing** / Kompoziti na bazi AlCuMg izdelani s tehnikami aditivne proizvodnje

D. MOLNAR, G. GYARMATI, University of Miskolc (HU): **Analysis of the quality of aluminum alloy ingots** / Analiza kakovosti ingotov iz aluminijevih zlitin

D. LORBER, M. PLANINŠEK, V. TUBIN, J. FERČIČ, S. ŠIMENKO, P. MARINIČ, Talum d.d. (SI): **Digitalization transformation of production processes** / Digitalna transformacija proizvodnih procesov

R. RUDOLF^{1,2}, P. MAJERIČ^{1,2}, G. VASTAG³, V. LAZIČ⁴ ¹University of Maribor (SI), ²Zlatarna Celje d.o.o. (SI), ³University of Novi Sad (RS), ⁴University of Belgrade (RS): **State of the art and development of gold dental alloys** / Stanje tehnike in razvoj zlatih dentalnih zlitin

K. DUH¹, J. POTOČNIK¹, A. MAHMUTOVIČ², S. KASTELIC², ¹Talum Kidričevo d.d., ²TC Livarstvo d.o.o. (SI): **Inlet optimisation of thin wall castings (TGDC) with sand core** / Optimizacija ulivnega sistema tankostenskih ulitkov (TGDC) s peščenim jedrom



dr. Luca Mazzoni, PIQ2 (IT) – predavatelj



dr. Jiehua Li, Montanuniversität Leoben (A) – predavatelj



Dejan Lorber, TALUM d.d. (SI) – predavatelj



Dejan Lorber, TALUM d.d. (SI) – predavatelj

M. FASSINA, ItalPresseGauss (IT): **Sustainable aluminium die casting as a competitive strategy: three practical focus areas** / Trajnostno visoko tlačno litje aluminija kot konkurenčna strategija: fokus treh praktičnih področij

S. NIKOLAUS, Foundry Service GmbH (D): **Batteryoperated ladle drives and SLC Ladle management** / Baterijsko gnani pogoni ponvic in SLC upravljanje ponvic

S. KASTELIC^{1,2}, A. MAHMUTOVIĆ², M. ŽBONTAR¹, M. PETRIČ¹, P. MRVAR¹, ¹University of Ljubljana, Faculty of natural sciences and engineering (SI), ²TC Livarstvo d.o.o. (SI): **Implementation of vacuum system in HPDC using numerical analysis of filling and solidification** / Implementacija vakuumu pri tlačnem litju na podlagi numerične analiza litja in strjevanja

G. IUREVA¹, A. HAEMMERLE², J. LI¹, ¹Institute of Casting Research, Montanuniversität Leoben, ²Neuman Aluminium Fließpresswerk GmbH (A): **Characterizing microstructure variability in recycled 6082 aluminium alloy for sustainable manufacturing** / Karakterizacija spreminjanja mikrostrukture v reciklirani 6082 aluminijevi zlitini za trajnostno proizvodnjo

M. CAMPANELLA¹, A. PICCININNI¹, P. GUGLIELMI¹, A. CUSANNO¹, G. PALUMBO¹, L. MAZZONI², F. LEMBO³, ¹ Department of Mechanics, Mathematics and Management, Polytechnic Of Bari, ² PiQ2 Castle, ³ Master Italy s.r.l (IT): **Numerical investigation of the cooling system of a highpressure die casting mould adopting waterless release agents** / Numerična analiza hladilnega sistema orodja za tlačno litje z implementacijo brezvodnega ločilnega sredstva

O. ASGHAR¹, F. BONOLLO¹, M. DA SILVA², ¹Department of Engineering and Management, University of Padova (IT), ²Eurecat, Centre Tecnològic de Catalunya, Metallic and Ceramic Materials Unit, Av. Universitat Autònoma (ES): **Fluidity of aluminium foundry alloys for thin wall castings; designing of operating methodology** / Livnost livarskih aluminijevih zlitin za tankostenske ulitke; dizajniranje in operative metode



Marco Giegold, ITALPRESS (IT) – predavatelj



Stanislaw Nikolaus, FOUNDRY SERVICE GmbH (D) – predavatelj



mag. Galina Iureva, Montanuniversität Leoben (A) - mlada doktorantka



Martina Campanella, Department of Mechachanics, Mathematics and Managment (IT) - mlada doktorantka

D.R. GRUSZKA, R. DAŃKO, M. SKRZYŃSKI, A. KMITA, AGH University of Krakow (PL): **Research on the influence of layer orientation on the strength properties of additively manufactured moulds and cores in binder jetting technology** / Raziskava o vplivu orientacije plasti na trdnostne lastnosti aditivno izdelanih form in jeder s tehnologijo brizganja veziva

L. HAJAS D. MOLNÁR, University of Miskolc (HU): **From investment to sand casting technology – case study** / Od precizijskega litja do litja v pesek – študija primera
13.30 Conclusion of the Conference With Lunch / Zaključek konference s kosilom

Poster Presentations / Plakatne predstavitve

1. VASKOVÁ, P. DELIMANOVÁ, Technical University of Košice (SK): **Foundry sand as the main factor in the final quality of the casting** / Livarski pesek kot glavni factor pri končni kvaliteti ulitka



Osama Ashgar, University of Padova (IT) - mladi doktorant



Levente Hajas, University of Miskolc (HU) – mladi doktorant

2. Ł. SZYMAŃSKI¹, E. OLEJNIK², J. SOBCZAK¹, M. SZALA³, P. KURTYKA², T. TOKARSKI⁴, A. JANAS¹, ¹AGH University of Krakow, Faculty of Foundry Engineering, ²Innerco sp. z o.o., Cracow, ³Lublin University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, ⁴AGH University of Krakow, Academic Centre of Materials and Nanotechnology (PL): **Reactive casting coatings for obtaining in situ composite layers reinforced by titanium carbide** / Reaktivni livarski premazi za doseganje in situ kompozitnih plasti ojačanih s titanovim karbidom

3. J. BOROWIECKA JAMROZEK, Kielce University of Technology (PL): **Processing and properties of porous AcAlSi11 Silumin Matrix composites by casting** / Procesiranje in lastnosti poroznega kompozita z AcAlSi11 siluminsko osnovo

4. J. KASIŃSKA, Kielce University of Technology (PL): **Nondestructive method for assessing the degree of microstructure degradation of metals and alloys** / Neporušna metoda za oceno stopnje degradacije mikrostrukture pri kovinah in zlitinah

5. M. VONČINA¹, T. BALAŠKO¹, S. KORES², T. PREMUŽIČ², J. MEDVED¹, ¹University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Materials and Metallurgy, ²Talum d.d. (SI): **Knowledge transfer from university to industry optimization of billets production from highquality aluminum alloy EN AW6082**/Prenosa znanja iz univerze v industrijo optimiranje proizvodnje drogov iz aluminijeve zlitine EN AW6082 visoke kakovosti

6. M. PETRIČ^{1,4}, J. SMOLE², L. GRAHEK³, N. NEMEČEK⁴, D. MUCK¹, M. BLEČIČ KAVUR⁵, B. ŽUŽEK⁶, B. ŠETINA BATIČ⁶, P. FAJFAR¹, P. MRVAR¹, ¹University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, ²University of Ljubljana, Academy of Fine Arts and Design, ³ZRC SAZU, Institute of Archaeology, ⁴National Museum of Slovenia, ⁵University of Primorska, Faculty of Humanities, ⁶Institute of Metals and Technology (SI): **Production of cast replica of archaeological find – Negova helmet**/ Izdelava lite replike arheološke najdbe – Negovske čelade

7. J. MRVAR¹, A. MAHMUTOVIĆ², S. KASTELIC¹, M. PETRIČ¹, ¹University of Ljubljana, ²TC LIVARSTVO (SI): **Comprehensive mastery of investment casting using permanent inserts**/ Celovito obvladovanje precizijskega litja z uporabo trajnih vložkov

8. Z. ZOVKO BRODARAC¹, F. KOZINA¹, J. BURJA^{2,3}, B. ŠETINA BATIČ³, D. STANIČ⁴, M. FOLTA⁵: ¹University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Sisak (CRO), ²University of Ljubljana Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana (SI), ³Institute of Metals and Technology, Ljubljana (SI), ⁴Istrian University of Applied Sciences, Pula (CRO), ⁵Škoda Auto Vysoká Škola o.p.s., Mladá Boleslav (CZ): **Influence of heat treatment on microstructure of recycled AlSi9Cu3(Fe) alloy** / Vpliv toplotne obdelave na mikrostrukturo reciklirane zlitine AlSi9Cu3(Fe)

POKROVITELJI 64. IFC PORTOROŽ 2024

OLMA d.o.o. s QUAKER HOUGHTON – generalni pokrovitelj

LAEMPE MOESSNER SINTO – zlati pokrovitelj

**LTH Castings d.o.o. / MAGMA GmbH / SIEMPELKAMP Giesserei
- srebrni pokrovitelji**

HA Group / DIFA d.o.o. - Bronasta pokrovitelja

GOLDEN SPONSORS / ZLATI POKROVITELJI



SILVER SPONSORS / SREBRNI POKROVITELJI



Casting Knowledge.
In a Software.

MAGMA
Committed to Casting Excellence

More Information...

Assess the Potential of
Magnesium Thixomolding!

MAGMASOFT
automated engineering

**CASTING IS
OUR PASSION.**

Mission Green
Sustainable and resource-saving production
for durable and robust structural components

Competence and Quality in cast iron
We are World champion in hand mould
casting. No project is too big for us.

Digital Excellence
Our goal: 100 percent efficiency and productivity
for better process quality, time and energy
savings as well as more safety and competitiveness
of your components.



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE

Vabilo za

65. IFC PORTOROŽ 2025

z livarsko razstavo

17. - 19. SEPTEMBER 2025

Kontakt: DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE,

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

T: +386 1 2522 488

drustvo.livarjev@siol.net, www.drustvo-livarjev.si



The 75th WORLD FOUNDRY CONGRESS

2024.10.25-30

DEYANG · CHINA

DEVELOPING FOUNDRY

www.75wfc.com



The World
Foundry
Organization





STEM d.o.o.
Vipavska cesta 67
5000 Nova Gorica
Slovenija

tel.: +386 5 33 52 100
e-mail: info@stem.si
www.stem.si



Company ID: 5306779
Dun & Bradstreet d.o.o. / 27.3.2024



PESKALNA TEHNIKA



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