

LIVARSKI VESTNIK

69/2022

2



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY



TEHNOLOŠKA OPREMA ZA PRIPRAVO IN REGENERACIJO KEMIJSKO VEZANIH PESKOV



Siapro d.o.o.
 Postaja 9
 5216 Most na Soči
 Slovenija
info@siapro.si

- V kooperaciji z Lauds Foundry Equipment GmbH smo v letu 2021 začeli proizvajati livarsko opremo v Sloveniji. Izdelujemo linije za pripravo in regeneracijo oplaščenih peskov kapacitete 3t – 50t/h (kontinuirni mešalci, iztresne rešetke)
- Enostavna montaža opreme brez poglobljenih temeljev
- Zagotovljen servis in rezervni deli
- CE standard

PRODUCTS FOR FOUNDRIES AND STEELWORKS



**COATINGS FOR
FOUNDRIES**



**THERMOINSULATION
MATERIALS FOR
STEELWORKS AND
FOUNDRIES**



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



REPRESENTATIVES
*Magma, Tribo - Chemie,
Henschke*

 **exoterm-it**

exoterm@exoterm.si

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

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

E-mail: drustvo.livarjev@siol.net

Spletna stran: www.drustvo-livarjev.si

Glavni in odgovorni urednik / Chief and responsible editor:

prof. dr. Alojz Križman

E-mail: probatus@trier.net

Tehnično urejanje / Technical editing:

mag. Mirjam Jan-Blažič

Uredniški odbor / Editorial board:

prof. dr. Alojz Križman, Univerza v Mariboru

prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani

prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani

prof. dr. Rebeka Rudolf, Univerza v Mariboru

prof. dr. Andreas Bührig-Polaczek, Giesserei

Institut RWTH Aachen

prof. dr. Peter Schumacher, Montanuniversität
Leoben

prof. dr. Rüdiger Bähr, Otto-von-Güricke-
Universität Magdeburg

prof. dr. Reinhard Dopp, TU Clausthal

prof. dr. Jerzy Józef Sobczak, Foundry
Research Institute, Krakow

prof. dr. Jaromir Roučka, Institut Brno

prof. dr. Branko Bauer, Univerza v Zagrebu

Prevod v angleški jezik /

Translation into English:

Marvelingua, Aljaž Seničar s.p.

Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:

Yvonne Rosteck, Düsseldorf

Slovenski jezik / Slovene: Marvelingua,

Aljaž Seničar s.p.

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

Naklada / Circulation:

4 številke na leto / issues per year

800 izvodov / copies

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: junij 2022



SIAPRO d.o.o.
Postaja 9
SI-5216 MOST NA SOČI

Direktor: Franc Jezeršek

T: +386 5 38 41 638

E: info@siapro.si

spletna stran: www.siapro.eu

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

Ion Alexandru Bacanu: **Inovacijska platforma za mednarodno livarsko industrijo - kompetenčni center HA (HA Center of Competence) / The Innovation Platform for the International Foundry Industry - The HA Center of Competence** 70

David Hrabina, Petr Filip: **Napredek pri litju jeklenih ulitkov s curkom kovine z izlivkom / Advances in the Pouring of Steel Castings with a Shrouded Metal Stream** 81

Anna Remišová, Augustín Sládek, Marek Bruna: **Možnosti za zmanjšanje reoksidacije v dovodnih sistemih / The possibilities for reducing reoxidation in the gating system** 100

Rok Markežič, Nikolaj Mole, Iztok Naglič, Boštjan Markoli, Roman Šturm: **Napovedovanje spreminjanja trdote orodij med procesom tlačnega litja / Tool hardness change prediction during high pressure die casting process** 111

AKTUALNO / CURRENT

Pregled livarskih prireditev v letu 2022 / 2023 119
64. Avstrijsko livarsko posvetovanje 2022 120
Nemški livarski dan 2022 126
METEF 2022 127
Sejem Euroguss 2022 130
62. IFC Portorož 2022 131

Inovacijska platforma za mednarodno livarsko industrijo - kompetenčni center HA (HA Center of Competence)

The Innovation Platform for the International Foundry Industry - The HA Center of Competence

Povzetek

Dobre ideje in novi razvoji v laboratoriju brez potrditve v praksi livarnam na začetku ne koristijo. Korist – in s tem uspeh – se pokaže šele, ko inovacije ustrezajo dejanskim potrebam livarn in jih je mogoče s primernimi stroji in sistemi na popoln način uvesti tudi v industrijskih pogojih.

Kot proizvajalec kemikalij za livarsko industrijo podjetje Hüttenes-Albertus (HA) deluje kot povezava med livarnami, ki imajo zahteve na področju litja, in proizvajalci strojev, ki zagotavljajo tehnične zmogljivosti. Na primer ko se razvija nova proizvodna linija za nov izdelek, k uspešni realizaciji projekta pripomore, če sodelujejo livarna, proizvajalci strojev in dobavitelj vezivnega sredstva ter spremljajo projekt od samega začetka. V nasprotnem primeru lahko pride do izgube dragocenega časa, ki je potreben za iskanje optimalne rešitve za izdelavo ulitka.

Kompetenčni center HA (ang. HA Center of Competence) kot sodelovalna platforma združuje vse sodelujoče v projektu. HA CoC je interna pilotna livarna, kjer lahko stranke in projektni partnerji preskusijo ter ocenijo ideje in razvoj v realnih pogojih, zasnovanih in prilagojenih potrebam, pričakovanjem ter zahtevam livarske industrije. Hitrejše uvajanje novih izdelkov na trg in njihovo uveljavitev neposredno v lastni proizvodnji, od procesa izdelave prototipov prek različnih proizvodnih faz vse do začetka proizvodnje, vključno s strokovnim usposabljanjem zaposlenih – to so možnosti, ki jih HA CoC nudi strankam.

Koncept in s tem prednost za stranke temelji predvsem na štirih stebrih: pilotna livarna, projektno sodelovanje, optimizacija procesne verige in usposabljanje zaposlenih HA po vsem svetu kot tudi strank in partnerjev (vključno z univerzami in raziskovalnimi ustanovami) z vsega sveta.

Ta platforma je odprta za interdisciplinarno sodelovanje z različnimi igralci v industriji litja kovin, od ponudnikov programske opreme do proizvajalcev opreme in livarn, z namenom razvoja in implementacije novih inovativnih procesov za livarne.

Inovativno delo v HA CoC ima dolgoročne učinke. Projekti in inovacije pomagajo pri oblikovanju prihodnosti in iskanju odgovorov na pomembne izzive našega časa, kot je varstvo okolja.

Ključne besede: inovacija, razvoj projektov, sodelovalna platforma

Abstract

Good ideas and new developments from the laboratory, without practical confirmation, are initially of no use for foundries. The benefit - and thus the success - only emerges when innovations meet the real needs of the foundries and can also be implemented perfectly under industrial conditions with the appropriate machines and systems.

As a manufacturer of foundry chemicals, Hüttenes-Albertus (HA) is the link between foundries with their casting requirements and machine manufacturers with their technical capabilities. If, for example, a new production line is being developed for a new product, it is helpful for the successful realisation of the project if the foundry, the machine manufacturers, and the binder supplier are involved and accompany the project from the very beginning. Otherwise, precious time may be lost that is needed to find an optimal solution to produce the casting.

The HA Center of Competence (HA CoC) as a cooperation platform brings together all project stakeholders. The HA CoC is an in-house pilot foundry where customers and project partners can test and evaluate ideas and developments under real conditions, designed and tailored to the needs, expectations, and requirements of the foundry industry. Bringing new products to market faster and establishing them directly in the own production, starting with the prototyping process, through various production phases to the start of production, including the professional training of employees - these are the possibilities that the HA CoC offers customers.

The concept and thus the advantage for customers is mainly based on four pillars: Pilot foundry, project collaboration, optimisation of the process chain, and training for HA employees worldwide, customers, and partners (including universities and research institutes) from all over the world.

This platform is open to interdisciplinary collaboration with various players in the metal casting industry, from software providers to equipment manufacturers and foundries, to develop and implement new innovative processes for foundries.

The innovative work in the HA CoC has long-term effects. The projects and innovations are helping to shape the future and to find answers to the important challenges of our time, such as environmental protection.

Keywords: Innovation, project development, cooperation platform

1 Uvod

Inovacija je v DNK HA! Podjetje Hüttenes-Albertus (HA) je bilo ustanovljeno leta 1970, vendar začetki podjetja segajo že več kot 100 let v preteklost. Ustanovitelji Albert Stahn (Albertuswerke) in brata Hüttenes so bili neprekosljivo iznajdljivi. Razvili so številne inovativne ideje in izume ter si zadali cilj spodbujanja napredka v livarski industriji skozi nove rešitve.

Danes je skupina HA zastopana v več kot 30 državah in z okoli 1.800 predanimi zaposlenimi zagotavlja storitve za livarske trge po vsem svetu. Podobno kot v preteklosti se podjetje še danes osredotoča na inovativne rešitve, zato je v novembru

1 Introduction

Innovation is in the DNA of HA! Hüttenes-Albertus (HA) was founded in 1970, but the roots of the company date back more than 100 years. The two founding fathers Albert Stahn (Albertuswerke) and the Hüttenes brothers were men of ingenious inventiveness. They developed many ground-breaking ideas and inventions and set themselves the goal of driving progress in the foundry industry with new solutions.

Today, the HA Group is represented in more than 30 countries and provides services to the foundry markets in the world with around 1,800 dedicated employees. Then as of now, the company's focus is on



Slika 1. Kompetenčni center HA

Figure 1. The HA Center of Competence

leta 2017 odprlo vrata kompetenčnega centra HA (HA CoC) v Baddeckenstedtu pri Hannoveru v Nemčiji.

Ta lokacija v severni Nemčiji je bila predhodno poznana po proizvodnji visokokakovostnih jeder in kompletov jeder. V letu 2017 je bila temeljna proizvodna dejavnost prenesena na podjetje Termit, slovensko podjetje, ki je poznano po pripomočkih za litje in izdelavi jeder. www.termit.si

innovative solutions, and so in November 2017, the HA Center of Competence (HA CoC) was opened in Baddeckenstedt, near Hanover, Germany.

This location in northern Germany was previously a well-known address for the production of high-quality cores and core packages. In 2017, the core manufacturing business has been transferred to Termit, the well-known Slovenian company for casting aids and core-making. www.termit.si

2 Koncept inovacijske platforme kompetenčnega centra HA

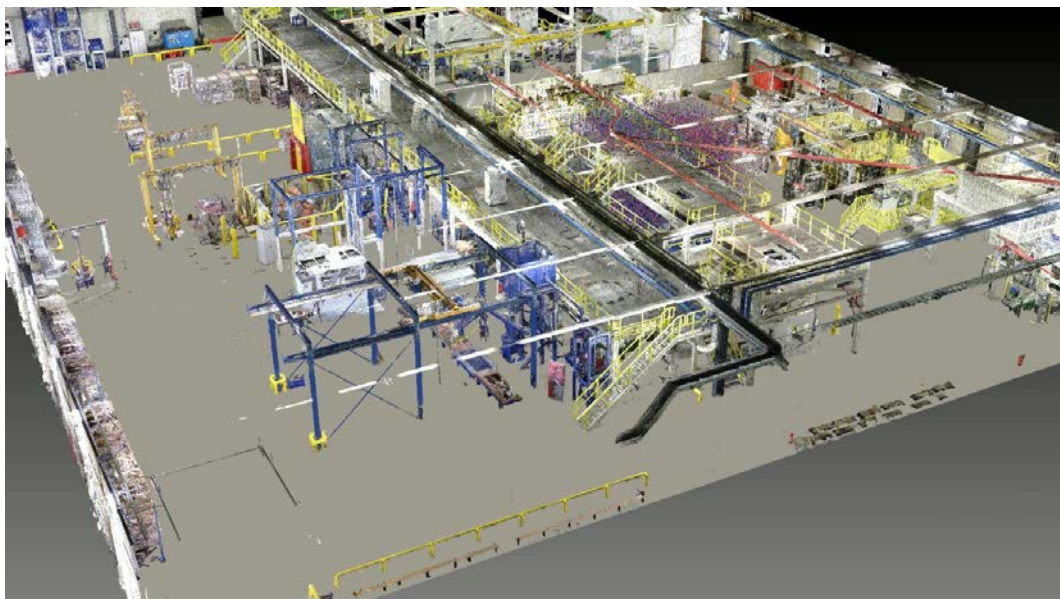
Interna pilotna livarna, kjer lahko stranke in projektni partnerji preskusijo in ocenijo ideje in razvoj v realnih pogojih, zasnovanih in prilagojenih potrebam, pričakovanjem in zahtevam livarske industrije.

Dobre ideje in novi razvoji v laboratoriju brez potrditve v praksi livarnam na začetku ne koristijo. Korist – in s tem uspeh – se pokaže šele, ko inovacije ustrezajo dejanskim potrebam livarn in jih je mogoče s primernimi stroji in sistemi na popoln način uvesti tudi v industrijskih pogojih.

2 The concept of the innovation platform HA Center of Competence

An in-house pilot foundry where customers and project partners have the opportunity to test and evaluate ideas and developments under real conditions – designed and tailored to the needs, expectations, and requirements of the foundry industry.

Good ideas and new developments from the laboratory, without practical confirmation, are initially of no use for foundries. The benefit – and thus the success – only emerges when innovations meet the real needs of the foundries and



Slika 2. Dvorana, pogled iz ptičje perspektive

Figure 2. Hall, bird's eye view

3 Objekti

- Celotna površina: 7800 kvadratnih metrov,
- 17 zaposlenih,
- glavna dvorana HA CoC je opremljena z več kot 60 stroji za poustvarjanje skoraj vseh procesov, ki so običajni za livarne, in obsega specializirane naprave ter laboratorijsko opremo uveljavljenih dobaviteljev,
- v glavni dvorani je tudi laboratorij za hitro preskušanje, opremljen s spektrometrom Spectro in opremo za preskušanje peska Multiserw Morek,
- nenazadnje se HA CoC ponaša tudi z v celoti opremljenim centrom za usposabljanje za do 60 oseb.

Hitrejša uvajanje novih izdelkov na trg in njihova uveljavitev neposredno v lastni proizvodnji – to so možnosti, ki jih HA CoC nudi strankam.

can also be implemented perfectly under industrial conditions with the appropriate machines and systems.

3 The facilities

- Total area: 7800 square metres.
- 17 employees.
- The main hall of the HA CoC is equipped with more than 60 machines to reproduce almost every process normally found in a foundry and includes specialised plant and laboratory equipment from established suppliers.
- The main hall also houses a rapid testing laboratory equipped with a spectrometer from Spectro and sand testing equipment from Multiserw Morek.
- Last but not least, the HA CoC is home to a fully equipped training centre for up to 60 participants.



Slika 3. Glavna dvorana, talilnica

Figure 3. Main hall, melting shop



Slika 4. Glavna dvorana, prostor No-Bake in 3D-tiskalnik

Figure 4. Main Hall, No-Bake Area, and 3D Printer

Koncept in s tem prednost za stranke temelji predvsem na štirih stebrih:

1. Pilotna livarna z naslednjimi cilji:
 - analiza in optimizacija procesnih verig v livarni,
 - preskušanje novih izdelkov in tehnologij,
 - spodbujanje novih tehnologij na področju litja in oblikovanja kovin.
2. Sodelovanje v projektih, ki obsega:
 - podporo projektov strank in partnerjev od koncepta do faze uporabe,
 - aktivno sodelovanje v razvoju jedra in orodij,
 - zagon orodij, jeder in ulitkov,
 - partnerstvo in podpora projektov, razvitih v sodelovanju z univerzami in raziskovalnimi ustanovami z vsega sveta.

Bringing new products to market faster and establishing them directly in their production - are the possibilities that the HA CoC offers customers.

The concept and thus the advantage for customers is mainly based on four pillars:

1. Pilot foundry with the following objectives:
 - Analysis and optimisation of process chains in the foundry,
 - Testing of new products and technologies,
 - Promotion of new technologies in metal casting and metal forming.
2. Project collaboration that provides:
 - Support for customer and partner projects, from concept to application phase,
 - Active participation in core and tool development,



Slika 5. Glavna dvorana, prostor Cold-Box

Figure 5. Main hall, Cold-Box area

3. Optimizacija procesne verige:
 - sodelovanje z industrijskimi partnerji, ki so vključeni v razvoj projektov,
 - optimizacija interakcije med kemijskimi, strojnimi in procesnimi inženirji.
4. Usposabljanje za:
 - zaposlene HA po vsem svetu,
 - stranke in partnerje (vključno z univerzami in raziskovalnimi ustanovami) z vsega sveta.

Pet let po odprtju je kompetenčni center HA postal znana inovacijska platforma, ki je za sodobno mednarodno livarsko industrijo izrednega pomena.

V HA CoC potekajo številni projekti v sodelovanju s strankami z vsega sveta, različni dolgoročni razvojni projekti z raziskovalnimi ustanovami in univerzami ter veliko število internih projektov celotne skupine HA s celega sveta.

4 Projektno delo

Stranke lahko svoje projekte v celoti vodijo v HA CoC, začevši s procesom izdelave prototipov, vse do različnih proizvodnih faz in začetka proizvodnje, vključno s strokovnim usposabljanjem zaposlenih.

Za uspešno izvedbo projekta je odločilno tesno sodelovanje vseh deležnikov.

Kot proizvajalec kemikalij za livarsko industrijo podjetje HA deluje kot povezava med livarnami, ki imajo zahteve na področju litja, in proizvajalci strojev, ki zagotavljajo tehnične zmožljivosti.

Na primer ko se razvija nova proizvodna linija za nov izdelek, k uspešni realizaciji projekta pripomore, če sodelujejo livarna, proizvajalci strojev in dobavitelj vezivnega sredstva ter spremljajo projekt od samega začetka. V nasprotnem primeru lahko pride do izgube dragocenega časa, ki je potreben za iskanje optimalne rešitve za izdelavo

- Commissioning of tools, cores, and castings,
 - Partnership and support for projects developed with universities and research institutes from around the world.
3. Optimisation of the process chain:
 - Collaboration with industrial partners involved in project development,
 - Optimisation of the interaction between chemistry, mechanical, and process engineers.
 4. Training for:
 - HA employees worldwide,
 - Customers and partners (including universities and research institutes) from all over the world.

Five years after its opening, the HA Center of Competence has become a well-known innovation platform with high relevance for the modern international foundry industry.

Numerous projects with customers from all over the world, various long-term development projects with research institutes and universities, and a large number of internal projects of the entire HA Group worldwide take place at the HA CoC.

4 Project work

Customers have the opportunity to completely handle their projects in the HA CoC, starting with the prototyping process, through various production phases to the start of production, including the professional training of employees.

Close cooperation with all the involved stakeholders is decisive for successful project implementation.

As a manufacturer of foundry chemicals, HA is the link between foundries with their casting requirements and

ulitka. Sodelovalna platforma HA CoC združuje vse deležnike projekta.

5 Značilen potek projekta

Značilen potek projekta za razvoj novega ulitka (na primer bloka motorja) obsega dve glavni vrsti storitev, ki jih zagotavljata podjetje HA ter HA CoC.

Na začetku se na individualni ravni zagotovi svetovalna storitev strankam, ki vključuje analizo in razvoj koncepta, ki zajema elemente, kot so produktivnost, okoljske zahteve, združljivost zlitin in vezivnega sistema, razpoložljivost surovin itd. Svetovalna funkcija se nadaljuje z organizacijo proizvodnih procesov in optimizacijo različnih faz vse do izvedbe in spremljanja celotnega proizvodnega procesa v livarni.

Po posvetu in načrtovanju projekta je poudarek na izdelavi prototipov tako s 3D-tiskanjem form kot z razvojem prototipnih orodij s strani izbranih proizvajalcev orodij. Zaradi teh možnosti je optimizacija kompleta jeder in sistema ulivanja mogoča ne le z računalniško simulacijo, temveč tudi z litjem in preskušanjem dejanskih ulitkov. Oblikovanje, proizvodnja, namestitve in preskušanje različnih orodij, potrebnih za proizvodne procese, so deli projekta, ki ga je mogoče izvesti v HA CoC. Takšen pristop omogoča optimizacijo procesa že dolgo pred uvedbo na strankini lokaciji in začetkom proizvodnje.

Druga pomembna storitev, ki jo zagotavlja HA CoC, je pregled in optimizacija procesa streljanja jedra, vključno z optimizacijo orodij in formulacijo peska. Na koncu lahko postopek nanosa premaza v celoti optimiziramo z izdelavo programa robotov in določitvijo parametrov premaza kot tudi optimalnih pogojev sušenja.

machine manufacturers with their technical capabilities.

If, for example, a new production line is being developed for a new product, it is helpful for the successful realisation of the project if the foundry, the machine manufacturers and the binder supplier are involved and accompany the project from the very beginning. Otherwise, precious time may be lost that is needed to find an optimal solution for the production of the casting. The HA CoC cooperation platform brings together all project stakeholders.

5 A Typical Course of a Project

The typical course of a project to develop a new casting (for example an engine block) includes two main types of services offered by HA and the HA CoC:

In the beginning, there is the consultancy service provided individually to the customers, which includes the analysis and development of the concept that takes into account elements such as productivity, environmental requirements, compatibility of alloy and binding system, availability of raw materials, etc. The consulting function continues in the organisation of the production processes and the optimisation of the different phases up to the implementation and monitoring of the entire production process in the foundry.

Following the consultation and planning of the project, the focus is on the construction of prototypes, both through the 3D printing of moulds and through the development of prototype tools with selected tool manufacturers. Because of these possibilities, optimisation of the core package and casting system is possible not only through computer simulation, but also through casting and testing of real castings. The design, production, installation, and

V posebnih izobraževalnih programih v HA CoC se lahko strankini zaposleni usposobijo tudi za vse proizvodne postopke, vključno z najmanjšimi detajli proizvodnega procesa.

Tako so tveganja livarne že ob začetku proizvodnje zmanjšana na najnižjo raven, pod pogojem, da so vsi parametri proizvodnega procesa v HA CoC vnaprej preskušeni in optimizirani.

Trenutni projekti v kompetenčnem centru HA se osredotočajo npr. na zmanjšanje emisij organskih veziv med proizvodnjo jeder, sušenjem, litjem in strjevanjem.

6 Usposabljanja

HA ponuja tri glavne programe usposabljanja. Dva sta namenjena lastnim zaposlenim, eden se izvaja v nemščini za lokalne zaposlene in eden v angleščini za zaposlene iz tujine. Ti interni programi, ki so jih razvili in jih vodijo produktni vodje, pokrivajo različne ravni znanja, od novincev za nelivarsko osebje (osebje, ki dela v oddelkih, kot so nabava, kadrovska služba, finance itd.) do temeljitega usposabljanja za na področju livarstva kompetentno inženirsko osebje kot tudi prodajnike s tehničnim znanjem ter kemijske inženirje iz oddelka za raziskave in razvoj. Mednarodni program usposabljanja podpirajo tudi produktni vodje, zasnovan pa je za mednarodne ekipe livarskih tehnikov in inženirjev.

Pod logotipom akademije HA Academy ponuja podjetje HA posebne programe usposabljanja za zaposlene strank.

V tem kontekstu velja omeniti primer programa za nemško livarno železa z naslovom »Kaj da in česa ne v postopku Cold-Box«, v katerem so se udeleženci naučili teoretičnih osnov ter opravili

testing of the various tools required for the production processes are part of the project that can be done in the HA CoC. This approach enables the optimisation of the process, long before the implementation at the customer's site and the start of production.

Another important service provided by the HA CoC is the review and optimisation of the core shooting process, including the optimisation of the tools and the sand recipes. Finally, the coating process can be fully optimised by creating the robots' program and determining the coating parameters and optimal drying conditions.

Through special training programs, the customer's employees are also trained in all production procedures, down to the finest details of the manufacturing process, at the HA CoC.

The result of this work is that the foundry's risks during the start of production are reduced to a minimum, provided that all parameters of the manufacturing process have been tested and optimised in advance in the HA CoC.

Current projects in the HA Center of Competence focus on e.g., the reduction of emissions of organic binders during core production, drying, casting, and solidification.

6 Training

HA offers three main training programs; two of them are for its employees, one in German for local employees, and one in English for employees coming from abroad. These internal programs, developed and held by the product managers, cover different levels of knowledge, starting from newcomers for non-foundry staff (staff working in departments such as procurement, human resources, finance, etc.) to high-end training for foundry-skilled technical service and

praktično usposabljanje na napravi za proizvodnjo jeder.

Še en primer uspešnega usposabljanja je livarna, ki proizvaja aluminijaste ulitke za avtomobilsko industrijo, ki se je odločila za prehod s tehnologije izdelave jeder iz organskega postopka Cold-Box na anorganski (IOB) proces Cordis. Usposabljanja so se udeležili nadzorniki proizvodnje in upravljavci strojev. Naloga osebja HA je bila pojasniti razlike med obema sistemoma in usposobiti osebje za nov postopek. To usposabljanje so podprli produktni vodje in osebje tehnične službe HA kot tudi tehniki iz podjetja Loramendi, dobavitelja opreme za izdelavo jeder. Upravljavci so se usposobili v razumevanju »skrivnosti« postopka in upravljanje opreme. Ob koncu tridnevnega usposabljanja so udeleženci prejeli certifikat »HA Academy«, ki predstavlja potrdilo o pridobljenem znanju. V program HA CoC je vključeno tudi usposabljanje, ki ga izvajajo dobavitelji livarske opreme za HA CoC, kot so Laempe, Wöhr, ExOne in drugi.

Kompetenčni center HA obiskujejo tudi študenti, kjer svoje teoretično znanje preizkusijo v praksi. Prav ta mešanica projektnega dela, analiz in preskusov ter izobraževanj je tisto, zaradi česar je HA CoC tako edinstven.

7 Uvajanje inovacij

Pri uvajanju novih izdelkov, kot je na primer nova glava valja ali nov blok motorja, v fazi prototipiranja vedno nastane ozko grlo. Livarne v okviru lastnih serijskih proizvodenj vseh vidikov ne morejo realizirati same. Tukaj na pomoč priskoči HA CoC. Za razvoj in izvedbo svojih projektov lahko stranke in partnerji uporabljajo HA CoC kot sodobno platformo za izdelavo prototipov, vse postopke v povezavi s proizvodnjo form in

sales engineers, as well as for chemists from the R&D department. The international training program is also supported by product managers and is designed for international teams of foundry technicians and engineers.

Under the HA Academy logo, HA offers special training programs for customers' employees.

In this context, the example of a program for a German iron foundry entitled "Do's and Don'ts in the Cold-Box Process" is worth mentioning, in which the participants learned both theoretical basics and completed practical training on the core shooter.

Another example of successful training is that of a foundry producing aluminium castings for the automotive industry, which had decided to change the core making technology from the organic Cold-Box to the inorganic (IOB) Cordis process. The trainees were production supervisors and machine operators. The HA staff's task was to explain the differences between the two systems and to train the staff for the new process. This training was supported by HA's product managers and technical service staff, as well as technicians from Loramendi, the supplier of the core-making equipment. The operators were trained to understand the "secrets" of the process and to operate the equipment. At the end of the three-day training, participants received an "HA Academy" certificate confirming the skills they had acquired. Training provided by foundry equipment suppliers to the HA CoC, such as Laempe, Wöhr, ExOne, and others, is also included in the HA CoC program.

Students also visit the HA Competence Centre to test their theoretical knowledge in practice. It is exactly this mix of project work, analyses, and tests as well as the training that make the HA CoC such a unique place.

jeder, od tradicionalnega svežega peska do najnovejše tehnologije 3D-tiskanja, pa tudi robotiko in recikliranje peska, kjer je mogoče nove ideje in optimizacije preizkusiti v dejanskih pogojih, dokler niso pripravljene za serijsko proizvodnjo.

Platforma je odprta za interdisciplinarno sodelovanje z različnimi igralci v livarski industriji, od ponudnikov programske opreme do proizvajalcev opreme in livarn, z namenom razvoja in implementacije novih inovativnih procesov za livarne.

Inovativno delo v HA CoC ima dolgoročne učinke. Projekti in inovacije pomagajo pri oblikovanju prihodnosti in iskanju odgovorov na pomembne izzive našega časa, kot je varstvo okolja.

S kompetenčnim centrom podjetje HA Hüttenes-Albertus dosledno nadaljuje inovativno zgodovino svojih ustanoviteljev. Spodbuja inovacije po vsem svetu ter si prizadeva biti in ostati najbolj inovativno podjetje in najboljši partner za livarsko industrijo po vsem svetu.

7 Pioneering innovation

When introducing new products, such as a new cylinder head or a new engine block, for example, there is always a bottleneck in the prototype phase. Foundries cannot realise everything itself during their series production. This is where the HA CoC can help. For the development and implementation of their projects, customers and partners can use the HA CoC as a modern, state-of-the-art platform for prototyping, for all mould and core production processes, from traditional green sand to the latest 3D printing technology, as well as robotics and sand recycling, where new ideas and optimisations can be tested under real conditions until they are ready for series production.

This platform is open to interdisciplinary collaboration with various players in the metal foundry industry, from software providers to equipment manufacturers and foundries, to develop and implement new innovative processes for foundries.

The innovative work in the HA CoC has long-term effects. The projects and innovations are helping to shape the future and to find answers to the important challenges of our time, such as environmental protection.

With the HA Center of Competence, Hüttenes-Albertus consistently continues the innovative history of its founding fathers, driving innovation worldwide, always aiming to be and remain the most innovative company and the preferred partner for the foundry industry worldwide.

Napredek pri litju jeklenih ulitkov s curkom kovine z izlivkom

Advances in the Pouring of Steel Castings with a Shrouded Metal Stream

Povzetek

Tanki oksidni filmi se na površini tekoče kovine hitro tvorijo, ko so izpostavljeni ozračju. Talino ščitijo pred nadaljnjo oksidacijo ali obogatitvijo s plinom. Vendar pa postanejo ti površinski filmi krhki in se trgajo, nato pa se ujamejo v talino. Temperature taljenja večine oksidnih filmov so veliko višje od temperature taline, zato ostanejo trdne, ko se strdijo. Ti filmi plavajo zaradi vzgonskih sil, saj imajo manjšo gostoto kot staljena kovina, vendar je ta proces počasen zaradi njihove izjemno majhne velikosti (merijo samo nekaj nanometrov, volumna skoraj nimajo). Oksidni bifilmi, ki nastanejo v običajnem postopku litja, se nimajo časa dvigniti na površino. Med postopkom litja se razvijejo in strdijo. Za te bifilme je značilna visoka površinska aktivnost, zato zrastejo v večje nekovinske aglomeracije med postopkom strjevanja. Livarne zvišajo temperaturo litja v upanju, da bodo plinski mehurčki in z njimi povezane nečistoče plavali, vendar povišana temperatura litja ni koristna za kakovost ulitkov in videz lite površine.

Abstract

Thin oxide films rapidly form on a liquid metal surface when exposed to the atmosphere. These protect the melt from further oxidation or gas enrichment. However, these surface films become brittle and tear and are then entrained in the molten metal. The melting temperatures of most oxide films are far greater than the temperature of the melt, so once formed they remain solid. These films float through buoyancy forces, as they have a lower density than molten metal, but this process is slow due to their extremely small size (just several nanometres having almost no volume). Oxide bi-films generated within the conventional molten metal casting process have no time to float. They unfurl and agglomerate during the casting process. These bi-films have high surface activity and grow into bigger non-metallic agglomerations as solidification advances. Foundries increase pouring temperature hoping gas bubbles and related impurities float, but an increased pouring temperature is not beneficial to castings quality and cast surface appearance.

1 Novi trendi pri optimizaciji oblikovanja ulitkov in zahtev glede kakovosti

Oblikovalci za simulacijo analize napetosti ter optimizacijo teže in oblikovanja ulitka uporabljajo napredno programsko

1 New Trends in Castings Design Optimization & Quality Requirement

Designers use advanced software to simulate stress analysis and optimise casting weight and design. Their aim is to increase strength by focusing on critical zones to

opremo. Njihov cilj je povečati trdnost z osredotočanjem na kritične predele, da bi dosegli največji izkoristek litja. Ta trend je kupce ulitkov prisilil v uvedbo strožjih zahtev kakovosti in nenehno premikanje ustaljenih tehnoloških mej z namenom uresničevanja zahtev. Češka livarna UNEX izdeluje ulitke »visoke vrednosti« za vodilne svetovno znane igralce v rudarstvu in v zemeljski industriji. Kritični predeli litja so se vedno pregledovali s preverjanjem magnetnih delcev (MPI – Magnetic Particle Inspection) ter z rentgenskimi in ultrazvočnimi metodami. Najnovejše zahteve glede kakovosti predstavljajo nove izzive, vključno z rentgenskim slikanjem I. stopnje za kompleksne ulitke iz ogljikovega jekla in nizkolegirane jekla z visoko trdnostjo, ki tehtajo tudi do nekaj ton. »Lasaste razpoke« (Slika 1a in 1b), razkrite z MPI, so na litih površinah v dolžino merile največ 2 mm, zaznane pa so bile po toplotni obdelavi in gašenju. To lahko vodi v obsežno in večkratno odstranjevanje napak in varjenje v več ciklih, dokler vse napake niso odpravljene; ko so odpravljene, pa lahko postanejo očitne druge napake. Postopek je drag in znatno zmanjša proizvodno zmogljivost. Celovita metalografska preiskava in preiskava z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) MPI je razkrila linearne napake, imenovane »lasaste razpoke«. Ugotovljeno je bilo, da je izvor teh napak povezan z bifilmi.

Nadaljnji izziv je zagotavljanje rentgenskih žarkov I. stopnje. Stranke zahtevajo potrditev 5 zaporednih ulitkov z rentgenskim slikanjem I. stopnje (II. stopnja samo za nekritična območja), preden so jih pripravljeni sprejeti brez popravila notranjih napak in odobriti proizvodnjo.

achieve maximum casting performance. This trend has forced casting buyers to increase the quality demand, constantly pushing conventional technological limits to meet them. The Czech foundry, UNEX, produces "high value" castings for world-known leaders, in the mining and earthmoving industry. Critical casting zones have always been inspected by Magnetic Particle Inspection (MPI), X-ray, and ultrasonic methods. The latest quality requirements provide new challenges including X-ray level I for complex castings in carbon steel and high strength low alloy steel weighing up to several tons. "Hairline cracks" (Figures 1a & 1b) revealed through MPI are limited to 2 mm length on cast surfaces, detected after heat treatment and quenching. This can require extensive and repeated defect removal and welding with several cycles until all defects are repaired; as these are repaired other defects became apparent. This process is expensive and significantly reduces production capacity. A comprehensive metallographic and Scanning Electron Microscope (SEM) investigation of MPI detected linear defects called "hairline cracks". The origin of these defects was found to be bi-film-related.

A further challenge is achieving X-ray level I. Customers require level I X-ray (Level II just for non-critical zones) on 5 castings following each other in production to be accepted without internal defect repair to achieve production approval.

2 Principle of Bi-Film Formation

The surface tension of molten low alloy and carbon steel is approximately 20-25 times greater than the surface tension of water at room temperature and is affected by many parameters including chemical composition, temperature, etc. However,

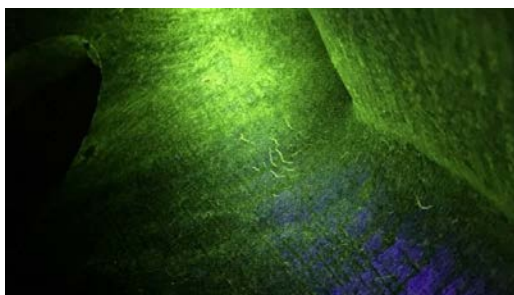
2 Načelo nastajanja bifilmov

Površinska napetost staljenega nizkolegiranega in ogljikovega jekla je pri sobni temperaturi približno 20 do 25-krat večja od površinske napetosti vode, nanjo pa vplivajo številni parametri, vključno s kemično sestavo, temperaturo itd. Vendar pa je viskoznost staljenega nizkolegiranega in ogljikovega jekla skoraj enaka viskoznosti vode pri sobni temperaturi.

Zaradi te podobnosti se voda po vsem svetu uporablja za simulacijo vedenja toka

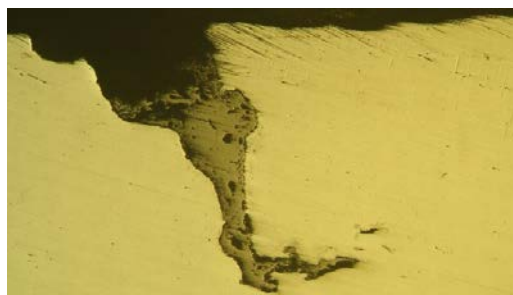
the viscosity of molten low alloy and carbon steel is nearly identical to water viscosity at room temperature.

Due to this similarity, water modeling is used worldwide to simulate the flow behaviour of molten metal. The principle of air entrainment into liquid metal and bi-film formation is affected by the molten metal surface tension and velocity. The molten metal surface is covered by an oxide film including the metal in the pouring cup. The air from the meniscus of both oxide films gets entrained into the metal and bi-



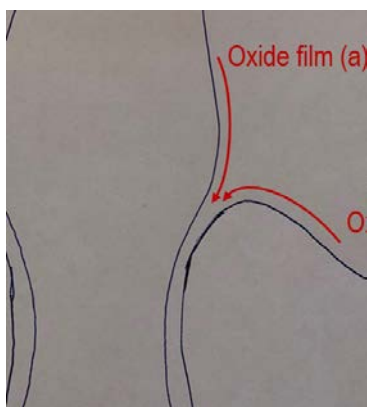
Slika 1a. Lasaste razpoke na liti površini nizko legiranega jekla

Figure 1a. Hairline cracks on cast surface of low alloy steel



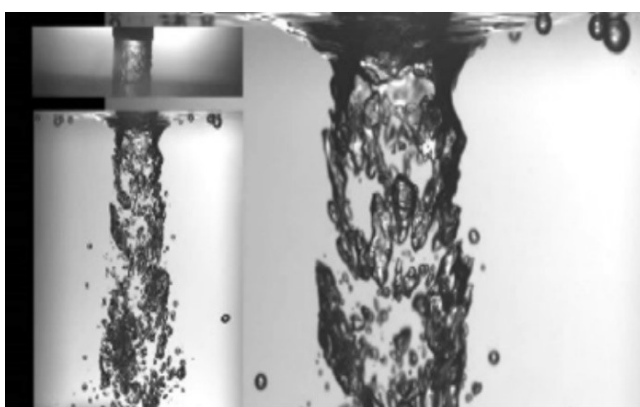
Slika 1b. Navpični prerez lasaste razpoke, 100-kratna povečava

Figure 1b. Vertical section of this hairline crack Mag.100x



Slika 2a. Načelo zajemanja zraka in tvorbe bifilma

Figure 2a. Air entrainment and bi-film formation principal



Slika 2b. Mehanizem zajemanja zraka [1]

Figure 2b. Air Entrainment Mechanism [1]



Slika 2c. Izpuščanje povzroči zajem zraka in nastanek bifilmov

Figure 2c. Tapping causes air entrainment and bi-films

kovinske taline. Na načelo zajemanja zraka v talino in tvorbo bifilma vplivata površinska napetost in hitrost taline. Površina taline je prekrita z oksidnim filmom, vključno s kovino v livarskem loncu. Zrak iz meniskusa obeh oksidnih filmov se ujame v kovino, kar vodi v nastanek bifilmov, kot je prikazano na Sliki 2a. Ta proces podrobno prikazuje modeliranje z vodo (Slika 2b) [1].

Enako načelo zajemanja zraka in tvorbe bifilma v procesu litja velja tudi za kovino, ki se v lonec izpušča iz talilne peči. Slika 2c prikazuje izpuščanje kovine iz EAF in Slika 2d prikazuje modeliranje z vodo, za katerega je značilna visoka stopnja zajemanja zraka. Prepihanje z argonom skozi odzračevalni čep (PP) na dnu lonca, optimalen čas več kot 10 minut, omogočata odstranitev določene količine vključkov in bifilma. Koristil bi tudi učinkovitejši postopek čiščenja kovine v loncu, vendar se ta prispevek osredotoča izključno na postopek litja.



Slika 2d. Modeliranje procesa izpuščanja z vodo

Figure 2d. Water modelling of tapping process

films are produced as shown in Figure 2a. Water modeling shows this process in detail (Figure 2b) [1].

The same principle of air entrainment and bi-film formation within casting process is applicable for metal being tapped into the ladle from the melting furnace as well. Figure 2c shows metal tapping from an EAF and Figure 2d shows water modelling displaying high levels of air entrainment. Argon purging through a purge plug (PP) is installed at the ladle bottom for optimally more than 10 minutes provides some inclusions and bi-film removal. More efficient metal cleaning process at the ladle will be of advantage but this paper is focused to casting process only.

3 Air Entrainment and Bi-Film Effect to Castings Quality

Entrained air is compressible and changes its volume through temperature and pressure variations inside the casting's cavity. Floating and expanding air bubbles leave oxide bi-film trails behind contaminating molten metal as described

3 Učinek zajemanja zraka in bifilma na kakovost ulitka

Zajeti zrak je stisljiv, njegova prostornina se spreminja z nihanjem temperature in tlaka v votlini ulitka. Plavajoči zračni mehurčki, ki se širijo, za seboj puščajo oksidne bifilmske sledi, ki onesnažujejo talino, kot je podrobno opisal profesor John Campbell [2] (Slika 3a). Skupke oksidnih bifilmov najdemo na mejah dendritov, ki ločijo primarna kovinska zrna, kar znatno poslabša mehanske lastnosti ulitkov. Bifilmi lahko med strjevanjem sprožijo nastanek razpok v vročem in delujejo kot nukleacijska mesta za tvorbo nekovinskih vključkov in izcejanje elementov, ki se izločajo na mejah zrn, kot so žveplo, ogljik in drugi. Diskontinuitete kovinske matrice bodo med toplotno obdelavo in gašenjem vodile v nastanek razpok v vročem kot tudi »lasastih razpok«. Bifilmi vsebujejo tudi votline s preostalimi atmosferskimi plini, ki se med končno stopnjo strjevanja brez tlaka napihnejo, zato jih ni mogoče pravilno napajati, saj bo gobasta kovina med skorajšnjo strditvijo omejila razdalje napajanja (Slika 3b). Ultrazvočni valovi ne prehajajo skozi takšne prizadete dele, čeprav niso vidni, ko se napake popravijo.

4 Izlivek za zaščito curka kovine za izboljšanje kakovosti ulitkov

Za zaščito taljenega jekla pred vdorom zraka in nastankom bifilma med postopkom litja je bil izlivek HOLLITEX razvit za soočanje z vedno strožjimi standardi kakovosti litja in zahtevami po hitrejši dobavi. Novi postopek z izlivkom se uporablja v livarnah, ki izpolnjujejo najnovejše standarde H&S, in se razlikuje od izlivka lonca v jeklarnah, ki se upravljajo z uporabo robotskih manipulatorjev. Livarne potrebujejo

in detail by professor John Campbell [2] (Figure 3a). Oxide bi-film galaxies are found at dendrite boundaries, these disconnect primary metallic grains from each other limiting the castings mechanical properties significantly. Bi-films can initiate hot tearing during solidification and act as nucleation for non-metallic inclusions formation and segregation of elements precipitated at grain boundaries such as sulfur, carbon, and others. Metallic matrix discontinuities will allow hot tearing and the formation of "hairline cracks" during heat treatment and quenching. Bi-films also contain cavities with residual atmospheric gases which inflate during the final unpressurised solidification stage, they cannot be fed properly as mushy metal approaching solidification will limit feeding distances (Figure 3b). Ultrasonic waves do not pass through such affected sections although they are not visually apparent when the defects are repaired.

4 Shroud Metal Stream Protection to Improve Castings Quality

To protect molten steel from air entrainment and bi-film formation during the casting process, the HOLLITEX Shroud, has been developed to meet the increasing casting quality standards and faster delivery requirements. The new shrouding process is applicable at foundries meeting the latest H&S standards and differentiates itself from ladle shrouds in steel plant applications which are operated using robotic manipulators. Foundries require the ability to cast several moulds from the pouring ladle. They also demand a safe, quick, and flexible way to operate a shroud system; having the shroud fixed to the ladle is not considered to be safe and practical for foundry use. The HOLLITEX Shroud



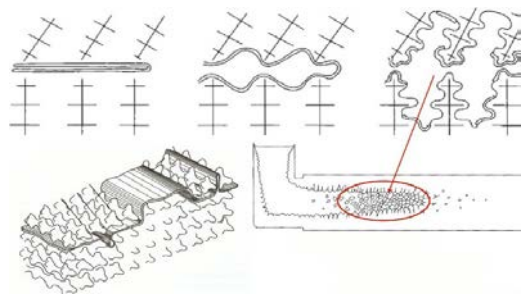
Slika 3a. Sledi mehurčkov in bifilma na zadnji strani

Figure 3a. Air bubbles and bi-film trails behind

možnost litja iz livnega lonca v več form. Prav tako potrebujejo varen, hiter in fleksibilen način upravljanja sistema izlivka; če je izlivek nameščen na lonec, namreč ne omogoča varne in praktične uporabe v livarstvu. Izlivek HOLLOTEX izpolnjuje te zahteve. Nameščen je v formi in dvignjen proti šobi lonca z uporabo preprostega, učinkovitega in zanesljivega mehanskega bajonetnega dviznega sistema.

5 Namestitev izlivka in načelo delovanja

Izlivek HOLLOTEX (Slika 4a in b) sestavlja šoba s polkroglastim izhodom, brezšivno tesnilo in izlivek za litje, ki je v že sestavljeno formo vstavljen skozi filtrsko škatlo, ki je nameščena v formi na dnu ulitka. Postopek namestitve se začne s filtrsko škatlo in namestitvijo razdelilnega sistema v spodnji del forme (Slika 5a). Zgornji del forme je oblikovan tako, da obsega luknjo za izlivek in utor na vrhu forme za lociranje kovinskega dviznega sistema. Dvižni sistem je nameščen v ta predhodno oblikovan utor tik preden je okvir zgornjega dela forme pripravljen za sestavljanje (Slika 5b).



Slika 3b. Bifilm med mejami zrn in nastajanje mikro poroznosti [1]

Figure 3b. Bi-film among grain boundaries and micro porosity formation [1]

meets these requirements, it is positioned in the mould and lifted towards the ladle nozzle using a simple, efficient and reliable mechanical bayonet lifting system.

5 Shroud Installation and Operation Principal

The HOLLOTEX Shroud (Figures 4a & b) consists of a nozzle with a hemispherical outlet, a seamless sealing gasket, and a pouring shroud inserted through an already assembled mould into the filter box, which is installed in the mould at the base of the casting. The installation process begins with the filter box and the running system assembly being moulded in the drag (Figure 5a). The cope is moulded to incorporate a hole for the shroud and a groove in the top of the mould to locate the metallic lifting system. The lifting system is installed into this pre-moulded groove just before the cope moulding box is ready for assembly (Figure 5b). The cope and drag boxes are clamped together and the shroud is inserted through the mould cavity into the filter box at the base of the casting (Figure 6a). A sealing gasket is applied to



Slika 4a.
Sestav izlivka
HOLLOTEX

Figure 4a.
HOLLOTEX
Shroud set
assembly



Slika 5a. Filtrska škatla in namestitev razdelilnega sistema v spodnjem delu forme

Figure 5a. Filter box and running system installation in drag



Slika 5b. Bajonetni dvižni sistem na vrhu forme

Figure 5b. Bayonet lifting system on the top of the mould

Okvirja zgornjega in spodnjega dela forme se vpneta skupaj, izlivek pa se skozi votlino forme vstavi v filtrsko škatlo na dnu ulitka (Slika 6a). Tesnilo se na polkroglasti vhod izlivka namesti tik pred pozicioniranjem livnega lonca. Bajonetni dvižni sistem se upravlja ročno s kovinskimi ročaji, s katerimi

the hemispherical shroud's inlet just before the pouring ladle is positioned. The bayonet lifting system is operated manually by metallic handles rotating it around a vertical axis lifting the shroud inside it towards the nozzle installed in the ladle (a cam system). This lifting system is self-locking, so once



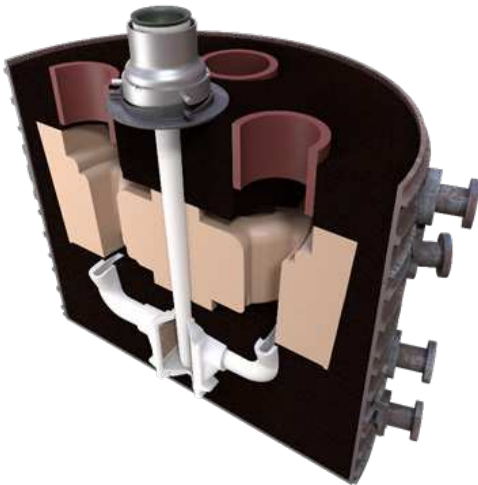
Slika 6a. Vstavljanje izlivka HOLLOTEX v sestavljeno formo

Figure 6a. HOLLOTEX Shroud insertion into the assembled mould



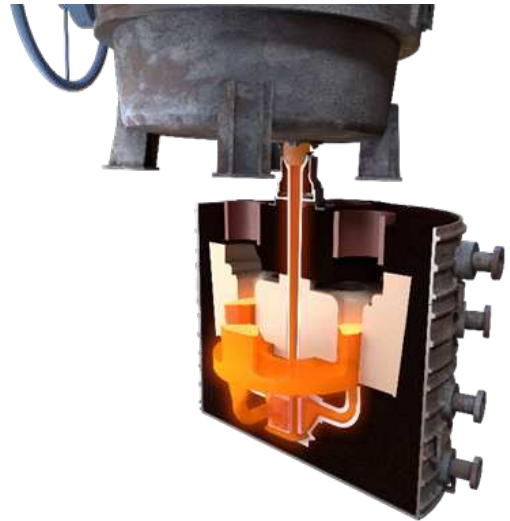
Slika 6b. Litje kovine skozi izlivek HOLLOTEX

Figure 6b. Metal casting through HOLLOTEX Shroud



Slika 7a. Izlivek HOLLOTEX, uporabljen v formi

Figure 7a: HOLLOTEX Shroud system applied in the mould

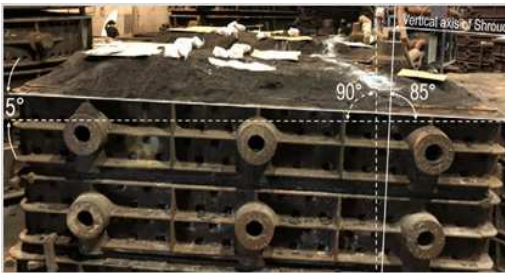


Slika 7b. Izlivek HOLLOTEX med litjem

Figure 7b. HOLLOTEX Shroud system during the pouring

se vrti okoli navpične osi in ki izlivek v notranjosti dviguje proti šobi, nameščeni v loncu (odmični sistem). Ta dvižni sistem se zapira samodejno, da lahko upravljavec

twisted and sealed, the ladle operator can start pouring without physically holding it within the casting process (Figure 6b). The hemispherical nozzle is self-centering so



Slika 8a. Izlivek HOLLOTEX omogoča tudi litje v forme v smeri navzgor

Figure 8a. The HOLLOTEX Shroud allows to cast moulds uphill as well



Slika 8b. Lonec v položaju. Pripravljen je za sukanje bajoneta z jeklenimi palicami in povezovanje izlivka s šobo

Figure 8b. Ladle in position. Ready to twist bayonet by steel bars and connect shroud to the nozzle

lonca, ko je sistem zvit in zatesnjen, začne z litjem, ne da bi med postopkom dvigni sistem dejansko držal (Slika 6b). Polkroglasta šoba se centrira samodejno, zato je mogoče zagotoviti tesnjenje, tudi če položaj lonca ni popolnoma poravnan nad izlivkom HOLLOTEX. Izlivek dovaja staljeno kovino v filtrsko škatlo brez zajemanja zraka in oksidacije kovine (Slika 7a). Filtrska škatla je zasnovana tako, da prepreči brizganje kovine na začetku litja in nato staljeno kovino skozi filtre STELEX ZR ULTRA razporedi v votlo keramično posodo, ki tvori dovodni sistem (Slika 7b). Izlivek je zožen konično, da omogoča polnjenje s kovino in vzdrževanje podtlaka v lijaku. Med razvojem je bil izlivek najprej ovrednoten v globalnem raziskovalnem in razvojnem središču FOSECO s sedežem v Enschedeju na Nizozemskem, z namenom, da bi dokazali funkcionalnost koncepta in zagotovili, da so pred nadaljevanjem s preskusi v proizvodnji v livarni UNEX obravnavani vsi povezani zdravstveni in varnostni vidiki.

Izlivek HOLLOTEX je uporaben tudi za nagnjene forme, v katere se lije v smeri navzgor ali ki so postavljene na neravno površino v livarni, saj ga je mogoče varno

even if the ladle position is not perfectly aligned over the HOLLOTEX Shroud a seal can be achieved. The Pouring shroud delivers the molten metal into the filter box without air entrainment and metal oxidation (Figure 7a). The filter box is designed to eliminate metal splashing at the beginning of pouring and then distributes molten metal through STELEX ZR ULTRA filters into the ceramic hollowware which forms the gating system (Figure 7b). The shroud is tapered to ensure it fills with metal and keeps the sprue system pressurised. During development, the Shroud was first evaluated in the FOSECO global Research and Development centre based at Enschede in the Netherlands to prove the functionality of the concept and to ensure all related health and safety aspects were addressed before progressing to production trials at the UNEX foundry.

The HOLLOTEX Shroud system is also applicable for inclined moulds being cast uphill or simply placed on an uneven foundry and is safely connectible to the ladle nozzle despite not always being installed perfectly upright. It can also be used even if the ladle is not perfectly aligned above the Shroud (Figures 8a & b).

povezati s šobo lonca, čeprav ni vedno nameščen v popolnoma pokončnem položaju. Uporablja se lahko tudi, če lonec ni popolnoma poravnán nad izlivkom (Slika 8a in b).

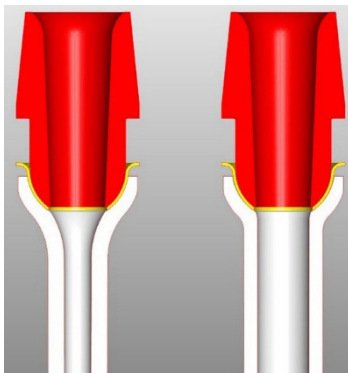
6 Študija primera: mali planetarni nosilec

Za prvi preskus izlivka HOLLOTEX za proizvodnjo komercialnih ulitkov je bil izbran planetarni nosilec iz nizko legiranega jekla z visoko trdnostjo (G 42CrMo4 QT) z lito maso 750 kg. Zgornji del spodnje prirobnice (debeline 16 mm) je bil izpostavljen linearnemu kopičenju napak »lasasta razpoka« na območju z omejenim dostopom za varjenje. Taljenje je potekalo v srednjefrekvenčni indukcijski peči s kapaciteto 4 t. Iz livnega lonca s čepom na dnu je bilo ulitih pet ulitkov z maso 5 t. Čas litja je bil med 20 in 24 s. Premer izhoda šobe in izlivka je bil 80 mm oziroma 35 mm. Ta tehnologija izlivka HOLLOTEX omogoča uporabo univerzalnega premera šobe za katero koli velikost ulitka; hitrost toka kovine določa premer izhoda izlivka plašča in ni odvisna od premera šobe (Slika 9a in b). To pomeni, da je mogoče majhne kot tudi težke ulitke liti iz istega lonca.

6 Case Study: Small Planet Carrier

A planet carrier made from low alloy high strength steel (G 42CrMo4 QT), poured weight 750 kg, was selected for the first HOLLOTEX Shroud trial for commercial castings. The upper part of the lower flange (thickness 16 mm) suffered from linear "hairline crack" defect accumulations in an area with limited access for welding. Melting was undertaken using a medium frequency 4 t capacity induction furnace. Five castings were poured from a stopper operated bottom-pour ladle, with a capacity of 5 t. The pouring time was between 20- 24 s. The nozzle and shroud outlet diameters were 80 and 35 mm respectively. This HOLLOTEX Shroud technology enables the use of a universal nozzle diameter for any casting size; the metal flow rate is determined by the shroud outlet diameter and is not dependent on the nozzle diameter (Figure 9a & b). This means that small and heavy castings can be poured from the same ladle.

Defects found on MPI were almost eliminated when comparing the shrouded casting to the conventional method (Figures 10a & 10b). The shrouded castings successfully passed the X-ray Level I and ultrasonic inspection. A specimen from

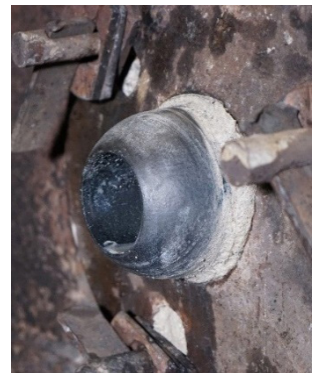


Slika 9a. Univerzalna šoba za vse velikosti izlivkov

Figure 9a. The universal nozzle for any Shroud size

Slika 9b. Šoba, nameščena v loncu, pripravljena na uporabo

Figure 9b. Nozzle installed at the ladle ready to use

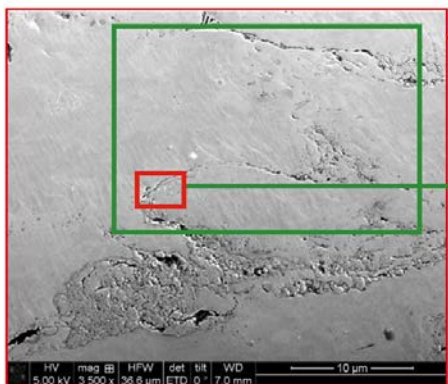




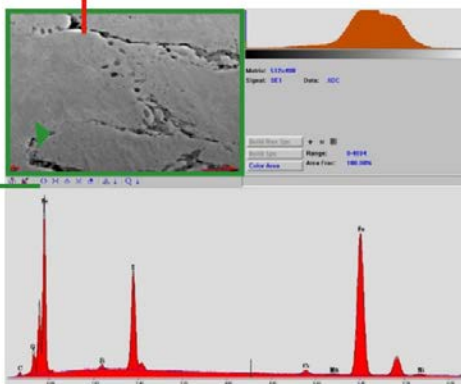
a.



b.



c.



d.

Slika 10a. Ulitek z izlivkom
Figure 10a. Shrouded casting

Slika 10b. Konvencionalno litje
Figure 10b. Conventionally cast

Slika 10c. Posnetek SEM lasasta razpoka z univerze Saarbrücken
Figure 10c. SEM of hairline crack from Saarbrücken University

Slika 10d. Analiza EDX je razkrila prisotnost O, Fe, Ni, Si, S, Cr, Mn
Figure 10d. EDX analysis showed O, Fe, Ni, Si, S, Cr, Mn presence

Če litje z izlivkom primerjamo s konvencionalnim litjem, so bile napake, ugotovljene z MPI, skoraj odpravljene (Slika 10a in 10b). Ulitki, izdelani z izlivkom, so uspešno prestali pregled I. stopnje ter ultrazvočni pregled. Vzorec iz konvencionalno litega nosilca za preiskavo SEM je bil odvzet na univerzi SAARBRÜCKEN v Nemčiji. Zaznane so bile kompleksne tvorbe sekundarne žilindre, ovite v tanke oksidne filme (Slika 10c in d). Nekatere so bile pritrdene na površino ulitka, druge pa so našli skrite več milimetrov pod površino, zato jih je bilo težje zaznati tudi z DC-MPI. Te napake običajno najdemo po varjenju predhodno odkritih napak. Nahajajo se blizu kristalnih meja zrn, vendar so zaradi ujetih bifilmov ločene. To vodi do ponavljajočih se ciklov pregledov MPI in varjenja.

a conventionally cast carrier was taken for SEM investigation at Saarbrücken University, Germany. Complex formations of secondary slag wrapped in thin oxide films were detected (Figures 10c & d). Some were attached to the casting surface, but others were found hidden several millimetres under the surface making them difficult to detect, even with DC-MPI. These defects are usually found following welding of previously detected defects. They are near the crystalline grain boundaries but disconnected due to entrained bi-films. This leads to repeated MPI inspection and welding cycles.

7 Študija primera: težki planetarni nosilec

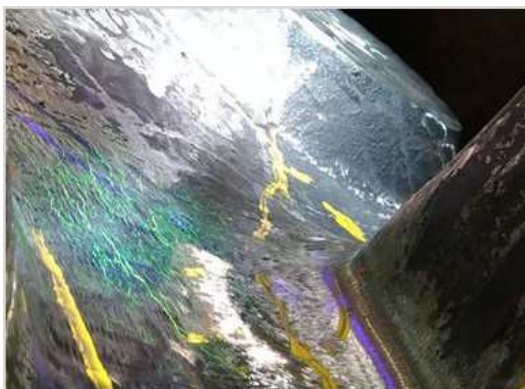
Po teh spodbudnih rezultatih je bil za nadaljnje poskuse uporabljen težji planetarni nosilec z lito maso 2500 kg, izdelan iz istega nizko legiranega jekla z visoko trdnostjo. Ti ulitki so bili veliko debelejši in imajo eksponentno daljši čas strjevanja, zaradi česar lahko bifilmi in vključki splavajo, se razvijejo in nakopičijo pod površino (v globini 5–12 mm). Gašenje kot končni postopek toplotne obdelave zaradi bifilmskih ostankov sproži napetost in loči meje zrn, zaradi česar ne prestande pregleda MPI. Varjene dele je treba kaliti, kar poslabša končne mehanske lastnosti. Taljenje je potekalo v električni obločni peči (EAF); talina je bila prenesena v lonec za litje z dna s kapaciteto 8,5 t.

Ustaljena praksa predvideva uporabo prepihanja z argonom skozi odzračevalni čep (PP), nameščen na dnu lonca. Temperatura kovine se ne meri med postopkom litja, ampak med prepihanjem z argonom. Ta postopek se nadaljuje, dokler kovina ne doseže zahtevane temperature, ko se lonec prenese v območje litja,

7 Case Study: Heavy Planet Carrier

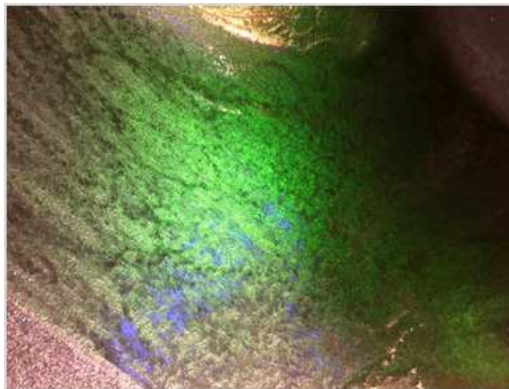
Following these encouraging results, a heavier planet carrier, poured weight 2500 kg produced in the same low alloy high strength steel, was used for further trials. These castings were much thicker having an exponentially longer solidification time which allows bi-films and inclusions to float, unfurl, and accumulate beneath the surface (5-12 mm deep). Quenching as the final heat treatment operation initialises stress and disconnects grain boundaries through bi-film residuals causing them to fail on MPI. The welded parts must be tempered which decreases the final mechanical properties. Melting was undertaken in an Electric Arc Furnace (EAF); the molten metal was transferred to an 8.5 t capacity bottom-pour ladle.

The conventional practice uses argon purging through a purge plug (PP) fitted in the base of the ladle. The metal temperature is not measured during the pouring process but is measured during argon purging. This process continues until the metal reaches the required temperature and the ladle is transferred to the pouring area, the mould



Slika 11a. Lasaste razpoke zaradi turbulentnega polnjenja forme

Figure 11a. Hairline cracks from turbulent mould filling



Slika 11b. Ista površina z zaprtim stožčastim izlivkom

Figure 11b. The same surface with choked conical shroud

postopek litja v formo se začne v 5–6 minutah po odklopu argona. Potrebna temperatura ob odklopu argona za običajne lite planetarne nosilce skozi keramične penaste filtre je bila 1575–1580 °C.

Pri tej temperaturi smo vlili prve ulitke z izlivkom (premer izhoda izlivka 70 mm). Čas litja je bil v območju 20–24 s, tj. bistveno krajši čas kot pri običajni proizvodnji (40–60 pri litju iz šobe premera 90 mm). Najverjetnejši razlog za to počasno hitrost konvencionalnega litja je, da upravljavci lonca med prelivanjem s čepom omejujejo hitrost litja, da bi preprečili prelivanje in poškodbe zaradi brizganja kovine. Prvi preskus uporabe izlivka v proizvodnji teh težjih planetarnih nosilcev je povezan z izboljšanjem zdravja in varnosti ter doslednosti z vidika časa litja, saj se čep med postopkom litja popolnoma odpre. Proti pričakovanjem MPI ni razkril pomembnega zmanjšanja nastajanja lasastih razpok (Slika 11a). Vzrok je verjetno visoka hitrost litja, ki je povzročila turbulentno polnjenje forme.

Da bi odpravili reoksidacijo kovine, povezano z turbulentnim litjem, je bila votlina forme z argonom napolnjena tik pred naslednjim preskusom izlivka. Rezultati pa se niso izboljšali kljub temu da se je raven kisika v formi zmanjšala z 20,9 % na 0,3 % glede na meritve z detektorjem kisika Greisinger GOX 100; meritev je bila izvedena tik pred odprtjem čepa. Ko se je začelo vlivanje, je argon hitro izginil iz forme. Detektor je v prvih 2 s litja izmeril raven kisika 15,8 %. Ta preskus je bil z enakimi rezultati ponovljen na več formah, izmerljivo zmanjšanje napak MPI pa ni bilo zagotovljeno.

Da bi odpravili turbulenco med polnjenjem forme, je bil izlivek preoblikovan tako, da je imel izhod premera 45 mm. Cilj je bil zmanjšati tok kovine in ohraniti celoten sistem pod tlakom med celotnim

pouring process starts within 5-6 minutes from argon disconnection. The temperature requirement at argon disconnection for conventional cast planet carriers, through ceramic foam filters, was 1575-1580 °C.

The first shrouded castings (70 mm diameter shroud outlet) were poured at this same temperature. The pouring time was in the range of 20-24 s, this is significantly faster than conventional production (40-60 s cast from a nozzle diameter of 90 mm). The most probable reason for this slow conventional pouring is ladle operators throttling the stopper during pouring to avoid metal overflow and metal splashing injuries. The first shroud test of these heavier planet carriers demonstrated a Health and Safety improvement and consistency in pouring time due to the stopper being fully opened during the casting process. Unexpectedly MPI did not show a significant reduction in hairline crack formation (Figure 11a). Rapid pouring speed causing turbulent mould filling was suspected to be the cause.

To eliminate metal re-oxidation associated with turbulent pouring, the mould cavity was filled with argon just before the next shroud test. The results, however, were not improved despite the oxygen level within the mould being reduced from 20.9 % to 0.3 % according to the Greisinger GOX 100 oxygen detector measured just before the stopper opening. Argon disappeared from the mould quickly once pouring commenced. The detector showed an oxygen level of 15.8 % within the first 2 s of pouring. This test was repeated with the same results on more moulds which did not provide measurable MPI defects reduction.

To eliminate the mould filling turbulence, the shroud was redesigned to give an outlet diameter of 45 mm. The aim was to reduce the metal flow rate and keep the whole system pressurised during the whole casting process and provide laminar

procesom litja ter zagotoviti laminarni tok zlasti na začetku polnjenja forme. Temperatura kovine v loncu na koncu prepihanja z argonom je bila znižana na 1550 °C, čas litja je bil v območju 40–45 s. Z nameščanjem penastih filtrov v filtrsko škatlo ni bilo težav in po izstresanju so ulitki še vedno imeli tanko kovinsko brado na ločni liniji, kar kaže, da bi bilo mogoče še nadaljnje znižanje temperature litja. MPI je razkril linearne napake v kritičnih območjih, ki so večinoma sprejemljive dolžine 2 mm (Slika 11b), z rentgenskim in ultrazvočnim pregledom pa je bilo ugotovljeno, da so ti ulitki skladni s I. stopnjo. Da bi potrdili rezultate, je bil preskus izlivka razširjen na večjo serijsko proizvodnjo, temperatura kovine po prepihanju z argonom se je dodatno znižala na 1530 °C. Čim nižja temperatura litja je bila namenjena zmanjšanju razpok v vročem, ki nastanejo zaradi linearnega krčenja med procesom strjevanja. Tako nizka temperatura litja zaradi zvarov v hladnem in neustreznih ulitkov ni uporabna za običajen postopek litja, vendar pa je primerna ob uporabi izlivka HOLLOTEX. Ko je bila šoba priključena na izlivek HOLLOTEX, med postopkom litja ni bilo težav z zmrzovanjem kovine, vendar pa je bilo litje posameznih preskusnih blokov težavno zaradi zmrzovanja kovine na izstopu šobe. Kasneje so bili preskusni bloki integrirani z ulitki, tako da je hkrati potekalo litje skozi več izlivkov. Na podlagi teh rezultatov je bil izlivek uveden v redno serijsko proizvodnjo teh ulitkov in uspešno je bilo ulitih že več kot 100 kosov, kar zagotavlja zelo konstantne rezultate z vidika MPI in rentgenskih posnetkov. Izlivek HOLLOTEX se sedaj uspešno uporablja v proizvodnji še težjih planetarnih nosilcev (3500 kg lite teže).

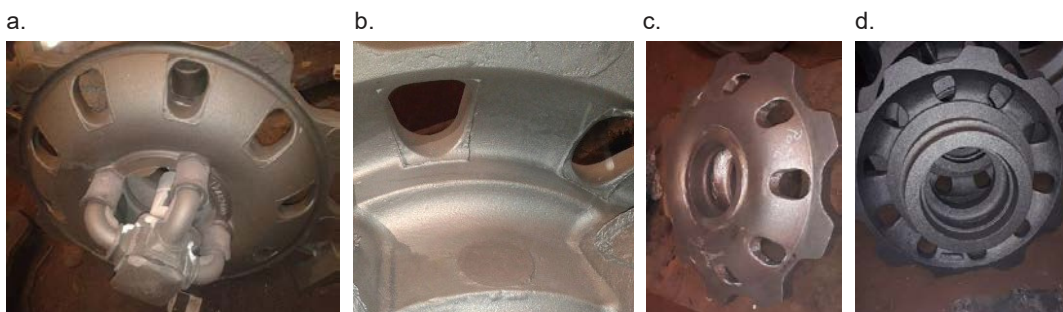
flow, especially at the beginning of mould filling. The metal temperature at the end of the argon purging in the ladle was reduced to 1550 °C, the subsequent pouring time was in the range of 40–45 s. There were no problems with foam filters filter priming in the filter box, and after shake-out, the castings still had a thin metal flash at the parting line indicating further pouring temperature reduction would be possible. MPI found linear defects in critical zones being mostly in the accepted length of 2 mm (Figure 11b) and X-ray and ultrasonic inspection found those castings acceptable according to Level I. The shroud trial was extended to a bigger serial production to confirm results, metal temperature after argon purging was further reduced to 1530 °C. A minimal pouring temperature was targeted to reduce hot tearing defects caused by a linear contraction within the solidification process. Such a low pouring temperature does not apply to a conventional pouring process due to cold shut and misrun parts but using the HOLLOTEX Shroud is possible. There were no metal freezing issues within the casting process when the nozzle was connected to the HOLLOTEX Shroud, however, pouring of the separate test blocks was problematic due to metal freezing at the nozzle outlet. Subsequently, test blocks have been integrated with the castings so they are poured through the shroud at the same time. Based on these results, the shroud was implemented into regular serial production of those castings and more than 100 pieces have already been cast successfully providing very constant in terms of MPI, and X-ray results. The HOLLOTEX Shroud has now been implemented into the production of even heavier planet carriers (3500 kg poured weight) successfully.

8 Študija primera: pesto koles rudarskega tovornega vozila

Uporabljen je bil material GS-22 NiMoCr 56. Lita masa je bila 1200 kg. Taljenje v EAF. Prepričevanje z argonom skozi PP je bilo izvedeno v loncu, trajalo pa je 5–6 minut. Uporabljen je bil izhodni premer izlivka 35 mm. Pri temperaturi litja 1560–1570 °C je bil dosežen čas litja 35–40 s. Šest ulitkov je bilo ulitih iz enega lonca, kar dokazuje, da se tehnologija izlivka lahko uporablja na seriji ulitkov (Slika 12a in b). Ulitki so uspešno prestali ultrazvočni pregled skoraj brez zaznanih napak MPI, skozi proizvodni proces so potovali brez zamud in dodatnih stroškov obdelave (Slika 12c in d).

8 Case Study: Mining Truck Wheel Hub

The Material used was GS-22 NiMoCr 56. Poured weight is 1200 kg. Melting is undertaken in an EAF. Argon purging through PP was performed in the ladle for 5-6 minutes. A shroud outlet diameter of 35 mm was used. At a pouring temperature of 1560-1570°C, a pouring time of 35-40 s was achieved. Six castings were poured from one ladle proving shroud technology can be used on a series of castings (Figures 12a & b). The castings passed ultrasonic inspection successfully with almost no MPI detected defects and passed through the production process with no delay and additional rework expenses (Figure 12c & d).



Slika 12 a. Pesto koles z izlivkom HOLLLOTEX

c. MPI po gašenju

b. Zgornja površina ulitka po peskanju

d. Zgornja površina po ultrazvočni preiskavi in pregledu MPI

Figure 12 a. Wheel hub with HOLLLOTEX Shroud

b. Upper casting surface after shot blasting

c. MPI after quenching

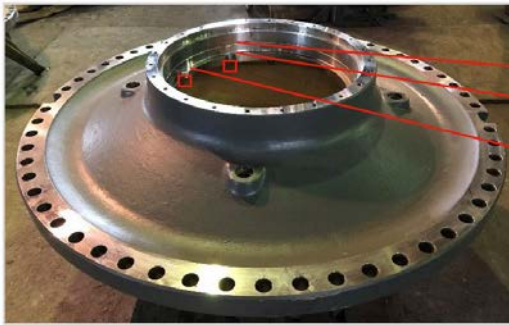
d. Upper surface after ultrasonic and MPI inspection

9 Študija primera: pesto koles težkega rudarskega tovornega vozila

Uporabljen material je bil GS-22 NiMoCr 56, lita masa 3000 kg. S konvencionalnimi postopki proizvedeni ulitki so imeli veliko napak na zgornji in notranji površini pod jedrom, odkritih z MPI. Te napake so zahtevale obsežno varjenje in ponovni pregled, najbolj kritične pa so bile majhne napake, odkrite med končno obdelavo, ki je

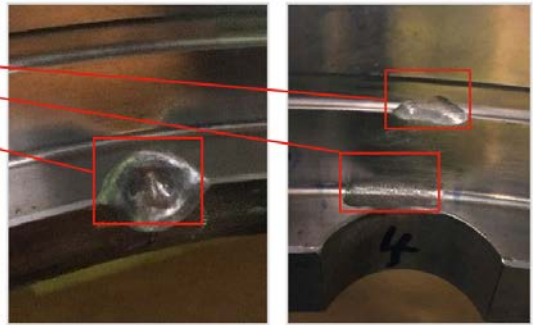
9 Case Study: Heavy Mining Truck Wheel Hub

The material used was GS-22 NiMoCr 56, poured weight 3000 kg. Conventionally produced castings suffered from large defects revealed by MPI on the upper and internal surface under the core. These defects required extensive welding and repeated inspection, the most critical were small defects revealed during final



Slika 13a. Napake po končni strojni obdelavi

Figure 13a. Defects after final machining



Slika 13b. Odstranjevanje napak in varjenje

Figure 13b. Defect removal and welding



Slika 13c. Litje z izlivkom HOLLOTEX

Figure 13c. Casting with HOLLOTEX Shroud



Slika 13d. Ulitek po pregledu MPI

Figure 13d. Casting after MPI inspection

privedla do zavrnitve ulitkov (Slika 13a in b). Izlivek HOLLOTEX z zunanjim premerom 45 mm je bil uporabljen na 5 ulitkih (Slika 13c). Taljenje je potekalo v EAF, sledilo je naknadno prepihanje z argonom skozi PP v loncu, ki je trajalo 10 minut. Temperatura litja je bila 1550–1560 °C in čas litja je bil v območju 45–50 s. Peščeni vključki, mehurčki in indikacije MPI so bili skoraj odpravljeni (Slika 13d).

machining which led to external castings rejects (Figure 13a & b). A HOLLOTEX Shroud with a n outer diameter of 45 mm was implemented on 5 castings (Figure 13c). Melting was carried out in an EAF and subsequent argon purging through PP in the ladle for 10 minutes. The pouring temperature was 1550-1560 °C and pouring time was in the range of 45-50 s. Sand inclusions, bubbles, and MPI indications were almost eliminated (Figure 13d).

10 Študija primera: roka bagra

Uporabljeni material je bil modificiran GS-24 Mn 6, lita masa 5000 kg. Ti ulitki

10 Case Study: Excavator Arm Boom

The material used was modified GS-24 Mn 6, poured weight 5000 kg. These complex

kompleksnih oblik imajo veliko površino ter obsegajo kombinacijo tankih in debelih odsekov, ki so občutljivi na skupke vključkov peska, prisotnost žindre in globoke plinske mehurčke v zgornjem delu (Slika 14a in b). Izvedeno je bilo obsežno preskušanje različnih metodoloških rešitev za zmanjšanje potreb po obdelavi, vendar na teh ulitkih ni bil dosežen zadovoljiv napredek. Pri litju več ročic je bil uporabljen izlizek z izhodom premera 45 mm.

Taljenje je bilo izvedeno v EAF, sledilo je prepihovanje z argonom skozi PP v loncu, ki je trajalo 5–6 minut. Temperatura litja je bila približno 1550 °C, čas litja pa med

shape castings have a large surface area and a combination of thin and thick sections being sensitive to sand inclusion galaxies, slag presence, and deep gas bubbles on the upper part (Figure 14a & b). There was extensive testing of various methods solutions to reduce rework, but no satisfactory progress was achieved on these castings. A Shroud with an outlet of 45 mm was implemented in the casting of several arm booms.

Melting was carried out in an EAF and argon purging through PP in the ladle for 5-6 minutes. The pouring temperature was about 1550 °C and the pouring time was



Slika 14a. Značilne napake – plinske luknjice na zgornji površini

Figure 14a. Typical gas hole defects surface



Slika 14b. Skupki peščenih vključkov na zgornjem delu

Figure 14b. Sand inclusions galaxies on top on the upper part



Slika 15a. Dovodni sistem z nameščeno filtrsko škatlo izliva HOLLTEX

Figure 15a. Gating system with HOLLTEX Shroud filter box installed



Slika 15b. Ulitek z izlivkom HOLLTEX – peskan

Figure 15b. Casting with HOLLTEX Shroud - shot-blasted

72–90 s. Razdelilni sistem je bil z dnom ulitka povezan s tankimi ovalnimi vložki za zmanjšanje vročih točk (Slika 15a in b). Na površini ni bilo odkritih napak zaradi peska in žindre, ulitki prav tako niso imeli plinskih mehurčkov (Slika 16a in b). Doseženo je bilo znatno zmanjšanje mehanske obdelave, kar je privedlo do povečane proizvodne zmogljivosti, saj je varjenje predstavljalo enega glavnih omejevalnih dejavnikov v proizvodnji takšnih ulitkov.



Slika 16a. Zgornja površina z izlivkom HOLLTEX

Figure 16a. Upper surface with HOLLTEX bubbles present

between 72-90 s. The running system was connected to the bottom of the casting by thin oval ingates to reduce hot spots (Figures 15a & b). Sand and slag defects were not detected on the surface and castings were free from gas bubbles (Figures 16a & b). Significant fettling reduction was achieved which led to increased production capacity as welding was one of the main limiting factors for the output of these castings.



Slika 16b. Brez vključkov peska ali plinskih mehurčkov

Figure 16b. No sand inclusions or gas bubbles present

11 Povzetek

Izlivek HOLLTEX je inovativna tehnologija za zaščito curka taline, ki livarnam omogoča izpolnjevanje in preseganje najnovejših zahtev, povezanih s kakovostjo ulitkov, ter znatno izboljšanje mehanskih lastnosti. Ulitki brez napak skozi postopek mehanske obdelave potujejo veliko hitreje in končni roki dobave so predvidljivi. To lahko da livarni konkurenčno prednost, saj je prepoznana kot zanesljiv dobavitelj ali po možnosti celo partner, ki sklene več pogodb.

11 Summary

The HOLLTEX Shroud is an innovative technology for metal stream protection enabling foundries to meet and exceed the latest casting quality expectations and significantly increase the mechanical properties. Defect-free castings flow through the fettling process much faster and final delivery dates are predictable. This can give the foundry a competitive advantage by being recognised as a reliable supplier, or preferably partner, winning more contracts.

Glavne prednosti izlivka HOLLOTEX vključujejo:

- Brez zajemanja zraka
- Zmanjšane možnosti nesprejemljivih napak, zaznanih
- z rentgenskim slikanjem in MPI
- Zmanjšane zahteve po popravilih
- Ponovljivost postopka (dosledna kakovost litja)
- Hitrejša dobava ulitkov
- Znižanje temperature litja
- Izboljšanje mehanskih lastnosti
- Zdravje in varnost zaradi zmanjšane izpostavljenosti talini med postopkom litja
- Okoljske izboljšave

Major benefits of the HOLLOTEX Shroud include:

- No air entrainment
- Reduced unacceptable X-ray and MPI defects
- Reduced repair requirements
- Process repeatability (consistent casting quality)
- Faster delivery of castings
- Pouring temperature reduction
- Improvement in mechanical properties
- Health and safety through reduced exposure to molten metal during the casting process
- Environmental improvements

Viri / References

- Kiger, K.T., & Duncan, J.H. (2012). Air Entrainment Mechanism in Plunging Jets and Breaking Waves. *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 44, pp. 563-596.
- Campbell, J. (2015). *Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design* (2nd ed.). Oxford, UK: E Elsevier

Možnosti za zmanjšanje reoksidacije v dovodnih sistemih

The Possibilities for Reducing Reoxidation in the Gating System

Povzetek

Cilj te raziskave je analizirati procese reoksidacije v aluminijevih zlitinah. Zaradi visoke afinitete vezave aluminija do kisika prihaja do oksidacije in posledično reoksidacije. Ta raziskava se osredotoča na zasnovo ulivnih sistemov z namenom zaviranja in kar največjega zmanjšanja procesov reoksidacije. Zasnova ulivnih sistemov velja za enega najpomembnejših vidikov, ki lahko zmanjšajo prisotnost reoksidacijskih produktov – bifilmov. Glavni vzrok za nastanek reoksidacije so turbulence med polnjenjem forme. S pravilno zasnovo posameznih delov dovodnega sistema je mogoče zmanjšati turbulence in zagotoviti neovirano polnjenje forme. Namen raziskave je poiskati inovativen pristop h konstrukciji dovodnih sistemov z uporabo nekonvencionalnih elementov, npr. naravnih tlačnih sistemov in vrtnčastih elementov. Še en cilj je opisati ta pojav med polnjenjem dovodnega sistema skozi vizualizacijo s pomočjo programske opreme za numerične simulacije ProCAST. S programsko opremo ProCAST je mogoče izračunati različne kazalnike, ki omogočajo boljšo kvantifikacijo smeri polnjenja.

Ključne besede: aluminijeve zlitine, reoksidacija, dovodni sistem, numerična simulacija, bifilm

Abstract

Submitted work deals with the analysis of reoxidation processes for aluminium alloys. Due to the aluminium's high affinity to oxygen, oxidation and consequently reoxidation will occur. This paper focuses on the gating system design to suppress and minimize the reoxidation processes. The design of the gating system is considered one of the most important aspects, which can reduce the presence of reoxidation products bifilms. The main reason for the reoxidation occurrence is turbulence during the filling of the mold. By correctly designing the individual parts of the gating system, it is possible to minimize turbulence and ensure a smooth process of mold filling. The aim of the work is an innovative approach to the construction of a gating system by using unconventional elements, such as a naturally pressurized system or vortex elements. The aim is also to clarify the phenomenon during the gating system filling by visualization with the aid of ProCAST numerical simulation software. ProCAST can calculate different indicators which allows for better quantifying the filling pattern.

Keywords: Aluminium alloys, reoxidation, gating system, numerical simulation, bifilm

1 Uvod

Visoka reaktivnost tekočega Al s kisikom povzroča oksidacijo, posledica česar je

1 Introduction

The high reactivity of liquid Al with oxygen causes oxidation which result in oxide

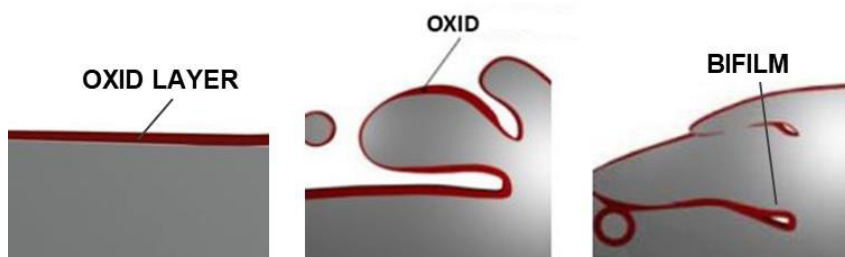
nastanek oksidne plasti na površini tekoče kovine. Oksidna plast pravzaprav ščiti talino pred zunanjimi vplivi, vendar se težava pojavi v trenutku, ko se površinski sloj ujame v notranji volumen taljene kovine. Nastajanje in zajemanje oksidne plasti v procesu litja sta posledica velike hitrosti taline, kar povzroča turbulence med polnjenjem forme. Reoksidacija je izraz, ki vključuje sekundarno in tercialno oksidacijo tekoče kovine med metalurškimi deli in med postopkom polnjenja dovodnega sistema. Posledica reoksidacijskih procesov so tako imenovani bifilmi. Ta izraz je skoval prof. Campbell, ki meni, da je nastajanje številnih napak v ulitkih povezano s prisotnostjo bifilmov. Turbulenca taline povzroča pregibanje oksidne plasti s suho stranjo na suho stran in nastanek bifilmov (Slika 1). [2]

Tako vneseni novi (»mladi«) oksid je lahko debel le nanometre, starejši deli so lahko debeli do nekaj mikrometrov ali pa seveda celo tudi debelejši, zato je debelina bifilmov ustrezno sorazmerna. Bifilmi, vneseni v talino, se zaradi turbulence v talini zmečkajo v majhno in kompaktno obliko. V le-tej lahko prodrejo skozi vse komponente ulivnega sistema (celo filter) in končajo v atmosferi. V plinu so ujeti zrak ali drugi plini, npr. vodik. V razmeroma mirnem okolju se bo razširil in povzročil razvoj bifilmov, ki se bodo s časom odprli in poravnali. Razvoj bifilma med strjevanjem lahko obravnavamo kot mesto nukleacije različnih napak. [1,2]

Kot je navedeno zgoraj, je glavni razlog za prisotnost reoksidacijskih procesov

layer on the surface of liquid metal. The oxide layer essentially protects the melt from external influences, but the problem occurs at the moment when the surface layer is entrained to the internal volume of molten metal. Formation and entrainment of the oxide layer in the casting process are due to the high velocity of the melt, causing turbulence during the mold filling. Reoxidation is the term involving secondary and tertial oxidation of liquid metal during metallurgy operations and the filling process of the gating system. The result of reoxidation processes is so-called bifilms. Prof. Campbell was the first to specify this term and he regarded, that the formation of many casting defects are associated with bifilms presence. The turbulence of the melt causes folding the surface oxide layer, dry side to dry side, and that creates bifilms (Fig.1). [2]

New ("young") formed oxide entrained in this way can be only nanometers thick, the older pieces can be up to micrometers thick, or even thicker of course, so the thickness of bifilms is proportional to this. Bifilms introduced into the melt are crumpled into a small and compact shape, because of turbulence within the melt. In this compact form, they can penetrate through all the filling components (even filter) and ends in the final mold cavity. The volume of air or other gases such as hydrogen is trapped inside the bifilm. In relatively calm environs it will be expanded and forcing the bifilms to become unraveled, and therefore opening



Slika 1.
Postopek
nastajanja bifilmov

Figure 1.
Process of
creation of bifilms

turbulenca tekoče taline, in sicer predvsem zaradi kritične hitrosti ($0,5 \text{ ms}^{-1}$) toka taline. Zmanjšanje te visoke hitrosti toka je med drugim mogoče zagotoviti z ustrezno zasnovo ulivnega sistema. S pravilno zasnovo posameznih delov ulivnega sistema je mogoče zmanjšati prisotnost turbulenc v sistemu.

2 Dovodni sistem

Po zgradbi ulivne sisteme običajno delimo na tlačne in netlačne, in sicer na podlagi območja dušenja v sistemu zaradi zmanjšanja hitrosti toka. Vendar pa so ti sistemi z vidika reoksidacijskih procesov pomanjkljivi. Leta 1962 je Jeancolas s sodelavci prvič omenil koncept naravnega tlačnega ulivnega sistema. Dandanes to specifično zasnovo ulivnega sistema raziskujejo predvsem prof. Campbell in skupina znanstvenikov, ki se osredotočajo na raziskave reoksidacije.

Naravni tlačni ulivni sistem je v nasprotju s tlačnimi in netlačnimi ulivnimi sistemi brez območja dušenja. V idealnem primeru je izdelan v razmerju 1:1:1. Celotna površina tekoče kovine je (razen sprednjega območja toka) zaradi naravnega protitlaka v ulivnem sistemu zaradi tornega upora v neposrednem stiku s stenami forme. Oksidna plast, ki se tvori na sprednjem območju toka, se pritisne ob steno forme (Slika 2), zato je območje za naknadno reoksidacijo kar najmanjše. Zaradi nemotenega prehoda brez prisotnosti dušilnih elementov je hitrost toka previsoka in prednost popolnoma napolnjenega sistema izgine, ko talina prehaja skozi ulivni kanal v livno votlino. Zaradi nemotenega prehoda brez prisotnosti dušilnih elementov je hitrost pretoka previsoka, zato pride do brizganja, ko talina prehaja skozi ulivne kanale. Odsotnost mehanizma za

and straightening with time. The unfurling of the bifilm during solidification can be considered a nucleation site for various defects. [1,2]

As is mentioned above, the main reason for the presence of reoxidation processes is the turbulence of liquid melt, which is caused mainly by critical velocity (0.5 m.s^{-1}) of melt flow. Reducing this high velocity of flow is possible, among other things, by suitable design of the gating system. By correctly designing the individual parts of the gating system, it is possible to minimize the presence of turbulence in the system.

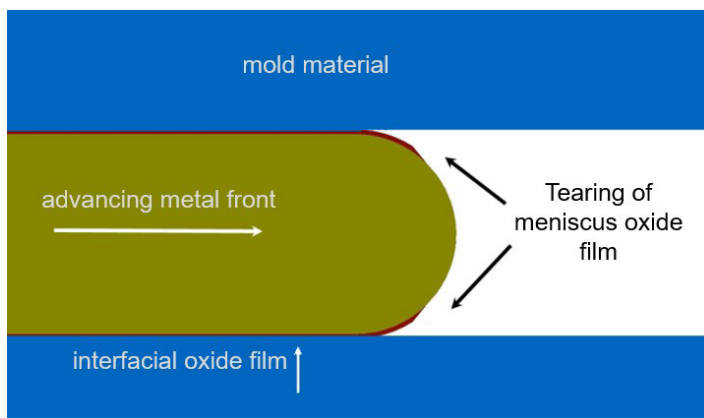
2 Gating System

Construction of the gating system is commonly divided into pressurized and non-pressurized gating systems, based on the choke area in the system to reduce the velocity of flow. However, in terms of reoxidation processes, these systems are deficient. In 1962 was for the first time mentioned the concept of a naturally pressurized gating system by Jeancolas and collective. Nowadays, this specific gating design is subjected to research mainly by prof. Campbell and a group of scientists focusing on reoxidation research.

The naturally pressurized gating system is, in contrast with pressurized and non-pressurized gating systems, without a choke area. The ideal case, it's constructed by a ratio 1:1:1. The whole area of liquid metal is in direct contact with the moldy walls (except for the front area of flow) by natural backpressure in the gating system due to frictional resistance. The oxide layer forming on the front area of flow is pressed on the mold walls (Fig. 2), so the area for another reoxidation is minimized. Due to the smooth transition without the presence of choke elements is the flow

Slika 2. Napredujoča kovinska fronta v naravnem tlačnem ulivnem sistemu

Figure 2. Advancing metal front in a naturally pressurized gating system



zmanjševanje visoke hitrosti je pogosto vzrok, da se tovrstni sistem ne uporablja v industriji proizvodnje ulitkov. Za zmanjšanje hitrosti taline so v prejšnjih raziskovalnih delih uporabili difuzorje, ofset ali različne podaljške razdelilnika, v zadnjem letu pa se ukvarjajo s tako imenovanimi vrtnčastimi elementi. Na podlagi analize literature se zdi, da je mogoče z uporabo tega elementa doseči zadovoljive rezultate. [3,5]

3 Analiza ulivnih sistemov

Raziskava reoksidacijskih procesov je bila izvedena na štirih različnih tipih zgradbe ulivnih sistemov. Dve zasnovi sta bili izdelani kot breztladni ulivni sistem, preostali dve pa kot naravni tlačni ulivni sistemi. Za analizo in opazovanje toka taline med postopkom polnjenja je bila uporabljena simulacijska programska oprema ProCAST. Z njeno pomočjo smo opazovali analizo turbulence ter analizo pojava oksidov.

3.1 Analiza turbulence

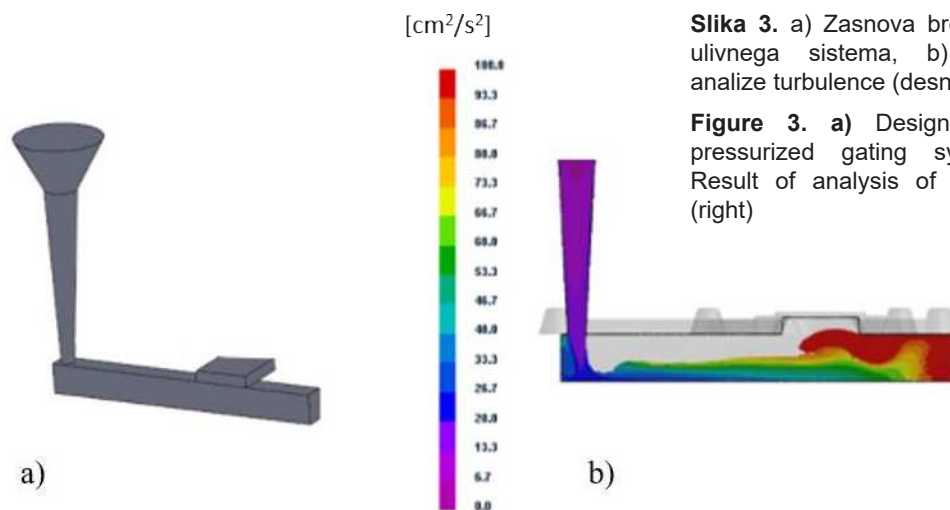
A. Breztladni ulivni sistem

Prvi tip je koncept breztladnega ulivnega sistema (Slika 3a) z razmerjem 1:4:4, ki se

velocity too high and the advantage of a perfectly filled system is lost when the melt passes through the gate to the mold cavity. Due to the smooth transition without the presence of choke elements flow velocity is too high, so when the melt passing by the gates splashing occurs. The absence of a mechanism for reduction of high velocity is often the reason, why this type of system is not used in the casting industry. In order to reduce the melt velocity, the diffusers, offsets or various extensions of the runner were used in previous researches, and in recent years attention is paid to so-called vortex elements. Based on the literary analysis it appears that satisfactory results can be achieved by ensuring the combination of this element. [3,5]

3 Gating Systems Analysis

The study of reoxidation processes was observed in four different types of gating system construction. Two of the design was constructed like a non-pressurized gating system and another two were like naturally pressurized gating system. For analysis and observation of the melt flow during the filling process was used simulation software ProCAST. The analysis of turbulence and



Slika 3. a) Zasnova breztlalnega ulivnega sistema, b) Rezultat analize turbulence (desno)

Figure 3. a) Design of non-pressurized gating system, b) Result of analysis of turbulence (right)

običajno uporablja za aluminijeve zlitine. Analiza turbulence s sledilnim indikatorjem [$100 \text{ cm}^2/\text{s}^2$] nakazuje, da obstaja zaradi nepopolno napolnjenega razdelilnika, kar je posledica povečanega preseka, obsežno območje za naknadno oksidacijo, tj. reoksidacijo. Turbulence nastanejo zaradi valovanja proste površine, na koncu razdelilnika pa zaradi mehanizma vala zaradi odboja. Talina na koncu razdelilnika nenadoma zavira in se tako prepogne sama nase (Slika 3b). To povzroča obsežno reoksidacijo.

B. Modificiran breztladni ulivni sistem

Tudi drugi tip je ulivni dovodni sistem, vendar ima modificiran konec razdelilnika s prirobnico (Slika 4a). Višji konec razdelilnika se postopoma zoži. Modifikacija je zagotovila rahlo zatrtje odbijajočega se vala, ki je bilo še vedno nezadostno. Še vedno je nastajala obsežna turbulenca zaradi delno nezaplnjenega razdelilnika (Slika 4b).

analysis of oxide occurrence was observed there.

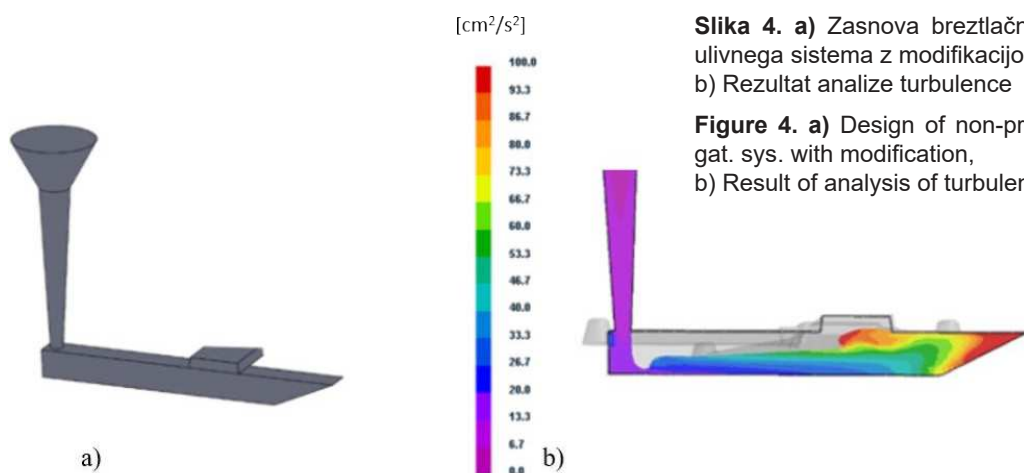
3.1 Analysis of Turbulence

A. Non-pressurized gating system

The first type is the concept of the non-pressurized gating system (Fig. 3a) with a ratio of 1:4:4, commonly used for aluminum alloys. Analysis of turbulence, which the tracking indicator has the units [$100 \text{ cm}^2/\text{s}^2$], shows, that due to the imperfectly filled runner, caused by increased cross-section, there is an extensive area for another oxidation, i. e. reoxidation. Turbulences are occurred by corrugating the free surface, and at the end of the runner by the bouncing wave mechanism. The melt is suddenly broken at the end of the runner and thus is folded over onto itself (Fig.3b). This makes extensive reoxidation processes.

B. Non-pressurized gating system with modification

The second type is also a non-pressurized gating system, but with a modification of the end of the runner with chamfer (Fig. 4a). The top of the end of the runner is gradually



Slika 4. a) Zasnova brez tlačnega ulivnega sistema z modifikacijo, **b)** Rezultat analize turbulence

Figure 4. a) Design of non-press. gat. sys. with modification, **b)** Result of analysis of turbulence

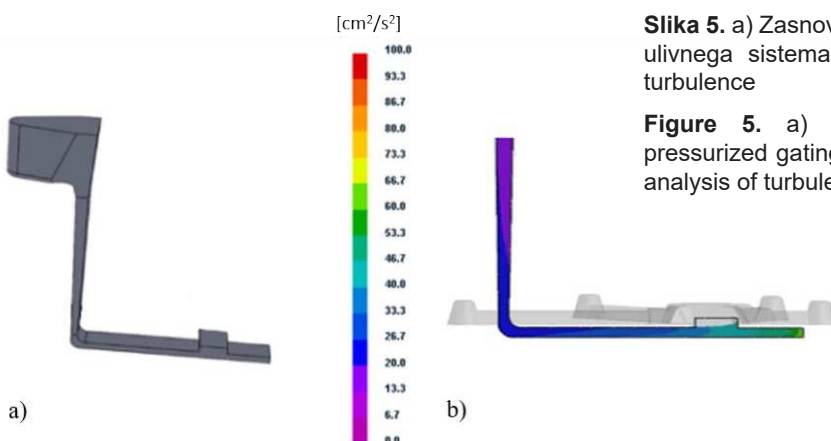
C. Naravni tlačni ulivni sistem

Tretji tip je koncept naravnega tlačnega ulivnega sistema (Slika 5a) z razmerjem 1:1,2:1,2. V tem primeru mesto turbulence v celoti odpravi v vsaki točki popolnoma napolnjen sistem (Slika 5b). Na podlagi analize literature lahko pričakujemo, da nenadno zaviranje zaradi razdelilnika prenese energijo toka v območje ulivnega kanala. Izdatna turbulenca se pojavi, ko talina preide skozi ulivni kanal v votlino forme, zaradi česar prihaja do brizganja.

narrow. The modification insured a slight suppression of bouncing waves, but it was still insufficient. There was still extensive turbulence caused by the imperfectly filled runner (Fig.4b).

C. Naturally pressurized gating system

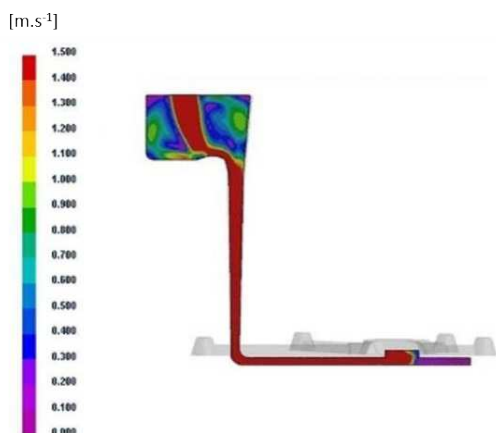
The third type is the concept of a naturally pressurized gating system (Fig. 5a) with a ratio of 1:1,2:1,2. In this case, the turbulence is eliminated by the perfectly filled system at every point (Fig. 5b). By



Slika 5. a) Zasnova naravnega tlačnega ulivnega sistema, **b)** Rezultat analize turbulence

Figure 5. a) Design of naturally pressurized gating system, **b)** Result of analysis of turbulence

Za preverjanje nastajanja brizganja je bila izvedena analiza hitrosti toka taline, ki je to hipotezo potrdila (Slika 6).



literary analysis, we can expect, that the suddenly broken wave at the end of the runner transfer the energy of flow to the area of gates. The extensive turbulence occurs when the melt passes through the gate to the mold cavity and splashes occur. For verification of splashes occur analyzed of the melt flow rate was, which confirmed this hypothesis (Fig. 6).

Slika 6. Analiza hitrosti toka taline naravnega tlačnega dovodnega sistema

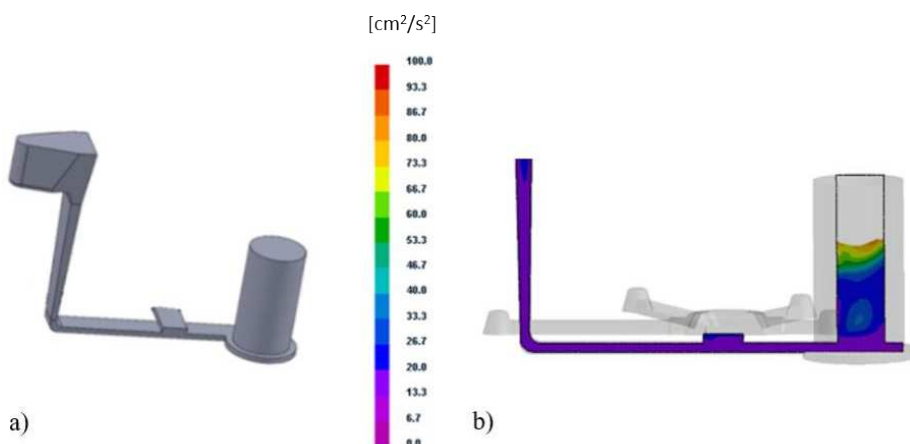
Figure 6. Analysis of melt flow rate of naturally pressurized gating system

D. Modificiran naravni tlačni ulivni sistem

Zadnja zasnova je naravni tlačni ulivni sistem z vrtinčastim podaljškom razdelilnika (Slika 7a). Vrtinčenje običajno velja za značilnost pretoka, ki se ji je treba v

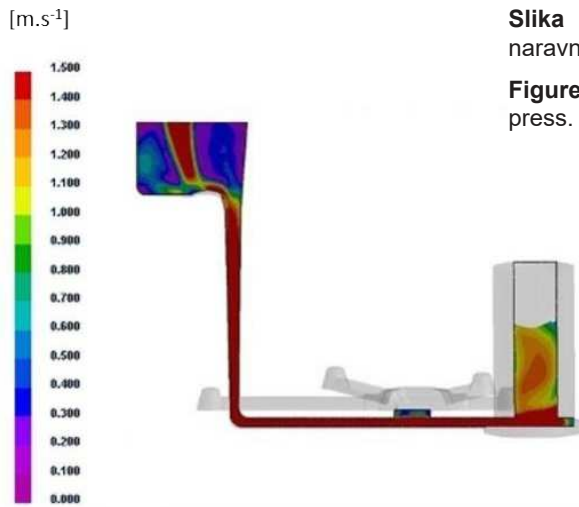
D. Naturally pressurized gating system with modification

The last of designs is the naturally pressurized gating system with vortex extension of the runner (Fig. 7a). The



Slika 7. a) Zasnova modificiranega ulivnega sistema z naravnim tlakom, b) rezultat analize turbulence

Figure 7. a) Design of nat. press. gat. sys. with modification, b) Result of analysis of turbulence



Slika 8. Analiza toka taline modificiranega naravnega tlačnega ulivnega sistema

Figure 8. Analysis of melt flow rate of natural press. gat. sys. with modification

vsakem primeru izogniti (zaradi nevarnosti vdora zraka v ulitek). Če pa je vrtnčenje nadzorovano, lahko tok taline umiri in ga usmeri na želen način. Analiza razdelilnika z vrtnčastim podaljškom nakazuje, da se je energija turbulence nahajala na vrtnčastem elementu, kar zagotavlja neturbulentno kontinuiteto toka v razdelilniku, ostali deli sistema pa so zaščiteni pred negativnim vplivom reoksidacije (Slika 7b). Pripravljena je bila tudi analiza pretoka taline. Na podlagi pridobljenih rezultatov lahko trdimo, da je bil tok taline umirjen z uporabo vrtnčastega podaljška in da je hitrost v območju ulivnega kanala nižja v primerjavi z zasnovo brez modifikacije (Slika 8). [1]

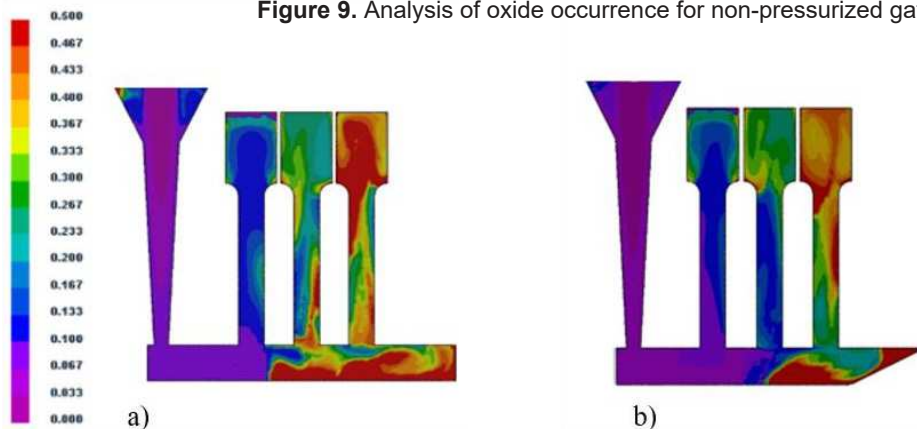
3.2 Analiza pojavljanja oksidov

Sledilni indikator pojavljanja oksidov je bil nastavljen na $[0,5 \text{ cm}^2.\text{s}]$. Za preiskovano pojavljanje oksidov je bila uporabljena zasnova ulitka za analizo mehanskih lastnosti. Na podlagi dobljenih rezultatov lahko trdimo, da je v območju največje turbulence, ki jo povzroči nenadno zaviranje na koncu razdelilnika, pojav oksidov najmočnejši (Slika 9).

vortex has usually been regarded as a flow feature to be avoided in any case (for a risk of air entering the casting). However, if the vortex is controlled, it can calm down and positively direct the melt flow. Analysis of the vortex extensive of the runner shows that the turbulence energy was situated to the vortex element, which ensures calm continuity of flow in the runner, and other parts of the system are protected from the negative influence of reoxidation (Fig.7b). Melt flow was analyzed too. Based on the obtained result it can be stated, that the melt flow was calmed down by the application of vortex extension, and velocity in the gates area is lower compared with the design without modification (Fig. 8). [1]

3.2 Analysis of Oxide Occurrence

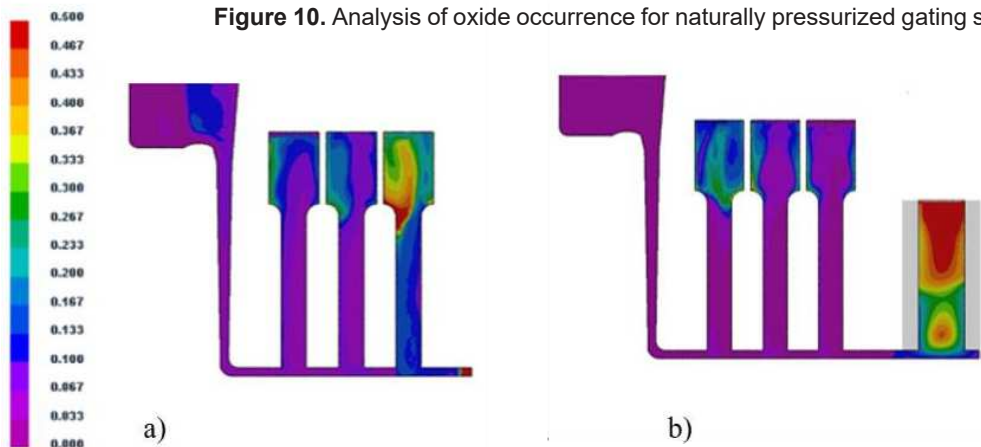
The tracking indicator for oxide occurrence was set to $[0.5 \text{ cm}^2.\text{s}]$. For the observed oxide occurrence was used casting design for the analysis of the mechanical properties. Based on the obtained results it can be stated, that the area of the biggest turbulence caused by the suddenly broken waves of melt at the end of the runner

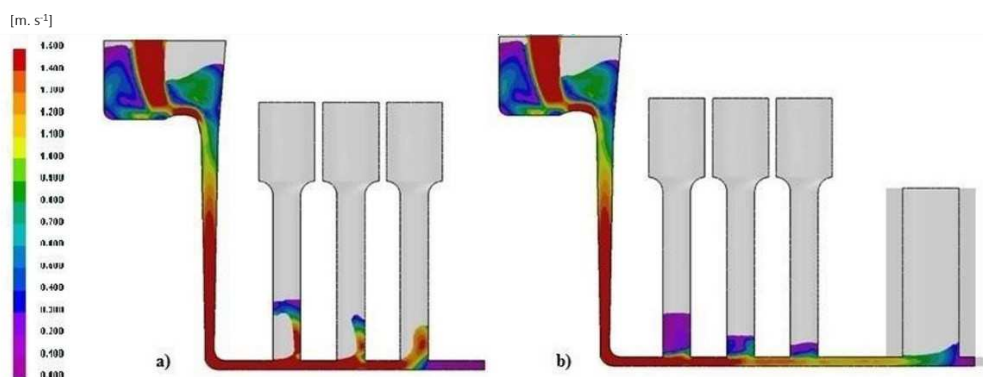
[cm². s]**Slika 9.** Analiza pojavljanja oksidov v breztlčnih ulivnih sistemih**Figure 9.** Analysis of oxide occurrence for non-pressurized gating systems

Koncept naravnega tlačnega ulivnega sistema z vrtnčastim elementom na koncu razdelilnika je povezan z najboljšimi rezultati. Talina se usmeri v stožčasti konec, kjer povzroči tangencialno gradientno vrtnično gibanje in v to področje se ujame večina oksidov (Slika 10b). Z usmerjanjem toka taline v vrtnčasti podaljšek razdelilnega kanala smo dosegli znatno znižanje hitrosti taline, ki nato skozi ulivni kanal vstopi pri

has the worst results regarding the oxide occurrence (Fig. 9).

The concept of a naturally pressurized gating system with a vortex element at the end of the runner shows the best results. The melt is headed to the cylindrical end, where the flow is directed by a tangential gradient eddying motion, and most of the oxides are trapped in this area (Fig. 10b). By directing the melt flow into the vortex extension of the runner we achieved a

[cm². s]**Slika 10.** Analiza pojavljanja oksidov v naravnih tlačnih ulivnih sistemih**Figure 10.** Analysis of oxide occurrence for naturally pressurized gating systems



Slika 11. Analiza brizganja kovine

Figure 11. Analysis of metal spatter

nižji hitrosti, s čemer se izognemo brizganju, kot je razvidno s Slike 11.

significant reduction in the melt velocity, which then enters through the gates at a lower speed avoiding spattering as we can see in Figure 11.

4 Sklepi

Namen prispevka je bil opozoriti na pomen ulivnega sistema. S pravilno zasnovo letega lahko zagotovimo nižjo hitrost in bolj miren tok taline. Visoka hitrost toka taline povzroča turbulence. Z usmerjanjem toka lahko zmanjšamo pojavnost turbulence, ki pomembno vpliva na prisotnost reoksidacijskih procesov. Posledica reoksidacijskih procesov so bifilmi – tj. dvojne oksidne plasti. Bifilmi imajo zelo majhno in kompaktno obliko, zato lahko prodrejo skozi vse komponente za polnjenje (tudi filtre) in konce v končni votlini forme. Ko je votlina forme napolnjena, se tok taline umiri in bifilmi so v razmeroma mirnem okolju. Na tej točki začnejo pridobivati svojo začetno obliko; razvijajo se torej v večje dimenzije in postanejo mesto nukleacije številnih napake ulitkov. Prisotnost bifilmov povzroča veliko odstopanje zahtevanih mehanskih lastnosti in s tem poslabšanje kakovosti ulitkov in zmožnosti njihove uporabe v industriji.

4 Conclusion

The paper aimed to point out the importance of the gating system. By the correct design of the gating system, we can achieve lower speed and calm down the melt flow. The high velocity of melt flow occurs in turbulences. Directing the flow can minimize the turbulence occurrence, which has an important influence on the presence of reoxidation processes. The result of reoxidation processes are bifilms – ‘double oxide layer’. Bifilms have a very small and compact shape, so they can penetrate through all the filling components (even filter) and ends in the final mold cavity. When the mold cavity is filled, the turbulent character of flow subsides and the bifilms are in a relatively calm environment. At this point, they begin to acquire their initial shape, i. e. develop into larger dimensions and become a nucleation site for many casting defects. The bifilms presence occurs high variability of mechanical properties and so

S preprosto spremembo zasnove in posameznih delov ulivnega sistema lahko izboljšamo mehanske lastnosti ter preprečimo obsežno količino bifilmov, ki se vnesejo v livno votlino, kar potrjujejo rezultati numerične simulacije. Prihodnje delo se bo osredotočalo na obdelavo dejanskih ulitkov in na njihovo vrednotenje natezne trdnosti, mikrostrukture, rentgenske analize in analize SEM-EDS z namenom potrditve predstavljenih rezultatov simulacije. Nato bo sledila študija tudi drugih nekonvencionalnih elementov ulivnega sistema.

5 Zahvala

Ta prispevek je bil pripravljen v okviru projekta razpisne agencije VEGA 1/0706/18. Avtorji se želijo agenciji zahvaliti za vso podporo.

degradation of the quality of castings and their use in industry.

By simply changing the system design and individual parts of the gating system we can improve mechanical properties and suppress an extensive amount of bifilms introduced to the mold cavity to confirm the results from numerical simulation. The future work will be focused on the processing of real castings and their evaluation of tensile strength, microstructure, X-ray, and SEM-EDS analysis to confirm the presented simulation results. Then there will be a study of other unconventional elements of the gating system too.

5 Acknowledgment

The article was created within the project of the grant agency VEGA 1/0706/18. The authors thank the Agency for their support.

Viri / References

- CAMPBELL, J. Complete casting handbook, 2015. 1054p. ISBN: 978-0-444-63509-9
- EL-SAYED, M. – HASSANIN, H. – ESSA, K. Bifilm defects and porosity in Al-cast alloys, In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, ISSN 1433-3015, 2016, Vol. 86, p. 1173-1179.
- HSU, F.-Y. – JOLLY, M.R. – CAMPBELL, J. Vortex-gate design for gravity casting, In: International Journal of Cast Metals Research, ISSN 1364-0461, 2006, Vol. 19, p. 38-44
- DISPINAR, D. – CAMPBELL, J. Critical assessment of reduced pressure test: Quantification, In: International Journal of Cast Metals Research, ISSN: 1364-0461, 2004, Vol. 17, 8p.
- LIU, J. – WANG, Q. – Qi, Y. Atomistic simulation of the formation and fracture of oxide bifilms in cast aluminum. In: Acta Materialia, ISSN 1359-6454, 2019, Vol. 164, p. 673-682.
- Hashemi, H. - R. Raiszadeh: Naturally-Pressurized running systems: The role of ceramic filters, In: Journal of Applied Sciences, ISSN 1812-5654, 2009, Vol. 9, p. 2115-2122.
- BRŮNA, M. –BOLIBRUCHOVÁ, D.- PASTIRČÁK, R. Reoxidation processes prediction in gating system by numerical simulation for Aluminium Alloys, In: Archives of foundry engineering, ISSN 1897-3310, 2017, Vol. 17, p.23-26.

Napovedovanje spreminjanja trdote orodij med procesom tlačnega litja

Tool hardness change prediction during high pressure die casting process

Povzetek

Orodja za tlačno litje so med obratovanjem izpostavljena cikličnim toplotnim in mehanskim obremenitvam, ki postopno vodijo do obrabe in nastanka poškodb na orodjih. Za zagotavljanje primerne trdote, trdnosti, žilavosti in mikrostrukturne stabilnosti orodij so ta pred začetkom uporabe ustrezno toplotno obdelana. Kljub temu pa prihaja med obratovanjem do neprestanega spreminjanja-razvoja mikrostrukture materiala, kar je posledica visokih obratovalnih temperatur in toplotnega utrujanja. Spreminjanje mikrostrukture vpliva na toplotno mehčanje in s tem na padec v trdoti materiala ter posledično zmanjšanje odpornosti orodij na obrabo in poškodbe. Poznavanje spreminjanja trdote orodij med procesom tlačnega litja je ključnega pomena za natančno napovedovanje obratovalne dobe in lokalizacije kritičnih mest že v fazi razvoja orodij. V članku je predstavljena novo razvita metoda za napovedovanje spreminjanja trdote orodij med procesom tlačnega litja. Metoda sloni na kinetičnem zakonu popuščanja, ki omogoča napovedovanje spreminjanja trdote na podlagi znanih toplotnih obremenitev. Uporaba metode je prikazana na primeru uporabe orodnega jekla za delo v vročem stanju Böhler W400 VMR (AISI H11), iz katerega je izdelano orodje, in tipičnega toplotnega obremenitvenega cikla pri tlačnem litju.

Ključne besede: tlačno litje, orodna jekla za delo v vročem stanju, toplotno mehčanje, kinetični zakon popuščanja, trdota

Abstract

High pressure die casting dies are during operation exposed to cyclic thermal and mechanical loads, which gradually lead to wear and damage of dies. To provide the needed hardness, strength, toughness and microstructural stability, dies are adequately heat treated prior to service. However, continuous microstructure evolution of die material occurs during service due to high operational temperatures and thermal fatigue conditions. Microstructure evolution causes thermal softening, loss of hardness and consequently reduction in damage and wear resistance. Understanding the loss of hardness of dies during die casting process is crucial for precise die lifetime predictions and localization of critical areas during die design phase. In this paper, a newly developed method for die hardness change predictions during die casting process is presented. The method is based on a tempering kinetic law, which allows the prediction of change in hardness based on known thermal loadings. The application of the method is explained in case of use of the hot-work tool steel Böhler W400 VMR (AISI H11) as die material and a typical die casting thermal loading cycle.

Keywords: high pressure die casting, hot work tool steels, thermal softening, tempering kinetic law, hardness

1 Uvod

Orodja so zaradi visokih temperature, tlakov in hitrosti taline med procesom tlačnega litja izpostavljena cikličnim toplotnim in mehanskim obremenitvam. Posledično prihaja do obrabe in poškodbe površin toplih delov orodij, kar povzroča zaplete v procesu tlačnega litja, v najhujših primerih pa lahko vodi do porušitve in odpovedi orodja [1].

Obrabne in poškodbene mehanizme na orodjih med tlačnim litjem v splošnem delimo v štiri skupine: (1) nalepljanje, (2) korozija, (3) erozija, (4) toplotno utrujanje in nastanek razpok. Pri nalepljanju prihaja do adhezije materiala ulitka na površino orodja [2], [3]. Pojavlja se med fazo polnjenja orodja in strjevanja ulitka, vzrok za pojav nalepljanja pa je v kombinaciji metalurških in mehanskih učinkov [4]. Korozija orodij med tlačnim litjem je tesno povezana z mehanizmom nalepljanja, kaže pa se kot izguba materiala orodja s površine le-tega. Korozija je mehanizem metalurške narave in se pogosto pojavlja v kombinaciji z nalepljanjem na specifičnih mestih orodja [5]. Za razliko od nalepljanja in korozije pa je erozija izključno mehanske narave, prav tako pa se kaže kot izguba materiala orodja z njegove površine [6]. Intenzivnost nalepljanja, korozije in erozije je močno odvisna od temperature površine orodja. Višja kot je temperatura orodja, pogostejše in intenzivnejše je njihovo pojavljanje [5], [7], [8]. Temeljni vzrok za toplotno utrujanje in nastanek razpok na orodjih je v hitrih spremembah temperature in tlakov med procesom tlačnega litja. Visoke temperature ter visoke hitrosti segrevanja in ohlajanja površine orodja pospešujejo stopnjo tvorbe in rasti razpok na orodjih [9], [10].

Pred začetkom uporabe so orodja ustrezno toplotno obdelana z namenom zmanjšanja obrabe in poškodb orodij. Z

1 Introduction

Dies are due to high temperatures, pressures and melt velocities during high pressure die casting process exposed to cyclic thermal and mechanical loading. Consequently, wear and damage gradually occur on dies, causing problems in the casting process and in worst cases, failures on dies [1].

The wear and damage mechanisms are generally divided in four groups: (1) soldering, (2) corrosion, (3) erosion, (4) thermal fatigue and cracking. Soldering or die sticking appears as adhesion of cast material to the die surface [2], [3]. It occurs during filling and solidification phase and is caused by a combination of metallurgical and mechanical effects [4]. Corrosion of dies in die casting is related to soldering and is characterized by loss of die material from the die surface. It is a metallurgically driven process and it often occurs simultaneously with soldering on a particular region of a die [5]. Erosion, on the other hand, is a mechanically driven process, also characterized by loss of die material from the die surface [6]. Die soldering, corrosion and erosion are strongly dependent on die surface temperature. Their occurrence increases with increasing die surface temperature [5], [7], [8]. The main cause for thermal fatigue and cracking of dies are high temperature and pressure gradients. Crack initiation and propagation are accelerated by higher temperatures and higher heating/cooling rates of dies [9], [10].

To reduce damage and wear and to avoid failures, dies are adequately heat treated prior to service. In this way, the desired combination of strength, hardness and fracture toughness can be achieved [11]–[13]. However, due to high operating temperatures during the die casting process, evolution of the microstructure

ustrezno toplotno obdelavo zagotovimo optimalno trdnost, trdoto in žilavost [11]–[13]. Kljub temu pa prihaja zaradi visokih obratovalnih temperature med procesom tlačnega litja do dodatnega spreminjanja mikrostrukture ter mehčanja materiala orodij [10]. Mehčanje se kaže kot padec v trdoti in obratovalni trdnosti materiala orodja, vzrok za to pa je v rasti drobnih karbidov in zmanjšanju gostote dislokacij v materialu pri visokih temperaturah [14]. Za uspešno zaviranje nastanka obrabe in poškodb ter za uspešno nadziranje obratovalne dobe je torej ključnega pomena dobro razumevanje razvoja mikrostrukture materiala orodij med obratovanjem.

Za popis pojava mehčanja jekel so bili razviti številni matematično-fizikalni modeli, ki slonijo na določenih fizikalnih zakonitostih. Eden od nedavno razvitih modelov je kinetični zakon popuščanja, predlagan s strani raziskovalca Caliskanogla in sodelavcev [15]. Predlagani zakon popuščanja opisuje časovno in temperaturno odvisno mehčanje materiala na osnovi srednje velikosti razvoja sekundarnih karbidnih izločkov v materialu, ki rastejo po principu Ostwaldovega mehanizma rasti.

V članku je predstavljena uporaba metode za napovedovanje spreminjanja trdote orodij med procesom tlačnega litja. Uporaba metode je prikazana na primeru orodnega jekla za delo v vročem stanju Böhler W400 VMR (AISI H11), iz katerega je izdelano orodje, in tipičnega toplotnega obremenitvenega cikla pri tlačnem litju.

2 Materiali in metode

V poglavju 2.1 je predstavljen kinetični zakon popuščanja, predlagan s strani raziskovalca Caliskanogla in sodelavcev [15], ki temelji na delu Lifshitz, Slyozova in

continues and softening of the die material occurs [10]. Softening appears as loss of hardness and high temperature fatigue strength and is driven by progressive coarsening of fine carbides and reduction of the dislocation density in the die material at elevated temperatures [14]. Therefore, to reduce wear and damage and to successfully control the die lifetime, it is of great importance to understand the evolution of the microstructure of the die material during service.

For the description of the softening behaviour of steels, many mechanism-based models have been developed. One of the most recent is the tempering kinetic law proposed by Caliskanoglu et al. [15], which relates time and temperature dependent softening to the evolution of the mean size of secondary carbide precipitates, based on the Ostwald ripening mechanism.

In this paper, the application of a method for die hardness change prediction during die casting process is presented. The application of the method is explained in case of use of the hot work tool steel Böhler W400 VMR (AISI H11) as die material and a typical die casting thermal loading cycle.

2 Materials and Methods

In section 2.1, the tempering kinetic law, proposed by Caliskanoglu et al. [15] and based on the work of Lifshitz, Slyozov and Wagner, is presented. The tempering kinetic law was described in more detail by Jilg and Seifert [16]. In section 2.2, the die temperature field calculation with use of the commercial software Magmasoft version 5.3, module MAGMAhpc, is explained.

Wagnerja. Obravnavani zakon popuščanja je podrobneje opisan v delu Jilga in Seiferta [16]. V poglavju 2.2 je opisan postopek izračuna temperaturnih polj na orodju med procesom tlačnega litja z uporabo komercialnega programskega paketa Magmasoft, različica 5.3, modul MAGMAhpd.

2.1 Kinetični zakon popuščanja

Kot že omenjeno, zakon popuščanja, predlagan s strani Caliskanogla in sodelavcev [15], povezuje proces mehčanja materiala z razvojem srednje velikosti sekundarnih karbidnih izločkov v materialu pri povišanih temperaturah. Model za napovedovanje spreminjanja trdote materiala med procesom izotermnega popuščanja je predstavljen v enačbi (1), kjer H predstavlja trdoto materiala po času t pri konstantni temperaturi T , H_i trdoto materiala v mehkem stanju, B_H materialno lastnost utrjevanja, k konstanto rasti izločkov, r_0 pa začetni srednji polmer sekundarnih karbidnih izločkov. H_i in B_H sta materialni lastnosti, odvisni od trdote materiala v mehkem stanju in trdote materiala po začetni toplotni obdelavi. Konstanta rasti izločkov k je definirana v enačbi (2), kjer k_1 predstavlja temperaturno odvisno materialno lastnost, Q aktivacijsko energijo popuščanja in R plinsko konstanto idealnega plina ($8,13143 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

$$H = H_i + \frac{B_H}{\sqrt[3]{3kt + r_0^3}} \quad (1)$$

$$k = k_1 \frac{\exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)}{T} \quad (2)$$

2.1 Tempering Kinetics

Like already mentioned, the tempering kinetic law, proposed by Caliskanoglu et al. [15], relates the softening of the material to the evolution of the mean size of secondary carbide precipitates at elevated temperature. The relation for hardness change prediction due to isothermal softening is presented in Eq. (1), where H represents the hardness of the material after time t at constant temperature T , H_i the intrinsic hardness, B_H the particle hardening related material property, k the coarsening constant and r_0 the initial secondary carbide precipitates mean radius. H_i and B_H are material properties related to the hardness of the annealed state of the material and the initial hardness of the material, respectively. The coarsening constant k is defined in Eq. (2), where k_1 represents the temperature dependent material property, Q the activation energy of the tempering transformation and R the perfect gas constant ($8.13143 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

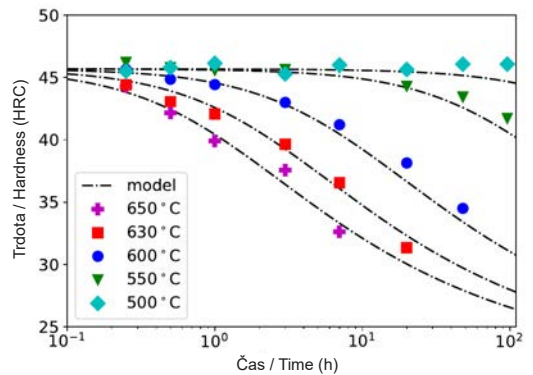
$$H = H_i + \frac{B_H}{\sqrt[3]{3kt + r_0^3}} \quad (1)$$

$$k = k_1 \frac{\exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)}{T} \quad (2)$$

In Figure 1, hardness measurement results during thermal softening resistance tests of the hot work tool steel Böhler W400 VMR (AISI H11) are shown with differently shaped dots. During thermal softening resistance tests, samples of the analysed material were held at a constant temperature for different times and hardness change in time was investigated. Tests at different constant temperatures were carried out.

Na Slika 1 so s točkami predstavljeni rezultati meritev trdot med testi toplotnega popuščanja orodnega jekla za delo v vročem stanju Böhler W400 VMR (AISI H11). Vzorci analiziranega materiala so bili med testi toplotnega popuščanja izpostavljeni konstantni povišani temperaturi za različno dolge čase testiranja. Testi so se izvajali pri različnih konstantnih temperaturah, spremljal pa se je razvoj oz. spreminjanje trdote materiala v odvisnosti od časa testiranja pri določeni konstantni temperaturi. Pred začetkom testiranja so bili vsi vzorci toplotno obdelani na enako začetno stanje. Iz rezultatov meritev trdot so bile določene vrednosti aktivacijske energije Q in temperaturno odvisne materialne lastnosti k . Črtkane krivulje na Sliki 1 predstavljajo rezultate napovedi spreminjanja trdote, izračunane z uporabo predstavljenega zakona popuščanja. Na Sliki 2 je prikazana temperaturna odvisnost konstante rasti izločkov k .

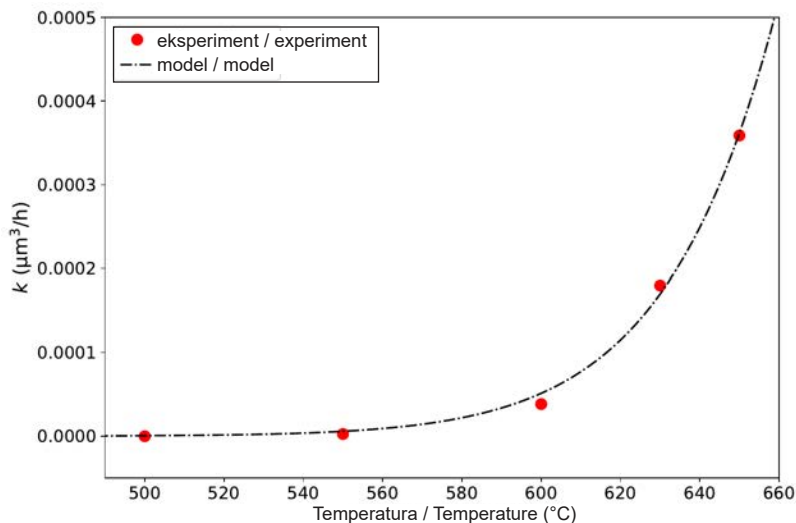
Z uporabo predstavljenega zakona popuščanja in ob poznanih temperaturnih



Slika 1. Rezultati meritev trdote na vzorcih med testi toplotnega mehčanja in rezultati izračuna spreminjanja trdote

Figure 1. Hardness measurement results on samples during thermal softening resistance tests and calculated hardness change prediction results

Prior to testing, all samples were heat treated to the same initial condition. From hardness measurement results, values of activation energy Q and temperature dependent



Slika 2. Temperaturna odvisnost konstante rasti izločkov k

Figure 2. Temperature dependence of the coarsening constant k

poljih na orodju je možen izračun spremembe trdote orodja med procesom tlačnega litja.

2.2 Izračun temperaturnih polj na orodju

Za izračun temperaturnih polj na orodju med procesom tlačnega litja, ki so zahtevana za napovedovanje spreminjanja trdote, je bil uporabljen komercialni programski paket Magmasoft, različica 5.3, z modulom MAGMAhpdc. Izračunani so bili temperaturni profili na površini orodja med tipičnim procesom tlačnega litja, opisanim s strani Markežiča in sodelavcev [17], kjer je bilo orodje uporabljeno za litje aluminijeve zlitine AISi9Cu3Fe. Izračunan časovno-temperaturni potek na določenem mestu orodja med celotnim ciklom tlačnega litja je prikazan na Sliki 3.

3 Rezultati in diskusija

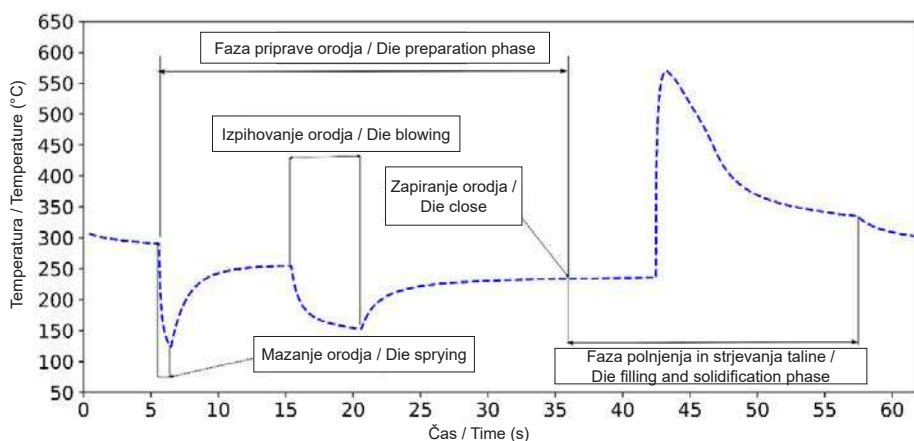
Na podlagi predhodno izračunanega temperaturnega profila na površini

material property kl were obtained. Dashed lines in Figure 1 represent the hardness change prediction results, calculated with the use of the tempering kinetic law. In Figure 2, the temperature dependence of the coarsening constant k is shown.

With the use of the presented tempering kinetic law and known temperature fields on die, the hardness change predictions during casting process can be calculated.

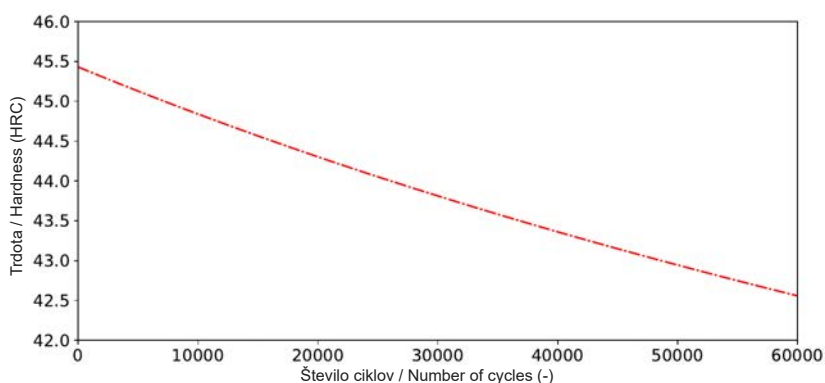
2.2 Die Temperature Calculations

For the calculation of die temperature fields during a high pressure die casting process, needed for hardness change predictions, commercial software Magmasoft version 5.3 with module MAGMAhpdc was used. Die surface temperature profiles during a typical high pressure die casting process were calculated, described by Markežič et al. [17], where the die was used for casting of aluminium alloy AISi9Cu3Fe. The calculated die surface temperature profile on a specific region of the die surface is presented in Figure 3.



Slika 3. Temperaturni profil na površini orodja med procesom tlačnega litja

Figure 3. Die surface temperature profile during a high pressure die casting cycle



Slika 4. Rezultati napovedi spreminjanja trdote med procesom tlačnega litja

Figure 4. The predicted die hardness change during a high pressure die casting process

orodja med procesom tlačnega litja, predstavljenega na Sliki 3, in z uporabo zakona popuščanja, opisanega v poglavju 2.1, je bilo izračunano spreminjanje trdote orodja v odvisnosti od števila ciklov tlačnega litja. Rezultati napovedi spreminjanja trdote med procesom tlačnega litja so prikazani na Sliki 4.

Iz analize krivulje na Sliki 4 lahko ugotovimo, da trdota orodja pada z večanjem števila ciklov tlačnega litja. Iz oblike krivulje lahko dodatno zaključimo, da je najintenzivnejši padec trdote v začetnih ciklih procesa tlačnega litja, nato pa se hitrost padanja trdote postopoma znižuje z večanjem števila ciklov.

Predstavljena metoda za napovedovanje spreminjanja trdote materiala med procesom tlačnega litja je uporabna za napoved spreminjanja trdote celotnega orodja. Tako lahko v kombinaciji z vplivi ostalih obrabnih in poškodbenih mehanizmov lokaliziramo kritična mesta na orodju že v fazi razvoja le-tega.

3 Results and Discussion

Based on the previously calculated die surface temperature profile during a high pressure die casting cycle, presented in Figure 3, and with use of the tempering kinetic law, described in Section 2.1, the die hardness change with increasing number of casting cycles was calculated. The predicted hardness change profile is shown in Figure 4.

As predicted by the developed method, die hardness decreases with increasing number of casting cycles. From the shape of the curve in Figure 4 it can be concluded that the time-hardness drop rate has the highest value at the beginning of the casting process and it gradually decreases with increasing number of casting cycles.

The presented method for hardness change prediction during high pressure die casting process is applicable to the hardness change calculation of the entire die. In this way, in conjunction with other wear and damage mechanisms, the localization of critical die areas is possible already in the die design phase.

4 Zaključki

V članku je bila predstavljena metoda za napovedovanje spreminjanja trdote orodij med procesom tlačnega litja. Uporaba metode je bila prikazana na primeru procesa tlačnega litja aluminijeve zlitine AlSi9Cu3Fe in orodja, izdelanega iz orodnega jekla za delo v vročem stanju Böhler W400 VMR (AISI H11). Izračun temperaturnih polj na orodju med procesom tlačnega litja je bil izveden z uporabo komercialnega programskega paketa Magmasoft, različica 5.3. Predstavljena metoda omogoča lokalizacijo kritičnih mest na orodjih že v fazi razvoja ter omogoča izboljšano napoved in nadziranje obratovalne dobe orodij za tlačno litje.

4 Conclusions

The application of a method for die hardness change prediction during die casting process is presented in this paper. The use of the method is explained on a case of high pressure die casting of aluminium alloy AlSi9Cu3Fe with a die manufactured from hot-work tool steel Böhler W400 VMR (AISI H11). The calculation of die surface temperature fields, needed for hardness change predictions, was conducted with use of the commercial software Magmasoft version 5.3. The presented method could be used for localization of critical die areas in the die design phase and for improved prediction and control of die lifetime.

Viri in literatura / References

- [1] S. Gopal, A. Lakare, and R. Shivpuri, "Evaluation of thin film coatings for erosive–corrosive wear prevention in die casting dies," *Surf. Eng.*, vol. 15, no. 4, pp. 297–300, 1999.
- [2] K. Domkin, J. H. Hattel, and J. Thorborg, "Modeling of high temperature- and diffusion-controlled die soldering in aluminum high pressure die casting," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 209, no. 8, pp. 4051–4061, 2009.
- [3] S. Gulizia, M. Z. Jahedi, and E. D. Doyle, "Performance evaluation of PVD coatings for high pressure die casting," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 140, no. 3, pp. 200–205, 2001.
- [4] P. A. Hogan, "Die Solder Prediction and Reduction," Worcester Polytechnic Institute, 2008.
- [5] M. Yu, R. Shivpuri, and R. A. Rapp, "Effects of molten aluminum on H13 dies and coatings," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 4, no. 2, pp. 175–181, 1995.
- [6] Z. W. Chen and M. Z. Jahedi, "Die erosion and its effect on soldering formation in high pressure die casting of aluminium alloys," *Mater. Des.*, vol. 20, no. 6, pp. 303–309, 1999.
- [7] V. Joshi, A. Srivastava, and R. Shivpuri, "Intermetallic formation and its relation to interface mass loss and tribology in die casting dies," *Wear*, vol. 256, no. 11–12, pp. 1232–1235, 2004.
- [8] K. Venkatesan and R. Shivpuri, "Experimental and numerical investigation of the effect of process parameters on the erosive wear of die casting dies," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 4, no. 2, pp. 166–174, 1995.
- [9] F. Medjedoub et al., "Experimental conditions and environment effects on thermal fatigue damage accumulation and life of die-casting steel X38CrMoV5 (AISI H11)," *Int. J. Microstruct. Mater. Prop.*, vol. 3, no. 2–3, 2008.

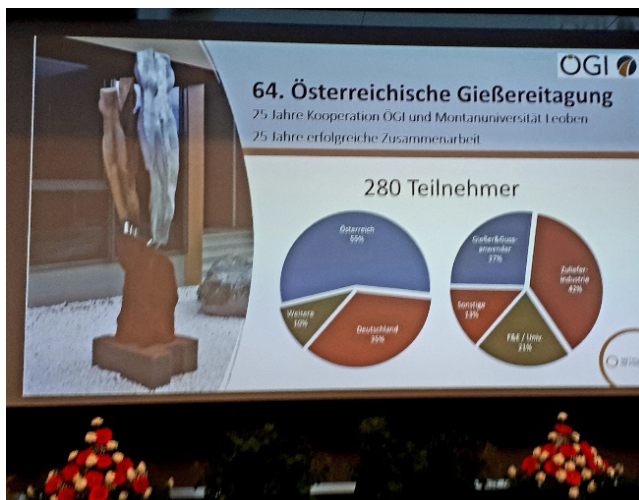
- [10] D. Klobčar, J. Tušek, and B. Taljat, "Thermal fatigue of materials for die-casting tooling," Mater. Sci. Eng. A, vol. 472, no. 1, pp. 198–207, 2008.
- [11] J. Sjöström and J. Bergström, "Thermal fatigue testing of chromium martensitic hot-work tool steel after different austenitizing treatments," J. Mater. Process. Technol., vol. 153, pp. 1089–1096, 2004.
- [12] V. Leskovšek, B. Šuštaršič, and G. Jutriša, "The influence of austenitizing and tempering temperature on the hardness and fracture toughness of hot-worked H11 tool steel," J. Mater. Process. Technol., vol. 178, no. 1, pp. 328–334, 2006.
- [13] G. Roberts, G. Krauss, and R. Kennedy, Tool steels, 5th ed. Metals Park: ASM, 1998, 1998.
- [14] X. Hu, L. Li, X. Wu, and M. Zhang, "Coarsening behavior of M23C6 carbides after ageing or thermal fatigue in AISI H13 steel with niobium," Int. J. Fatigue, vol. 28, no. 3, pp. 175–182, Mar. 2006.
- [15] D. Caliskanoglu, I. Siller, R. Ebner, H. Leitner, F. Jeglitsch, and W. Waldhauser, "Thermal Fatigue and Softening Behavior of Hot Work Tool Steels," Proc. 6th Int. Tool. Conf., pp. 707–719, 2002.
- [16] A. Jilg and T. Seifert, "Temperature dependent cyclic mechanical properties of a hot work steel after time and temperature dependent softening," Mater. Sci. Eng. A, vol. 721, pp. 96–102, Apr. 2018.
- [17] R. Markežič, I. Naglič, N. Mole, and R. Šturm, "Experimental and numerical analysis of failures on a die insert for high pressure die casting," Eng. Fail. Anal., vol. 95, pp. 171–180, Jan. 2019.

AKTUALNO / CURRENT

Pregled livarskih prireditev v letu 2022 / 2023

Datum dogodka	Ime dogodka	Mesto in država
14. - 16. 09. 2022	62. IFC Portorož 2022	Portorož, Slovenija
05. - 07. 10. 2022	Evropska konferenca tlačnega litja cinka	Koblenz, Nemčija
16. - 20. 10. 2022	74. svetovni livarski kongres in generalna skupščina WFO	Busan, J. Korea
06. - 07. 10. 2022	Randhofenski dan lahkih kovin	Salzburg, Avstrija
27. - 28. 10. 2022	Ledebur-Kolokvium	Freiberg, Nemčija
12. - 16. 06. 2023	Mednarodni sejem metalurgije in livarstva (GIFA)	Duesseldorf, Nemčija

AKTUALNO / CURRENT



64. Avstrijsko livarsko posvetovanje 2022

Na povabilo organizatorja ÖGI – avstrijskega livarskega inštituta v Leobnu, smo se kot gostje udeležili 64. avstrijskega livarskega posvetovanja, ki je potekalo 28. in

29. aprila letos v Leobnu, Avstrija. Soorganizatorja tega osrednjega livarskega dogodka sta bila še PROGUSS - Društvo za promocijo interesov in podobe avstrijskih livarn, uporabnikov in dobaviteljev (nekdanje Avstrijsko društvo livarjev) in Katedra za livarstvo Univerze v Leobnu. To je bil prvi livarski dogodek po dveh letih pandemije koronavirusa, ki je potekal še zmeraj strogimi varnostnimi ukrepi za preprečevanje širitve covid-19. Posvetovanja se je z velikim zanimanjem udeležilo blizu 300 znanstvenikov in livarskih strokovnjakov, kar je nekaj več kakor pred pandemijo. Čutila se je posebna klima velikega zadovoljstva med prisotnimi udeleženci po več kot dvoletnem izpadu strokovnih socialnih kontaktov. Osebo pa sem šele takrat dojela, kako pomembno je bilo to za naše članice Društva – livarske in druge strokovnjake ter znanstvenike, da smo se odločili, da ne prekinjamo naših kontaktov v živo v Portorožu tudi v kritičnih letih 2020 in 2021.

Zaradi ekonomsko negotovih razmer, ki jih je povzročil korona virus in tudi vojna v Ukrajini, so osebni pogovori ter izmenjava izkušenj od velikega pomena. Vsi se soočamo danes z galopirajočo rastjo stroškov energije in surovin ter njihovo negotovo oskrbo. Trajnostna strategija za podnebno nevtravno proizvodnjo prihaja v vse pore našega življenja in zadeva tako proizvajalce in porabnike ulitkov kot tudi vso oskrbovalno verigo. Na to temo se je na konferenci zelo veliko razpravljalo. Bili smo si vsi edini, da so ulitki prisotni v vseh področjih dela in življenja in kot taki nepogrešljivi. Zato bo uporaba le-teh tudi v prihodnje bistvenega pomena. Njihova bistvena vloga je še posebej v primeru, ko gre za trajnostne in podnebne nevtralne izdelke in procese, saj so prednosti litja pred drugimi proizvodnimi procesi še posebej očitne oziroma občutne. Proizvodnja kompleksnih ulitkov za integralne dele v primerjavi z drugimi primerjalnimi komponentami, pomeni tudi nižjo porabo energije in virov ter je tudi iz tega razloga v prednosti. Kar pa je še posebno pomembno, ulitki predstavljajo kvaliteten material za recikliranje in s tem v popolnosti izpopolnjujejo idejo o trajnostnem razvojnem gospodarstvu.

Konferenca je bila posvečena tudi 25 obletnici sodelovanja med Univerzo za montanistiko in ÖGI - Avstrijskim livarskim inštitutom v Leobnu. Nedvomno gre za dolgoletno odlično partnersko sodelovanje na znanstvenem področju z močno aplikativno usmerjenimi raziskavami za industrijo in gospodarstvo skozi vrsto inovacij ter uvajanje novih tehnologij. V okviru tega sodelovanja so nenehno bile na voljo raziskovalne zmogljivosti tudi za študente, ki lahko opravljajo vaje in delajo diplomske ter poddiplomske naloge na razpoložljivih napravah. Dizertacije pa se vključujejo v aplikativno usmerjeno raziskovalne projekte na ÖGI.

Paleta predavanj, ki je bila predstavljena na letošnjem avstrijskem livarskem posvetovanju v Leobnu s strani Univerze za montanistiko in ÖGI, je nedvomno pokazala izjemno velik znanstveni potencial. Konferenco je spremljala tudi livarska razstava na kateri je bilo prisotnih 24 razstavljalcev – pretežno dobaviteljev za livarsko industrijo, ki so se predstavili s svojimi novostmi. Razstava je omogočila tudi intenzivno izmenjavo izkušenj po dveh letih zapor, ki jih je povzročila pandemija koronavirusa. Za veliko večino udeležencev je posebno doživetje bil livarski večer prvega dne posvetovanja, ki je potekal v novi stavbi »Live Congress Leoben«. Praktično so se kar vsi prvič, razen nas in naših udeležencev v Portorožu, po dveh letih srečali v živo. Velika želja po strokovnih pogovorih v sproščenem vzdušju, navezovanje novih stikov in sklepanje novih prijateljstev, je bila polno izpolnjena.



Ob zaključku 64. Avstrijske livarske konference danes v Leobnu, od leve proti desni: Univ. Prof. dr. WILFRIED EICHLSEDER, rektor Montan Universität Leoben, Mag. DI MIRJAM JAN-BLAŽIČ, predsednica Društva livarjev Slovenije, DI GERHART SCHINDELBACHER, dolgoletni dosedanji direktor ÖGI- Avstrijski livarski inštitut v Leobnu, DI CHRISTA ZENGERER, nova direktorica ÖGI- Avstrijski livarski inštitut v Leobnu, Dr. SONJA SHEIKH, direktorica ACR- Austrian Cooperative Research Wien, Prof. dr. PETER SCHUMACHER, predstojnik katedre za livarstvo- Montan Universität Leoben.

V nadaljevanju povzemamo večino predstavljenih predavanj na posvetovanju

Plenarna predavanja

- Področje livarstva litin na osnovi železa s posebno skupino predavanj iz raziskovalnih projektov Avstrijskega livarskega društva.



- Področje livarstva na osnovi neželeznih kovin, s posebno skupino predavanj iz raziskovalnih projektov Avstrijskega livarskega inštituta.

W. Volk, J. Hoyerr, S.Kammerlocher, TU München, Katedra za preoblikovanje in livarstvo (D): **Litje kompozitov in njihova nadaljnja predelava:**

Zaradi vse večjih zahtev po kombinaciji različnih mehanskih, fizikalnih in kemičnih lastnosti so poskušali z izdelavo kompozitov s postopkom kontinurnega litja z integracijo soležnih vstopnih kanalov. S tem je možno izdelati kombinacije litih struktur v kontinuirano ulitih enostavnih oblikah. Temu sledi postopek klasičnega monolitnega preoblikovanja takih struktur. Pri tem je največja težava v adaptacijah mejnih plasti različnih materialov. Tako kontinuirano ulite profile so potem poskušali reciklirati in s taljenjem reciklatov doseči enakomernejšo strukturo osnovne litine ter pri tem enakomernejšo strukturo ulitih elementov.

E. Bader, ExOne GmbH, Gersthoven (D): **3D-pritisk- in začetek livarstva v prihodnosti:**

Zaradi vseh problemov v livarstvu je edina rešitev v digitalnem 3D vodenem pritisku selektivnega nanašanja tekočih veziv v peščene forme in jedra. Proces je ciljno nanašanje in računalniško vodeno usmerjanje kapljic veziva v peščeno formo, kar prinaša prednosti v hitrosti in kompleksnosti izdelave ulitkov. Prikazani so bili primeri kako s tem inovativnim postopkom optimiziramo postopek izdelave z namenom doseganja višje storilnosti in kvalitete ulitkov.

M. Berbić, G. Schindlbacher, P. Hofer-Hauser, P. Schumacher, ÖGI (AT): **Prednosti topološke optimizacije pri 3D-postopku uravnavanja pritiska peska:**

Podani so bili primeri optimizacije oblikovanja peščenih form in jeder, ki jih je mogoče doseči le z 3D regulacijo pritiska v formi, kar vodi v izboljšave pri razpadanju peska in k boljši CO₂ bilanci v ulitkih ter prednostim optimizacije struktur jeder. Z numerično simulacijo je možno tudi topološko optimizirati notranje strukture peščenih jeder. S tem omogočimo tudi optimizacijo geometrijskih pogojev topološke optimizacije. S tem lahko optimiziramo tudi kompleksnost form in jeder. Prikazani so bili tudi primeri doseganja večje kompleksnosti form in jeder, ki so v predavanju bili podrobneje obdelani.

H. Spiegel, Westcam Datentechnik GmbH, Mils, M. Steinbusch, Voxeljet AG, Friedberg (D): Anorganski 3D-tlak- najučinkovitejša rešitev za livarne jutri:

Aditivna proizvodnja je do sedaj bila izkoriščena le za proizvodnjo prototipov ali za maloserijsko proizvodnjo. Podjetji Voxeljet z Loramendijem kot ponudnikom celovitih rešitev za izdelavo jeder in form ter ASK Chemicals kot vodilni ponudnik livarskih materialov so skupno poiskali možnost aditivne proizvodnje za serijsko livarsko industrijo. Skupaj so razvili prvo popolnoma avtomatsko 3D-tiskanje jeder za avtomobilsko industrijo. Industrija printanja jeder (ICP Tehnologija) omogoča avtomatizirano izdelavo za zelo kompleksna pečena jedra za livarsko industrijo. Z razvojem 3D-tiskanja anorganskih materialov je mogoče doseči sedanjo serijsko proizvodnjo konvencionalnih postopkov izdelave jeder.

H. Steinlechner, G. Haaser, S. Maierhofer, Ardwox GmbH, Wien, B. Oberdorfer, D. Habe, M. Frank (AT): Interaktivna analiza poroznosti in mreže poroznosti na osnovi računalniške tomografije (CT):

Predstavljena je bila nova, polavtomatska zasnova za celovite analize in potem konkretna pretvorba teh rezultatov v uporabne mreže in mrežne povezave. Zasnovana je na osnovi klasičnih analiz poroznosti. Predstavljena so bila interaktivna orodja za uporabo različnih potencialov in rezultati predstavljajo osnovo za stanje vedenja oz. možnosti avtomatiziranih analiz.

E. Kaschnitz, A. Cziegler, W. Funk (AT): Termofizika na Avstrijskem livarskem inštitutu namenjena raziskovanju potovanja v prostor:

Avstrijski livarski inštitut je že deset let partner v raziskavah Evropske komisije na temo potovanja v prostor. Bistvo teh raziskav je nevarnost zgorevanja satelitov pri vračanju v zemeljsko atmosfero in temu potreben razvoj termo vzdržnih zaščitnih plasti. Pri tem je inštitut vključen pri zaščiti ob vstopu v atmosfero marsa in atmosfero zemlje. S tem je vključen v najširša področja: termofizikalne karakteristike materialov, termofizikalne raziskave pri visokih temperaturah, računalniške tomografije mikro odgorevanja in gostote materialov ter karakterizacije materialov z metalografskimi in drugimi laboratorijskimi metodami.

F.-W. Lohe, T. van de Sand, CAEF-Evropska livarska asociacija Duesseldorf, (D): Kaj preostane na koncu odveč? Ustvarjanje vrednosti namesto tonaže! Livarska industrija v zelo pomembnem polju dobavnih verig, transformacije in varovanja klime:

Že od začetka 2020 se svet nahaja v stalnem modusu nujnih potreb. Posledične so ekonomske posledice, podnebne spremembe. Razpoke v dobavnih verigah so izkazane s podražitvami, pomanjkanju različnih surovin, do nujnosti migracij ter večjih podnebnih sprememb. Prav na področju podnebnih sprememb si je Evropska unija postavila svoje velike cilje. Tudi livarska industrija mora pristopiti k iskanju višje vrednosti in nižje tonaže ulitkov. V časih naraščajočih stroškov za nabavo surovin je nujnost v iskanju učinkovitih, hitrih in delno nekonvencionalnih rešitev. Aktualne globalne spremembe omogočajo možnost jačanja evropskih vrednostnih verig in livarne se morajo v te vrednostne verige nujno vključevati. Ob tem je potrebno razumeti tudi varovanje klimatskih sprememb in s tem potrebno zmanjšanje transportnih razdalj ter vseh mogočih emisij. Tudi livarne morajo skrbeti za klimatsko nevtralno okolje.

O. Dworak, Avstrijska gospodarska zbornica, Varčna zvezna Industrija, Dunaj (AT): **Aktualna klimatska in energetska politika- kar je za industrijo pomembno:**

Desetletja dolga odvisnost od ruske dobave energije in surovin je v zelo hitrem času postala enormen izziv za politiko in jasno tudi za industrijo. Rusija danes ni več zanesljiv dobavitelj. Na trgu je tako potrebno zagotoviti vsaj minimalno dobavo nekaterih energetskih virov in surovin. Prioriteta mora biti v hitri izgradnji obnovljive energije in zahtevani obvezni infrastrukturi. Prav tako je potrebno razmišljati o nekaterih starih energetskih virih in jih obnoviti. Razen zagotavljanja energetskih virov je seveda tudi vprašanje cen teh virov. Energijsko zahtevne industrije so tako pod velikim vprašajem saj z višjimi stroški postajajo lahko hitro tržno nekonkurenčne.

STROKOVNO PODROČJE ŽELEZOVIH LITIN:

D. Hartmann, F. Salentin, Visoka šola za uporabne znanosti Kempten; H. Tschenett, R. Satlow, Tiroler Rohre GmbH (AT): **Podatkovna optimizacija porazdelitve debeline sten cevi v duktilnih litoželeznih cevih:**

Modeliranje na osnovi podatkov daje možnosti procese in kvaliteto proizvodov optimizirati na empirični osnovi. Raziskovali so optimiziranje profila debelin sten duktilnih litoželeznih cevi.

B. Tonn, F. Braun, F. Stiller, J. Gogolin, Tehniška univerza Clausthal (D): **Lito železo s krogličnim grafitom-vpliv sledi elementov na morfologijo grafita in mehanske lastnosti:**

Z ustrezno kemijsko sestavo lahko pri železovih litinah dosežemo natezno trdnost 400 MPa pri raztezu 22% in 900 Mpa pri raztezu 2%. Mehanske lastnosti v ulitih delih so seveda zelo odvisne od debelin sten. Raziskani so bili vplivi elementov antimona in bizmuta ter v kombinaciji s Cer-om, na rast grafita. Manjše vsebnosti antimona vodijo do porasta intercelularnega grafita. Raziskani so bili še vplivi cera in bizmuta.

S. Michelic, R. Pierer, S. Griesser iz podjetja qoncept dx GmbH Leoben (AT): **Predstavitev digitalnih možnosti za metalurške procese na konkretnem primeru uporabe v livarni jekla:**

Cilj predstavljenega projekta je bil: metalurške procese spremljati, nadzorovati, usmerjati in optimizirati. Na osnovi tipičnih zahtev za določen sistem so pomembni: optimalna poraba vhodnih materialov, zmanjšanje energetske porabe in stroškov procesa ter maksimalen procesni izkoristek. Praktično so predstavili software engineering in njegove možnosti vplivanja na izbor materialov in postopkov. Posebna pozornost je dana razvoju rešitev in implementaciji strategij.

Predstavljeni so bili tudi aktualni raziskovalni projekti izvedeni na Avstrijskem livarskem inštitutu:

- Potencial napak na napajalnikih v livarskih delih iz sive litine s krogličastim grafitom,
- ki –Metode za določanje vsebnosti ferita in perlita v duktilnem litem železu,
- termofizikalna karakterizacija lesenih materialov,
- iz varjene konstrukcije do optimiziranega ulitka v enem tednu,
- spoznavanje z napetostno korozijo pri Cu-zlitinah,
- simulacija strukture in mehanskih lastnosti litega železa -vpliv termofizikalnih lastnosti formarskih materialov.

STROKOVNO PODROČJE LIVARSTVA NEŽELEZNIH KOVIN

G. Wolf, TU Bergakademie Freiberg, (D): **Taljenje neželeznih kovin s plazemskim gorilnikom brez CO₂:**

Namesto konvencionalnih plinskih gorilcev na talilnih pečeh so uporabili električen mikrovaloven – plazemski gorilec. S tem se lahko ohranijo sedanje talilne peči. Znotraj plamenice je tako možno izmeriti temperature med 300 in 1700 ° C. S tem se omogoča modeliranje učinka med 10 in 100 %, Vse je regulirano z električno priključno močjo. Na inštitutu je bila uporabljena pilotna naprava. Kot primerjalni kriterij so uporabili indeks gostote taline. Procesni plini so bili zrak, dušik in CO₂. Uporabnost takih peči je bila s poskusi dokazana. Cilj projekta je, da s postopnim razvojem večjih peči postopno dosežejo industrijsko uporabnost teh peči.

L. Kniewallner, Rusal Marketing GmbH, Zug, (CH); D.. Fokin, Inštitut za lahke kovine in tehnologije, Moskva, (RU); S. Wiesner, Aluminium Rheinfelden Alloys GmbH, (D): **Al-Ca-zlitine: Legirni sistem s potencialom?:**

Sistem Al-Ca do sedaj ni imel posebnega pomena. Osnove za potencialno prihodnjo uporabo so: razpoložljivost in stroški Ca, ustrezne lastnosti brez termične obdelave, livnost in odlična korozijska obstojnost. Na avstrijskem livarskem inštitutu in v Rheinfeldenu so potrdili te lastnosti. Ob tem so dodatno raziskali še možnost dodajanja legirnih elementov Zn, Si, Mn in Fe. Dosežene lastnosti omogočajo potencialno uporabo za strukturne dele v avtomobilski in tudi neavtomobilski uporabi.

Za to področje so bili predstavljeni tudi raziskovalni projekti na Avstrijskem livarskem inštitutu – ÖGI in Katedri za livarstvo:

- Lahke kovine - dvig potenciala lastnosti zlitin lahkih kovin z dodajanjem nanodelcev.
- Optimizacija procesov in materialov za tlačno litje.
- Raziskava in simulacija razpok v vročem v formah za tlačno litje.
- Učinkovita kombinacija konvencionalnih postopkov za izdelavo kovina-plastika kompozitnih elementov s pomočjo simulacije.
- Simulacija zaostalih napetosti med toplotno obdelavo Al -ulitih delov s pomočjo fizikalnega materialnega modela.
- Nastavki za simulacijo hibridnega Lost Hot Top livarskega postopka.
- DFT simulacija vpliva tantala na mejno ploskev TiB₂ in opazovani učinki na učinek zmanjšanja zrn.

Za nami je še en zelo zanimiv ter kvaliteten livarski dogodek, kjer smo imeli priložnost dobiti poleg običajnega tradicionalnega posvetovanja tudi temeljit pregled dela Avstrijskega livarskega inštituta – ÖGI, ki nima le velikega pomena za razvoj livarstva v lastni državi, temveč je eden izmed vodilnih livarskih inštitutov v Evropi in z veliko reputacijo v celotnem svetu. Ob tem jubileju mu iskreno čestitamo.

Poročilo pripravila:

Em. prof. dr. Alojz Križman, glavni in odgovorni urednik Livarskega vestnika
Mag. Mirjam Jan-Blažič, predsednica Društva livarjev Slovenije

AKTUALNO / CURRENT**Nemški
livarski dan
2022**

Po dveh letih izpada zaradi pandemije koronavirusa se je v času od 5.-6. junija 2022 ponovno obudil tradicionalni osrednji livarski dogodek »Deutscher Giessereitag 2022«, ki je to pot potekal v univerzitetnem mestu Münster. Organizator tega livarskega dogodka je bil BDG - zvezno združenje nemške livarske industrije. Predavanja so bila predstavljena v štirih sklopih;

plenarna predavanja – trajnostni razvoj, surovine in študentska predavanja.

Sporočila, ki so to pot prišla v ospredje tega livarskega dogodka se vsebinsko razlikujejo od tistih s konferenc pred pandemijo. Vsi so, namreč poudarjali, da je preobrazba v podnebno nevtralnost do leta 2045 zahteva politike in industrije. Menili so, da ima nemška livarska industrija ključno vlogo pri prihajajoči revolucionarni preobrazbi. Uspešno pot v zeleno podnebno nevtralnost pa bo možno doseči z aktivno podporo industrijske politike s strani politikov v obliki zanesljivih, perspektivnih okvirnih pogojev. Ostale ključne teme so bile vezane na grozeče pomanjkanje plina in močno povečanje stroškov energije ter surovin.

V osrednjem plenarnem predavanju so bile predstavljene glavne vsebine novih perspektiv za livarsko industrijo v BDG – tržne študije do leta 2035. Študije kažejo dramatično usmerjenost oz. naraščajočo potrebo po obnovljivih energetskih virih ter vodik na podlagi ciljev za podnebno nevtralnost do leta 2045. Nemčija je z Zakonom o varstvu okolja že sprejela zelo zahtevne cilje na tem področju. Ti vključujejo množično gradnjo vetrnih turbin in širitev e-mobilnosti ter občutne naložbe v infrastrukturo, kjer bo vključen precejšen obseg livarskih izdelkov. Generalni direktor zveznega združenja nemške livarske industrije, g. Max Schumacher, je poudaril, da se nemška livarska industrija s svojim znanjem in izkušnjami vidi kot zanesljiv partner, ki je pripravljen na to revolucionarno preobrazbo oz. za dobavo pomembnih sestavnih delov. Menil je, da bodo cilji podnebne nevtralnosti do leta 2045 uresničeni s pospeškom, če bodo politiki postavili realne cilje in ustrezne okvirne pogoje. Torej, potrebna bo ustrezna strategija industrijske politike ob zagotovitvi mednarodno



Predsednica Društva skupaj s Prof. Rüdiger Bähr (desno), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg in Norbert Stein, Leichtmetallgießerei Bad Langensalza GmbH (levo) na livarski razstavi

konkurenčnih cen energije. Ker je v času korone prišlo do pogostih pretresov v nabavi in dobavnih verigah je veliko govora bilo tudi o nabavi komponent na regionalni ravni, ki tudi zmanjšuje ogljični odtis in povečuje varnost v dobavni verigi.

Po konferenci smo vsem direktorjem in kontaktnim osebam Društva poslali tudi vsa predavanja, ki so bila na voljo v pisni obliki, zato v tem prispevku ne predstavljamo posameznih predavanj s konference.

Prispevek pripravila:

Mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

METEF 2022



V času od 9.-11. junija 2022 je v Bolonji v Italiji potekala osrednja italijanska razstava METEF – razstava aluminijских tehnologij, livarstva in inovativne kovinske industrije. Društvo livarjev Slovenije je že pred leti pričelo s sodelovanjem s organizatorji METEFA. Sodelovanje smo ponovno obudili sredi lanskega leta. Dogovorili smo se, da bo Društvo livarjev Slovenije METEF 2022 promoviralo svojim članom na spletni strani Društva in s pošiljanjem raznih obvestil na temo METEFA po naši emailing listi ter potom reklamnih objav v naši livarski reviji Livarski vestnik. Livarski vestnik je po dogovoru postal tudi medijski pokrovitelj METEFA. Priprave na METEF so odlično potekale vse do srede januarja letos oz. do trenutka, ko je prišlo do odpovedi sejma EUROGUSS 2022 v Nuernbergu, zaradi še trajajoče pandemije korona virusa. Potem je sledila predstavitev EUROGUSSA na isti teden v juniju, kjer je že bil določen in potrjen termin METEFA. Ker je sejem EUROGUSS zelo dobro obiskan sejem s strani slovenskih livarn, so se vsa tista podjetja, ki so že imela tako rekoč v celoti dogovorjene in pripravljene razstavne prostore za EUROGUSS, odločila za udeležbo

na EUROGUSSU in ne na METEFU. Tako so do tedaj naša skupna prizadevanja v smeri METEFA, padla žal v vodo.

Ker je dogovor o sodelovanju med Društvom in METEFOM predvideval reprociteto v delovanju, je METEF prevzel obveznosti spletnega reklamiranja našega osrednjega livarskega dogodka - 62. IFC Portorož 2022 in medijske objave v osrednji mednarodni strokovni reviji A&L za aluminij, zlitine,

tlačno litje in livarske tehnologije. Tako je lanskega oktobra pod peresom glavnega urednika revije A&L, g. Maria Conserve izšel obsežen članek o slovenski aluminiji in livarski industriji in dodatno še tudi o našem zadnjem 61. IFC Portorož 2021.

Koristimo to priložnost, da članice Društva in naše druge bralce Livarskega vestnika obvestimo, da je g. Mario Conserva ne samo glavni urednik revije A&L, ampak od ustanovitve METEFA, pred 25 leti, tudi predsednik METEFA in generalni sekretar FACE, federacije, ki zastopa interese proizvajalcev in porabnikov aluminija v Evropi. Za svoje dolgoletno delo je prejel letos prestižno priznanje svetovne organizacije International Aluminium Institut in se s tem uvrstil v skupino 50 posebno pomembnih svetovno znanih osebnosti. Gospod Conserva je z več kot 60-letnim delom s svojo zavzetostjo pomembno prispeval k razpoznavnosti in pomenu aluminijske industrije. Koristimo to priložnost, da mu izrečemo iskrene čestitke s strani Društva livarjev Slovenije za to prestižno priznanje in mu zaželimo veliko dobrega zdravja in energije za uspešno delo naprej.

V prispevku, ki ga objavljamo v nadaljevanju, je predstavljen pretežni del obvestila za javnost o METEFU 2022, katero smo prejeli od organizatorja METEFA, s katerim smo že v navezi za sodelovanje v naslednjem letu, ko se METEF zopet organizira v Bolonji in sicer bo to v času od **30. marca do 1. aprila 2023.**



*Pripravila:
Mag, Mirjam Jan-Blažič*



[Press release](#)

MECSPE and METEF 2022
Manufacturing and aluminium supply chains get together in
Bologna, to the satisfaction of operators:
39.348 visitors and 2,000 exhibiting companies

In 2023, MECSPE and METEF will be back in BolognaFiere, from March 30 to April 1

Milan, June 15, 2022 - The 20th edition of **MECSPE**, the exhibition on technologies and innovation for manufacturing, and the 12th edition of **METEF**, the international expo devoted to aluminium, organized by Senaf took place simultaneously for the first time, from June 9th to June 11th, at BolognaFiere, closing with an actual success. The two events, whose inauguration was also attended by Deputy Minister of Economy and Finance **Laura Castelli**, have reflected the vibrancy of the market and also confirmed themselves as important hubs for the whole Italian and international industrial sector in 2022: suffice to say that **39.348 professionals** have visited the 13 thematic halls and stands of the 2,000 exhibiting companies and participated in the many special initiatives and conferences organized in the halls, which have covered 92,000 square meters of exhibition space.

The 2022 MECSPE event was a transit edition: in 2023, the historic dates of March in 2023 will be restored. However, the 2022 edition has met the expectations of **professionals, who come to the exhibition** expecting a strong payoff, "come find the idea you're missing."

The motor, white, luxury, automatic machinery, mechanical and plastic processing, logistics and aluminium districts have been able to visit the stands of 2,000 companies on display, finding innovative people and solutions. From new materials produced by recycling coffee pods, to the most innovative plastic, metal and large-scale additive manufacturing machines, from reverse engineering equipment to the extreme accuracies of the latest chip removal machines.

After being welcomed by a well-wishing industrial robot placed at the main entrance of Piazza Costituzione, visitors were able to appreciate the installation of information holograms introducing them to the **Mecspe Live Academy** area, the exhibition heart of the 2022 edition, created in collaboration with the six Competence Centres and companies. The holograms' purpose was explaining how the application of new technologies can improve the companies' production process and involve young people in the fascinating world of industrial processes.

Mecspe, has thus relaunched its strategic role in pooling, comparing and promoting synergies between professional operators in the specialized mechanics and Industry 4.0 sectors, also thanks to the presence of foreign buyers. The program, rich in content and special initiatives, was developed along the three themes of **digitization, sustainability, and education**, which are essential for business growth. The 20th edition also has also seen the debut of the **Facilitated Finance Square**, managed by **Innova Finance**, which organized some 50 meetings to show entrepreneurs the financial and fiscal tools available to businesses; this activity is vital to obtain funding at more advantageous conditions than those of the market, thus allowing business development, optimizing resources, supporting investment and promoting innovation.

Great focus was placed on one of the most heartfelt issues in the business world, namely sustainability. Aluminium is among the key players of this transformation: it has been defined as the "**metal of the future**" because of its flexibility and endless re-usability, which are key features in making the industrial sector even more sustainable and efficient. The **Green Aluminum Conference** has stood out at **METEF 2022**, showing the metal's potential on the **circular economy and energy efficiency** front. This edition has also marked the debut of the new **Premio Pressocolato Italia** awarded to Fondital due to the important contribution in the field of sustainability and innovation by its die-cast.

AKTUALNO / CURRENT



Sejem Euroguss 2022

Končno po kar treh odpovedih je težko pričakovan sejem tlačnega litja EUROGUSS dobil zeleno luč za vrnitev na svoje staro prizorišče v Nürnbergu. Štiri sejemske stavbe so v času od 08. – 10. 06. 2022 dodobra zapolnili razstavljalci in obiskovalci. Na razstavnih prostorih je sodelovalo 641 razstavljalcev iz 36 držav (na zadnjem EUROGUSSU 2018 642 razstavljalcev iz 33 držav). Sejem pa je obiskalo okoli 10.707 obiskovalcev iz 61 držav. Omenjeni podatki kažejo, da pandemija ni negativno vplivala na interes za ta sejamski dogodek. Na to kaže tudi udeležba razstavljalcev iz Slovenije. Svoj nastop na EUROGUSSU iz leta 2018 so ponovile tudi letos naše naslednje članice Društva – Difa d.o.o., Iskra ISD

Livarna d.o.o., Hidria d.o.o., Livarna Gorica d.o.o., LTH Castings d.o.o. ter Talum d.d. Letos se je za sejamski nastop odločila tudi Mariborska livarna Maribor d.d. Od drugih podjetij iz Slovenije pa smo opazili, da so bili prisotni: Blisk livarstvo d.o.o. iz Kranja, Kafra-livarna iz Kamnika ter Orodjarstvo Gorjak.

Sejem EUROGUSS je letos livarskim proizvajalcem, dobaviteljem livarske industrije, kupcem ulitkov in razvojnikom ponudil nov pogled v poslovanje in načine komuniciranja. Nismo imeli vtisa, da je pandemija negativno vplivala na doseženo visoko kakovost dogodka iz preteklosti. Glede na nove razmere je bistvena novost predvsem v tem, da se za isto mizo sedaj srečujejo in sodelujejo vsi akterji od livarjev do drugih industrijskih proizvajalcev v celi prodajno-oskrbovalni verigi. Vsi ti razpravljajo o različnih procesih za doseganje skupnih ciljev v smeri podnebne



Ekipa prof. Primoža Mrvarja (desno) - Katedre za livarstvo in TC livarstvo

nevtralnosti. Večkrat je bilo zaslediti mnenje, da se od državne politike pričakuje, da bo najprej zagotovila sprejemljive, stalne in prožne okvirne pogoje za doseganje tega cilja. Seveda glavni del tega posla pa bodo morale opraviti livarne same, ob tem pa mora potekati stalen in odprt industrijski dialog. Industrijska politika je vedno tudi energetska politika, zato je potrebno »Green Deal« spraviti s tal na tehnološko odprt način.

Na sejmu je bilo možno iz prve roke spoznati poleg inovativnih izdelkov tlačnega litja, novih strojev in sistemov ter procesov in razvoja pri izdelavi orodij, tudi druge spremljajoče tehnologije. Znotraj EUROGUSSA je potekala tudi 21. konferenca o tlačnem litju, na kateri so sodelovali predavatelji iz livarn, avtomobilske industrije, univerz in drugih podjetij. Predstavljene so bile konkretne rešitve in najnovejši dosežki ter ideje. Potekali so tudi drugi podporni programi o temah, kot so aditivna proizvodnja in površinska tehnologija, vodeni ogledi različnih aktualnih tem ter panelne razprave.

To sejmsko srečanje je nedvomno pokazalo, da EUROGUSS ostaja idealno mesto za srečanje in izmenjavo informacij ter idej o prihodnosti tlačnega litja oziroma te livarske tehnologije in procesov, vezanih za proizvodnjo ulitkov kot pomembnih industrijskih izdelkov.

Poročala:

Mag. Mirjam Jan-Blažič



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE

Vabilo za

62. IFC PORTOROŽ 2022

z livarsko razstavo

14. - 16. SEPTEMBER 2022

Kontakt: DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE,

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

T: +386 1 2522 488, F: +386 1 4269 934

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

WE HELP TO SAVE TONNES OF CO₂ EVERY DAY.

By assisting with the construction of reliable wind turbines -
with the help of our products and experts.

**FIND OUT
MORE?**

Visit our
website at
www.foseco.com
to learn more



Castings are indispensable in the building of wind turbines, that not only generate large volumes of energy, but are also able to withstand the strongest of storms.

Foundries have relied on having a strong partner at their side for more than 100 years, with innovative solutions, efficient technologies and products of the highest quality. Together with the expertise of experienced foundry engineers - worldwide and also directly on your doorstep.



FOSECO. Think beyond. Shape the future.

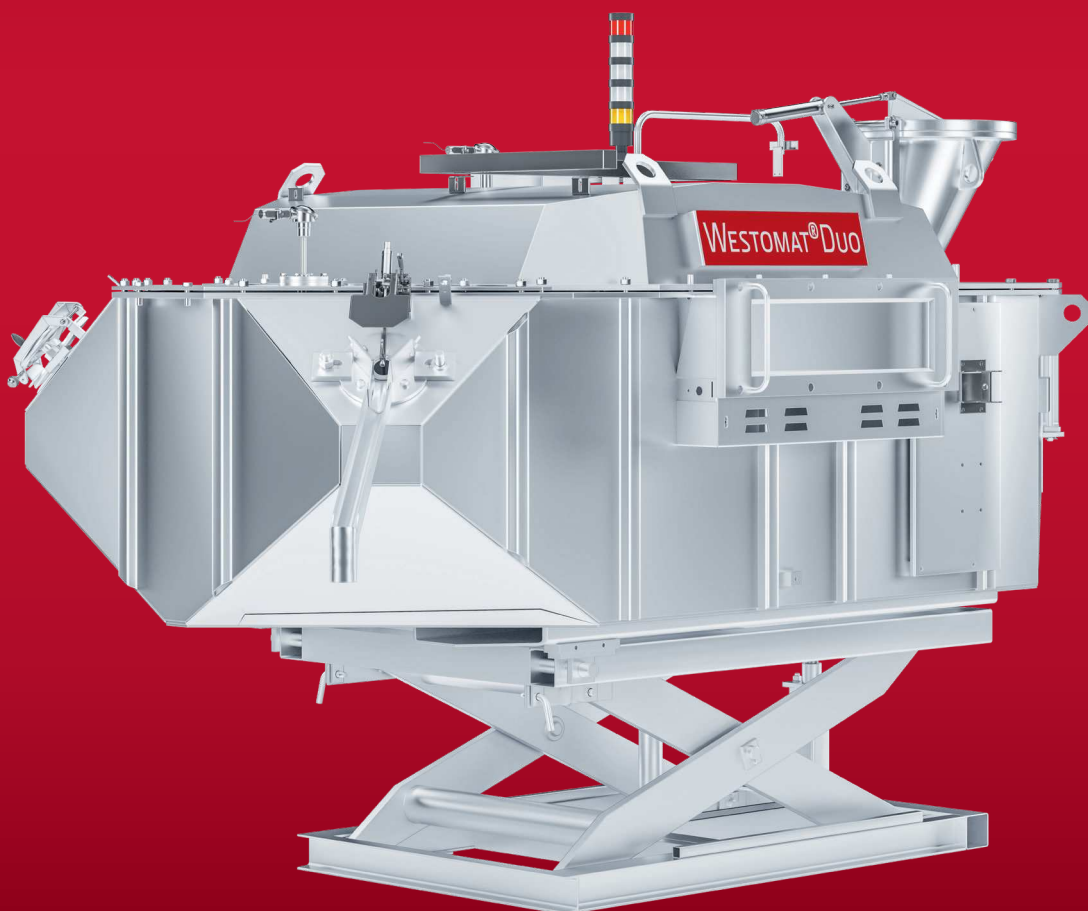
VESUVIUS

Subscribe to our newsletter at www.foseco.com now.



Westomat Duo

Compact and highly customized



Increasing productivity in light metal foundry industries

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

www.strikowestofen.com

StrikoWestofen[®]
A Norican Technology



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 oplaščenih 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