

LIVARSKI VESTNIK

66/2019

4



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY

Instro d.o.o., Stegne 7, 1000 Ljubljana, Slovenija

email: info@instro.si, Tel. +386 (0)40 243 755 www.instro.si



Elementna analiza



Neporušitvene
preiskave



Vakuum



Tehnična diagnostika:
ultrazvok, vibracije in
termografija



Meritve sevanja in
kontaminacije

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*

 **exotherm-it**

exotherm@exotherm.si

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

Društvo livarjev Slovenije
Lepi pot 6, P.P. 424, SI-1001 Ljubljana
Tel.: + 386 1 252 24 88
Fax: + 386 1 426 99 34
E-mail: društvo.livarjev@siol.net
Spletna stran: www.drustvo-livarjev.si

Glavni in odgovorni urednik / Chief and responsible editor:

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

Tehnično urejanje / Technical editing:

mag. Mirjam Jan-Blažić

Uredniški odbor / Editorial board:

prof. dr. Alojz Križman, Univerza v Mariboru
prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani
doc. dr. Gorazd Lojen, Univerza v Mariboru
prof. dr. Andreas Bührig-Polaczek, Giesserei
Institut RWTH Aachen
prof. dr. Peter Schumacher, Montanuniversität
Leoben
prof. dr. 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
dr. Milan Lampič, Fritz Winter, Stadtallendorf

Prevod v angleški jezik / Translation into English:

Marvelingua, Aljaž Seničar s.p.

Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:
Yvonne Rosteck, Düsseldorf
Slovenski jezik / Slovene: prof. Janina Šifrer

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

Naklada / Circulation:

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

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: december 2019



INSTRO d.o.o.
Preglov trg 11
1000 Ljubljana

Direktor: Jovan JOVANOVIĆ
T: +386 (4) 0 243 755
E: info@instro.si
www.instro.si

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

P. Larsen, K. Paw Madsen, J. Trojan: **Digitalna livarna
prihodnosti / The Digital Foundry of Tomorrow** 228

G. Hajas: **Polnjenje form in mehanske lastnosti
gravitacijskega litja v peščene kalupe in izdelava
tankostenskih ulitkov /1-3 mm/ skozi nov
livni postopek / Mould Filling and Mechanical
Properties of Gravity Sand Castings Having
Large Geometry and Thin Wall /1-3mm/- by a New
Casting Process** 236

U. Klančnik, A. Stergar, J. Bojanovič, M. Drobne:
**Vpliv hitrosti vrtenja kokile na razporeditev
mikrostrukturnih konstituentov v železovi litini /
Impact of Mold Rotation Velocity on Distribution
of Microstructural Constituents in Cast Iron** 246

**Predstavitev izvalčkov predavanj iz WFO-
Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019** 258

AKTUALNO / CURRENT

Letošnji udeleženci livarske razstave v Portorožu 270

Generalna skupščina WFO v Portorožu 275

Seminar "Toplotna obdelava neželezovih zlitin" 278

Seminar »Formanje in materiali za peščena jedra« 279

Seminar »Osnove tehnologije tlačnega litja« 280

Nadaljevalni seminar o tlačnem litju 282

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

Digitalna livarna prihodnosti

The Digital Foundry of Tomorrow

Izvilleček

Nenehna prizadevanja za večjo učinkovitost, izboljšanje storilnosti in kakovosti ulitkov ter za dodatne prihranke – najboljše kar vse naenkrat – so v livarski industriji močno razširjena in globalno sprejeta. Ne glede na velikost in vrsto livarne, njeno lokacijo in trg, gre za dejavnike, ki so pomembni za čisto vse livarne, ki jih poskušajo izboljšati vsak dan in korak za korakom.

Industrija 4.0 je ponavljajoča tema pogovorov v povezavi z livarnami prihodnosti, ta koncept pa igra pomembno vlogo v razvoju modela livarn prihodnosti. Zanimiva izmenjava poteka med razvijalci programske opreme in vodji inženirskih oddelkov livarn, ki želijo izkoristiti tehnologije IoT (»internet stvari«) v vsakodnevni dejavnosti livarn. Katere so te priložnosti?

Danes se procesni podatki iz posameznih naprav običajno shranjujejo v več ločenih sistemih, kar preprečuje transparentnost in otežkoča dostopnost, potrebno za sprotno analizo podatkov in neposredno posredovanje. Doseganje slednjega v teh okoliščinah ni nemogoče, vendar pa je izredno neučinkovito in zapleteno. Prav tako zahtevno je uvajanje pomembnih podatkov iz preteklosti.

Izziv je zagotoviti preprost dostop do vseh podatkov v celotnem proizvodnem sistemu, učinkovito spremljanje in nadzor procesov v resničnem času. Zbiranje podatkovnih tokov iz celotnega livnega procesa (npr. podatki o pesku, formah in kovini) v enem samem sistemu pa odpira številne nove možnosti. V prvi vrsti bi izboljšanje dostopa poenostavilo analize in spremljanje, kar bi pospešilo odpravljanje napak.

V tej predstavitvi so opisane različne nove možnosti v zvezi z zbiranjem podatkov in njihovo analizo, med drugim trajnostna dobičkonosnost.

Ključne besede: formanje z bentonitno peščeno mešanico, DISAMATIC, procesni podatki, digitalizacija proizvodnje, Industrija 4.0, tehnologija IoT (Internet of Things)

Abstract

The constant pursuit of new ways to boost efficiency, enhance productivity, improve casting quality and unlock savings – preferably all at the same time – is ubiquitous and universal in the foundry industry. Irrespective of foundry size and type, location and customer market, they remain factors that all foundries can relate to and try to optimize – every day, bit by bit.

Industry 4.0 is a recurring theme in conversations around the foundry of tomorrow and the concept plays an important role in the evolution towards future foundry models. A lively exchange is taking place between software developers and leading engineers in foundries, to take the advantages of IoT (Internet of Things) technologies into day-to-day foundry operations. But what are these opportunities?

Today, process data from individual machines is still typically stored across multiple, separate systems, hampering the transparency and accessibility needed for real-time data analysis and direct intervention. Achieving the latter under these circumstances is not impossible, but usually very inefficient and difficult. Pulling in valuable historical data is also cumbersome.

The challenge is to ensure easy access to all data across a production system, to efficiently monitor and control processes in real time. Collecting data streams from the whole casting process (i.e. sand, moulding and metal data) in a single system opens up many new opportunities. Fundamentally, improved access to data makes analysis and monitoring much easier, which in turn speeds up troubleshooting.

Keywords: Green sand moulding, DISAMATIC, Process data, Production digitalizing, Industry 4.0, Internet of things

1 Trajnostna dobičkonosnost

Močna osredotočenost na trajnostnost, ki smo ji priča v vseh vidikih livarske industrije (pa seveda tudi drugod), se skriva v mnogih preoblikah. Trajnostnost v osnovi pomeni uporabo manj virov v obliki materialov in energije ter zmanjšanjem fizičnega stresa in obremenitev za ljudi, ki delajo v livarni – ob hkratnem doseganju enakih ali celo boljših rezultatov.

Posledica vsega tega pa ni samo manjši vpliv naše industrije na okolje, temveč tudi varnejša prihodnost in konkurenčnost vsake livarne z zagotavljanjem privlačnejšega delovnega okolja za privabljanje delovne sile ter ohranjanje ali povečevanje dobičkonosnosti na konkurenčnem trgu. Pogosto gre oboje z roko v roki, kot je razvidno iz naslednjih primerov.

Manj odpada in ponovnega dela

Razmake in odstopanja form je mogoče izmeriti in označiti že pred njihovim ulivanjem ter tako preprečiti litje form neustreznih dimenzij ter posledično zmanjšati čas izpada proizvodnje in izmet.

Drugi način, kako v čim večji možni meri omejiti porabo virov, je stalno

1 Sustainable Profitability

The strong focus on sustainability that we are seeing across the foundry industry (and indeed beyond) comes in many guises. At its core, sustainability means using less resources in the form of materials and energy and alleviating physical strains and stresses on the people operating the foundry – while achieving the same or better outcomes.

Not only does this reduce the environmental impact of our industry, it also serves to secure the future and competitiveness of the individual foundry, by providing a more attractive working environment to attract staff and by maintaining or increasing profitability in a competitive marketplace. Quite often, the two go hand in hand, as the following examples show.

Reduce Scrap and Rework

Mould gaps and mismatch can be measured and flagged before moulds are poured, thereby preventing the pouring of out-of-tolerance moulds, resulting in less downtime and less scrap.

Another way of minimizing the use of resources is to ensure consistently high

zagotavljanje visoke kakovosti ulitkov, s čimer se izognemo odpadu ter časovno potratnemu ponovnemu delu. To lahko na primer dosežemo z izvedbo skeniranja pred litjem, ali so na formi prisotne reže ter ali se forme medsebojno ne ujemajo.

S težavo zaradi rež na formah, ki lahko privedejo do neustreznih ulitkov in zaustavitve proizvodnje zaradi preverjanja form, se lahko spopademo tako, da nastavimo alarm za samodejno zaustavitev litja v forme, če je izmerjena vrednost za reže med formami zunaj dovoljenih mej odstopanj.

Rezultat: odpadu/ponovnemu delu in zaustavitvam zaradi čiščenja se lahko izognemo, tako preprečimo porabo tako dragocenega časa kot virov.

Sistem deluje z uporabo posebej zasnovanih blokov modelnih plošč, ki ustvarjajo vtise na zunanji površini vsake polovice forme. Skeniranje teh vtisov zagotavlja približne vrednosti za relativni položaj obeh livnih votlin.

casting quality, thereby avoiding scrap or time-consuming rework. This can, for example, be done by scanning the mould string for gaps and each mould for mismatch before the pouring operation takes place.

The issue of mould gaps, which can lead to out-of-tolerance castings and downtime due to mould run-through, can be tackled by setting an alarm to automatically stop pouring moulds if the measured value for gaps between moulds is outside the preset tolerance.

The result: scrap/rework and downtime for cleaning can be avoided, preventing the waste of both valuable time and resources.

The system works using specially designed pattern plate blocks that create impressions on the outside surface of each mould half. Scanning these impressions provides proxy values for the relative position of the two mould cavities within.

The example of this relatively simple device (which works in combination with some clever software) shows how foundries can, bit by bit, eliminate waste and downtime



Slika 1:
Sistem laserskega skeniranja zazna nedovoljena odstopanja pri formah pred litjem

Figure 1:
A laser scanning system detects out-of-tolerance moulds before pouring



Slika 2: Posebej zasnovani bloki modelnih plošč ustvarjajo vtise na zunanji površini vsake polovice forme

Figure 2: Specially designed pattern plate blocks create impressions on the outside of both mould halves.

Primer te sorazmerno preproste naprave, ki deluje v kombinaciji z določeno pametno programsko opremo, kaže, da lahko livarne postopoma odpravijo nevarnost za odpad in zaustavitev pri proizvodnji ulitkov. To kaže tudi na vlogo, ki jo podatki igrajo pri ohranjanju trajnostne dobičkonosnosti.

2 Podatki o livnem procesu

Primerjava parametrov naprav, ki se uporabljajo za proizvodnjo form, na podlagi katerih je bila forma dejansko proizvedena (primerjava nazivnih in dejanskih vrednosti) lahko predstavlja podlago za optimizacijo in vzdrževanje procesov.

Težava se lahko pojavi pri razumevanju opozorilnih znakov brez zmožnosti shranjevanja teh informacij in pregledovanja podatkov o procesu v določenem časovnem obdobju.

Zabeleženi podatki zajemajo podatke o operacijah med delovanjem vaše opreme za litje, s čimer zagotavljajo pomembne informacije o sledljivosti procesa v

risks across casting production. It also hints at the role data can play in maintaining sustainable profitability.

2 Moulding Process Data

Comparison of machine parameters, used to produce the mould with how the mould was actually produced (nominal-actual comparison) can offer clues for process optimization and maintenance.

It can be difficult to catch the warning signs without the ability to store this information and examine the process data over a certain period of time.

The data recorded comprises a record of operations when your moulding equipment is running, thus providing important process traceability information in the event of castings quality issues as well as documentation of reliability for your customers.

It is important to store parameters and production conditions for every mould produced in a database. It could include data like pattern plate numbers used,

primeru težav s kakovostjo ulitkov, pa tudi dokumente o zanesljivosti, ki so namenjeni vašim strankam.

Parametre in podatke o proizvodnih pogojih je pomembno hraniti v podatkovni zbirki za vsako proizvedeno formo. Pri tem je mogoče zajeti podatke, kot so: uporabljene številke modelnih plošč, stisljivost, forma pri litju, čas litja, trenutne nastavitve stroja itn. Ti podatki lahko pomagajo določiti kakovost ulitkov glede na pogoje, pri katerih so bili proizvedeni.

Podatki o času delovanja so koristni za določanje tistih delov procesa, kjer se pojavljajo težave. Čas čakanja zaradi dovajanja peska, jeder in kovine, pa tudi dejanske zaustavitve linije je mogoče zaznavati, shraniti in uporabiti za optimizacijo.

3 Podatki o livnem procesu

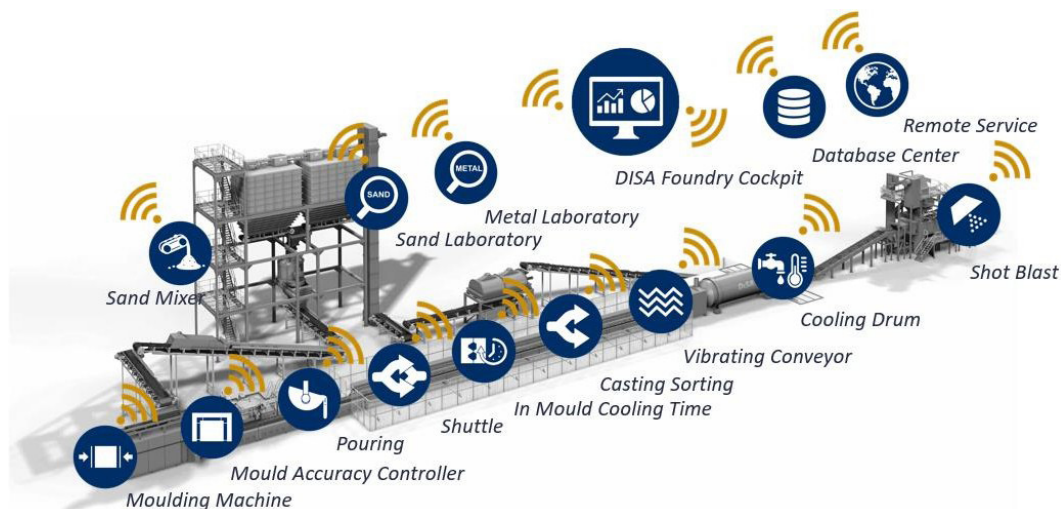
Mnoge izmed ključnih parametrov, ki vplivajo na kakovost litja, je mogoče

compressibility, mould poured, time when poured, actual machine setup etc. These data help to relate quality of castings to the conditions under which they were produced.

The up-time performance data is effective to localise bottlenecks in the process. Waiting time caused by sand, core and metal supply as well as actual stops on the line can be detected, stored and used for optimisation.

3 Pouring Process Data

Many of the key parameters that impact on casting quality can be traced back to the pouring process. They could include, for example, pouring temperature, pouring time, or more advanced measurements such as inoculations parameters. Comparing this data mould by mould can be a highly valuable tool in eliminating the root causes of casting flaws.



Slika 3: Komuniciranje M2M (stroj s strojem)

Figure 3: M2M Communications (Machine to machine)

povezati z livnim procesom. Med drugim lahko vključujejo livno temperaturo, čas litja ali naprednejše meritve, npr. inokulacijske parametre. Primerjava teh podatkov med posameznimi formami lahko predstavlja dragoceno orodje za odpravo temeljnih vzrokov napak med litjem.

4 Spremljanje procesnih podatkov

Predstavitev daje vpogled v dostopen spletni sistem, ki omogoča inteligentno proizvodnjo z zbiranjem, povezovanjem, analiziranjem in izmenjavo podatkov v resničnem času. Zbiranje in povezovanje podatkov iz vseh delov livarne razkriva nove možnosti v smislu optimizacije procesov in njihovega nadzora.

Industrija 4.0 je postala uveljavljen povzetek pogojev za vse vrste prizadevanj glede uporabe podatkov, analitike in učenja strojev v kontekstu industrije in proizvodnje.

Razpoložljivost podatkov

V smislu livarstva gre pri Industriji 4.0 na prvi pogled za podatke: njihovo zbiranje, razpoložljivost in pretvorbo v vpoglede, ki izboljšujejo procese. Je prvi ključni korak pri dostopanju do vseh potencialnih prednosti Industrije 4.0.

Vendar pa v večini današnjih livarn podatki niso razpoložljivi v enem centralnem sistemu. Pogosto obstajajo ločeni sistemi za pripravo peska, pripravo taline, formanje, litje, zbiranje odpada itn. Nekateri podatki se morda niti ne zbirajo v elektronski obliki, pač pa ročno na papirju. Nekateri potencialno koristni podatki se sploh ne zbirajo.

Gre za povezovanje strojev, zbiranje podatkov in preučevanje novih vpogledov o procesih – nenazadnje za boljšo organizacijo kompleksnega medsebojnega

4 Monitoring of Process Data

The presentation takes a close look at an easily accessible, web-based system that enables intelligent production by collecting, correlating, analysing and exchanging data in real time. Gathering and bringing together data from all parts of a foundry unlocks new possibilities in terms of process optimisation and control.

Industry 4.0 has become the established summary term for all manner of efforts around using data, analytics and machine learning in industrial and manufacturing contexts.

Making Data Accessible

In a foundry context, Industry 4.0 is, in the first instance, about data: its collection, its availability and its transformation into insights that improve processes. It's the first crucial step in unlocking all the potential benefits of Industry 4.0.

However, in most foundries today, data is not available from one central system. Separate systems often exist for sand preparation, melt preparation, moulding, pouring, scrap accounting, etc. Some data may not even be collected in electronic form but recorded manually on paper. Some potentially useful data is not collected at all.

It is about connecting machines, collecting data and unearthing new insights on processes – ultimately, to better orchestrate the complex interplay of machines, improve productivity and more closely control product quality.

5 From Unstructured to Structure Data

By creating access to all the data from the casting process in one system, many new

delovanja strojev, večjo storilnost in boljši nadzor nad kakovostjo izdelkov.

5 Od nestrukturiranih do strukturiranih podatkov

Z ustvarjanjem dostopa do vseh podatkov iz enega procesa litja v enem sistemu dobivamo številne nove možnosti za izboljšavo procesov in nadzor kakovost. Najpomembnejše pri tem prehodu na centralizirani dostop do podatkov je premik iz nestrukturiranih in razdeljenih podatkovnih nizov na strukturirane podatke, ki jih lahko medsebojno povežemo, pri tem pa je časovno označevanje ključnega pomena. Dostop do začetne točke, omogočitev preprostega spremljanja in rokovanja s podatki; ta nova strukturirana oblika s časovnim žigom omogoča napredno analizo in hitro odpravljanje težav.

Sinhronizacija podatkov s časovnim žigom prek centralne ure in povezovanje podatkov je ključnega pomena za izboljšanje primerjave podatkov in preglednost.

opportunities for process improvement and quality control arise. The most important characteristic of this transition to centralized data access is the move from unstructured, distributed data sets to structured data that can be put into relation, most crucially by time stamp. Accessibility is the starting point, enabling easy monitoring and handling of data; while its new structured and time stamped format enables advanced analysis fast troubleshooting.

Synchronizing data timestamp via a central clock and linking data together is crucial to enhance data comparison and transparency.

Gather More Data

In addition to facilitating access to existing process data via a single system, expanding the data collected to include new, process-critical data types is essential for conducting comprehensive process optimization and root cause analysis – to reduce scrap to an absolute minimum and prevent bad castings from being made.

Zbiranje več podatkov



Slika 4: Da bi do popolnosti izkoristili potencial Industrije 4.0, je treba nestrukturirane podatke o livarni pretvoriti v strukturirane podatke

Figure 4: To fully exploit the potential of Industry 4.0, unstructured foundry data has to be transformed into structured data

Poleg lažjega dostopa do obstoječih procesnih podatkov prek enega sistema je ključna razširitev zbranih podatkov za vključevanje novih vrst podatkov, ki so bistvenega pomena za procese, ključna za izvedbo celovite optimizacije procesa in analize temeljnih vzrokov – da bi odpad omejili v čim večji možni meri ter preprečili izdelavo nekakovostnih ulitkov.

Ti sistemi za delo s podatki in njihovo obdelavo, ki so zasnovani posebej za podatke o livarni, so trenutno v razvoju ali pa se že uporabljajo. Zelo kmalu bo razširjen, preprost in hiter dostop do teh podatkov privedel do popolnoma novih priložnosti za livarne, ki bodo lahko optimizirale svoje delovanje, poglobile svoje razumevanje procesov litja ter izboljšale kakovost svojih ulitkov.

6 Sklepi

Na voljo so številni prepričljivi razlogi, zakaj bi morale livarne, ki se ukvarjajo z litjem v sveže forme, sprejemati nove tehnologije, najsi bodo te v okviru Industrije 4.0 ali pa z nadaljevanjem svojega dela s pomočjo pametne in postopne avtomatizacije ponovljivih fizičnih del. Obe možnosti ponujata priložnosti, rezultat katerih je velik skupek posameznih izboljšav.

Ustvarjanje infrastrukture zanesljivih podatkov ali vlaganje v posamezne podatkovne naprave, ki jih lahko pozneje medsebojno povežemo, postavlja temelje za pomembne napredke v prihodnosti. S skupnimi prizadevanji za livarne v prihodnosti bomo lahko v prihodnjih letih izkoristili ta velik potencial.

These data handling and processing systems, designed specifically for foundry data, are currently being developed or are already in operation. Very soon, broadened, easy and fast access to this data will unlock completely new opportunities for foundries to optimize operations, deepen their understanding of the casting process and improve casting quality.

6 Conclusion

There are many compelling reasons why green sand foundries should keep on embracing new technologies, either with the keyword of Industry 4.0 or by continuing on a path of clever, step-by-step automation of repetitive manual tasks. Both offer significant opportunities that add up to more than the sum of individual improvements.

Creating a solid data infrastructure or investing in individual data-based devices than can be connected later lays the foundation for important advances in the future. This is where great potential will be unlocked over the coming years, as we build the foundry of tomorrow, together.

Polnjenje form in mehanske lastnosti gravitacijskega litja v peščene forme in izdelava tankostenskih ulitkov /1–3 mm/ skozi nov livni postopek

Mould Filling and Mechanical Properties of Gravity Sand Castings Having Large Geometry and Thin Wall /1-3mm/- by a New Casting Process

Izvleček

Družba Alu-Onto Ltd. je patentirala postopek litja v peščene kalupe, pri katerem je mogoče tankostenske ulitke (1–3 mm) v nekaj tednih spremeniti v dejanske izdelke. Ti ulitki so popolnoma delujoči prototipi tlačno litih (HPDC) delov. Prototipske ulitke je mogoče toplotno obdelati, da zadostijo različnim zahtevam glede mehanskih lastnosti. Aplikacije zajemajo ulitke za prototipska vozila za preskuse trkov, posebne predelave vozil, za maloserijska vozila, pa tudi za prototipe ulične razsvetljave LED, ki se izdeluje s to tehnologijo.

Ključne besede: proces litja aluminija v pesek, prototipi tlačno litih (HPDC) delov

Abstract

Alu-Onto Ltd. has patented a sandcasting process with which a thin wall (1 – 3 mm) casting design can be turned into a real-life workpiece within weeks. These castings are perfect functional prototypes of high-pressure die casting (HPDC) parts. Prototype castings can be heat treated to fulfill different mechanical property requirements. Applications include castings for prototype vehicles build for crash tests, special vehicle conversions, vehicles produced in small numbers, but also LED streetlight prototypes have been made using this technology.

Keywords: aluminium sand casting process, prototypes of HPDC parts,

1 Uvod

Za izpolnjevanje zahtev, ki jih predstavlja tržišče, se tlačno liti aluminijasti ulitki uporabljajo predvsem za zniževanje teže ulitkov ter izboljšavo mehanskih lastnosti. Poleg tega pa so zgoraj omenjene potrebe po boljši funkcionalnosti delov potrebne tudi zaradi zahtev uporabnikov: tankostenski in veliki ulitki morajo imeti tudi kompleksnejše oblike. V avtomobilski industriji gre predvsem

1 Introduction

To comply with market demands aluminium high pressure die castings are seen mostly as means for reducing weight of castings and increasing mechanical properties. In addition to the needs mentioned above improvement of parts functionality is requested by users: castings with thin walls and of large geometries also have to have more complex shapes. In the automotive

za tlačno lite aluminijaste dele karoserije, izdelane skozi postopek tlačnega litja, za katere so značilni enotna debelina 2 mm, ojačitve z lamelami in izboljšane lastnosti v povezavi s trdnostjo.

Izdelava takšnih velikih aluminijastih ulitkov in tankostenskih ulitkov v postopku tlačnega litja (predvsem za novo razvite izdelke) predstavlja tudi resno finančno breme že v začetni fazi, zamudna izvedba pa onemogoča hitro preizkušanje in izdelavo prototipov.

Pred proizvodnjo nove serije prototipov je treba izvesti simulacije za polnjenje form in strjevanje, da kar najboljše rezultate zagotovimo že na samem začetku procesa gravitacijskega litja v peščene kalupe. Mehanske lastnosti in toplotno obdelavo ulitkov, proizvedenih s to tehnologijo, smo preučili za različne lite zlitine, rezultate pa predstavljamo v tem delu. Na podlagi našega patentiranega procesa litja v pesek smo lahko izpolnili zahteve tako glede geometrije kot mehanskih lastnosti tlačno litih delov.

Povpraševanje po tankostenskih delih z velikimi površinami, izdelanimi s tehnologijo tlačnega litja, je vse večje. Temu je tako, ker avtomobilska industrija išče načine za zmanjšanje teže ulitkov, posledično pa si prizadeva za zmanjšanje debeline njihove stene. Hkrati pa proizvajalci originalne opreme zahtevajo vse boljše mehanske lastnosti. Na primer aluminijasti ulitki, ki se uporabljajo pri karoserijah, morajo imeti iste trdnostne lastnosti kot stiskane komponente pri procesu varjenja, zlasti v zvezi z visoko sposobnostjo za preoblikovanje preostalih delov.

Karoserijski ulitki so enakomerni debeli, navadno so to 2-mm kompleksne konstrukcije z ojačenimi rebri, pri katerih so potrebna obsežna preskušanja delov in form. Zaradi visokih začetnih stroškov pri tlačnem litju je hitreje in ceneje, torej

industry these are typically the high pressure die cast aluminum parts of the bodywork, which typically have uniform wall thickness of 2 mm, reinforced with ribs and with increased strength properties.

The manufacturing of such high pressure aluminum casts of large geometry and low wall thickness (mostly in the case of a new development) also means a serious financial challenge in the initial phase, and its lengthy machining makes quick testing and production of prototype series difficult.

Before a new series of prototype parts is produced, for the given casting mould filling and solidification simulations are carried out to ensure the best results right at the first time with our gravity sand casting process. We have examined mechanical properties and heat treatment of castings produced with this technology for different cast alloys, results are discussed in this paper. With our patented sand casting process we were able to meet both geometric and mechanical property requirements of high pressure die casting parts.

The demand for parts with large surfaces and thin walls produced by pressure casting technology is increasing. This is because the automotive industry is looking for ways to reduce weight of castings and as a consequence to reduce their wall thickness. At the same time, OEMs demand increased mechanical properties. For example, aluminum castings used as car body parts need to have the same strength properties as pressed components for the welding process, in particular with regard to high residual deformability.

Body part castings are uniformly thin, typically 2 mm thick rib-reinforced complex structures, which require extensive testing and optimization of parts and moulds. Due to high initial costs of HPDC process, it is faster and cheaper, thus more advantageous to produce the series of

bolj konkurenčno, da se odločimo za proizvodnjo serije prototipskih ulitkov s tehnologijo gravitacijskega litja v peščene kalupe. Predpogoj pri tem pa je, da je mogoča izvedba zahtevanih mer, površinske kakovosti in mehanskih lastnosti. Naša patentirana tehnologija litja (registracijska številka 230620 (EU: PCT/HU2016050019, ZDA: US20170333981A1)) je skladna s temi zahtevami [1]. Prednosti uporabe delov, izvedenih z gravitacijskim litjem v peščene kalupe, kot prototipov za tlačno lite dele smo dokazali na podlagi rezultatov simulacije litja, preskusov, ki smo jih opravili v naši družbi, in referenčnih projektov, ki smo jih opravili za najzahtevnejše proizvajalce originalne opreme [2–6].

Cilj naših preskusov pri proizvodnji tankostenskih tlačno litih prototipov ulitkov, predstavljenih v tem delu, je bil preučiti učinek dejavnikov, ki vplivajo na pogoje polnjenja kokil, in mehanske lastnosti tehnologije gravitacijskega litja v peščene kalupe.

Pri preskušanjih smo za litje uporabili peščene forme iz furanske smole z debelinami sten 1,5–2,0 do 2,5–3 mm do 3,5 mm, določali pa smo njihove tehnološke lastnosti, kot so temperatura zlitine, število in višina dolivkov, geometrija napajalnih kanalov, obdelava z razplinjevanjem taline. Kemijska sestava uporabljenih zlitin je prikazana v Preglednici 1. Med obdelavo taline za razplinjevanje smo dodali določeno količino pomožnih zlitin AlSi10 in AlTi5B1.

prototype castings by gravity sand casting technology. A prerequisite is, however, that the required dimensions, surface qualities and the mechanical properties can be produced. Our patented casting technology (Registration number 230620 (EU: PCT/HU2016050019, US: US20170333981A1)) meets these specifications [1]. Advantages of using gravity sand cast parts as prototypes of HPDC parts have been proven by results of casting simulations, in-house tests and reference projects completed for the most demanding OEMs [2–6].

The aim of our experiments with production of a thin walled HPDC casting prototype presented in this paper was to investigate the effect of factors influencing form filling conditions and mechanical properties of the gravity sand casting technology.

During our experiments furan resin sand molds with 1.5 to 2.0 to 2.5–3 mm to 3.5 mm wall thickness were cast and their technological properties, such as alloy temperature, number and height of sprues, geometry of gating channels, melt degassing treatment were determined. Chemical composition of the used alloys is shown in Table 1. During melt degassing treatment, a specific quantity of AlSi10 and AlTi5B1 auxiliary alloys were added.

Preglednica 1: Kemijska sestava uporabljenih zlitin AlSi10Mg in AlSi10MnMg

Table 1: The chemical composition of the applied AlSi10Mg and AlSi10MnMg alloys

Zlitina / Alloy	Si, %	Fe, %	Cu, %	Mn, %	Mg, %	Ti, %	Sr, %	Drugo, %
AlSi10Mg	10,20	0,139	0,0012	0,60	0,307	0,049	0,0270	0,0768
AlSi10MnMg	10,76	0,050	0,0002	0,001	0,258	0,059	0,0250	0,0271

2 Rezultati simulacije in preskušanja polnjenja form

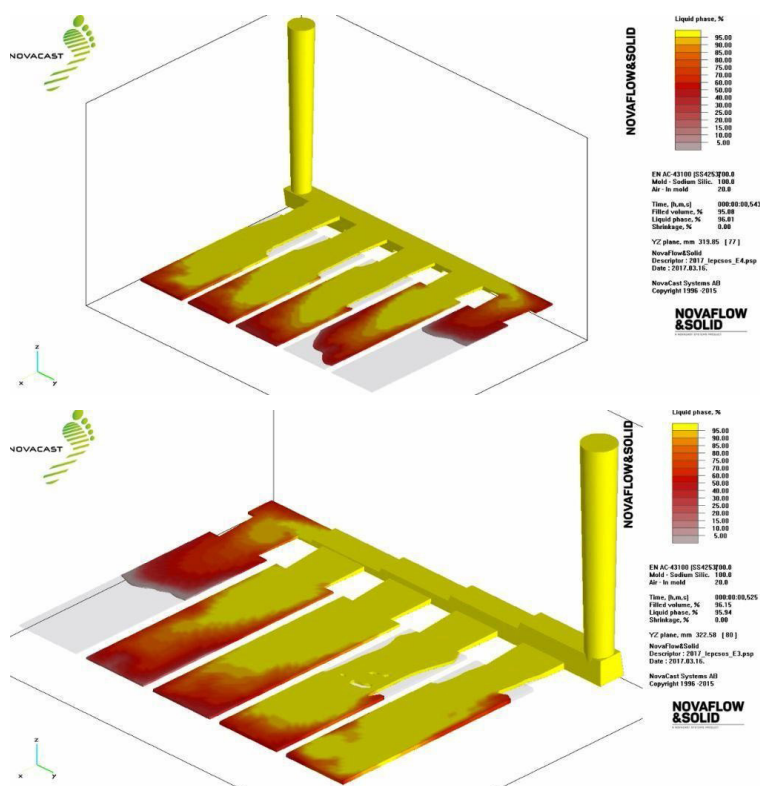
Na podlagi polnjenja kokil in simulacije strjevanja lahko napovemo, ali bo staljena kovina v celoti napolnila kokilo. Če je mogoče kokilo ustrezno napolniti, rezultati simulacije pokažejo, ali so pri ulitku mesta, kjer lahko pride do nepravilnosti. Napovemo lahko napake, kot so prekomerno krčenje, poroznost in vključki.

Ker se geometrija ulitka lahko le redko spreminja – npr. ker je že bil opravljen virtualni preskus trka – se v primeru kakršnih koli predvidenih napak vrnemo na stopnjo zasnove ulivnega sistema in spremenimo sestavo ulitka, da odpravimo vse predvidene napake. Pogoje polnjenja kokile

2 Simulation and Experimental Results of Mould Filling

Based on mould filling and solidification simulations we can predict whether the molten metal would fill the mould entirely. If mould cavity can be filled properly, simulation results show whether the casting has areas where defects could form. We can predict defects like extensive shrinkage, porosity and inclusions.

Since casting geometry can seldom be modified – because it has already passed a virtual crash test for example – if there are any defects predicted, we go back to gating system design stage and modify the casting assembly to eliminate all predicted faults. The mould-filling conditions were



Slika 1. Simulacija procesa polnjenja ploščice stopničaste oblike, ploščice merijo 60 × 150 mm, spodnji primer stojala pa je 22 mm

Figure 1: Simulation of the filling process of a plate with stairs, size of the plates is 60x150 mm and the lower diameter of the stand is 22 mm

smo preučevali s pomočjo programske opreme za simulacijo NovaFlow & Solid na Fakulteti za materiale in inženiring Univerze v Miskolcu ter jih primerjali z litimi vzorci. Na Sliki 1 je prikazana simulacija nepravilnega polnjenja kokile. Popolna napolnitev plasti debeline 1,5 mm je bila mogoča samo v primeru neposredne povezave z lijakom (Slika 2).

3 Določitev mehanskih lastnosti

Mehanske lastnosti ulitkov ploščic smo določili na podlagi litih in toplotno obdelanih vzorcev s stenami debeline 2 mm. V Preglednici 2 so prikazani učinki različnih ulivnih parametrov, uporabljenih pri vzorcih, ter spremembe trdnostnih lastnosti.

Značilnosti, vezane na pogoje vzorčnega kosa:

- H-litje–s smolo vezani peščeni kalup
- K-litje–uporabljeno hladivo na eni strani v s smolo vezanem peščenem kalupu
- Toplotno obdelan T7-1 480 °C/160 min

studied with NovaFlow & Solid simulation software at the University of Miskolc Faculty of Materials-Engineering and compared to cast samples. Figure 1. shows the simulation of a defective mould filling. Complete filling of the 1.5 mm thick layer was only possible when there was a direct connection to a sprue (Figure 2).

3 Determination of Mechanical Properties

Mechanical properties of plate castings were determined by using cast and heat-treated specimens with 2 mm wall thickness. Table 2. shows the effect of different casting parameters applied to the samples and the changes to the strength properties.

Characteristics related to the condition of the sample piece:

- H-cast–resin-bonded sand form
- K-cast–on one side using a coolant in resin-bonded sand form
- Heat treated T7–1 480°C/160 min



Slika 2. Deli za preizkušanje, izdelani iz zlitine AlSi10Mg, iz taline pri temperaturi 720 °C, ki so bili liti z dvema lijakoma

Figure 2. Test parts made of AlSi10Mg alloy, from a melt of 720 °C which have been cast using two sprues

Preglednica 2. Trdnostne lastnosti vzorčnih delov, tj. ploščic debeline 2 mm

Table 2. Strength properties of sample parts of 2 mm thick plates

Zlitina / Alloy	Stanje vzorca med pregledovanjem / Stage of the sample during examination	R _{p0,2} , MPa	R _m , MPa	A ₅ , %
AlSi10Mg	Litje, peščeni kalup H / Cast, sand form H	120	187	2,4
	Toplotna obdelava, T7-1, peščeni kalup H / Heat treated, T7-1, sand form H	130	173	1,8
AlSi10MnMg	Litje, peščeni kalup H / Cast, sand form H	91	174	4,2
	Litje, peščeni kalup z ohlajanjem K / Cast, sand form with cooling K	83	178	7,2
	Toplotna obdelava, T7-1, peščeni kalup H / Heat treated, T7-1, sand form H	175	223	3,6
	Toplotna obdelava, T7-2, peščeni kalup z ohlajanjem K / Heat treated, T7-2, sand form with cooling K	163	225	9,3
Zahteve pri tlačnem litju / Requirements of HPDC		130	220	7,0

- 230 °C/120 min
• Toplotno obdelan T7-2 510 °C/300 min
150 °C/60 min + 230 °C/70 min

Rezultati, prikazani v Preglednici 2, jasno kažejo, da smo z uporabo zlitine AlSi10MnMg skupaj s toplotno obdelavo T7-2 in hladilnimi elementi, vgrajeni v peščeni kalup, lahko proizvedli peščeni ulitek, ki ni samo dosegel, temveč je tudi presegel mehanske lastnosti, ki se zahtevajo za del, proizveden s tlačnim litjem.

4 Tankostenski aluminijasti ulitki v peščenih formah

Deli, prikazani na Sliki 3–4, so tipični primeri prototipov peščenega litja. Ti ulitki so bili proizvedeni kot delujoči prototipi tlačno litih delov. Vsi so bili toplotno obdelani ter izpolnjujejo zahteve glede geometričnih in mehanskih lastnosti. Ti deli se navadno uporabljajo za avtomobilsko industrijo, vendar pa smo z isto tehnologijo

- 230°C/120 min
• Heat treated T7–2 510°C/300 min
150°C/60 min + 230°C/70 min

Results shown in Table 2. clearly demonstrate that by using the alloy AlSi10MnMg together with T7-2 heat treatment and cooling elements built into the sand mould we were able to produce a sand cast part that not only reached but surpassed the mechanical properties required for the part produced with HPDC process.

4 Thin Wall Aluminium Sand Castings

Parts shown in Figure 3-4. are typical examples of sand cast prototypes. These castings were produced as functional prototypes of high-pressure die casting parts. All of them were heat-treated and fulfilled the necessary geometrical and mechanical requirements. These parts were usually made for the automotive industry but there were several LED streetlight



Slika 3. Testni gravitacijsko, v pesek liti kos za tlačno litje, zlitina: AlSi10Mg Geometrija: premera 540 mm, debelina stene zgornjega dela: 3 mm, spodnji del: 0,8–1,5 mm GTA14/5 DIN1688

Figure 3. Aluminum gravity sand casting HPDC test part, alloy: AlSi10Mg Geometry: diameter 540 mm, wall thickness upper part: 3 mm, bottom part: 0,8-1,5 mm GTA14/5 DIN1688

litja proizvedli tudi več prototipov ulične razsvetljave LED.

prototypes produced with the same casting technology.

5 Povzetek

Simulacija in rezultati procesa litja so pokazali, da je zaradi kratkih časov polnjenja kokil polnjenje kokil brez omejitev, optimizirani dovodni kanali in dovodne odprtine pa so ključni deli pri proizvodnji ulitkov v pesek s tankimi stenami in velikimi površinami. Mehanska trdnost tankostenskih delov za preskušanje z uporabo gravitacijskega litja v pesek z zahtevami, ki se uporabljajo za tlačno lite dele, so bile pri teh zlitinah prilagojene procesu litja v pesek, uporabljena pa je bila tudi toplotna obdelava.

5 Summary

Simulation and casting process test results showed that because of short mould filling times restriction-free mould filling and optimised gating channels and gating ports are essential parts of production of sand castings having thin-walls and large surface dimensions. The mechanical strength properties of thin-walled test parts using gravity sand casting comply with the requirements valid for HPDC parts, in case alloys were adapted to the sandcasting process and heat treatment was used.

Technological parameters of the patented gravity sand casting process differ



Slika 4. Serija prototipov z gravitacijskim litjem aluminija v pesek, zlitina: AlSi10Mg; Geometrija: 600 × 450 × 130 mm, debelina stene: 3,5 mm; GTA14/5 DIN1688

Figure 4. Aluminum gravity sand casting; HPDC prototype series, alloy: AlSi10Mg; Geometry: 600 x 450x 130 mm, wall thickness: 3.5 mm; GTA14/5 DIN1688

Tehnološki parametri patentiranega procesa gravitacijskega litja v pesek se bistveno razlikujejo od parametrov pri klasičnem gravitacijskem litju. Navadno tankostenski ulitki z velikimi površinami niso v celoti primerni za dovajanje s stiskanjem in med strjevanjem pride do krčenja

considerably from those of conventional gravity casting. Typically, castings with small wall thickness and large surface areas are not entirely suitable for compacting feeding, and the shrinkage that occurs during solidification appears in even, flat-shaped areas in the form of center line pores, which

enakomernih in ravnih območij v obliki centralnih por, ki pa nimajo bistvenega vpliva na zmanjšanje trdnostnih lastnosti, kot se je izkazalo pri preskušanjih.

Neposredna ekonomska korist tega procesa je možnost proizvodnje vzorčnih in prototipskih ulitkov delov, ki so zasnovani za masovno proizvodnjo s tlačnim litjem. Proces, ki je bil uporabljen pri preskušanju in je predstavljen v tem delu, zahteva samo del časa in stroškov obdelave proizvodnje s tlačnim litjem za izvedbo delujočih prototipov, ki lahko izpolnijo vse zahteve glede geometrije in mehanske trdnosti končnega in masovno proizvedenega dela.

6 O tehnološkem patentu

Proces litja aluminijevih ulitkov z deljenimi tankimi stenami s tehnologijo litja v pesek za proizvodnjo s tehnologijo gravitacijskega litja

Lastnik patenta: Alu-Öntő Kft., Gergely Hajas, generalni direktor

Madžarska, datum podelitve patenta na Madžarskem: 17. maj 2017

Razvrstitev patenta: Kategorija »A« – svetovna novost, registrska številka: 230620 **Evropa – ZDA** Mednarodni patent, objavljen v državah članicah podpisnicah Pogodbe o sodelovanju na področju patentov (PCT), ID objave: PCT/HU2016/050019, US20170333981A1

Razvrstitev mednarodnega patenta: Kategorija »A« – svetovna novost

Število mednarodnih objav v listu mednarodnih znamk, WIPO: WO 2016/181177 A3

Mednarodna objava patenta na spletu: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016181177&redirectedID=true>

do not significantly reduce the strength properties as experiments proved.

The direct economic advantage of this process is the possibility of producing sample and prototype castings of parts which are designed for HPDC mass production. The process used for the experiments presented in this paper require the fraction of time and tooling costs of a HPDC die production to create functional prototypes, which can fulfill all geometric and mechanical strength requirements of the final, mass-produced part.

6 About the technology patent

Casting process for aluminum castings of divided, low wall thickness with sand casting technology, for the production by gravity casting technology

Patent owner: Alu-Öntő Kft., Gergely Hajas CEO

Hungary Granting date of the patent in Hungary: May 17, 2017

Classification of the patent: Category "A" - world novelty, registration number: 230620 **Europe – USA** International patent published in PCT member states, publication ID: PCT/HU2016/050019, US20170333981A1

Classification of the international patent: Category "A" - world novelty

The number of international publications in the gazette of international marks, WIPO: WO 2016/181177 A3

The international patent publication on the internet: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016181177&redirectedID=true>

Zahvale

Avtor se za pomoč zahvaljuje sodelavcema, ki sta s svojim strokovnim znanjem in pomočjo pripomogla k razvoju predstavljenega procesa; to sta dr. Jenő Dúl (Univerza v Miskolcu, Madžarska) in dr. Pál Hatala (Madžarsko rudarsko in metalurško združenje).

Acknowledgments

The author thanks Dr. Jenő Dúl (University of Miskolc, Hungary) and Dr. Pál Hatala (Hungarian Mining and Metallurgical Association) who have contributed with their expertise and assistance in the development of the presented process.

Viri / References

- [1] (WO2016181177) CASTING PROCESS AND SAND MOULD PROVIDED WITH AN INLET SYSTEM FOR PRODUCING AT LEAST PARTLY THIN WALLED ALUMINIUM CASTS WITH SAND MOULDING TECHNOLOGY BY MEANS OF GRAVITY CASTING <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016181177>
- [2] Hajas G.: Examination of influencing factors of mechanical properties and mold filling behavior in case of sand casting prototypes of thin-walled high-pressure die casting parts, BKL Kohászat 150, 2017/6 str. 13–17 http://ombkenet.hu/images/2017/netre_2017_6_szam_kohaszat.pdf
- [3] G. Hajas: Producción de prototipos/primeras muestras o series de fabricación de piezas ricas en detalle, de fundición de aluminio a alta presión de paredes delgadas (1-3 mm), por fundición por gravedad a presión en moldes de arena, FUNDI Press April 2016. http://www.alu-onto.hu/sites/default/files/produccion_de_prototipos_4.pdf
- [4] G. Hajas: Prototypen aus Sandformen für Dünnwandige und detailreiche Druckgussteile,
- [5] Giesserei-Praxis, 4/2017, str. 144–146, <https://www.giesserei-praxis.de/fachzeitschrift/archiv/artikel/2017/gp-4-2017/19417-prototypen-aus-sandformen-fuer-duennwandige-und-detailreiche-druckgussteile/>
- [6] G. Hajas: Prototypes Made of Sand Moulds for Thin-Walled and Detailed Die Cast Parts, SPOTLIGHTMETAL the network for light metal casting, 25. 6. 2018. <https://www.spotlightmetal.com/prototypes-made-of-sand-moulds-for-thin-walled-and-detailed-die-cast-parts-a-727553/>
- [7] R. DUL: Casting simulation provide the ability to get it right at the first time, <http://www.cfdengineering.co.uk/casting-simulation-prototype-casting/>

Vpliv hitrosti vrtenja kokile na razporeditev mikrostrukturnih konstituentov v železovi litini

Impact of Mold Rotation Velocity on Distribution of Microstructural Constituents in Cast Iron

Izvleček

Uliti valji za toplo valjanje so dvoplastni uliti ingoti, odpornejša zunanja plast je izdelana iz železove litine, žilavo jedro pa iz nodularne litine. Zunanja plast je danes najpogosteje centrifugalno lita, jedro pa statično. Fiziki centrifugalnega litja je bilo posvečeno veliko raziskav s poudarkom na aluminijevih zlitinah, ojačenih s SiC. Raziskave kažejo medsebojno povezavo med hitrostjo vrtenja kokile in pojavom zunanjih razpok v vročem, padanja, izcejanje karbida, plastenja in vpliva na hitrost strjevanja. Namen te raziskave je ugotoviti morebitno povezavo med hitrostjo vrtenja kokile in razporeditvijo mikrostrukturnih konstituentov, kot so evtektični karbidi in grafit, v posebnem litem železu za delovne plasti v valjih. Rezultati potrjujejo razliko pri litih mikrostrukturah v primeru treh različnih hitrosti vrtenja zlasti pri precipitaciji grafita, obliki evtektičnih karbidov in trdoti mase. Razumevanje posledic vpliva hitrosti vrtenja na lito mikrostrukturo lahko pomaga pri izboljšanju kakovosti končnega izdelka ter preprečevanju hudih napak pri litju.

Ključne besede: centrifugalno litje, hitrost vrtenja, legirana železova litina, mikrostruktura

Abstract

Cast rolls for hot rolling are two layered cast ingots composed of a harder, more resistant outer layer made of alloyed cast iron and a tough core made of nodular cast iron. The outer layer is nowadays most often centrifugally cast, while the core is cast statically. A lot of research has been done on the physics of centrifugal casting with emphasis on aluminum alloys reinforced with SiC. Previous research shows a correlation between the mould rotation speed and the occurrence of hot tearing, raining, carbide segregation, lamination and its impact on the rate of solidification. The goal of the present study was to establish a possible correlation between mould rotation speed and the distribution of microstructural constituents, such as eutectic carbides and graphite, in a highly alloyed cast iron for work layers in rolls. Results confirm a difference in as-cast microstructure between three different rotating speeds especially in precipitation of graphite, the form of eutectic carbides and bulk hardness. Understanding the implications of rotating speed influence on as-cast microstructure can help improve the quality of the finished product and to avoid serious casting failures.

Keywords: centrifugal casting, rotating speed, alloyed cast iron, microstructure

1 Uvod

Od uvedbe centrifugalnega litja kot delovne metode pri proizvodnji delovnih valjev pred približno dvajsetimi leti je pri sami tehnologiji postopka litja prišlo do malo sprememb. V uporabi sta dva glavna tipa postopkov centrifugalnega litja: horizontalni in vertikalni. Oba se lahko uporabljata pri proizvodnji valjev in tulcev, pa tudi drugih izdelkov, kot so jeklene cevi, Babbittovi ležaji, zavorni bobni, cevi in rotorji. Postopek litja je podoben v obeh primerih; kokila, ki je pogosto izdelana iz kovine, se postavi na žlebove in se vrti z visoko vrtilno hitrostjo. Nato se v vrtečo se kokilo ulije staljena kovina. Centrifugalna sila, ki deluje na tekočino, povzroči nastanek votlega valja valovite oblike v kokili. Kokila se vrti, dokler se kovina ne strdi. Nov strjeni valj tvori delovno plast valja. Učinkovit valj mora biti odporen proti nesrečam v valjarni, hkrati pa mora imeti časovno ugodno razmerje glede obrabe ter odpornosti proti razpokam, s čimer omogoča daljšo uporabo. Dobro razumevanje procesa litja je ključnega pomena pri izvajanju raziskav glede kakovosti in razvojnih projektov.

Splošna fizika pri horizontalnem centrifugalnem litju je precej osnovna. Kokila z notranjim premerom r_1 se vrti s kotno hitrostjo ω , ko vanjo ulijemo maso oziroma staljeno kovino m (Sl. 1a).

Prva tekočina ob stiku s kokilo skoraj v trenutku zamrzne, tako da lahko predvidevamo, da je trenje med tekočino/ulitkom in kokilo zadostno, da ne prihaja do zdrsov. Centrifugalno silo (F_c), ki deluje na vrtečo se kovino, lahko zapišemo kot:

$$F_c = m \cdot r_1 \cdot \omega^2 \text{ (N)}, \quad (1)$$

ustvarjanje pritiska na notranjo površino kokile:

1 Introduction

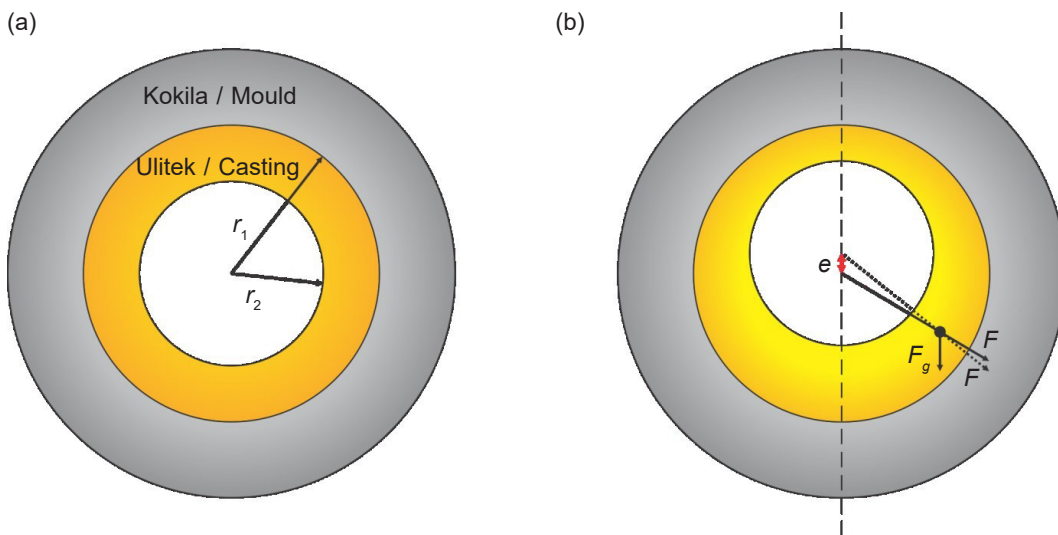
Since the implementation of centrifugal casting as a method for work roll production some twenty years ago, little change has been made on the technology of the casting procedure per se. There are two main types of centrifugal casting procedures; horizontal and vertical. Either can be used in the production of rolls and sleeves as well as other products such as steel tubes, Babbitt bearings, brake drums, pipes and rotors. The casting procedure is similar in both cases; the mould, most often made of metal, is placed on runners and rotated at a high rotating speed. Molten metal is then poured into the rotating mould. The centrifugal force acting on the liquid causes it to form a hollow cylinder contoured to the mould. The mould continues rotating until the metal solidifies. The now solid cylinder forms the working layer of a roll. An efficient roll should be resistant to incidents in the rolling mill and at the same time have a good wear and crack resistance enabling longer campaigns. A good understanding of the casting process is essential in tackling quality related research and development projects.

The general physics of horizontal centrifugal casting is quite straightforward. A mould with an internal radius r_1 is rotating at angular velocity ω when molten metal of mass m is poured into it (Fig. 1a).

The first liquid in contact with the mould freezes almost instantly so we can assume the friction between the liquid/casting and the mould is sufficing to prevent slippage. The centrifugal force (F_c) working on the rotating metal can be written as:

$$F_c = m \cdot r_1 \cdot \omega^2 \text{ (N)}, \quad (1)$$

creating a pressure on the inner surface of the mould:



Slika 1: (a) Shematski prikaz prereza kokile s centrifugalno litim ulitkom; r_1 je polmer notranje površine kokile, r_2 pa je polmer notranje površine ulitka; (b) Prikaz sil, ki delujejo na ulitek med vrtenjem; pomeni oznak: e = ekscentričnost, F_g = gravitacijska sila, F_c = centrifugalna sila, F = rezultanta (povzeto po J. Honda)

Figure 1: (a) Schematic drawing of a mould cross section with a centrifugally cast casting; r_1 is the radius of the inner surface of the mould and r_2 the radius of the inner surface of the casting; (b) Depiction of the forces working on the casting during rotation; e represents eccentricity, F_g the force of gravity, F_c the centrifugal force and F the resultant (summarized after J. Honda).

$$p_c = \frac{\gamma \omega^2}{3g} \left(r_1^2 - \frac{r_2^3}{r_1} \right) \quad [\text{N/m}^2], \quad (2)$$

pri čemer je γ specifična teža staljene kovine, g je gravitacijski pospešek, r_2 pa notranji polmer taline. [1] Centrifugalna sila je usmerjena proč od vrtilne osi (Sl. 1) in je proporcionalna z ω^2 glede na En. 1. Gravitacijska sila (F_g) deluje tudi na talino, ki centrifugalno silo usmerja na zgornji del ($F_c - F_g$) in jo jača na dnu ($F_c + F_g$). Rezultat tega je nekoncentrična oblika z ekscentričnostjo e (Sl. 1b):

$$p_c = \frac{\gamma \omega^2}{3g} \left(r_1^2 - \frac{r_2^3}{r_1} \right) \quad [\text{N/m}^2], \quad (2)$$

where γ is the specific weight of the molten metal, g is the gravitational acceleration and r_2 is the inner radius of melt. [1] The centrifugal force is oriented away from the axis of rotation (see Fig. 1) and is proportional to ω^2 according to eq. 1. The force of gravity (F_g) also acts on the melt countering the centrifugal force on the top portion ($F_c - F_g$) and enhancing it on the bottom ($F_c + F_g$). The result is a non-concentric form with an eccentricity e (Fig. 1b):

$$e = \frac{F_g}{F_C} \cdot r = \frac{g}{\omega^2}, \quad (3)$$

Skladno z En. 3 je ekscentričnost obratno proporcionalna kvadratni hitrosti vrtenja. Pri nižjem ω (kar pomeni visoko ekscentričnost) pri vrteči se talini prihaja do motenj, zaradi česar pride do nastanka napak, kot so padanje, plastenje in močna oksidacija. Z večanjem ω lahko ekscentričnost postane zanemarljivo majhna, nikoli pa ne more biti enaka nič. Če kljub temu hitrost vrtenja povečamo nad določeno omejitev, lahko visoka napetost znotraj taline, ki se strjuje, privede do razpok v vročem, notranjih razpok in velikih preostalih obremenitev. To je zlasti pomembno pri zlitinah, ki se med strjevanjem bolj krčijo in imajo nižjo trdnost pri razžarjenosti. Viri in praksa kažejo, da naj bi hitrost vrtenja na splošno dosegla vsaj centrifugalno silo 100 do 120-kratnika sile težnosti g . [1]

Pri zelo nizkih ali visokih hitrostih vrtenja pride do težav s stabilnostjo ulitka, vendar pa lahko učinki izcejanja negativno vplivajo na kakovost delovne plasti tudi pri normalni hitrosti vrtenja. To še zlasti drži za zlitine z dodanimi delci (npr. aluminijeve zlitine, ojačene s SiC) ali evtektične karbide z neenakimi gostotami glede na gostoto razsutega staljenega materiala, ki je v našem primeru večinoma železo. Ravnovesje sil, ki delujejo na delce med vrtenjem (centrifugalna sila, sila viskoznosti), je mogoče izraziti kot:

$$\rho_p V \frac{d^2 r}{dt^2} = V \omega^2 (\rho_p - \rho_L) - 6\pi\eta r \frac{dr}{dt}, \quad (4)$$

pri čemer sta ρ_p in ρ_L gostoti delca in okoliške tekočine, V je prostornina delca, η pa je viskoznost staljene kovine, v kateri so prisotni delci, navadno je podana kot prostornina delca. Evtektični karbidi nižje gostote, kot so vanadijevi karbidi, se bodo premaknili proti notranji površini ulitka,

$$e = \frac{F_g}{F_C} \cdot r = \frac{g}{\omega^2}, \quad (3)$$

According to eq. 3, eccentricity is inversely proportional to rotating speed squared. At lower ω (meaning a high eccentricity) the rotating melt is subjected to disturbance giving rise to defects such as raining, lamination and intense oxidation. By increasing ω eccentricity can become negligible, although never really zero. However, if rotational speed is increased above a certain limit, the high tension stresses inside the solidifying melt can lead to hot tearing, internal cracking and high residual stresses. This is especially important for alloys with greater shrinkage during solidification and lower red, hot strength. Literature and practice show that rotating speeds should generally achieve a centrifugal force of at least 100-120 times g . [1]

With extremely low or high rotating speeds problems arise with the casting's stability, but even with normal rotating speeds the quality of the working layer can be hindered due to segregation effects. This is especially true for alloys that contain added particles (for example aluminum alloys enforced with SiC) or eutectic carbides with dissimilar densities in relation to the density of the bulk molten metal which in our case consists mostly of iron. The balance of forces working on the particles during rotation (centrifugal force, viscous force) can be expressed as:

$$\rho_p V \frac{d^2 r}{dt^2} = V \omega^2 (\rho_p - \rho_L) - 6\pi\eta r \frac{dr}{dt}, \quad (4)$$

where ρ_p and ρ_L are the densities of the particle and surrounding liquid, respectively, V is the volume of the particle and η is the viscosity of the molten metal containing particles, usually given as a function of particle volume. Eutectic carbides with a

gostejši delci pa so nagnjeni k izcejanju proti zunanji površini. [2, 3, 4]

Enako kot izcejanje delcev različnih gostot lahko tudi centrifugalna sila vpliva na jedra, saj se v prvi fazi strjevanja izločajo znotraj taline (okrog T_L). Učinek na mikrostrukturo neobdelanega ulitka je velik. Raziskave, opravljene na zlitinah Al-Si in Al-Cu, kažejo, da večja hitrost vrtenja kokile stebričasto območje v bližini zunanje površine ulitka ter enakoosno območje, pričakovano v središču ulitka, spremeni v strukturo s fino zrnavostjo proti zunanji površini, v središču ulitka pa v sekundarno stebričasto območje. Avtorji ta pojav pripisujejo večjemu ločevanju kristalov v beli plasti in primarnih dendritnih vejah, pa tudi fragmentaciji večjih kristalov, ker ti trkajo drug ob drugega. To povečuje nukleacijo, rezultat katere sta udrobnjevanje in zmanjšanje nabiranja topljenca v končnem območju strjevanja. [5]

Hipoevtektično lito železo, ki se uporablja v delovnih plasteh valjev, vsebuje grafit, cementit in trde karbide tipa MC, vgrajene v jekleno matrico. Na podlagi zgoraj navedenega lahko centrifugalna sila vpliva tako na izcejanje karbidov kot tvorbo grafita in cementita, ki nastaja na podlagi stabilne in metastabilne evtektične reakcije. Študija je bila izvedena z namenom ocene morebitnega vpliva, ki ga imajo lahko različne hitrosti vrtenja na razporeditev, obliko in velikost primarnih mikrostrukturnih konstituentov.

2 Metodologija poskusa

Talino litega železa smo pripravili s 3,1 wt. % C, 0,9 wt. % Mn in 4,3 wt. % Ni; kemično sestavo smo preverjali s pomočjo pulzirajočega spektrometra. Talino smo ulivali in spremenili s posebnimi karbidnimi graditelji (Nb, V, Ti itd.) z vsebnostmi med

smaller density, such as vanadium carbides, will move towards the inner surface of the casting, while denser particles are prone to segregation towards the outer surface. [2,3,4]

Like segregation of particles with various densities, the centrifugal force can affect nuclei as they precipitate inside the melt during the first stage of solidification (around T_L). As such, the effect on the as-cast microstructure is profound. Research done on Al-Si and Al-Cu alloys suggests that increasing the rotating speed of the mould changes the columnar zone near the outer surface of the casting and the equiaxed zone expected in the center of the casting into a fine grained structure towards the outer surface and a second columnar zone in the center of the casting. The authors attribute this to the enhanced detachment of chill crystals and primary dendrite arms as well as fragmentation of larger crystals as they collide with each other. This enhances nucleation with the result of grain refinement and a reduction in solute pile up in the final solidification zone. [5]

Hypo-eutectic alloyed cast iron used for work layers in rolls consists of graphite, cementite and hard MC-type carbides embedded in a steel matrix. According to above, centrifugal force can affect both segregation of carbides and the form of graphite and cementite formed through the stable and metastable eutectic reaction, respectively. A study was conducted with the objective of ascertaining a possible effect, different rotating speeds may have on the distribution, form and size of primary microstructural constituents.

Preglednica 1: Parametri treh poskusnih litij z različnimi hitrostmi vrtenja**Table 1:** Parameters of three trial castings cast with different rotating speeds

Oznaka litja / Casting label	Hitrost vrtenja / Rotating speed		Livna temperatura / Pouring temperature (°C)	Razmerje / ratio (Nb+V+Ti) (%)
	(Sila G) / (G-force)	(vrt./min) / (rpm)		
A	80	850	1.350	1,3
B	120	1.000	1.351	1,5
C	160	1.200	1.347	1,5

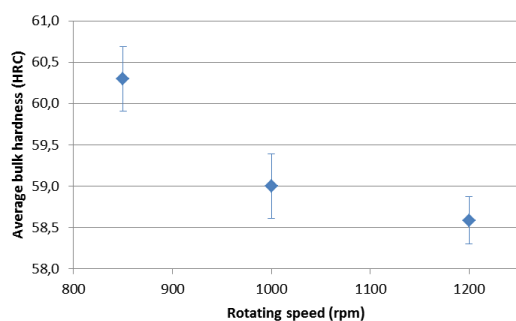
1,3 in 1,5 wt. % in inokulirali z železovo zlitino na osnovi silicija, namenjeno grafitizaciji. Litje je potekalo pri temperaturi 1.350 °C (± 5 °C) v laboratorijskem livnem stroju za horizontalno centrifugalno litje. Temperaturo litja med kroženjem smo spremljali s pomočjo umerjenega optičnega pirometra. Pri temperaturi pribl. 1.000 °C smo napravo zaustavili ter pustili, da se je ulitek ohladil v kokili.

Izdelali smo tri različne ulitke z različnimi hitrostmi vrtenja (Preglednica 1). Zunanji premer ulitkov je bil 270 mm, po dolžini so merili 310 mm, plast pa je bila debela 35 mm. Nato smo ulitke razrezali. Metalografske vzorce (celotne debeline stene) smo pripravili iz sredinskega prereza ulitka. Sredino ulitka smo izbrali, ker je temperaturni gradient med strjevanjem pravokoten na v kokili staljene mejne površine, fronta strjevanja pa poteka enosmerno. Vzorce smo pripravili s standardnim metalografskim postopkom brušenja, loščenja in jedkanja v 2-% nitalu, da smo odkrili mikrostrukturo. Optično mikroskopijo smo izvajali s pomočjo optičnega mikroskopa Olympus BX51M, opremljenega s kamero Olympus SC50. Ocenjevanje frakcije karbidov in obliko grafitu, razporeditve ter velikosti smo izvedli s pomočjo programske opreme Olympus Stream Basic skladno z določili standarda EN-ISO 945-1:2009. Analizo posnetkov karbidov tipa MC smo opravili s programsko

2 Experimental Methodology

A cast iron melt was prepared with 3.1 wt. % C, 0.9 wt. % Mn and 4.3 wt. % Ni; chemical composition was controlled using a spark spectrometer. The melt was alloyed and modified with special carbide builders (Nb, V, Ti, etc.) between 1.3 and 1.5 wt. % in total and inoculated with a siliconbased ferroalloy for graphitization. The casting was done at 1350 °C (± 5 °C) in a laboratory scale horizontal centrifugal casting machine. The temperature of the casting during spinning was monitored using a calibrated optical pyrometer. At around 1000 °C the device was stopped and the casting left to cool inside the mould.

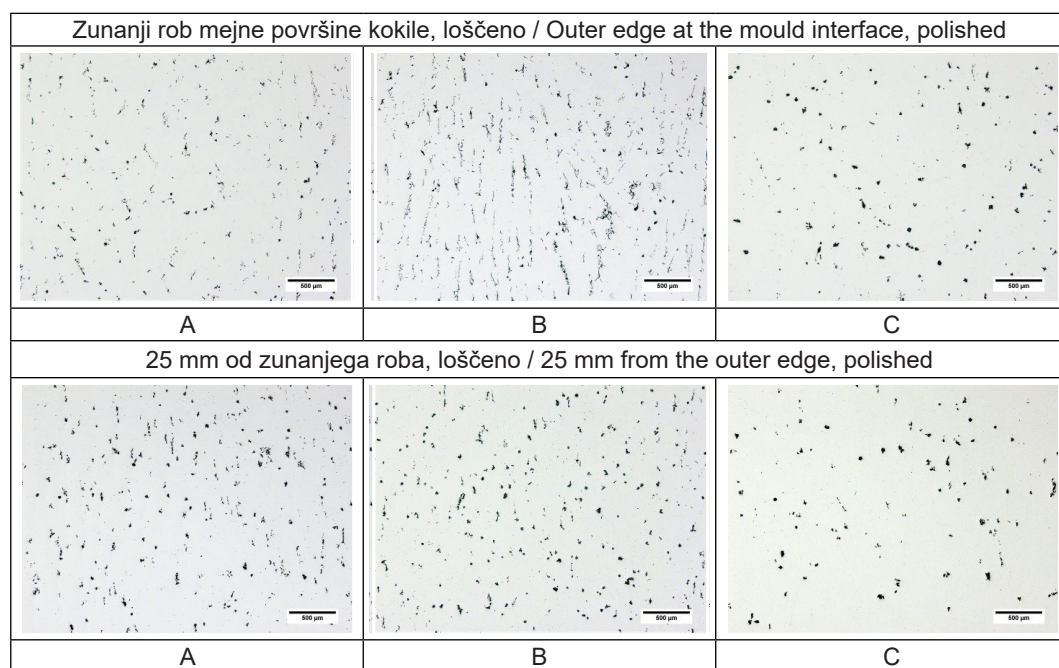
Three separate castings were made with different rotating speeds (Table 1). The dimensions of the castings were 270 mm in outer diameter, 310 mm in length and with a 35 mm thick layer. The castings were then cut apart. Metallographic samples (of the entire wall thickness) were prepared from the middle section of the casting. The middle of the casting was chosen, since the temperature gradient during solidification is perpendicular to the mould-melt interface and the solidification front advances in a unidirectional path. The samples were prepared with a standard metallographic procedure of grinding, polishing and etching in 2 % Nital to reveal the microstructure. Optical microscopy was conducted using



Slika 2: Rezultati meritev trdote glede na hitrost vrtenja (v HRC)

Figure 2: Results of the hardness measurement in dependence on the rotating speed (in HRC)

an Olympus BX51M optical microscope equipped with Olympus SC50 camera. Evaluation of the carbide fraction as well as graphite form, distribution and size were performed with Olympus Stream Basic software according to EN-ISO 945-1:2009 standard. Image analysis of MC-type carbides was done with ImageJ software v.1.50i. Hardness of the samples was measured using an Emco test Rockwell hardness tester. The investigation was performed on as-cast specimens.



Slika 3: Mikrofotografije loščenih vzorcev kažejo grafitne delce na zunanjem robu ulitka (kokila/lita mejna površina) in 25 mm od zunanjega roba proti vrtilni osi v odvisnosti od hitrosti vrtenja. Merilo je 500 μm .

Figure 3: Microphotographs of the polished specimens revealing graphite particles on the outer edge of the casting (mould/casting interface) and 25 mm from the outer edge towards the axis of rotation in dependence on the rotating speed. The bar represents 500 μm .

opremo ImageJ v.1.50i. Trdoto vzorcem smo izmerili s pomočjo Rockwellovega merilnika trdote Emco. Raziskavo smo opravili na vzorcih v litem stanju.

3 Rezultati in razprava

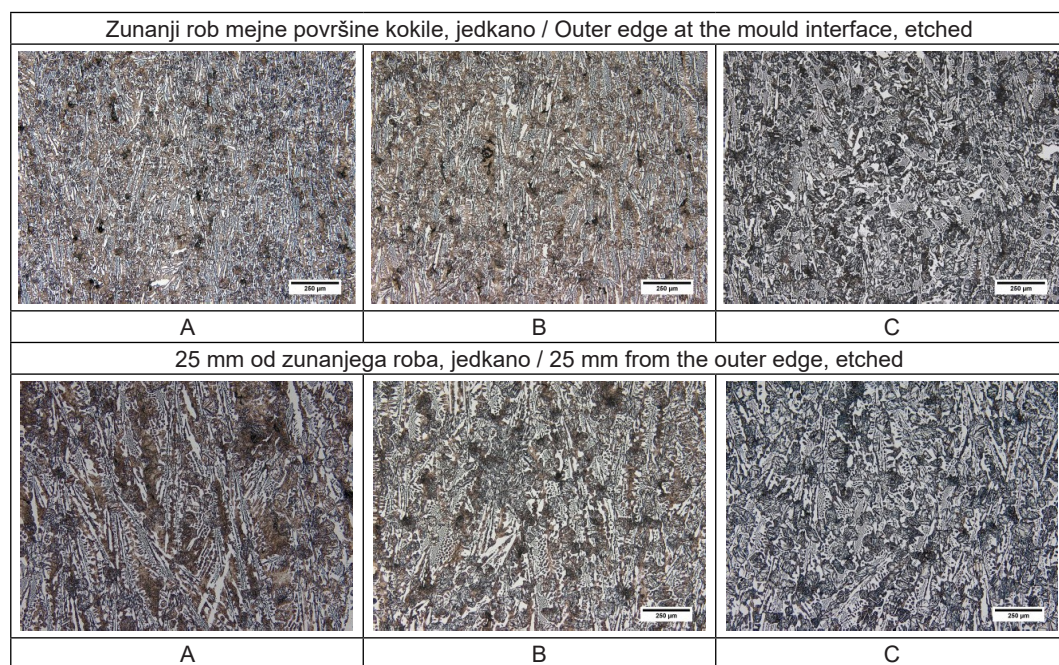
Rezultati meritev trdote (predstavljeni na Sl. 2) kažejo rahel padec za pribl. 2 HRC celotne trdote razsutega materiala. To nakazuje, da bi morala biti opazna tudi razlika v sami mikrostrukturi.

Preučitev Sl. 3 kaže razliko v precipitaciji grafita med prvima dvema ulitkoma in ulitkom C; razporeditev ostaja enaka pri

3 Results and Discussion

The results of the hardness measurement (presented in Fig. 2) show a slight drop of about 2 HRC in the overall bulk hardness. This suggests, that there should also be an observable difference in the microstructure itself.

Examination of Fig. 3 indicates a difference in graphite precipitation between the first two castings and casting C; while the distribution remains the same in all three castings (distribution A), the form changes from forms IV (edge) and III (25 mm) in casts A and B to a uniform form IV in cast C. The size also increases from 7 (1.5



Slika 4. Mikrofotografije jedkanih vzorcev kažejo cementit in matrico na zunanjem robu ulitka (kokila/ lita mejna površina) in 25 mm od zunanjega roba proti vrtilni osi v odvisnosti od hitrosti vrtenja. Merilo je 250 μm .

Figure 4. Microphotographs of the etched specimens revealing cementite and the matrix on the outer edge of the casting (mould/casting interface) and 25 mm from the outer edge towards the axis of rotation in dependence on the rotating speed. The bar represents 250 μm .

vseh treh ulitkih (razporeditev A), oblika pa se spreminja iz oblike IV (rob) in III (25 mm) pri ulitkih A in B v enakomerno obliko IV pri ulitku C. Tudi velikost se je spremenila s 7 (1,5 do 3 mm) pri ulitkih A in B v velikost 6 (3–6 mm) pri ulitku C.

Kaže, da frakcija karbidov raste proporcionalno s hitrostjo vrtenja, ki iz vidnejšega cementita (ulitka A in B) prehaja v bolj grobo mikrostrukturo pri ulitku C (Sl. 4 in 5). Natančnejši pregled kaže bolj enakomerno mikrostrukturo med robom in 25 mm v notranjost ulitka pri ulitku C v primerjavi z ulitkoma A in B. To potrjuje tudi analiza grafitnih delcev (Sl. 3).

Na Sl. 6 so prikazane mikrofotografije zloženih vzorcev. Karbidi tipa MC se pri povečavi na loščeni površini pojavljajo v nežno roza odtenku, zaradi lažje določitve velikosti in razporeditve pa smo jih še dodatno označili z belo (rezultati so predstavljeni na Sl. 7).

Rezultati, prikazani na Sl. 7, kažejo trend rasti povprečne velikosti karbidov tipa MC z večanjem hitrosti vrtenja, medtem ko frakcija območja ne kaže velike odvisnosti. Na splošno bi lahko ocenili, da je tudi frakcija območja večja pri višjih hitrostih vrtenja (ulitka B in C).

Rezultati načeloma potrjujejo trditev, da centrifugalna sila med strjevanjem vpliva na tvorbo mikrostrukture. Pri nižjih

to 3 mm) in casts A and B to size 6 (3 – 6 mm) in cast C.

The carbide fraction seems to increase proportionally with the rotating speed ranging from finer cementite (casts A and B) to a bulkier microstructure in cast C (Figs. 4 and 5). A closer look also shows a more uniform microstructure between the edge and 25 mm in cast C as opposed to A and B. This is also in agreement with the analysis of graphite particles (Fig. 3).

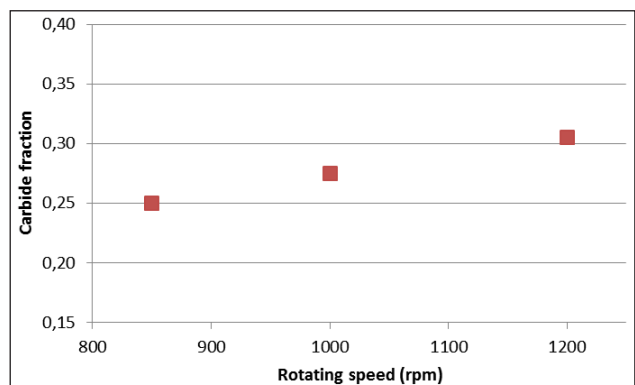
Fig. 6 shows microphotographs of polished samples. The MC-type carbides appear light pink on the polished surface under magnification and were additionally marked in white for an easier assessment of size and distribution (results presented in Fig. 7).

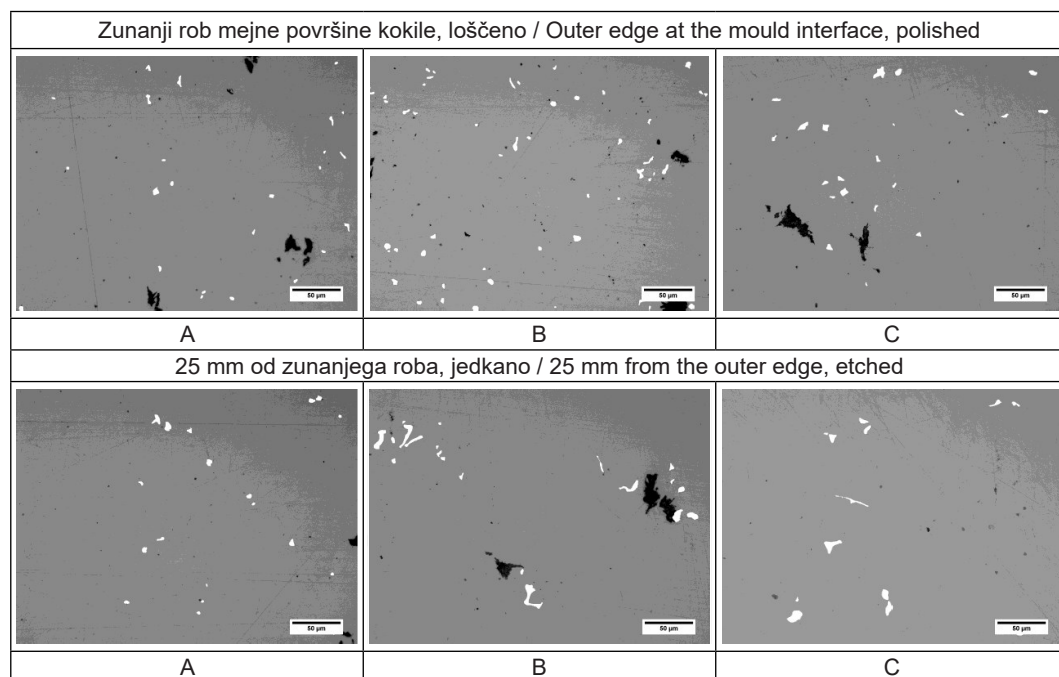
The results shown in Fig. 7 reveal a trend of increasing average size of MC-type carbides as the rotating speed increases, while the area fraction does not show a clear dependence. A general remark can be made, that the area fraction at higher rotating speeds (casts B and C) is also higher.

The results shown above seem to confirm the statement that centrifugal force during solidification has an impact on microstructure formation. At lower rotating speeds the overall hardness is higher, graphite particles and MC-type carbides are

Slika 5. Grafična predstavitev povezave med frakcijo karbidov in hitrostjo vrtenja

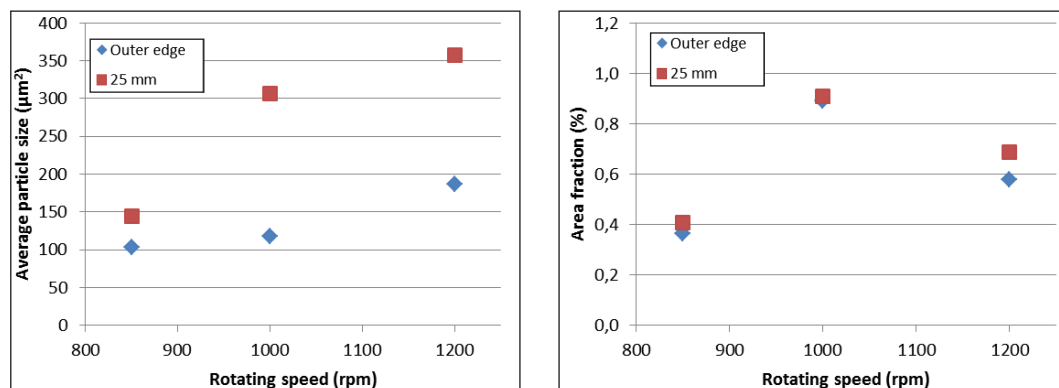
Figure 5. Graphic presentation of the relation between carbide fraction and rotating speed





Slika 6. Mikrofotografije loščenih vzorcev z označenimi karbidi tipa MC (z belo) na zunanjem robu ulitka (kokila/lita mejna površina) in 25 mm od zunanjega roba proti vrtilni osi v odvisnosti od hitrosti vrtenja. Merilo je 50 μm

Figure 6. Microphotographs of the polished specimens with marked MC-type carbides (white) on the outer edge of the casting (mould/casting interface) and 25 mm from the outer edge towards the axis of rotation in dependence on the rotating speed. The bar represents 50 μm



Slika 7. Rezultati meritev velikosti in razporeditve karbidov tipa MC glede na hitrost vrtenja

Figure 7. Results of size and distribution measurements of MC-type carbides in dependence on rotating speed.

hitrostih vrtenja je splošna trdnost višja, grafitni delci in karbidi tipa MC so manjši, splošna mikrostruktura pa je bolj fina. Z večanjem hitrosti vrtenja postaja splošna mikrostruktura bolj enakomerna po prečnem prerezu stene, velikost grafitnih delcev in tudi karbidov tipa MC pa se povečuje. Enakomerno mikrostrukturo pri ulitku C je mogoče pripisati večji nukleaciji zaradi ločevanja kristalov v beli plasti in primarnih dendritnih vejah skupaj s fragmentacijo večjih kristalov, kar je podobno odkritjem, o katerih poroča vir [5]. Zato je tudi nukleacija po debelini stene ulitka enakomernejša in nalaganje topljenca v prednjem delu fronte strjevanja se zmanjšuje. Posledično se karbidi (Sl. 4 in 6) zdijo večji z večjimi ledeburitnimi celicami, grafitni delci pa delujejo bolj okrogli (oblika IV). Na gostoto vezanega izcejanja karbidov tipa MC zaradi večje centrifugalne sile nismo opazili (Sl. 7). Treba je poudariti, da v tem delu poročamo o trendih, opaženih pri preučevanih vzorcih, samo kot o delu poglobljene sistematične študije. Vendar pa rezultati kažejo na možnost izboljšanja kakovosti s prilagajanjem hitrosti vrtenja.

4 Sklepi

Izvedli smo študijo vpliva centrifugalne sile na tvorbo mikrostrukture pri litem železu. Na podlagi rezultatov študije lahko sklepamo, da se s povečevanjem hitrosti vrtenja:

- trdota mase nekoliko zmanjša;
- grafitni delci postanejo bolj okrogli (prehod iz oblike III v obliko IV) in večji (prehod iz velikosti 7 na velikost 6);
- ko karbidi postanejo večji, se zveča frakcija cementita;
- celotna mikrostruktura je enakomernejša pri prerezu stene ulitka in prisotne so večje ledeburitne celice;
- karbidi tipa MC se povečajo, pri

smaller and general microstructure is finer. With increasing rotating speed, the general microstructure becomes more uniform across the wall cross section, while graphite particles as well as MC-type carbides seem to increase in size. The even microstructure in cast C can be attributed to the increased nucleation as a result of chill crystal and primary dendrite arm detachment along with fragmentation of larger crystals, similar to findings reported in Ref. [5]. In turn the nucleation throughout the thickness of the casting wall is more even and the solute pile up in front of the solidification front decreases. As a result, the carbides (Figs. 4 and 6) appear bulkier with larger ledeburitic cells and graphite particles appear more spherical (form IV). Density related segregation of MC-type carbides due to a larger centrifugal force has not been observed (Fig. 7). At this point it should be emphasized that this paper reports on the trends noticed in the studied specimens as only a part of a thoroughly systematic study. However, the results indicate a possible margin for quality improvement through rotation speed adjustment.

4 Conclusions

A study of the impact of centrifugal force on microstructure formation in an alloyed cast iron has been carried out. Based on the results of the study we can conclude that by increasing rotating speed:

- the bulk hardness lowers slightly;
- graphite particles become more spherical (from form III to IV) and larger (from size 7 to 6);
- cementite fraction increases with the carbides becoming bulkier;
- the overall microstructure is more even throughout the casting wall cross section with larger ledeburitic cells;

čemer pa spremembe hitrosti vrtenja načeloma ne vplivajo na razporeditev.

Pri analiziranih vzorcih prav tako nismo opazili z gostoto povezanega izcejanja karbidov tipa MC. Rezultati kažejo obetavne možnosti za nadaljnje sistematično raziskovanje pri izvedbi zlitin za valje, ki so bolj odporne proti nesrečam.

- MC-type carbides increase in size while the distribution does not appear to be inflicted by changes in rotating speeds.

Also, no density related segregation of MC-type carbides was observed in the analyzed samples. The results are promising for further, systematic investigation in achieving a more incident resistant alloy for rolls.

Viri / References

- [1] J. Honda, *Investigation of properties of foundry pig irons and development of centrifugally cast rolling rolls*, Transactions ISIJ, 24, 1984, 85–100.
- [2] C.G. Kang, P.K. Rohatgi, C.S. Narendranath, G.S. Cole, *A solidification analysis on centrifugal casting of metal matrix composites containing graphite particles*, ISIJ International, 34 (3), 1994, 247–254.
- [3] N. Song, Y. Luan, Y. Bai, Z.A. Xu, X. Kang, D. Li, *Numerical simulation of solidification of work roll in centrifugal casting process*, Journal of Materials Science and Technology, 28 (2), 2012, 147–154.
- [4] R. Zagórski, J. Śleziona, *Livna kokila during centrifugal ulitek process*, Archives of Materials Science and Engineering, 28 (7), 2007, 441–444.
- [5] S.R. Chang, J.M. Kim, C.P. Hong, *Numerical simulation of microstructure evolution of Al alloys in centrifugal casting*, ISIJ International, 41 (7), 2001, 738–747.

AKTUALNO / CURRENT

Koledar livarskih prireditev 2020

Datum dogodka	Ime dogodka	Lokacija
14.-16.01. 2020	EUROGUSS	Nürnberg, Nemčija
12.02. 2020	20. Car Symposium „Roll-Out der Elektromobilität“	Bochum, Nemčija
02.-03.04.2020	64. Österreichische Gießerei-Tagung	Schladming, Avstrija
18.-19.05. 2020	WFO World Foundry Summit 2020,	New York City, ZDA
08.-09.06. 2020	Industrijski forum IRT	Portorož, Slovenija
16.-18.06.2020	CastForge 2020	Stuttgart, Nemčija
15.-17.07. 2020	CHINA DIECASTING	Šanghaj, Kitajska
15.-19.09.2020	AMB-Internationale Ausstellung für Metallbearbeitung	Stuttgart, Nemčija
16.-18.09.2020	60. IFC Portorož 2019	Portorož, Slovenija
18.-22.10. 2020	74th World Foundry Congress	Busan, Južna Koreja
15.-19.06. 2020	AMB-Internationale Ausstellung für Metallbearbeitung	Stuttgart, Nemčija



Predstavitev izvlečkov predavanj iz WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019



V 3. številki Livarskega vestnika smo že podali okvirno poročilo o letošnjem svetovnem livarskem dogodku, WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019, v katerem smo predstavili tudi plenarna predavanja iz prvega dne. V tej številki Livarskega vestnika pa je programski odbor z uredniškim odborom pripravil kratke predstavitve 2. skupine, 30 predavanj. Uredniški odbor je skupaj s programsko-organizacijskim odborom sklenil, da bo v 1. številki Livarskega vestnika 2020 objavljena še 3. skupina izvlečkov predavanj s letošnje livarske prireditve v Portorožu.



Predavatelj B. Stauder

1. F. FEIKUS¹, **B. STAUDER**², ¹Nemak Europe GmbH, Frankfurt (D), ²Nemak Linz GmbH, Linz (A): **Trendi v razvoju, izzivi in priložnosti na področju ulitkov za električne avtomobile in strukturne komponente.**

Delež in vrsta konceptov o hibridnih in električnih vozilih bodo vplivali na potrebe po litih komponentah kot tudi po proizvodnih tehnologijah. Nemak se osredotoča na integracijo komponent z namenom zagotavljanja rešitev za zmanjšanje teže vozil v prihodnosti. Nova zasnova ulitka prototipa predstavlja rešitev električnega ohišja z integriranim vodnim hlajenjem, električnim inverterjem in ohišjem menjalnika v enem samem litem delu. Takšne kompleksne komponente se izvedejo najzanesljiveje skozi CPS® (core package

sand casting) in nizkotlačnim ulivanjem v trajne forme. Ta postopka omogočata uporabo standardnih zlitin z zadovoljivimi statičnimi lastnostmi, dimenzijsko stabilnostjo in odpornostjo na korozijo. Ključni zahtevi za akumulatorske posode sta odpornost na trke ter dobro tesnjenje. Za večje akumulatorje so bile razvite in bodo uvedene procesne rešitve na osnovi več materialov in bodo sestavljene iz kombinacije litja, ekstrudiranja Al in jeklenih panelov. Funkcionalna integracija, globalna prisotnost, prilagodljiva uporaba procesov litja, sestavljanje in rešitve na podlagi več materialov bodo vodili do bistvenih sprememb v povezavi z dobavitelji ulitkov za pogonske sisteme.



Predavatelj L. Hafner

2. **L. HAFNER**, G. VIDIC, B. TOLAR, LTH Castings d.o.o. Škofja Loka, Ljubljana, (SI): **Optimizacija livarskega procesa po metodologiji virtualnega inženirstva.**

Predstavljen je prikaz sistematičnega pristopa k optimizaciji ulitka in procesa visokotlačnega litja z uporabo kombinacije numeričnih simulacij, sistematičnih metod za reševanje problemov (Six SIGMA, DOE) in funkcijskih testov. Pri kompleksnejših ulitkih z visokimi zahtevami za kvaliteto je postal tak sistematičen pristop potreben korak pri optimizaciji procesa visokotlačnega litja. Že v razvojni fazi



Predavatelj dr. W. Sokolowski

ulitka in procesa se optimizira tako geometrija kot parametri procesa litja s ciljem doseganja čim boljše procesne zrelosti ulitka. Optimizirani parametri pred prvim preizkusom litja omogočajo hitrejše doseganje zahtevane kvalitete ulitkov, vpogled v vpliv posameznih parametrov na kvaliteto pa v kombinaciji z rezultati funkcijskih testov olajša nadaljnjo optimizacijo procesa litja.

3. **W. SOKOLOWSKI**, M. SCHLOTTERBECK, Oskar Frech GmbH+Co.,KG, Schorndorf (D): **Visoko hitrostna livna celica.**

Računalniško vodeni sodobni stroji, kot tudi celotne livarske celice z optimiziranimi komponentami so izziv za učinkovitejše in gospodarnije procese izdelave ulitkov s postopkom tlačnega litja. Predstavljena je rešitev celice za tlačno litje, ki je sestavljena iz naslednjih komponent: temperiranje v več conah z napravami za temperiranje in distributerji Robamat, orodja za litje s konformnimi hlajenimi segmenti (Frech tooling), ki je natisnjeno z uporabo 3D tehnologije (Frech laser meting technology), kar omogoča nanašanje hladilnih in mazilnih sredstev z mikro brizganjem, vakuumsko dozirna peč (AVDF) ter optimiziran robotski sistem za hiter odvzem ulitkov. Tako izvedena visoko zmogljiva celica omogoča skrajšanje časa cikla od 48 sekund, ki velja za običajno celico do 23 sekund v tej optimizirani celici z možnostjo visoke hitrosti posameznih faz. Predstavljene so komponente te hitre livne celice in njeni parametri ter doseženi rezultati pri litju: zmanjšan čas litja in višja kakovost ulitkov.



Predavatelj prof. dr. R. Bähr

4. **R. BÄHR**, C. MICHAELIS, Otto von Guericke University Magdeburg, Magdeburg, (D): **Aluminijevi ulitki: proces, uporaba, kakovost.**

Na lastnosti aluminijevih ulitkov vplivajo obdelava taline, livne tehnike in mikrostruktura. Nadzorovanje kakovosti izdelka se začne z nadzorovanjem kakovosti taline. Odstranjevanje vodika iz tekočega aluminija je ključnega pomena za proizvodnjo visokokakovostnih ulitkov. Obstaja več metod za razplinjevanje: vakuumsko razplinjevanje, ultrazvočno razplinjevanje, razplinjevanje s pršenjem, vrtljivo mešalo, razplinjevanje s tabletami ter razplinjevanje med ponovnim taljenjem. Prikazani so bili posamezni postopki razplinjevanja. Obdelava aluminijevih talin ima učinek na nastanek por, distribucijo in morfologijo. Poroznost je najresnejša napaka v aluminijevih ulitkih. Raziskati in potrditi jo je mogoče z uporabo 3D rentgenske računalniške tomografije, pri čemer sta pomembna tako velikost kot morfologija poroznosti ulitka. Rentgenska mikrotomografija pa je pomembna za preiskovanje vpliva mikrostrukture ulitka na mehanske lastnosti aluminijevih zlitin.



Predavatelj J. Pristavec

5. **J. PRISTAVEC**¹, J. MEDVED², M. VONČINA², S. FALTER-NEWES³, ¹EXOTERM IT d.o.o., Kranj (SI), ² University of Ljubljana, Ljubljana (SI), ³MAGMA GmbH, Aachen (D) : **Optimizacija robnih pogojev pri simulacijah strjevanja zlitine AISi10Mg.**

Podatki o materialnih lastnostih zlitin, ki so osnova za simulacijo litja in strjevanja, so zbrani iz različnih virov. Lastnosti so odvisne od kemijske sestave zlitine in dovoljeni intervali koncentracij omogočajo različne sestave. S tem robni pogoji simulacij lahko odstopajo, kar lahko povzroča tudi napačne rezultate. Lastnosti zlitin je potrebno za potrebe simulacij skrbno uskladiti. S tem namenom so bile na

vzorcih z isto sestavo izvedene meritve: specifične toplote, solidus in likvidus temperatur, toplotne prevodnosti ter gostote. S programsko opremo za numerično modeliranje pa so bile v odvisnosti od temperature določene: toplotna prevodnost, specifična toplota, entalpija, delež trdne faze in gostota. Na primeru zlitine AISI10Mg je bilo preverjeno ujemanje izračunanih in izmerjenih vrednosti. Izvedena je bila analiza vpliva posameznih lastnosti na rezultate simulacij za: določanje termičnih centrov in predvidevanje poroznosti. Izsledki so v pomoč optimizacije robnih pogojev pri simulacijah strjevanja zlitin.



Predavatelj prof. dr.
S. Saikawa

6. S. SAIKAWA, University of Toyama, Toyama (JP): **Razvoj visoko trdnostnih aluminijevih zlitin za gravitacijsko litje.**

Zlitine aluminija z visoko trdnostjo se uporabljajo za izdelavo strukturnih komponent na področju transporta, pri dirkalnih avtomobilih in v vesoljski tehniki. Namen raziskave je bil izboljšati trdnost zlitine Al-Zn-Mg-Cu, ki se uporablja za gravitacijsko ulite dele. Vse raziskane zlitine so bile lite v stopničasto obliko peščene forme (SC) in v trajne kovinske forme Y oblike (PC) in nato po termični obdelavi v kopeli pri 743 K, čas 36 ks, starane v dveh stopnjah pri 398-423 K. Natezna trdnost SC-zlitin je znašala 353-387 MPa in raztezek 0,4%. Nizke vrednosti so verjetno posledica neraztopljenih faz: Al₂CuMg, MgZn₂ in Al-Fe-Cu. Dobre lastnosti pa so bile dosežene pri PC zlitinah, kjer je natezna trdnost bila 503-537 Mpa, 0,2 meja 474-519 Mpa, raztezek pa 1,3-3,3%. Dobre lastnosti PC zlitin so posledica manjše količine navedenih neraztopljenih faz ter manjše velikosti kristalnih zrn alfa-Al, zaradi večje hitrosti ohlajanja. Pri izdelavi prototipnih komponent za dirkalne motorje in avtomobile so bile dosežene že natezne trdnosti 540-550 MPa ter raztezki 5-6%.



Predavatelj dr. K. Weiß

7. K. WEIß, RWP GmbH, Roetgen (D): **Z modificirano tehnologijo litja realizirana integralna funkcija.**

Industrijska proizvodnja batov je odvisna od avtomatizacije proizvodnega procesa. Vsaka posebna zahteva terja dodatne korake v proizvodnji. Na primeru litja batov lahko z metodo prekinjenega procesa ohlajanja rešujemo proces toplotne obdelave. Pri zlitini AlSi12CuMg, imamo v matrici topljenec SI. Da bi dosegli potrebne lastnosti pri spremenjenem postopku litja lahko začnemo s kaljenjem že pri prvem segrevanju. Poleg energetskega in časovnega prihranka lahko začnemo z največjim možnim delom topljencev, ki se niso raztopili. Na podlagi ugodnih začetnih rezultatov je ta metoda uporabljena tudi pri proizvodnji batov. Za simulacijo celotnega procesa so uporabili paket programske opreme WinCast. Na začetku je bilo izvedeno polnjenje kalupa med strjevanjem, nato pa je sledil postopek kaljenja in precipitacije, da je s tem bilo možno doseči ustrezne mehanske lastnosti. Metoda, ki je dala dobre rezultate pri aluminijevi zlitini je bila prilagojena tudi drugim postopkom. Uporabna je za zamenjavo jekla z GJS EN 400-10 pri aplikacijah za ladje, s katerimi izvajajo izkopavanja. Druge aplikacije so bile izvedene v litem železu z namenom lokalnega povečanja lastnosti, npr. položaja ležajev znotraj okrova ročične gredi. Metoda je zaščitena s prijavljenim patentom.

8. K. ASANO, Kindai University, Osaka (JP): **Mikrostruktura in lastnosti litih kompozitov s kovinsko osnovo.**

Kompoziti s kovinsko matrico v kateri so razpršene nekovinske ojačitve so bili izdelani s tehniko tlačnega litja testastega stanja in z in-situ tehniko. Čisti aluminij je bil ojačan z ogljikovimi vlakni na



Predavatelj prof. dr.
K. Asano



Predavateljica dr.
M. Vončina



Predavatelj B. Kalkunte

osnovi PAN. Kot produkt reakcije nastaja Al_4C_3 . Pri ojačitvi z vlaknom na osnovi smole in zlitini Al-Si produkta medsebojne reakcije ni opaziti. Na tej osnovi se je povečala toplotna prevodnost zlitine Al-Si. Pri ojačitvi z vlakni na osnovi PAN, pa se je toplotna prevodnost zmanjšala. Obraba zlitine Al-Si pri suhem drsenju je bila zaradi ogljikovih vlaken bistveno manjša. Pri pogojih visoke hitrosti drsenja in pogojih večje obrabne obremenitve, je bila obraba pri kompozitu na smolni osnovi manjša kot pri kompozitu z vlakni PAN. Tlačna trdnost kompozita na osnovi PAN vlaken pa je bila večja kot pri kompozitu na smolni osnovi. Obdelovalnost zlitine Al-Si s struženjem je bila zaradi ogljikovih vlaken boljša. Predstavljena je bila tudi mikrostruktura zlitine Al-Si ojačane z vlakni iz natrijevega titanata ob uporabi tehnologije tlačnega litja v testastem stanju in struktura magnezijeve zlitine z dispergiranimi delci Mg_2Si s procesom in situ litja.

9. J. MEDVED¹, M. GODEC², I. PAULIN², S. KORES³, **M. VONČINA**¹, ¹University of Ljubljana, Ljubljana (SI), ²Institute of Metals and Technology, Ljubljana (SI), ³Talum d.d., Kidričevo (SI): **Kemijska, mehanska in toplotna obraba orodij ob stiku z aluminijevimi zlitinami.**

V primeru visokotlačnega litja je talina v neposrednem stiku z orodjem in prihaja do kemijske interakcije med orodjem izdelanim iz orodnega jekla in talino. Prav tako prihaja do mehanske in toplotne obrabe orodij. Visoka produktivnost tlačnega litja zahteva visoko odpornost na te dejavnike. V raziskavi so bili uporabljeni vzorci iz jekel UTOPMO1 in RAVNEX HD proizvajalca Slovenska industrija jekla, da bi preverili njihovo odpornost proti obrabi v aluminijevih zlitinah Al99,7 in AlSi12. S tem namenom je bila izdelana laboratorijska naprava za testiranje dveh različnih orodnih jekel v dveh različnih aluminijevih zlitinah pri dveh različnih temperaturah 4 ure, pri 75 vrtljajih na minuto. Posledica interakcije je rast debeline reakcijske plasti, ki se tvori iz treh ali štirih plasti. Odpornost orodnega jekla UTOPMO1 je boljša v staljeni aluminijevi zlitini AlSi12 kot v Al99,7. Obrabna obstojnost orodnega jekla RAVNE XD je v Al-zlitinah veliko slabša. Debelina interakcijskega sloja se poveča z naraščajočo temperaturo.

10. B. KALKUNTE¹, L. VALENTE², C. VISCARDI², V. KOLDA³, ¹Calcom ESI SA (CH), ²ECOTRE VALENTE SRL (IT), ³Mecas ESI SRO (CZ): **Virtualni nadzor dimenzij za napovedovanje in merjenje končne oblike litih delov.**

Avtomobilska industrija in zahteva visoko kakovostne ulitke z dimenzijami v merah toleranc za vgradnjo v podsestave in sestave. Na s HPDC tehnologijo ulite komponente delujejo stalne spreminjajoče se toplotne in mehanske obremenitve tako med postopkom litja, kot med toplotno obdelavo. Posledica tega so dimenzijske variacije. Zato je potrebno proučiti premostitev teh variacij tekom samega procesa ter s tem zagotoviti dimenzijske tolerance, ki jih zahtevajo lastniki delov. Modeliranje procesa je v stalnem razvoju in ob tem je stalno vprašanje ,kako napovedati in primerjati dimenzijske variacije med simulacijami in realnostjo. Ob tem se proučujejo vse temperaturne spremembe in s tem povezane simulacije procesa izdelave ulitka. To vodi v možnost virtualnega dimenzijskega nadzora z namenom



Predavatelj prof. dr. J. Li

napredovanja končne geometrije ulitega dela skozi simulacijo in nato primerjave z dejanskim stanjem ulitka. V ta namen se 3D sken ulitega dela primerja s ciljnim dimenzijami. Takšna vrsta integriranih orodij omogoča oblikovalcem pravočasno izvedbo ukrepov. Predstavljen je nov razvojni korak za premostitev med razvojem, proizvodnjo in zagotavljanjem kakovosti.

11. J. LI, University of Leoben, Leoben (A): Določanje livarskih napak pri izdelavi Al in Mg ulitkov v testastem stanju s pomočjo računalniške tomografije.

Izdelava ulitkov v testastem stanju (SSC- semi solid casting) je obetavna priložnost za proizvodnjo visoko kakovostnih Al in Mg ulitkov, saj se primarni in sekundarni dendriti prekinejo in nastanejo okrogla zrna. Računalniška tomografija (CT) se pogosto uporablja za ugotavljanje napak v ulitkih Al in Mg ter s tem tudi ocenjevanja kakovosti ulitkov. SCT sta bili tako raziskani dve vrsti ulitkov izdelanih iz testastega sanja. Prvi del je bil izdelan s postopki SSC (A356, AlSi7Mg0,3). V nasprotju s konvencionalnimi livnimi postopki ni bilo ugotovljenih bistvenih napak med litjem, kar je zanesljiv pokazatelj, da je možno s SSC postopkom izdelati visoko kakovostne dele. Napake med litjem so bile porazdeljene ob mejah evtektičnih zrn. Drugi del je bil izdelan z brizganjem magnezija thixomolding (AZ91, MgAl9Zn1). Tudi v tem primeru je v primerjavi s tlačnim litjem ugotovljenih bistveno manj napak. Manj napak je posledica nižjih temperatur in manjšega temperaturnega območja strjevanja. Z uporabo postopka SSC je torej možno minimizirati velikost in število napak v ulitkih.

12. F. ZUPANIČ, T. BONČINA, University of Maribor, Maribor, (SI): Razvoj žaro obstojnih aluminijevih zlitin.

Proizvodnja aluminijevih zlitin narašča zaradi njihove majhne gostote in velikega specifičnega modula ter dobre trdnosti. Te lastnosti so velikega pomena saj bistveno zmanjšajo emisije CO₂ in porabo energije v transportu. Konvencionalne aluminijeve zlitine imajo sorazmerno majhno toplotno obstojnost, saj izgubijo večji del svoje trdnosti, če jih segrejemo nad 250 °C. V zadnjih letih so se povečale zahteve po žaroobstojnih aluminijevih zlitinah, zato se raziskave tudi usmerjajo v razvoj zlitin z obstojnostjo mehanskih lastnosti pri višjih temperaturah. Toplotna obstojnost aluminijevih zlitin se poveča z nastankom temperaturno obstojnih faz, ki lahko nastanejo pri strjevanju kot tudi pri toplotni obdelavi. Podan je bil pregled različnih pristopov, pri čemur je težišče na aluminijevih livnih zlitinah. Pri številnih pristopih so bile uporabljene nove tehnologije, kot so: litje na vreteče kolo (melt spinning), ekstruzija trakov pri izdelavi Scalmalloy®, plinska atomizacija in sintranje pri izdelavi nanokvazikristalnih zlitin ter izdelava z dodatnimi tehnologijami (npr. s selektivnim laserskim taljenjem). Raziskane so bile livne zlitine Al-Si in Al-Cu-Si, kot tudi gnetne zlitine.

13. S. MÜLLER, T. SCHUCHARDT, S. VODDE, K. DILGER, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig (D): Intenzivna karakterizacija lokalnih mehanskih lastnosti za tlačno litje AISi9Mn ob upoštevanju hitrosti strjevanja.



Predavatelj prof. dr. F. Zupanič



Predavatelj dr. S. Müller

Za zmanjšanje napak in nepravilnosti pri visokotlačnem litju HPDC- komponent in optimizacijo mikrostruktur, je treba razumeti procesne pogoje, ki vplivajo na kakovost komponent. Predstavljeni so rezultati, ki opisujejo odnos med lokalnimi hitrostmi ohlajanja in ustrezno trdoto materiala pri litju zlitine AlSi9Mn. Lokalne hitrosti ohlajanja so bile določene s simulacijsko programsko opremo MAGMASoft, tako za površino kot za notranjost vsake komponente. Trdote visokotlačno litih komponent so bile izmerjene s pomočjo metode za preverjanje trdnosti z ultrazvočno kontaktno impedanco (UCI). Raziskave na osnovi simulacij in preizkusov so bile izvedene na tlačno liti plošči debeline 3mm. Kljub enaki debelini stene celotne ulite plošče, so na posameznih območjih ulitka bila pomembna odstopanja v trdoti ulitega materiala. Razen tega je na tlačno liti plošči bilo izvedenih skupno 160 preizkusov napetosti z namenom boljšega razumevanja lokalne porazdelitve mehanskih lastnosti. Tudi s temi preizkusi so bile ugotovljene pomembne razlike glede trdnosti in lomljivosti. Ugotovljeno je bilo, da hitreje strjena območja vplivajo na splošne mehanske lastnosti komponente, zato je nadaljnja optimizacija procesa litja neizogibna. Rezultati dobljeni z meritvami prispevajo k boljšemu razumevanju vpliva pogojev tlačnega litja na lokalni prenos toplote, ustrezno trdoto materiala in trdnost, ob upoštevanju vpliva parametrov pa tudi na pridobljene mehanske lastnosti visokotlačno lite komponente.



Predavatelj R. Pavšič

14. J. TRČEK, T. HOHNJEC, **R. PAVŠIČ**, Hidria d.o.o., Ljubljana (SI): **Optimizacija 1. faze visokotlačnega litja.**

Izdelava delov za avtomobilsko industrijo zahteva pri izdelavi ulitkov čim nižjo poroznost in s tem čim višjo tesnost ulitkov. Visokotlačno litje aluminijevih zlitin je zahteven proces, kjer vsaka sprememba v procesu pripomore h kakovosti ulitka. Najpomembnejša zahteva je čim nižja poroznost. Zračno poroznost lahko z napačnimi parametri nastavitve povzročimo že v 1.fazi procesa ob polnjenju livne komore in z neustrezno hitrostjo pomika bata za polnjenje livne forme. Testi so bili izvedeni na livnem stroju Bühler Carat 1400 ob litju ulitka: pokrov verige motorja V6 in V8. S pomočjo simulacijskega programa Magmasoft so bile simulirane proizvodne krivulje strela taline. Izvedena je bila virtualna optimizacija 1.faze procesa in preizkušena s testi polnjenja. Rezultati testov polnjenja so ustrezali rezultatom simulacije. Ugotovljena je bila optimalna hitrost pomika polnilnega bata in nastavitve polnjenja forme. S tem se je znižala poroznost v ulitkih in zmanjšala netesnost od 4,21% na 2,01 % ter zmanjšal čas cikla za 1,4 s. Izbrane nastavitve so bile uvedene v redno proizvodnjo.



Predavatelj dr. D. Molnar

15. **D. MOLNAR**, M. BUBENKO, I. BUDAVARI, University of Miskolc, Miskolc (HU): **Razvoj metode nagibnega litja aluminija.**

Rešitve nagibnega sistema za gravitacijsko litje lahko smatramo kot poskus omejevanja škode, ki nastaja s proizvodnjo ulitkov z napakami. Samo nagibno, vodoravno in protitežnostno litje lahko zagotovi idealen prenos taline v formo ter izdelavo visoke kakovosti ulitkov. V raziskavi so za simulacijo nagibnega litja aluminijevega ulitka avtomobilskega dela uporabili model opazovanih prostornin. Cilj je bil prepoznati kritične parametre procesa in vzpostaviti simulacijski protokol s pomočjo več procesov litja ter tako zasnovati modele in proučiti ulitke. Proučena je bila geometrija turbopolnilnika z eno votlino. Aluminijeva zlitina EN AC-46000 je bila lita v jekleno gravitacijsko formo. Opredeljeni so bili pretok, premer curka in metalostatični tlak. Po določenem času nalivanja se forma nagne do položaja za fazo strjevanja za opredeljen čas, ki določa hitrost nagibanja.



Predavatelj J. Bobst

16. J. BOBST, Fondarex SA, Saint-Legier-La Chiesaz (CH): Integracija vakuumskih sistemov v procese visokotlačnega litja.

Vakuumska tehnologija predstavlja danes ključno vlogo v proizvodnji kompleksnih in visoko kakovostnih litih delov in strukturnih komponent. Kakovost ulitih delov je odvisna od zatesnjenosti in natančnosti forme, kakovosti zlitine, tehnologije mazanja in termoregulacije, majhnega razmaka med batom in brizgalnim tulcem, parametrov stroja, kot tudi od ustreznega vakuumskega sistema. Vakuumsko tlačno litje predvideva popolno obvladovanje tako tlačnega litja kot tudi vakuumске tehnologije. Vsak projekt se začne z analizo forme. Za vakuumске aplikacije Fondarex priporoča: pravilno postavitev dovajalnega sistema in vakuumskih kanalov ter namestitve vakuumskih naprav in vakuumskega sistema glede na ulitek in tehniške potrebe. S svojimi izboljšavami lahko pozitivno vpliva na proces litja in kakovost ulitka. Sodobna oprema je v celoti prilagodljiva in omogoča celovito analizo vakuumskega postopka ter prenosa podatkov.

17. A. GUSEL¹, J. PRISTAVEC², ¹Mariborska livarna Maribor d.d., Maribor (SI), ²Exoterm-IT d.o.o., Kranj (SI): Določanje in preventivna korekcija deformacij tlačno ulitih aluminijastih izdelkov za avtomobilsko industrijo.

Ena glavnih težav v primeru litja geometrijsko zahtevnih izdelkov iz aluminijastih zlitin so deformacije. To še posebej velja za ulitke z ozkimi dimenzijskimi tolerancami in brez naknadne mehanske obdelave. V izogib tem težavam izvedemo računske simulacije in začetno testiranje dimenzij v poskusni seriji. Numerične simulacije izvajamo z računalniškim paketom Magmasoft®. Z namenom analize deformacij ulitka med strjevanjem v orodju in med ohlajanjem po izmetu izvajamo numerično simulacijo izračuna zaostalih napetosti in deformacij ulitka, ki mora pokazati enake tendence odstopanja dimenzij, kot jih ugotavljamo na realnem ulitku. Primerjava med simulirano deformacijo in dejansko deformiranim kosom je izvedena s postopkom 3D skeniranja ulitka, s čimer je izvedena verifikacija ustreznosti postopka. V naslednjem koraku izdelamo preddeformirani 3D model za izdelavo serijskega orodja. S tem v serijski proizvodnji lahko izdelamo oblikovno in dimenzijsko skoraj idealne ulitke.



Predavatelj prof. dr. R. Deike

18. R. DEIKE, Universität Duisburg-Essen, Duisburg (D): Krožno gospodarstvo—kar želi EU za prihodnost, livarska industrija počne že danes.

Za proizvodnjo železnih, jeklenih in barvnih kovin ter ulitkov je značilen visok delež uporabe recikliranih sekundarnih surovin, ki se vračajo v cikel materialnih stroškov. Osnova za trajnostno svetovno ekonomijo prihodnosti bo v učinkoviti porabi surovin v zaprtih krožnih procesih. V določenih procesih, kot so proizvodnja jekla z električnimi obločnimi pečmi, proizvodnja aluminija in bakra iz sekundarnih surovin ter proizvodnja litega železa je to doseženo že danes. V sodobnih industrijskih procesih se na milijone ton visokokakovostnih izdelkov iz jekla in litega železa ter na sto tisoče ton izdelkov iz barvnih kovin že skorajda povsem proizvaja iz odpadnega materiala. Prednost najbolj razširjenih kovin je v njihovi absolutni sposobnosti recikliranja, čemer imajo kovine izrazito prednost pred ostalimi materiali. Pri kovinah je mogoče takšne cikle recikliranja ponavljati v neskončnost, saj sodobni

postopki recikliranja celo pozitivno vplivajo na kakovost izdelkov. Ker je razvoj izdelkov predmet raziskav v življenjskem ciklu izdelka, je tako mogoče po koncu življenjske dobe določenega izdelka, ponovno izdelati nove izdelke z boljšimi lastnostmi ob tehnično kontroliranem postopku recikliranja

odpadnega materiala. Glavna značilnost livarske industrije je, da lahko nekaj starega spremeni v novo z boljšimi materialnimi lastnostmi, kar dejansko predstavlja najvišjo obliko recikliranja. Popolno krožno gospodarstvo brez energetske intenzivne industrije ne bo nikoli obstajalo.



Predavatelj Prof. dr.
I. Riposan

19. I. RIPOSAN, S. STAN, M. CHISAMERA, A.M. COJOCARU, L. NEASCU, E. STEFAN, I. STAN, Politechnica University of Bucharest (RO): Povezava občutljivosti železnih ulitkov na krčenje s podatki o krčenju/raztezanju in krivuljah ohlajanja.

Eksperimenti primerjajo vzorce strjevanja hipoevtektične sive (GI) in duktilne (DI) litine z belo (WI) litino z uporabo tehnike za sočasno oceno krivulj ohlajanja in krčenja/širjenja med strjevanjem. Zabeleženi podatki so bili obdelani s posebno programsko opremo, ki nazorno prikaže tako krivulje hlajenja in krčenja/raztezanja ter njihove specifične parametre. Odkriti so bili trije pomembni momenti na krivuljah raztezanja/krčenja: ob začetku evtektičnega strjevanja, ob trenutku največjega raztezka in ob koncu strjevanja. Vse preizkušene litine imajo podobne vrednosti začetnega strjevanja vse do začetka evtektičnega strjevanja. Največji raztezek dosežen med koncem evtektične reakcije in koncem strjevanja je odvisen od razmerja karbidov/grafita ter morfologije grafita. Nodularne formacije imajo bistveno večji grafitni raztezek, višje hitrosti pospeška grafitnega raztezka v primerjavi s formacijami lamelnega grafita, kar posledično vodi v večjo občutljivost na krčenje, kot je bilo izmerjeno s testnimi ulitki v forme s furansko smolo. To je posledica povečanja grafitnega pritiska na stene forme, zaradi česar se votline povečujejo. Nasprotno pa več grafitnih formacij ob koncu strjevanja, ki prav tako povečajo raztezanje, prispeva k zmanjšanju krčenja, saj omogočijo, da zadnje količine tekoče litine zapolnijo nastale votline. S praktičnega vidika je ključnega pomena zagotavljanje postopka grafitizacije ob koncu strjevanja. Pridobljeni rezultati predstavljajo morebitno pojasnilo zmanjšane tendence krčenja pri ulitkih iz duktilne litine.



Predavatelj D. Holland

20. D. HOLLAND, Calderys Deutschland GmbH. Büro Austria, Wiener Neudorf (A): Rešitve s silikatnimi mešanici brez bora za visoko zmogljive lončne indukcijske peči- več kot samo okolju prijazne.

Pred leti se je podjetje Calderys odločilo razviti silicijevo mešanico brez bora, suh vibracijski material (DVM) za brezjedrne indukcijske peči, čeprav evropski predpisi te zahteve še ne predpisujejo. Laboratorijski preizkusi in nato industrijski preizkusi so pokazali, da novi izdelek ni samo enako dober kot standardne silicijeve mešanice z borom, ampak jih celo presega. Novo vezivo brez bora poskrbi za ohranitev praškastega področja na zadnji strani obloge tudi po več sto ogrevanjih in termalnih ciklih, ki se običajno izvedejo v eni izmeni. Praškasto področje omogoča ogromno prilagodljivost obloge, kar je izredno koristno. Kadar se za vezivo uporabijo materiali DVM, ki vsebujejo silicij, tega področja včasih niti ni možno zaznati. Prednosti

mešanice brez bora so naslednje: okolju prijazno vezivo, daljša življenjska doba, brez težav med obratovanjem, brez razpok tudi po ohlajanju na sobno temperaturo, zelo visoka elastičnost, obloge zaradi debeline praškastega sloja, brez zadrževanja železa, mehansko močnejši pas, boljša rešitev v primeru enoizmenskega obratovanja.

21. S. RAMRATTAN¹, H. MAKINO², ¹Western Michigan University, Kalamazoo (USA), ² Sintokogyo Ltd, Nagoya (JP): Nestandardno dinamično testiranje za nadzor svežega peska.



Predavatelj prof. dr.
S. Ramrattan

Livarska stroka že dolgo ve, da določeni standardi AFS pri preizkušanju svežega peska zagotavljajo le omejene informacije pri samem nadzoru svežega peska. Ta omejitev je zlasti očitna pri strogi kontroli dimenzij ulitkov in ob potrebi višje kakovosti površine ulitka. Dinamični preizkusi svežega peska pa lahko zagotovijo številne mehanske, toplotne, kemijske in fizikalne lastnosti iz destruktivnega preizkušanja že samo enega vzorca svežega peska. Z nestandardnimi dinamičnimi preizkusi svežega peska, kot sta test termalne erozije (TET) ter modificiran preizkus trdnosti med stresanjem (MCJT), je mogoče določiti razlike med različnimi nivoji kompatibilnosti (vsebnost vlage) in nivoji aktivne gline. Ta prispevek se osredotoča na bentonitno mešanico natrija in kalcija, ki se navadno uporablja pri železnih ulitkih. Nestandardno dinamično preizkušanje zagotovi bolj relevantne in zanesljive podatke o sistemu s svežim peskom. Rezultati te študije so koristni za nadzor svežega peska v livarstvu ter ponujajo priložnost za razvoj novih analitičnih orodij s pomočjo podatkov, pridobljenih pri preizkušanjih tako pri sobni kot povišani temperaturi.



Predavatelj F. Höhn

22. F. HÖHN, Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH, Bad Laasphe (D): **Postopek Seiatsu za proizvodnjo kompleksnih form z zmanjšanjem peščenih jeder.**

HWS-Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik je priznan partner na področju proizvodnje form in kakovostnih ulitkov za najrazličnejše potrebe in pogoje. Na voljo so različne tehnologije: horizontalno litje v ozke forme iz svežega peska-poznano pod imenom SEIATSU, tehnologija stiskanja z zračnim pretokom vključno z najnovejšimi dognanji in stiskanjem z aeracijo, vertikalno in horizontalno litje brez okvirjev, vakuumsko litje za proizvodnjo zelo širokega razpona materialov za litje. Za polnjenje forme je mogoče izbrati najustreznejšo livno tehnologijo v smislu različnih strojev in konceptov avtomatizacije. Slovensko podjetje Kovis-Livarna d.o.o., Štore, ki je dobavitelj kakovostnih ulitkov, ki se uporabljajo za proizvodnjo železniških vozil, kmetijskih strojev, gradbene mehanizacije, strojegradnjo, proizvodnjo črpalk, armatur, ventilov, za številna evropska podjetja, je izvedlo naložbo v novo samodejno linijo za forme podjetja HWS in nadomestilo klasično samodejno linijo za forme iz svežega peska. Predstavljena je bila navedena nova linija za proizvodnjo form SEIATSU. Prav tako je bila prikazana uporaba postopka SEIATSU za proizvodnjo kompleksnih ulitkov in zmanjšanje jeder, kar zagotavlja znatne prihranke.



Predavatelj prof. dr. A. Nofal

23. A. NOFAL¹, M. SOLIMAN², H. PALKOWSKI², ¹Central metallurgical R&D Institute, Helwan (EG), ² Clausthal University of Technology, Clausthal-Zellerfeld (D): **ADI z dvojno matrico s pomočjo termomehanske obdelave duktilne litine.**

Predstavljen je pregled glavnih rezultatov, ki jih je v zadnjem desetletju pridobila skupna raziskovalna skupina TU Clausthal iz Nemčije in CMRDI iz Kaira, Egipt, o termomehanski obdelavi duktilne litine za proizvodnjo ADI s strukturo z dvojno matrico (DMC) in z izboljšano kombinacijo trdnosti in dušilnosti. Struktura z dvojno matrico je bila razvita z žarjenjem (delno avtenitizacijo) v interkritičnem temperaturnem intervalu, kjer soobstajajo avstenit, ferit in grafit, ki ji je sledilo temperiranje pri 375 °C za transformacijo avstenita v ausferit,

Preiskan je bil učinek plastične deformacije med različnimi koraki avstenitizacije, zadrževanje v interkritičnem področju ali nemudoma po gašenju, vendar v kakršnokoli bistveno transformacijo v ausferit. Različne strukture so bile pridobljene v termomehanskem simulatorju, opremljenem z izredno natančnim dilatometričnim deformacijskim sistemom, ki pomaga pri nadzorovanju razvoja strukture in kinetike austemperiranja. Proučeni so bili učinki povečanja vsebnosti Si in Al, saj ta elementa povečata interkritični interval, zaradi česar je postopek žarjenja znotraj tega intervala lažje nadzorovati. Aplikacija korakov plastične deformacije, kot tudi dodatek prostega ferita med interkritičnim žarjenjem, je bistveno pospešila kinetiko austemperiranja in privedla do oplemenitenja končne ausferitne strukture. Dvojna matrica z izredno fino strukturo zagotavlja izredno zanimivo kombinacijo trdnosti in duktilnosti.



Predavatelj D. Franzen

24. **D. FRANZEN**, P. MARTIN, B. PUSTAL, A. BÜHRIG-POLACZEK, Foundrymen Institute RWTH Aachen University (D): **Ocena statičnih in dinamičnih lastnosti pod vplivom načrtovanja legiranja pri duktilnem litem železu.**

Za kompleksne komponente litega železa so značilne njihove raznolike mikrostrukture. Zaradi mikrostrukturnih značilnosti zagotavlja duktilna litina široko paleto mehanskih lastnosti. Visoka vsebnost perlitna pomeni visoko odpornost proti obrabi, popolnoma feritna in malolegirana matrica pa zagotavlja dobro duktilnost in žilavost. Z večjo vsebnostjo silicija je značilna višja dušilnost. Vendar je ključna značilna žilavost, ki ob višjem siliciju močno upada. Za mikrostrukturo so značilni tvorba grafitne faze, velikost zrna in lokalna kemična sestava. Za lokalno kemično sestavo matrice je značilna zlasti tvorba mikrosegregacijskih profilov, ki nastajajo med evtektičnim strjevanjem. Obogatitve s silicijem v bližini grafitnih nodulov spodbujajo tvorbo superstruktur FeSi, ki privedejo do krhkosti in nastajanja razpok v teh

območjih. Raziskave so pokazale, da je na silicijev profil mikrosegregacij možno vplivati z legiranjem aluminija med 0,3 do 1,2 ut. %. Podobno je možno tudi z legiranjem niklja. S tem lahko izboljšamo statične in dinamične lastnosti sodobnih duktilnih zlitin.



Predavatelj J. Kovačič

25. **J. KOVAČIČ**¹, M. PETRIČ², M. TERČELJ², P. MRVAR², ¹Livar d.d., Ivančna Gorica (SI), ²University of Ljubljana, Ljubljana (SI): **Izdelava in karakterizacija legirane sive litine s kroglastim grafitom, ki je odporna na toplotno utrujanje.**

Predstavljena je izdelava legirane sive litine, ki je odporna na termično utrujanje in je primerna za uporabo tako pri sobni kot pri povišanih temperaturah. Za raziskavo je bila uporabljena feritna litina s sestavo, ki jo predpisuje standard ISO EN-GJS 600-10. V to litino je bil dodatno legiran molibden v obliki predzlitine FeMo65. Med strjevanjem je bila izvedena enostavna termična analiza, iz ulitih vzorcev so bile izdelane tudi epruvete za natezni test. Na fizikalnem simulatorju metalurških stanj Gleeble 1500 D se je pri temperaturi 600 °C testiralo sedem vzorcev pri ciklih: 200, 500, 1000, 2000 in 4000. Za zagotavljanje gladke površine brez vpliva zarezne učinka med cikličnim obremenjevanjem, je bila izvedena elektro erozija sredinske izvrtine preizkušancev. Pod emisijskim spektrometrom je

bila analizirana kemijska sestava vzorcev. Natezni preizkus je bil izveden na stroju Instron 5985, pregledana in analizirana je bila mikrostruktura prelomnih površin. S pomočjo svetlobnega in elektronskega mikroskopa je bila pregledana analiza nastanka in napredovanja razpok, njihova usmerjenost in gostota. Narejena je bila primerjava vzorcev obremenjenih z različnimi cikli. Z naraščajočim številom cikličnih obremenitev število razpok in njihova velikost narašča. Vzorci s



Predavatelj dr. X. Ji

prisotnimi nitridi imajo manjšo iniciacijo razpok. V večini primerov razpoke naraščajo pravokotno na površino vzorcev.

26. Y. YIN, Y. ZHANG, J. ZHOU, **X. JI**, X. SHEN, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei, (CN): **Model krčnega lunkeja za gravitacijsko lite jeklene ulitke, zasnovan na polju delovanja različnih sil.**

Napake krčnega lunkeja so ključna težava v proizvodnji ulitkov in vpliva na nadzor kakovosti ulitkov. Predvidevanje napak krčnega lunkeja z dovolj visoko natančnostjo, prispeva k pravilni strokovni zasnovi in optimizaciji procesa litja. Za primer gravitacijskega litja jeklene litine je predstavljen model krčnega lunkeja na osnovi silnih polj. Pri tem modelu je predlagano osnovno tlačno merilo, pri katerem se lahko izolirana območja medsebojno polnijo s tekočinami, z analizo lastnosti povezljivosti in dovajanja v izolirana območja s tekočinami med postopkom strjevanja. Vpliv atmosferskega zraka in gravitacijskega polja na razvoj krčnih lunkejev predvidoma izboljšujeta natančnost napovedi. Nastajanje izoliranih volumnov tekočin in mesta krčenja so simulirana za napoved napak v krčnem lunkeju. Natančnost napovedi modela je bila preverjena s preizkusom litja jekla. Mesto oblika in obseg krčnih lunkejev, določeno s simulacijami, se dobro ujema z rezultati preizkusa.



Predavatelj M. Bodenburg

27. **M. BODENBURG**, J. C. STURM, Magma Gießertechnologie GmbH, Aachen (D): **Izboljšanje konkurenčnosti z vključevanjem virtualne optimizacije pri razvoju litih komponent.**

Zahteve za ulitke velikih motorjev iz litega železa, morajo zaradi njihove robustnosti in zahtevane zanesljivosti, biti dobro dokumentirane. Vedno močnejša konkurenca na področju lažjih konstrukcijskih izvedb zahteva uporabo vseh razpoložljivih tehnologij CAE, saj gre za izračune komponent, ki delujejo pod zahtevnimi mehanskimi in termičnimi obremenitvami. Posebna zahteva so pričakovane lokalne lastnosti. S pomočjo simulacije procesa litja je mogoče vnaprej izračunati lokalne lastnosti že med razvojem komponent. Z napovedovanjem lokalne porazdelitve mikrostrukturnih komponent in posledičnih lokalnih mehanskih lastnosti, je mogoče oceniti ne samo tveganja v trenutku razvoja, ampak je mogoče oceniti tudi možnosti proizvodnje lažjih konstrukcij. Prikazana je metodologija za vnaprejšnjo vključevanje računalniško določenih lokalnih livnih lastnosti v primeru velikih motorjev iz litega železa. Pristop vključuje sistematično uporabo virtualnega eksperimentiranja za preizkušanje zasnov in procesnih variant z vidika sodobnega, sistematičnega in integriranega razvoja komponent.



Predavatelj dr. P. Bundschuh

28. **P. BUNDSCHUH**, S. MICHELIC, R. PIERER, qoncept dx GmbH, Leoben (A): **Digitalna transformacija v livarnah: izzivi in rešitve.**

Pri digitalni transformaciji podjetja morajo biti ukrepi usmerjeni v prebojnost podjetja: splošno razumevanje odjemalcev produktov in njihove zahteve, tehnološki razvoj, način organizacije in medsebojno sodelovanje ter način sprejemanja in izvajanja odločitev. Ob tem mora podjetje vedno uporabljati nove digitalne možnosti za ustvarjanje dodane vrednosti. Za racionalno poslovanje je potrebno zagotoviti

pametno orodje za izračunavanje vseh stroškov in trajnostno upravljanje z zalogami. Največji potencial prihranka v livarnah je v stroških. Optimizacija stroškov s pametno programsko opremo hitro dovede do rezultatov ter donosnosti naložbe. Predstavljeno je bilo celovito orodje za izračunavanje stroškov in primeri uporabe v industriji. Z zanesljivim inženiringom zahtev, ki je nujen pri vseh uveljavljenih programskih rešitvah, lahko skupaj in v skladnosti s potrebami strank, zagotavljamo skupni uspeh projekta digitalizacije v livarskem podjetju.



Predavatelj dr. I. Bacanu

29. F. IDEN¹, B. DUDZIK², **I. BACANU**¹, ¹Hüttenes Albertus Chemische Werke GmbH, Düsseldorf (D), ²Brembo Poland Sp.Z.o.o., Dabrowa Gornicza (PL): **Uporaba procesa Cordis® pri železnih ulitkih.**

Do sedaj se je uporaba z anorganskimi vezivi za peščena jedra že dodobra uveljavila v livarnah aluminijevih zlitin. Uporaba teh veziv se do sedaj zaradi vseh slabosti še ni uveljavila pri proizvodnji ulitkov na osnov železa. Zaradi drugačnih pogojev in zahtev je bistvenega pomena uporaba premazov na vodni osnovi. Za to vrsto premazov je družba HA prijavila patent za rešitev. Najpomembnejši koraki v okviru tega razvoja so bili doseženi ob sodelovanju s podjetjem Brembo Poland. To je pomembna livarska skupina, ki se ukvarja s proizvodnjo ulitkov na bazi Fe in ulitkov na osnovi barvnih kovin. Pomembne korake pri razvoju in preizkušanju vezivnih sistemov, peščenih veziv v jedrih in premazov je opravila družba HA Poljska, v zadnji meseci pa so dela opravljali tudi v kompetenčnem centru HA, ki je postal

platforma centralnega razvoja za preizkušanje in zagotavljanje novih materialov, veziv in premazov. V tem centru se določajo parametri procesa pod standardnimi pogoji. Zato so bila jedra z na novo razvitimi anorganskimi vezivi na podlagi strogih parametrov najprej proizvedena v kompetenčnem centru in nato uporabljena pod realnimi pogoji v evropskih livarnah pod okriljem podjetja Brembo.



Predavatelj dr. M. Drobne

30. **M. DROBNE**, U. KLANČNIK, A. STERGAR, S. NOVAK, B. KOROŠEC, Valji d.o.o., Štore (SI): **Ultrazvočna preiskava metalurških spojev v kompleksnih ulitkih.**

Valji za vroče valjanje pločevine so v osnovi dvo ali večplastni ulitki sestavljeni iz zunanje plasti iz legirane železove litine, žilavega jedra iz litine s kroglastim grafitom ter v nekaterih primerih še iz vmesne plasti iz sive litine z lamelnim grafitom. Kot taki se, zaradi različnih sestavin zlitin, smatrajo za kompleksne ulitke, saj so lastnosti posameznih zlitin med seboj različne. Ena temeljnih neporušnih preiskav ulitkov je ultrazvočna metoda, kjer z uporabo ultrazvočnih valov odkrivamo livarske napake. Lahko pa zaznamo tudi metalurški spoj med različnimi zlitinami te ocenimo njegovo kakovost. Zaradi zapletenega postopka centrifugalnega litja je bilo mogoče zaznati več odmevov iz območja stikov. Ta pojav je mogoče razložiti z dvema različnima območjema vmesnikov. Prvi odmev predstavlja vmesnik med lupino in vmesnim slojem, drugi pa je zaznan na mestu, kjer se

nahaja vmesnik med vmesnim slojem in jedrom. Večji odmevi se nanašajo na ločene karbide. V nekaterih primerih je zaznaven celo trojni odmev, kar je povezano z zapiranjem vmesnega sloja v materialu lupine. Mikrostruktura vezivnih območij kaže mikroporoznost. Mehanske lastnosti jedra in vmesne plasti imajo precej podobno vrednost natezne trdnosti, kar kaže na dobro vezavo plasti. Pričujoča analiza prikazuje, kako lahko pri preiskavi centrifugalno ulitih valjev s pomočjo ultrazvoka poleg znanih livarskih napak, zaznamo tudi globino plasti posameznih zlitin ter vpliv mikrostrukturnih konstituentov, ki nastopajo na mestih metalurških spojev med zlitinami, na sam odboj ultrazvočnega signala.

AKTUALNO / CURRENT

Letošnji udeleženci livarske razstave v Portorožu

Kot smo že poročali v Livarskem vestniku št.3/2019 je na livarski razstavi, ki je spremljala letošnjo livarsko prireditev v Portorožu, WFO- Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019, sodelovalo 70 razstavljalcev, katere predstavljamo to pot s slikovnim prispevkom v nadaljevanju.



EXOTERM-IT d.o.o.



TERMIT d.d.



SIAPRO d.o.o.



WEILER ABRASIVES d.o.o.



CALDERYS DEUTSCHLAND GbmH



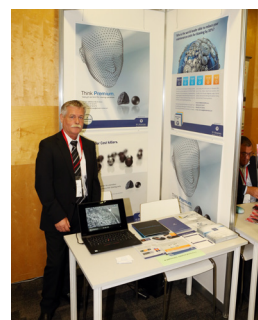
TALUM d.d.

MAHLE ELECTRIC DRIVES
KOMEN d.o.o.

EKW-KREMEN d.o.o.



STEM d.o.o.

W ABRASIVES, ABRASIV
MUTA, d.o.o.



LIVING d.o.o.



MESSER SLOVENIJA d.o.o.



OMEGA SINTO FOUNDRY
MACHINERY Ltd



TCT TESIC GmbH



OSKAR FRECH GmbH + Co. KG



INSTRO d.o.o.



ELKEM ASA



BELLOI & ROMAGNOLI
S.r.l.



KS KNEISSL & SENN
TECHNOLOGIE GmbH



BOSELLO HIGH
TECHNOLOGY S.r.l.



F.LLI MAZZON S.p.A.



TC LIVARSTVO d.o.o. + MECAS ESI.



RWP GmbH



FONDAREX SA

THE WORLD FOUNDRY
ORGANIZATION

TOPOMATIKA d.o.o.



LABENA d.o.o.



ANALYSIS d.o.o.



INDUCTOTHERM EUROPE Ltd

HEINRICH WAGNER SINTO
MASCHINENFABRIK GmbH

FEAL-INŽENIRING d.o.o.



PRIMAKEM d.o.o.



OLMA d.o.o.

BL METAL + SAVEWAY
GmbH & Co. KG

FAPROSID S.r.l.

GIESSEREI – medijski
partner

IRT 3000 – medijski partner



EHSiS d.o.o.



PSR d.o.o. – NORICAN GROUP



KRÄMER + GREBE GmbH & Co. KG



MAGALDI POWER S.p.A.



IDRA S.r.l.



WS SIMULATION d.o.o.



TROKUT TEST d.o.o.



SIJ GROUP-SILABS d.o.o.



MASCHINENFABRIK GUSTAV EIRICH GmbH & Co KG



POLISH FOUNDRYMEN'S ASSOCIATION



KOLEKTOR ORODJARNA d.o.o.



IPRO ING d.o.o.



KMS d.o.o.



LABTIM d.o.o.



JML INDUSTRIE SA



EDC PROTECTION SAS



ISTRABENZ PLINI d.o.o.



INGAS d.o.o.



PROLUB d.o.o.



ANTON PAAR d.o.o.



NÜRNBERGMESSE GmbH



OTTO JUNKER GmbH



BSSW ANLAGENBAU GmbH



AVL LIST GmbH



NOVACAST SYSTEMS AB



HAGI GmbH

COPROMEC DIE CASTING
S.r.l.

BRIO-MOULDS S.r.l.



SIPAG BISALTA S.p.A.



PSM MERILNI SISTEMI d.o.o.

AKTUALNO / CURRENT

**Generalna skupščina WFO v Portorožu**

V času letošnjega svetovnega livarskega dogodka v Portorožu, WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019, je dne 20.09.2019 potekala tudi generalna skupščina WFO – svetovne livarske organizacije. Na seji je bilo prisotnih 16 držav, 7 držav pa je pooblastilo za glasovanje podalo predsedniku ali drugim prisotnim delegatom. Sejo je vodil predsednik WFO, g. Mark Fenyés, ki je uvodoma pozdravil vse prisotne delegate članic WFO: podpredsednike, predsednice in sekretarje mednarodnih delovnih komisij in člane izvršnega odbora WFO. Zatem je izrekel posebno pohvalo v imenu WFO, Društvu livarjev Slovenije in predsednici M. Jan-Blažić za odlično pripravo in izvedbo WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019. Na koncu uvoda je generalna skupščina z minuto molka počastila spomin na tri nekdanje dolgoletne funkcionarje: Georga Bootha, Roberta Boba Jordana in prof. Jozefa Suchya.

V nadaljevanju je skupščina obravnavala in potrdila:

- zapisnik lanskoletne skupščine, ki je potekala 26.09.2019 v Kielcach na Poljskem,
- bilanco za leto 2019, ki je bila potrjena s strani v.d. nadzornika in tudi revidirana s strani zunanjega revizorja, kaže pozitivni izidi in porabo v okviru sprejetega načrta,
- proračun za leto 2020, pri kateremu je bil sprejet tudi sklep, da članski prispevek članic WFO ostane na nivoju prejšnjega leta, ker se predvideva, da se bodo s kotizacijo za 2. summit WFO lahko pokrili vsi stroški.

Sledila so poročila predsednic mednarodnih delovnih skupin. Predsednica Delovne skupine litih kovinskih kompozitov, prof. N. Sobczak, je poročala, da se je komisija



Predsedstvo generalne skupščine



Pogled na
dvorano
generalne
skupščine

osredotočila na objave svojega dela in dosežkov v znanih strokovnih livarskih revijah in na sodelovanje pri organizaciji drugih mednarodnih strokovnih dogodkov. Predsednica Delovne skupine za izobraževanje in usposabljanje, dr. P. Murrell je povedala, da je delovna skupna imela več osebnih in spletnih srečanj WebEx. Materiali komisije se shranjujejo in so na voljo v oblaku. Skozi anketo, ki so jo izvedli, so dobili kar nekaj informacij, ki jim bodo v pomoč pri nadaljnjih korakih. V načrtu imajo, da bi na spletni strani objavili tudi informacije o možnih oblikah izobraževanj in usposabljanj in tudi možnost za e-učenje ter aktivnosti za spodbujanje poklicnih poti. Poleg zgoraj omenjenih dveh delovnih skupin delujejo še naslednje delovne skupine za: tlačno litje, železove zlitine, neželezove materiale, materiale za formanje, izražen pa je bil še interes po ustanovitvi delovne skupine »Vplivi električne mobilnosti« in »Livarski pesek«. Splošno poročilo o ostalih delovnih skupinah je podal administrativni sekretar WFO, J. J. Gonzalez. Delegatom je bilo podano tudi celotno poročilo v pisni obliki, ki je na voljo tudi na spletni strani WFO.



V Portorožu je bila to pot ustanovljena tudi nova delovna skupina pod imenom »Management v livarskih društvih«. To skupino bo vodil dr. I. Bacanu, ki je skupščini poročal, da je prvo ustanovno srečanje bilo namenjeno spodbujanju idej o načinih izmenjave in proučevanja dobrih praks med livarskimi društvi. V naslednjem koraku se bo pristopilo k pripravi predlogov ciljev. Pojasnil je, da je vsem livarskim asociacijam po svetu v interesu, da postanejo še močnejša in k temu naj bi pomagala ta delovna skupina. Na seji te ustanovne delovne skupine sta s strani Društva

Dobitnik medalje Jozefa Suchya, g. Juan J Leceta

livarjev Slovenije sodelovala predsednica, mag. Mirjam Jan-Blažič in direktor Livarne Titan Kamnik d.o.o., mag. Drago Brence.

O prihodnjih aktivnostih in nadaljnjem razvoju WFO je spregovoril generalni sekretar WFO, g. Andrew Turner. Pojasnil je, da bo leto 2020 zadnje leto drugega strateškega načrta WFO, zato bo v naslednjem letu potrebno pripraviti nov triletni strateški načrt, članice pa pozval, da se s svojimi predlogi aktivno vključijo v pripravo le-tega. Ob tem je poudaril poseben pomen, ki ga ima za WFO 7 zvestih sponzorjev – AnyCasting Software, Clariant, Foundry Trade Journal, Hüttenes-Albertus, Inductotherm, Loramendi in S Q Chemicals.

Za skupščino je bilo pripravljeno tudi WFO globalno poročilo o livarstvu 2019, ki obravnava stanje po državah v letu 2018. Predstavil ga je administrativni sekretar J. J. Gonzalez. V poročilu je vključenih 26 držav članic, ki so do časa posredovale svoje podatke. Poročilo smo v digitalni obliki poslali vsem direktorjem članic Društva livarjev Slovenije. V naslednjem poročilu, ki bo pripravljeno v letu 2020, bo še več informacij, namreč vključeno bo tudi poglavje o perspektivi končnih odjemalcev livarskih izdelkov. Denimo Švedska, že pripravlja letno poročilo, ki se nanaša na avtomobilske dobavitelje.

Skupščina je obravnavala in potrdila novo vodstvo WFO z izvršnim odborom za naslednje mandatno obdobje 2020/21. Novi predsednik bo g. UMUR DENIZCI iz Turčije, podpredsednik pa g. CARSTEN KUHLGATZ iz Nemčije. V naslednjem mandatu bo prišlo tudi do spremembe v sekretariatu WFO, saj se je sedanji dolgoletni generalni sekretar odločil za odhod.

Na skupščini je bil predstavljen tudi osrednji dogodek WFO v naslednjem letu. Gre za 2. WFO Summit, ki bo potekal od 18.-19.05.2020 v New Yorku. Poudarjeno je, da bo ta prireditev namenjena v prvi vrsti lastnikom in direktorjem livarn, zato ga priporočamo predsednikom in direktorjem naših članic.

Na zaključku generalne skupščine je bila slavnostno podeljena tudi prva medalja Jozefa Suchya, dolgoletnega funkcionarja WFO, ki je preminil lansko leto, g. Juanu J. Leceti iz Španije za aktivno sodelovanje v organih WFO.

Poročala:
mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT



Seminar "Toplotna obdelava neželezovih zlitin"



Društvo livarjev Slovenije že vrsto let organizira različne strokovne seminarje za livarne železovih in neželezovih zlitin. Tako je tudi letos septembra organiziralo za neželezove livarne enodnevni seminar v Portorožu, pod naslovom »**Toplotna obdelava neželezovih zlitin**«. Seminar je vodil dr. Konrad Weiß, iz nemškega podjetja RWP GmbH. Udeležili smo se ga štirje predstavniki podjetja LTH Castings d.o.o., kolegi iz podjetij Cimos d.o.o., Hidria d.o.o., Mariborska Livarna Maribor d.d., Talum d.d. in mag. Mirjam Jan-Blažič, predsednica Društva livarjev Slovenije.

Razumevanje področja toplotne obdelave neželezovih zlitin, kot so zlitine aluminija,



Predavatelj dr. K. Weiß

je bistvenega pomena pri doseganju mehanskih lastnosti ulitkov. Z elektrifikacijo vozil mehanske lastnosti aluminijevih ulitkov zadnja leta še dodatno pridobivajo na pomenu. Dr. Weiß je na seminarju predstavil tako osnove fizikalne metalurgije (zgradba atoma, kemijske vezi, kristalna struktura, proces strjevanja) kot tudi osnove o zlitinah aluminija (fazni diagram Al-Si, vrste livarskih aluminijevih zlitin, livarske napake, vpliv posameznih legirnih elementov v zlitinah aluminija, itn.). Nadalje je podal vrste toplotnih obdelav zlitin aluminija, s poudarkom

na t.i. toplotnih obdelavah T4, T5 in T6. Zanimivo, velik del tega segmenta predavanj, je namenil postopku gašenja, medtem ko praksa običajno temu delu toplotne obdelave nameni najmanj pozornosti. Seminar je dr. Weiß sklenil s predstavitev številnih praktičnih primerov toplotne obdelave aluminijevih ulitkov. Primeri so bili predstavljeni tudi s stališča različnih simulacij litja, strjevanja, ohlajanja ter napovedi mehanskih lastnosti. Po seminarju smo imeli možnost za dodatna vprašanja. Takrat je stekla zanimiva razprava o potencialnem vplivu predhodne površinske obdelave (npr. peskanje) na učinkovitost toplotne obdelave v nadaljevanju procesov. Marsikatero zanimivo informacijo smo pridobili tudi v naslednjih dneh, ko sta potekala WFO-tehnični forum in 59. mednarodna livarska konferenca, ki sta ga organizirala Svetovna livarska organizacija in Društvo livarjev Slovenije.

Dr. Neva Štrekelj, LTH Castings, d.o.o.

AKTUALNO / CURRENT



Seminar »Formanje in materiali za pečena jedra«

Društvo livarjev Slovenije je skupaj z Gospodarsko zbornico Slovenije - Združenjem kovinskih materialov in nekovin organiziralo oktobra letos na lokaciji Gospodarske zbornice Slovenije enodnevni seminar za železove livarne pod naslovom »Formanje in materiali za pečena jedra«. Gre za seminar iz sprejetega programa seminarjev Društva za letošnje leto.

Za izvajalca seminarja je bil angažiran Avstrijski livarski inštitut iz Leobna (OGI) s predavateljema, Hubert Kerber-om in Philipp Jakesch-om. Predstavljena tematika seminarja je bila zbrana v brošuri v angleškem in slovenskem jeziku, ki so jo vsi udeleženci seminarja prejeli od Društva kot organizatorja, na začetku seminarja. Pred dvema letoma smo že organizirali na tematiko kvalitete livarskih peskov seminar na lokaciji OGI v Leobnu, kjer so se slušatelji lahko seznanili z različnimi praktičnimi preizkusi livarskih peskov, tudi s preizkusi vzorcev peska iz svojih livarn.

Število udeležencev seminarja je po organizacijskih pogojih, ki veljajo pri izvajalcu OGI, bilo omejeno na samo 12 slušateljev. Seminarja so se udeležili predstavniki naslednjih



Udeleženci seminarja

članic Društva: Cimos d.d. Tovarna Maribor, Cimos d.d. Tovarna Vuzenica, Eta Cerkno d.o.o., Livarna Gorica d.o.o., Livar d.d. in Omco Metals Slovenia d.o.o.

Na seminarju so bile predstavljene naslednje vsebine:

- osnove oz. generalne zahteve po lastnostih in sestavi, katerim morajo zadostiti livarski peski (priprava, kroženje, obnavljanje, preizkušanje materialov za forme s predstavitvijo različnih načinov oz. metod in opreme za le-te),
- peščena jedra s poudarkom na tehnikah izdelave organskih in anorganskih jeder,
- nove možnosti oz. predvsem nove prakse preizkušanja do katerih so prišli v zadnjih letih pri svojem raziskovanem delu v ÖGI, ki zagotavlja lahko izboljšana oprema za preizkušanje livarskih peskov,
- vpliv testnih metod in priprava vzorcev peska za preizkuse,
- napake pri litju zaradi slabe kakovosti peska,
- diagram trendov za optimizacijo lastnosti peskov.

V dogovoru z ÖGI bo to sodelovanje z ÖGI možno dograditi s dodatnimi in praktičnimi vsebinami, ki bi bile zopet lahko predstavljene v dvodnevem seminarju v samem inštitutu v Leobnu. O tem interesu livarn železovih litin bo potekala beseda v januarju naslednje leto, najprej na Komisiji za izbor seminarskih tem za železove livarne in potem še na Izvršnem in Občnem zboru Društva v marcu.

Poročala: mag. Mirjam Jan-Blažić

AKTUALNO / CURRENT



Seminar »Osnove tehnologije tlačnega litja«



V organizaciji Društva Livarjev Slovenije je novembra letos potekal tridnevni seminar o osnovah tehnologije tlačnega litja v izobraževalnem centru proizvajalca tlačno – livarskih strojev Bühler, Uzwil – Švica, katerega se je udeležilo 11 slušateljev iz slovenskih livarskih podjetij – članic Društva: LTH Catings d.o.o., MARIBORSKA LIVARNA MARIBOR d.d., TALUM d.d., HIDRIA d.o.o. in DIFA d.o.o. Seminar sta vodila izkušena trenerja: Heiko Braehler in Rudolf Beck.

V sklopu analize fizikalnih procesov prenosov toplotne energije pri tlačnem litju so nam bili predstavljeni vplivi njihovega optimalnega načrtovanja. Ključnega pomena je upravljanje vseh nastopajočih temperatur, kakovostna izgradnja orodnih temperirnih sistemov ob uporabi najprimernejših tako orodnih kot tudi livnih materialov. Takšen sistem zahteva izpopolnjen pristop k vzpostavitvi optimalnih temperaturnih razmer na livarskem orodju, kar je potrebno zagotoviti v zgodnjih fazah razvoja ulitka in livarskega orodja.

V praktičnih primerih pa smo izvedli osnovne preračune presekov dolivnih in odzračevalnih kanalov za vzpostavitev želenih hitrostnih in tlačnih razmer taline v orodju za optimalno strjevanje ulitka.

Nadgradnja izpostavljenih tem pa sta bili tudi predstavitvi proizvajalcev temperaturno regulacijskih sistemov Regloplas in proizvajalca livarskih litin aluminija Rheinfelden Alloys. David Lowe iz podjetja Regloplas je predstavil rang produktov in njihovo umestitev



Udeleženci seminarja v podjetju Buehler AG v Švici

v segment tlačnega litja, Ralf Klos iz podjetja Rheinfelden Alloys pa namensko razvite zlitine s prilagojenimi kemičnimi sestavami za doseganje posebnih mehanskih lastnosti. Izboljšane namenske zlitine omogočajo tudi doseg poostrenih mehanskih zahtev brez dodatnih postopkov termične obdelave.

Udeleženec seminarja: Aleksander Šarić, DIFA d.o.o.



AKTUALNO / CURRENT



Nadaljevalni seminar o tlačnem litju

V novembru je v organizaciji Društva Livarjev Slovenije potekal na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani še en seminar na temo tlačnega litja. To pot pa z izvajalcev seminarjev Avstrijskim livarskim inštitutom iz Leobna (OGI) in predavatelji Dr. mont. Peter Hofer-Hauser -jem in Reinhold Gschwandtner-jem. Glede na omejitve, ki jih pri velikosti seminarske skupine postavlja OGI (samo 12 udeležencev), se je seminarja udeležilo izjemoma 13 slušateljev iz naslednjih podjetij in univerze- članic Društva: Difa d.o.o., Hidria d.o.o., Iskra ISD livarna d.o.o., LTH Castings d.o.o., MLM d.d., Talum d.d., Telekom d.o.o. in Naravoslovnotehniška fakulteta.

Uvodoma je sledila kratka ponovitev seminarja o osnovah tlačnega litja, potem pa je sledila predstavitev iz posameznih tehnoloških postopkov, ki se uporabljajo pri tlačnem litju. Prva tematika je pokrivala usmerjeno strjevanje ulitka ter »local squeezing«, kjer je bil poudarek na učinkovitem odvajanju toplote iz orodja z ustrezno kombinacijo primerne materiala orodja in hladilnega sistema. Sledila je tematika o hlajenju in nanašanju ločilnega sredstva na površino orodja ter uporabi vakuumskih sistemov za pomoč pri evakuiranju zraka iz livne votline. Zadnja tema je pokrivala izbiro primerne zlitine ter obdelavo taline za doseganje primernih mehanskih lastnosti.

Na koncu je sledil tudi kratek praktični preizkus osvojenega znanja, saj je vsak udeleženec dobil ulitek na katerem je moral identificirati napako, ugotoviti vzrok za njo ter predlagati ustrezne ukrepe za odpravo.

S predstavljenimi tematikami se livarji v livarnah tlačnega litja vsakodnevno srečujemo in bodo koristno pomagale pri našem vsakodnevem delu.



Udeleženec seminarja:
dr. Sebastjan Kastelic

Predavatelja seminarja

Pokrovitelji WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019

ZLATI POKROVITELJ



LTH Castings

SREBRNI POKROVITELJI



BRONASTI POKROVITELJI





**TOGETHER
FOR
MORE**

PARTNERING YOU IN THE FOUNDRY INDUSTRY FOR MORE

We are the world's leading provider of refractory solutions in Foundry, for both ferrous and non-ferrous markets, and have built successful working partnerships worldwide with hundreds of Foundry customers. Our market leadership in Foundry stems from three core points:



calderys
REFRACTORY SOLUTIONS

Calderys Deutschland GmbH
Büro Austria
IZ Nö-Süd, Straße 16, Objekt 69
A-2355 Wiener Neudorf

Telefon: +43 2236 677090 + DW
Telefax: +43 2236 677093 – 11
e-mail: austria@calderys.com
Website: www.calderys.at

Nürnberg, Nemčija
14.–16.1.2020



EUROGUSS 2020

Mednarodni strokovni sejem za tlačno litje:
tehnologija, procesi, izdelki

IDEJE za OBLIKOVANJE in PRIHODNOST

Obiščite vodilni
evropski strokovni sejem!

euroguss.com

Strokovni pokrovitelj
VDD Verband Deutscher
Druckgießereien, Düsseldorf
CEMAFON, Frankfurt am Main

**Z veseljem vam bomo
posredovali več informacij.**
NürnbergMesse GmbH
T +49 9 11 86 06-49 16
visitorservice@nuernbergmesse.de

NÜRNBERG MESSE



TERMIT

Družba TERMIT je rudarsko podjetje
za pridobivanje kremenovih peskov



NAŠ PROGRAM:

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

www.termit.si