

LIVARSKI VESTNIK

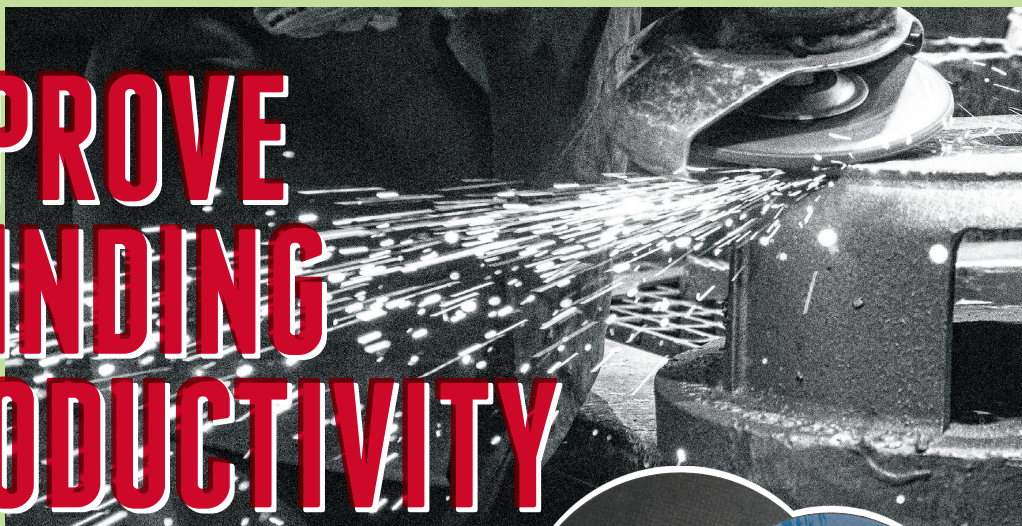
71/2024

4



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY

IMPROVE GRINDING PRODUCTIVITY



**Increase throughput in your cleaning room
by improving grinding productivity.**

Today's demand for foundry products is high and so is the need for productivity improvements. These gains often depend on your ability to eliminate bottlenecks in your cleaning rooms. Yet due to labor shortages, supply chain challenges, and the growing complexity of the castings, it keeps getting harder to finish all the products that you're able to cast. And that impacts your ability to respond to your customers' demands and remain profitable.

At Weiler Abrasives, we believe it's possible to improve productivity in your cleaning room.

Improve your throughput and improve your profitability.



emea.weilerabrasives.com



PRODUCTS FOR FOUNDRIES AND STEELWORKS



COATINGS FOR FOUNDRIES



THERMOINSULATION MATERIALS FOR STEELWORKS AND FOUNDRIES



OTHER PRODUCTS

*ferro alloys, inoculants,
nodulators, recarburisers*



REPRESENTATIVES

*Magma, Tribo - Chemie,
Henschke*



exoterm@exoterm.si

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

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

Glavni in odgovorni urednik / Chief and responsible editor:

prof. dr. Alojz Krizman
E-mail: alojz.krizman@um.si

Tehnično urejanje / Technical editing:

mag. Mirjam Jan-Blažič

Uredniški odbor / Editorial board:

prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani
dr. Mitja Petrič, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Rebeka Rudolf, Univerza v Mariboru
prof. dr. Andreas Bührig-Polaczek, Giesserei
Institut RWTH Aachen
prof. dr. Peter Schumacher, Montanuniversität
Leoben
prof. dr. Rüdiger Bähr, Otto-von-Güricke-
Universität Magdeburg
prof. dr. Reinhard Döpp, TU Clausthal
prof. dr. Jerzy Józef Sobczak, Foundry
Research Institute, Krakow
prof. dr. Jaromir Roučka, Institut Brno
prof. dr. Branko Bauer, Univerza v Zagrebu

Prevod v angleški jezik / Translation into English:

Leemeta d.o.o.

Lektorji / Lectors:

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

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

Naklada / Circulation:

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

Letna naročnina: 35 EUR z DDV
Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: december 2024



WEILER ABRASIVES d.o.o.
Titova cesta 60
SI-2000 Maribor

Direktor: Jože Kaligaro

T: +386 2 333 16 00
E: Info.slovenia@weilerabrasives.com
www.weilerabrasives.com

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

P. Hofer-Hauser, R. Gschwandtner, M. Berbic: Vpliv lokalnega hlajenja na nastajanje finih površinskih razpok in razpok v vložkih orodij za tlačno litje / The Influence of Local Cooling on Heat Checking and Crack Formation in HPDC Die Inserts	176
R. Kleinhans, C. Jugert, A. Bissinger, F. Noweck, M. Pintore: Priložnosti in možnosti neposredne uporabe odpadnega materiala v livarnah aluminija / Opportunities and possibilities for the direct use of scrap in aluminum foundries	193
L. Mrkobrada, I. Jandrič, F. Kozina, T. Brlić: Plastične nestabilnosti pri obdelavi zlitine AlMg / Plastic Instabilities During Processing of AlMg Alloy	210
J. Caster: Mazanje z minimalno količino maziva z elektrostatično aplikacijo / Minimum Quantity Lubrication with Electrostatic Application	222

AKTUALNO / CURRENT

Študij na Oddelku za materiale in metalurgijo (OMM) na Naravoslovnotehniški fakulteti (UL)	234
Livarske prireditve 2025/26	240
Poročilo z 64. IFC Portorož 2024 - 2. del	241
Indeks razpoložanja evropske livarske industrije, september in oktober 2024	259
Seminar za tlačne livarne v podjetju Bühler, Uzwil	261
75. svetovni livarski kongres, Deyang, Kitajska	263
65. IFC PORTOROŽ 2025	268

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

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

Vpliv lokalnega hlajenja na nastajanje finih površinskih razpok in razpok v vložkih orodij za tlačno litje

The Influence of Local Cooling on Heat Checking and Crack Formation in HPDC Die Inserts

Izvleček

Orodja za visokotlačno litje so v industrijski proizvodnji izpostavljena različnim pojavom, ki povzročajo obrabo. Poleg erozivne in abrazivne obrabe zaradi visokih hitrosti pretoka taline so prisotni tudi pojavi, ki nastanejo zaradi neposrednega stika ulite zlitine z orodnim jeklom. Po eni strani so to termo-kemični učinki zaradi neposrednega stika tekoče kovine s površino, kar povzroča raztapljanje jekla z difuzijskimi učinki. To se imenuje tudi spajanje s kalupom. Po drugi strani pa proces cikličnega značaja povzroča nehomogena temperaturna polja in hitre temperaturne spremembe, zlasti na površini orodja. To povzroča velike toplotne napetosti in termo-mehansko utrujenost materiala. V življenjski dobi orodja se lahko pojavijo napake, kot so popuščanje zaradi toplote, napetostne razpoke ali lomljenje. V tem delu je bil analiziran vpliv različnih metod hlajenja na termo-mehanske obremenitve v vložkih za kalupe iz HPDC. Opravljena je bila numerična študija toplotnih in mehanskih obremenitev v razpršilno hlajenih, trajno hlajenih in pulzno hlajenih vložkih jedra, da bi ocenili učinke teh treh pristopov. Da bi opredelili termo-mehanske poškodbe v vložkih za kalupe v pogojih, ki so blizu resničnemu industrijskemu procesu, so bili izvedeni poskusi na preskusni napravi. Vpliv vrste orodnega jekla, metode izdelave (konvencionalna in aditivna proizvodnja), stanja površine hladilnega kanala in toplotne obdelave vložkov je bil ocenjen z optično mikroskopijo in merjenjem trdote. Rezultati teh preskusov so predstavljeni v tem delu. Med testiranimi vzorci je bilo mogoče opaziti jasno razliko v obnašanju obrabe. Zlasti pri pulzno hlajenih vzorcih je bilo mogoče opaziti občuten padec trdote, kar vodi do hipoteze, da nastanek poškodb v vložkih za kalupe iz HPDC ni povezan samo z absolutnimi obremenitvami, temveč tudi z degradacijo materiala med življenjskim ciklom orodja.

Abstract

High-pressure die-casting tools are subject to various wear inducing phenomena in industrial production. Beside from erosive and abrasive wear due to high flow velocities of the melt phenomena caused by the direct contact of the cast alloy with the tool steel are present. On the one hand there are thermo-chemical effects due to the direct contact of the liquid metal and the surface leading to the dissolution of the steel by diffusive effects. This is also called die soldering. On the other hand, the cyclic character process leads to inhomogeneous temperature fields and rapid changes in temperatures especially at the tool surface. This leads to significant thermal stresses and thermo-mechanical fatigue. Defects such as heat checking, stress-cracks or spalling may occur during the tool's life cycle. In this work the influence of different cooling methods on the thermo-mechanical loads in HPDC-die inserts was analyzed. A numerical study of the thermal and mechanical loads in spray cooled, permanently cooled and pulse cooled core inserts was done to evaluate the effects of these three approaches. In order to characterize the thermo-mechanical damage in tool

inserts at conditions close to the real industrial process, experiments on a test rig were performed. The influences of the type of the tool steel, the fabrication method (conventional vs. additive manufacturing), the surface condition of the cooling channel and the heat treatment of the inserts were evaluated by means of optical microscopy and hardness measurement. The results of these tests are presented in this work. A clear difference in the wear behavior between the tested specimens could be obtained. Especially the pulse cooled specimens a significant drop of hardness could be observed which leads to the hypothesis that damage formation in HPDC-die inserts is not only related to absolute loads but also to the degradation of the material during the life cycle of the tool.

1 Uvod

Pri postopku tlačnega litja (HPDC) sta kakovost ulitka in stroškovna učinkovitost celotnega proizvodnega procesa močno odvisna od učinkovitosti orodja HPDC. Kakovost ulitka je mogoče zagotoviti z ustreznim sistemom temperiranja, površinskimi premazi, dobro zasnovanim ulivnim in odzračevalnim sistemom ter izbiro materiala za orodje z zahtevanimi lastnostmi. Ekonomska vprašanja zadevajo življenjsko dobo orodja, ustreznost za učinkovito vzdrževanje in popravilo ter stroške materiala. Tehnični in ekonomski vidiki so medsebojno zelo odvisni. Tako na primer hladilno-grelni sistem vpliva na pojav toplotnih obremenitev in s tem na življenjsko dobo in čas med cikli vzdrževanja, na kar vpliva tudi sam material orodja, kar po drugi strani določa stroške orodja. V številnih primerih je učinkovito hlajenje mogoče doseči le z uporabo sodobnih tehnik izdelave, kot je 3D-tiskanje vložkov, ki pa so spet dražje od običajnih metod izdelave. V tem delu je bila v preizkuševalni napravi ocenjena dovzetnost materialov za orodja za termično-mehansko povzročene razpoke. Eksperimentalna postavitev omogoča sprožitve termomehanskega utrujanja pri vzorcih z geometrijo, značilno za jedra, ki se uporabljajo v HPDC. Toplotni gradienti in ciklična toplotna obremenitev so bili povzročeni z izmeničnim potapljanjem

1 Introduction

In the high-pressure die-casting process, the quality of the casting and the cost efficiency of the overall production process are strongly driven by the performance of the HPDC tool. As an appropriate tempering system, surface coatings, a well-designed gating, and venting channels and the choice of a die material with the demanded properties can ensure the casting quality. The longevity of the tool drives economic issues, the suitability for efficient maintenance and repair, and the material costs. There are strong interdependencies between technical and economic viewpoints. So e.g. the tempering system affects occurring thermal stresses and thereby the longevity and the time in between maintenance cycles which is also affected by the tool material itself which on the other hand determines the costs of the tool. In many cases, efficient cooling can only be realized by making use of modern fabrication techniques such as 3D-printing of inserts which again are more cost-intensive than conventional fabrication methods. In this work, the susceptibility of die materials to thermo-mechanically induced cracking was evaluated in a test rig. The experimental setup allows to induce thermo-mechanical fatigue in specimens with a geometry typical for core pins as they are used in HPDC. Thermal gradients and

vzorcev v kopel aluminijeve zlitine in hlajenjem na zraku, medtem ko so bili vzorci aktivno hlajeni od znotraj s stalnim ali časovno odvisnim pretokom vode. Prikazani in primerjani so rezultati za tri različne materiale (dve jekli za delo v vročem in eno maraging jeklo) iz različnih proizvodnih metod, v različnih stanjih toplotne obdelave in z različnimi stopnjami hrapavosti površine hladilnega kanala.

2 Osnove

Visokotlačno litje je ciklični postopek, pri katerem je livarsko orodje izpostavljeno toplotnemu ciklu, ki ga povzročata prenos toplote iz tekoče taline v matrico in odvajanje toplote s prenosom toplote v okolico, notranje hlajenje in prisilno površinsko hlajenje s pršenjem in pihanjem. Pri običajnem postopku HPDC se za hlajenje površine orodja po izmetu ulitka kot del režima hlajenja orodja uporablja pršenje vode. V tej fazi postopka se uporabi tudi ločilno sredstvo, ki zagotovi, da se ulitek lahko odstrani iz orodja brez deformacij ali sledi na površini. Vodno hlajenje se uporablja tudi za uravnoteženje globalnega toplotnega polja s prilagajanjem postopka pršenja. Hlajenje z vodnim pršenjem povzroči močne pogoje hlajenja in visoke natezne obremenitve na površini matrice, se tem pa poškodbe, kot je nastanek finih površinskih razpok (ang. heat checking). Namesto tega postopka se lahko količino pršenja vode kar najbolj zmanjša z uporabo posebnih ločilnih sredstev (mikropršenje). Ta posebna sredstva se lahko nanesejo na matrico pri višjih temperaturah kot običajna sredstva. Zaradi manjšega prenosa toplote s površine so natezne obremenitve na površini orodja kar najbolj zmanjšane, s tem pa se zmanjša količina površinskih poškodb. Pri mikropršenju je treba upoštevati, da

cyclic thermal loading were induced by the alternation of dipping the specimens in an Al-alloy bath and cooling them in ambient air while they were actively cooled from the inside with either permanent or time-dependent water flow. The results for three different materials (two hot working steels and one maraging steel) from different production methods, in different heat treatment states, and with different surface roughness levels of the cooling channel are shown and compared.

2 Basics

High-pressure die-casting is a cyclic process where the casting tool underlies thermal cycling which is caused by the heat transfer from the liquid melt to the die and the heat removal by heat transfer to the ambient, internal cooling, and forced surface cooling via spraying and blowing. The conventional HPDC process uses water spray to cool down the tool surface after part ejection as a part of the cooling regime of the die. In this process step also the release agent is applied to ensure that the part can be ejected from the mould without deformation or surface marks. Water cooling is also used for balancing out the global thermal field by adjusting the spray process. Cooling with water sprays leads to harsh cooling conditions and to high tensile stresses at the die surface which cause damage patterns such as heat checking. As an alternative to this procedure, the amount of water spraying can be reduced to a minimum by the use of special release agents (micro-spraying). These special agents can be applied to the die at higher temperatures than conventional ones. Due to the reduced heat transfer from the surface, the tensile stresses at the tool surface are minimized, leading to a reduced

se toplotni pogoji uravnotežijo izključno z notranjim hlajenjem. V tem primeru je treba postopek zelo dobro načrtovati v fazi izdelave orodja. Zagotoviti je treba, da so vsi deli orodja, vključno z izpostavljenimi jedri ali drsniki, ustrezno ogrevani/hlajeni z ločenimi hladilnimi krogotoki.

Prenos toplote z ohlajene površine na medij za prenos toplote je podan z enačbo 1:

$$\dot{Q} = A \cdot \Delta T \cdot \alpha(T_{inter}, Re, M, \dots) \quad \text{enačba 1}$$

V enačbi 1 $\dot{Q}$ je površinski toplotni tok, A površina, ΔT temperaturna razlika med površino in medijem za prenos toplote, α koeficient toplotne prestopnosti, ki je sam po sebi funkcija temperature mejne površine T_{inter} , Re Reynoldsovo število, vrsta hladilnega medija M in drugi parametri. Pri (numeričnem) modeliranju pojavov prestopa toplote pogosto predpostavlja, da je le funkcija temperature mejne površine, medtem ko so vsi drugi učinki na mejni površini združeni v eno vrednost, ki se uporabi pri metodi hlajenja. Poleg tega vrednosti zelo pogosto izbere izdelovalec modela na podlagi lastnih izkušenj. Na splošno pa je mogoče predpostavljati, da so tipične vrednosti α zelo visoke ($>10.000 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) za hlajenje z vodnim pršenjem in zelo turbulentno notranje vodno hlajenje ter precej nizke ($< 2.000 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) za oljno hlajenje in plinaste hladilne medije. V prejšnjih raziskovalnih projektih [1-3] so bile objavljene meritve koeficientov toplotne prestopnosti pri pršilnem in notranjem hlajenju z različnimi mediji. Raziskava dovzetnosti za nastajanje finih površinskih razpok za različne materiale zaradi močnega površinskega hlajenja je bila objavljena v virih [4, 5].

Zaradi teh dejstev se pri notranjem hlajenju - zlasti na območjih, kjer je treba v kratkem času odvesti velike količine toplote

amount of surface defects. If micro-spraying is applied it has to be considered, that the thermal conditions have to be balanced out solely with the internal cooling. In that case, the process must be planned very well in the construction phase of the tool. It has to be ensured, that every region of the die, including exposed core pins or sliders is properly tempered/cooled with separate cooling circuits.

Heat transfer from a cooled surface to a heat transfer medium is given by equation 1:

$$\dot{Q} = A \cdot \Delta T \cdot \alpha(T_{inter}, Re, M, \dots) \quad \text{equation 1}$$

In equation 1 $\dot{Q}$ is the surface heat flow, A is the surface area, ΔT is the temperature difference between the surface and the heat transfer medium and α is the heat transfer coefficient which itself is a function of the interface temperature T_{inter} , Re the Reynold's number, the type of cooling medium M and other parameters. In the (numerical) modelling of heat transfer phenomena is often assumed to be only a function of the interface temperature whereas all other effects at the interface are merged to one value which is adapted to the cooling method. Moreover, the values are very often chosen by the model builder based on his own experience. However, generally, it can be assumed, that the typical values for α is very high ($>10.000 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) for water spray cooling and highly turbulent internal water cooling and rather low ($< 2.000 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) for oil cooling and gaseous cooling media. In previous research projects measurements of the heat transfer coefficients for spray cooling and internal cooling with different media have been published in [1-3]. The investigation of heat checking susceptibility for different materials due to harsh surface cooling to heat checking was published in [4, 5].

- kot hladilni medij pogosto uporablja voda, ki je zaradi svojih fizikalnih lastnosti zelo učinkovit hladilni medij. Hlajenje z vodo se lahko izvaja s tlačnimi sistemi s stalno vstopno temperaturo in stalnim pretokom ali s pulznim hlajenjem z ločenimi intervali hlajenja med posameznimi fazami procesa. Kontinuirno hlajenje običajno deluje pri temperaturah do 150 °C, pri čemer se vzpostavijo nizke do zmerne temperature površine hladilnega kanala, medtem ko pulzno hlajenje uporablja nižje temperature (med 45 in 90 °C), da bi z visoko vrednostjo ΔT v času vklopa odvedlo več toplote. Ti različni načini hlajenja vodijo do različnih časovno-temperaturnih porazdelitev v hlajenem vložku in posledično do različnih vzorcev in ravni obremenitve, ki so posledica temperaturnih gradientov.

Preglednica 1 prikazuje stanje pri hlajenju izpostavljenega elementa orodja, kot je jedro.

Za prikaz glavnih mehanizmov nastajanja obremenitve v hlajenih orodnih vložkih zaradi toplotnih ciklov so bile izvedene simulacije s programskim orodjem ANSYS Workbench. Študija je bila opravljena na preprostem osno-simetričnem jedrnem vložku:

- Brez notranjega hlajenja, s pršenjem vode,
- Notranje hlajenje, kontinuirno, brez pršenja vode,
- Notranje hlajenje, pulzno, brez pršenja vode.

Parametri postopka vseh simulacij so bili prilagojeni tako, da so bile globalne toplotne bilance jedrnih vložkov podobne. To pomeni, da je pri hipotetičnem postopku litja toplota, ki se odvede v enem ciklu, podobna za vse jedrne vložke. Po toplotni simulaciji je bil opravljen še mehanski izračun. Temperature in obremenitve so bile ocenjene na zunanji površini, in sicer na

Due to these facts internal cooling - especially in regions where large amounts of heat must be removed within a short period - often uses water as a cooling medium, which is due to its physical properties a highly efficient cooling medium. Water cooling can either be realized using pressurized systems with constant inlet temperatures and permanent flow or pulsed cooling with distinct cooling intervals during the single process stages. Permanent cooling typically works with temperatures up to 150 °C establishing low to moderate temperatures of the surface of the cooling channel whereas pulsed cooling uses lower temperatures (between 45 and 90 °C) to remove more heat via a high ΔT -value in the time while they are switched on. These different methods of cooling lead to different time-temperature distributions in the cooled insert and consecutively to different stress patterns and stress levels as a result of the temperature gradients.

If for example the cooling of an exposed die element such as a core pin is taken under consideration the situation is as shown in table 1.

To show the principal mechanisms of stress formation in cooled die inserts because of thermal cycling simulations were performed using ANSYS Workbench. The study was done on a simple axial-symmetric core insert with:

- No internal cooling, using water spraying,
- Internal cooling, permanent, no water spraying,
- Internal cooling, pulsed, no water spraying.

The process parameters of all simulations were adjusted to ensure that the global heat balances of the pins were similar. This means that in a hypothetical casting process, the heat that is removed in

Preglednica 1. Temperatura in stanje ob obremenitvi pri uporabi različnih načinov hlajenja

Način hlajenja	Stanje na zunanji površini	Stanje na površini izvrtine
Pršilno hlajenje, brez notranjega CC	Temperatura se spreminja od najvišjih vrednosti na površini do najnižjih vrednosti na površini, kar povzroča izmenično natezno-tlačno obremenitev.	Brez izvrtine
Brez pršilnega hlajenja, notranje hlajenje: kontinuirno	Temperatura na površini je najvišja v nekaj trenutkih po koncu polnjenja in se približuje temperaturi hladilnega sredstva tik pred vbrizgavanjem kovine. To povzroči naraščanje tlačne obremenitve.	Temperatura se giblje od vrednosti blizu temperature hladilnega sredstva do zmernih vrednosti na vrhuncu strjevanja ulite taline. Posledica tega je naraščanje natezne obremenitve, ki je največja pri zmerni temperaturi.
Brez pršilnega hlajenja, notranje hlajenje: kontinuirno	Temperatura na površini je najvišja v nekaj trenutkih po koncu polnjenja in se približuje temperaturi hladilnega sredstva tik pred vbrizgavanjem kovine. To povzroči naraščanje tlačne obremenitve. Glede na preklapne točke lahko pride tudi do izmeničnih obremenitev.	Temperatura je najvišja tik pred vklopom hlajenja. To povzroči naraščanje natezne obremenitve. Glede na preklapne točke lahko pride tudi do izmeničnih obremenitev

Table 1. Temperature and stress situation by the use of different cooling approaches

Cooling method	Situation at the outer surface	Situation at the bore surface
Spray cooling, no internal CC	Temperature alternates from highest values at the surface to lowest values at the surface resulting in tension-compression alternating load.	No bore
No spray cooling, internal cooling: permanent	Temperature is highest at the surface within a few moments after the end of filling to values close to the coolant temperature right before the metal is injected. This results in a swelling compressive load.	Temperature varies between close to coolant temperature to moderate values at the peak of the cast metal solidification. This results in a swelling tensile load with its maximum when the temperature is moderate.
No spray cooling, internal cooling: permanent	Temperature is highest at the surface within a few moments after the end of filling to values close to the coolant temperature right before the metal is injected. This results in a swelling compressive load. Depending on the switching points also alternating loads can occur.	Temperature is highest right before the cooling is activated. This results in a swelling tensile load. Depending on the switching points also alternating loads can occur

površini izvrtine pri notranje hlajenih jedrih ali na srednji črti pri vodno pršenem jedru. Rezultati študije simulacije so prikazani na slikah od 1 do 9. Slike od 1 do 6 prikazujejo porazdelitev temperature in porazdelitev obremenitve v geometriji modela. Slike od 7 do 9 prikazujejo temperaturne in obremenitvene profile skozi čas na zunanji površini in na površini izvrtine ali v sredini (pri pršenem jedrnem vložku). Vse mehanske simulacije temeljijo na linearno elastičnemu materialu in ne vključujejo nelinearnih učinkov. Rezultati teh simulacij so namenjeni le prikazu načel nastajanja obremenitve med ciklom tlačnega litja.

one cycle is similar for all pins. Subsequently to the thermal simulation a mechanical calculation was done. The temperatures and stresses were evaluated at the outer surface either at the bore surface, for the internally cooled cores, or at the centerline for the water sprayed pin. The results of the simulation study are given in figures 1 to 9. Figures 1 to 6. show the temperature distribution and the stress distribution in the model geometry. Figures 7 to 9 show the temperature and stress profiles over time on the outer surface and on the bore surface or in the center (in the case of the sprayed core pin). All the mechanical simulations are based on a liner-elastic material model and

3 Rezultati poskusov

Za razvoj preskusnega postopka za oceno dovzetnosti orodnih jekel na poškodbe zaradi toplotnih ciklov je bila izdelana preskuševalna naprava. Geometrija vzorca je bila razvita z numerično simulacijo. Ta geometrija je prikazana na sliki 10. Vzorci so osno simetrične oblike z valjastim notranjim hladilnim kanalom. Vzorec je mogoče izdelati s konvencionalnim rezkanjem in dodatno tehnologijo. Za dovajanje hladilne vode na površino izvrtine je bila uporabljena hladilna cev, ki je dovajala vodo do konice izvrtine in v povratnem toku hladila stransko površino izvrtine. Vzorci so nameščeni na nosilno ploščo, ki je pritrjena na robotsko roko. Hlajenje se zagotavlja z zunanjo, komercialno temperirno napravo. Shematski prikaz postavitve je prikazan na sliki 11. Robotska roka potopi vzorce v 200 kg talilni lonec, napolnjen s tekočo aluminijevo zlitino s temperaturo 690 °C. Hlajenje je bilo kontinuirno ali pulzno, pri čemer so bile uporabljene različne vrste naprav za popuščanje matrice. Po namakanju se vzorci izvlečejo iz kovinske kopeli in zadržijo nad površino kopeli. Dodatno površinsko hlajenje (npr. s pršenjem vode ali kroženjem zraka z ventilatorjem) ni bilo uporabljeno, tako da preskusni postopek simulira postopek HPDC z mikropršenjem. Preskus je trajal 20.000 toplotnih ciklov. Preskusna matrica je prikazana v preglednici 2.

Po preskusih smo z optičnim mikroskopom ocenili vzorec poškodb na vzorcih. Vzorci so bili žično erodirani v osni smeri. Odrezano površino smo nato zbrusili in spolirali. Analiza je vključevala naslednje parametre, ocenjene na metalografskem vzorcu:

- Preostali presek: Količnik deleža površine brez razpok in površine z razpokami

do not include any non-linear effects. The results of these simulations only serve the purpose of showing the principles of stress formation during the HPDC-cycle.

3 Experimental Results

In order to develop a testing procedure for the evaluation of the susceptibility of tool steels to damage resulting from thermal cycling a test rig was built. A specimen geometry was developed using numerical simulation. This geometry is shown in Figure 10. The specimens are axial-symmetric in shape with a cylindrical inner cooling channel. The specimen can be produced via conventional milling as well as additive manufacturing. Cooling water supply to the bore surface was done by the use of a cooling tube, delivering the water to the tip of the bore and cooling the lateral surface of the bore in reverse flow. The specimens are mounted on a carrier plate which itself is attached to a robot arm. The cooling is supplied with an external, commercial die tempering device. The schematic view of the set-up is shown in Figure 11. The robot arm dips the specimens into a crucible with a capacity of 200 kg filled with liquid aluminium alloy at a temperature of 690°C. The cooling was either permanent or pulsed, using different types of die tempering devices. After the dipping, the specimens are drawn out of the metal bath and held above the bath surface. No additional surface cooling (e.g. by water spray or forced air convection) was applied, so that the tests procedure simulates an HPDC-process using micro-spraying. The test duration was 20.000 thermal cycles. The test matrix is shown in table 2.

After the trials the damage pattern of the specimens were evaluated using means of optical microscopy. The specimens were wire eroded in axial direction. The cut face

- Najdaljša razpoka: Dolžina najdaljše posamezne razpoke v vzorcu
- Število razpok: Skupno število razpok v vzorcu
- Razredi dolžine razpok: Število razpok <100 μm , 100-250 μm , >500 μm (prikazano v histogramu)

Preostali presek in dolžina najdaljše razpoke sta merilo za dovzetnost vzorca za končne razpoke. Slika 12 prikazuje vzorec razpok izbranih vzorcev po preskušanju.

V preglednici 3 so prikazani rezultati ocenjevanja razpok v skladu s preskusno matriko iz preglednice 2.

Po oceni vzorcev razpok je bila izmerjena trdota (HRC) izbranih vzorcev po določeni poti na celotni dolžini odseka vzorca. Izračunana je bila najvišja temperatura na posameznem mestu vzdolž te osi. Slika 13 prikazuje rezultate izračuna.

afterwards was grinded and polished. The analysis included the following parameters evaluated at the metallographic specimen:

- Remaining cross-section: The quotient of the crack-free and crack containing area fraction
- Longest crack: The length of the longest single crack in the specimen
- Crack number: The total number of cracks in the specimen
- Crack length classes: The number of cracks <100 μm , 100-250 μm , >500 μm (shown in a histogram)

The remaining cross-section and the length of the longest crack are a measure of the susceptibility of the specimen to terminal cracks. Figure 12 shows the crack pattern of chosen specimens after the testing.

Preglednica 2. Preskusna matrika

Table 2. Test matrix

Št. vzorca / Spec. No.	Material / Material	Trdota / Hardness (HRC)	Metoda izdelave / Fabrication method	Površina / Surface	Hlajenje / Cooling
1	X38CrMoV5-1	44-46	konvencionalna / conventional	gladka / smooth	kontinuirno / permanent
2	X38CrMoV5-1	54-56	konvencionalna / conventional	gladka / smooth	kontinuirno / permanent
3	X38CrMoV5-1	44-46	konvencionalna / conventional	gladka / smooth	pulzno / pulsed
4	X38CrMoV5-1	54-56	konvencionalna / conventional	gladka / smooth	pulzno / pulsed
5	X50CrMoV4-3-1	54-56	dodajna tehnolog. / additive man.	gladka / smooth	kontinuirno / permanent
6	X50CrMoV4-3-1	54-56	dodajna tehnolog. / additive man.	gladka / smooth	pulzno / pulsed
7	X50CrMoV4-3-1	54-56	dodajna tehnolog. / additive man.	kot je natisnjena / as printed	kontinuirno / permanent
8	X50CrMoV4-3-1	54-56	dodajna tehnolog. / additive man.	kot je natisnjena / as printed	pulzno / pulsed
9	X3NiCoMoTi18-9-5	44-46	dodajna tehnolog. / additive man.	gladka / smooth	kontinuirno / permanent
10	X3NiCoMoTi18-9-5	44-46	dodajna tehnolog. / additive man.	gladka / smooth	pulzno / pulsed
11	X3NiCoMoTi18-9-5	44-46	dodajna tehnolog. / additive man.	kot je natisnjena / as printed	kontinuirno / permanent
12	X3NiCoMoTi18-9-5	44-46	dodajna tehnolog. / additive man.	kot je natisnjena / as printed	pulzno / pulsed

Rezultati trdote materialov X38CrMoV5-1 in X50CrMoV4-3-1 so prikazani na slikah 14 in 15. nadalje so bili pripravljeni metalografski prerezi na treh različnih mestih vzorcev, ki so bili jedkani 5 sekund s HNO₃. Rezultati za X38CrMoV51 so prikazani na sliki 16.

Preglednica 3. Rezultati preskusov v skladu s preglednico 2,

Table 3. Results of the tests acc. to table 2,

Št. vzorca / Spec. No.	Preostali preseki / Remaining cross section, %	Najdaljša razpoka / Longest crack, µm	Skupno število razpok / Tot. number of cracks
1	79	1351	112
2	65	2223	83
3	46	2292	247
4	60	1790	162
5	75	2198	42
6	82	929	83
7	68	1942	118
8	75	1125	83
9	81	901	178
10	52	2097	238
11	75	1202	215
12	48	2284	250

4 Sklepne ugotovitve

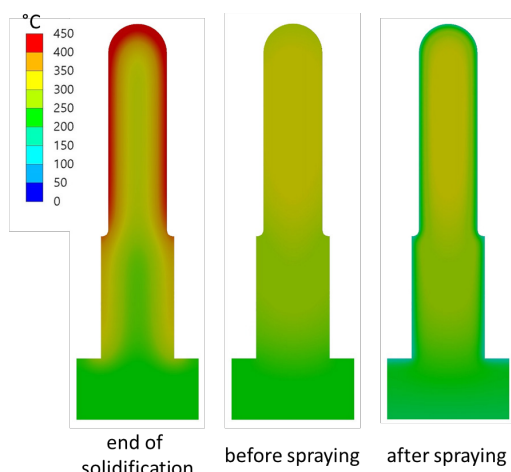
Opaziti je bilo mogoče jasno kvalitativno in kvantitativno razliko med stalnim hlajenjem z vodo in pulznim hlajenjem. Zaradi uporabe pulznega hlajenja so se pojavile številne razpoke, zlasti na konici vsakega vzorca. Pri kontinuirno hlajenih vzorcih se največje razpoke pojavijo v srednjem delu, kar je v skladu z oceno položaja največje obremenitve. Metalografska analiza in merjenje trdote vzorcev sta pokazala, da se pri pulznem hlajenju bistveno spremeni mikrostruktura in zmanjša trdota materiala. Iz tega je mogoče sklepati, da je vzorec razpok pri kontinuirno hlajenih vzorcih predvsem posledica pojava velikih obremenitev, medtem ko na razpokanost

Table 3 shows the results of the crack evaluation according to the test matrix given in Table 2.

After the evaluation of the crack patterns the hardness (HRC) of chosen specimens was measured along a defined path over the specimen's length section. The maximum temperature at the distinct position along this axis was calculated. Figure 13 shows the results of the calculation. The Hardness results for the materials X38CrMoV5-1 and X50CrMoV4-3-1 are shown in Figures 14 and 15. Afterwards, metallographic cuts were prepared at three different positions of the specimens, the cuts were etched with HNO₃ for 5 seconds. The results for the material X38CrMoV51 are shown in Figure 16.

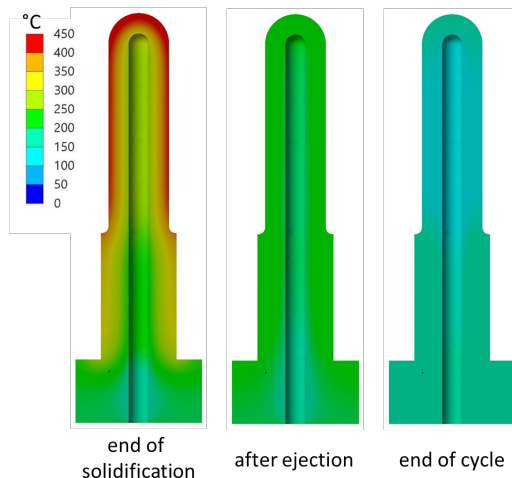
4 Conclusions

A clear qualitative and quantitative difference between permanent water cooling and pulsed cooling could be observed. Due to the use of pulsed cooling several cracks occurred especially at the tip of each specimen. In the permanently cooled specimens the largest cracks occur in the middle section of the specimens, which is by the estimation of the position where the highest stress is located. A metallographic analysis and hardness measurement in the specimens showed, that there is a significant change of microstructure as well as a drop of the hardness of the material when pulsed cooling is used. This leads to the conclusion that the crack pattern in permanently cooled specimens is mainly driven by the occurrence of high stresses, whereas the cracking in pulsed cooling is also strongly influenced by hardness degradation due to thermal exposition. Cracking in steel-based core inserts might



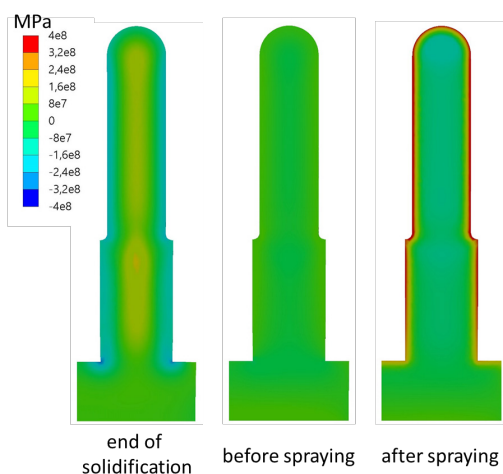
Slika 1. Porazdelitev temperature v zunanje hlajenem jedrnem vložku v različnih sekvencah cikla.

Figure 1. Temperature distribution in an externally cooled core pin, at different points of the cycle



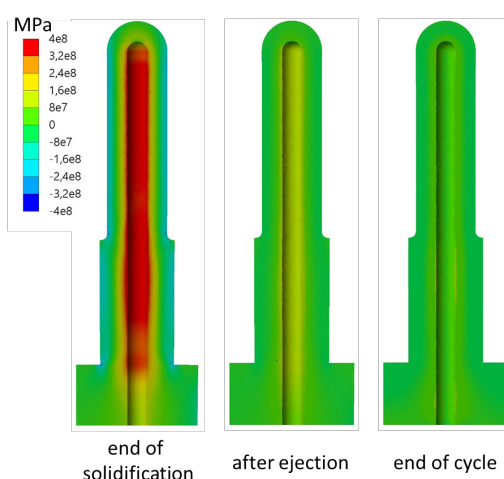
Slika 3. Porazdelitev temperature v kontinuirno hlajenem jedrnem vložku brez zunanjskega hlajenja v različnih sekvencah cikla

Figure 3. Temperature distribution in a permanently cooled core pin, without external cooling at different points of the cycle



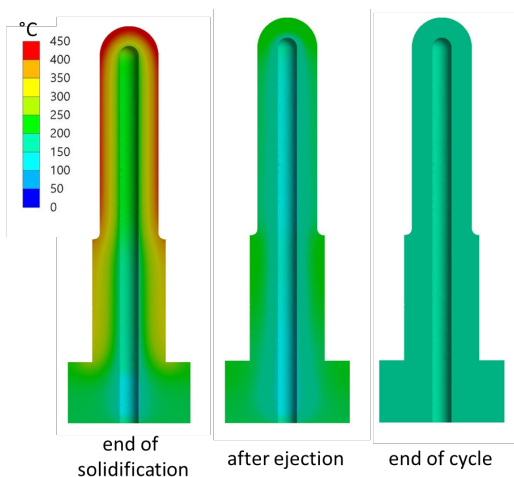
Slika 2. Porazdelitev obremenitve (osna, normalna) v zunanje hlajenem jedrnem vložku v različnih sekvencah cikla

Figure 2. Stress distribution (axial, normal) in an externally cooled core pin, at different points of the cycle



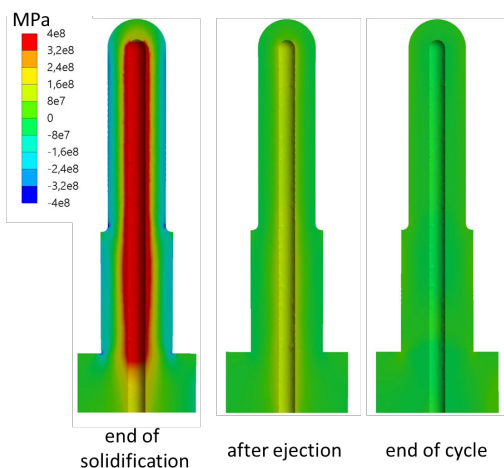
Slika 4. Porazdelitev obremenitve (osna, normalna) v kontinuirno hlajenem jedrnem vložku brez zunanjskega hlajenja v različnih sekvencah cikla

Figure 4. Stress distribution (axial, normal) in a permanently cooled core pin, without external cooling at different points of the cycle



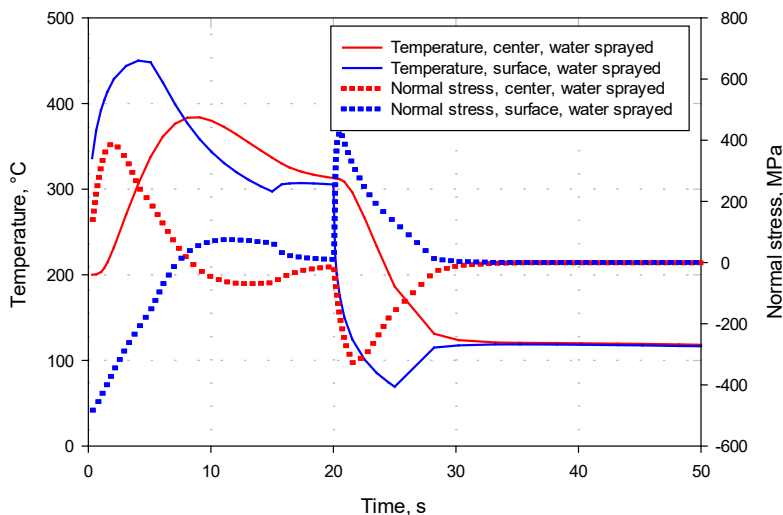
Slika 5. Porazdelitev temperature v pulzno hlajenem jedrnem vožku brez zunanjega hlajenja v različnih sekvencah cikla

Figure 5. Temperature distribution in a puls-cooled core pin, without external cooling at different points of the cycle



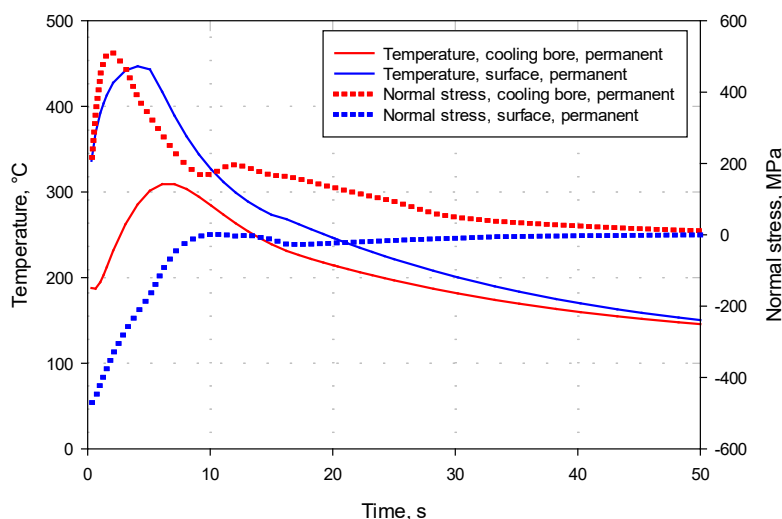
Slika 6. Porazdelitev obremenitve (osna, normalna) v pulzno hlajenem jedrnem vložku brez zunanjega hlajenja v različnih sekvencah cikla

Figure 6. Stress distribution (axial, normal) in a puls-cooled core pin, without external cooling at different points of the cycle



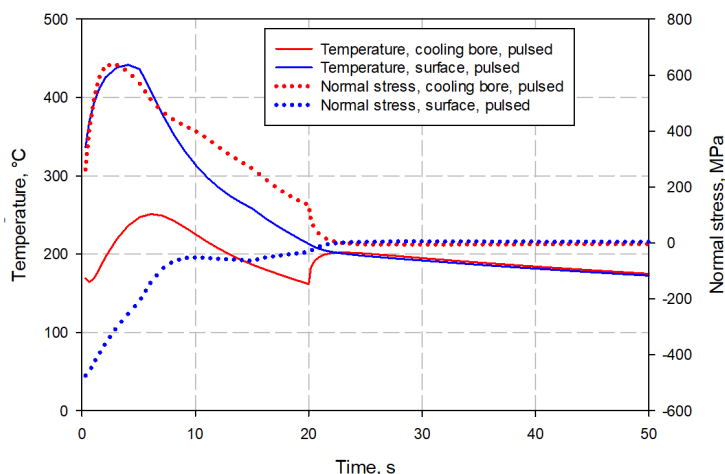
Slika 7. Temperature in obremenitve na površini in v sredini zunanje hlajenega jedrnega vložka v enem ciklu litja. Površinska obremenitev se spremeni iz tlačne (pri $t = 0$ s) v natezno, ko se vklopi vodno hlajenje s pršenjem (pri $t = 20$ s)

Figure 7. Temperatures and stresses at the surface and the center of an externally cooled core pin over one HPDC-cycle. The surface stress changes from compressive (at $t = 0$ s) to tensile when the water spray cooling (at $t = 20$ s) is activated



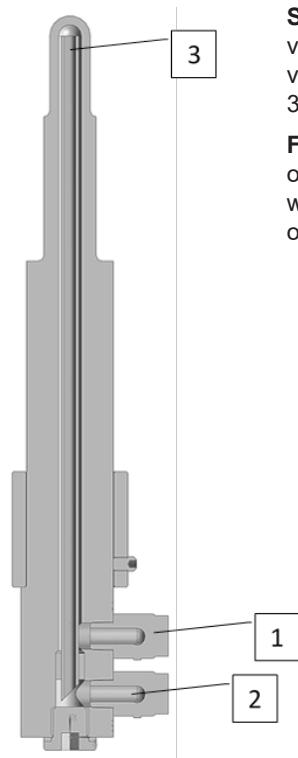
Slika 8. Temperature in obremenitve na zunanji površini in na površini izvrtine notranje hlajenega jedrnega vložka v enem ciklu litja. Obremenitve na zunanji površini so tlačne obremenitve, obremenitve na površini izvrtine pa so natezne obremenitve v celotnem ciklu

Figure 8. Temperatures and stresses at the outer surface and the bore surface of an internally cooled core pin over one HPDC cycle. The stresses at the outer surface are compressive, and the stresses at the bore surface are tensile stresses over the whole cycle



Slika 9. Temperature in obremenitve na zunanji površini in na površini izvrtine notranje hlajenega jedrnega vložka v enem ciklu litja. Hlajenje je vklopljeno od $t = 0$ s do $t = 20$ s. Obremenitve na zunanji površini so tlačne obremenitve, obremenitve na površini izvrtine pa so natezne obremenitve v celotnem ciklu

Figure 9. Temperatures and stresses at the outer surface and at the bore surface of an internally cooled core pin over one HPDC cycle. Cooling is activated from $t = 0$ s to $t = 20$ s. The stresses at the outer surface are compressive, and the stresses at the bore surface are tensile stresses over the whole cycle



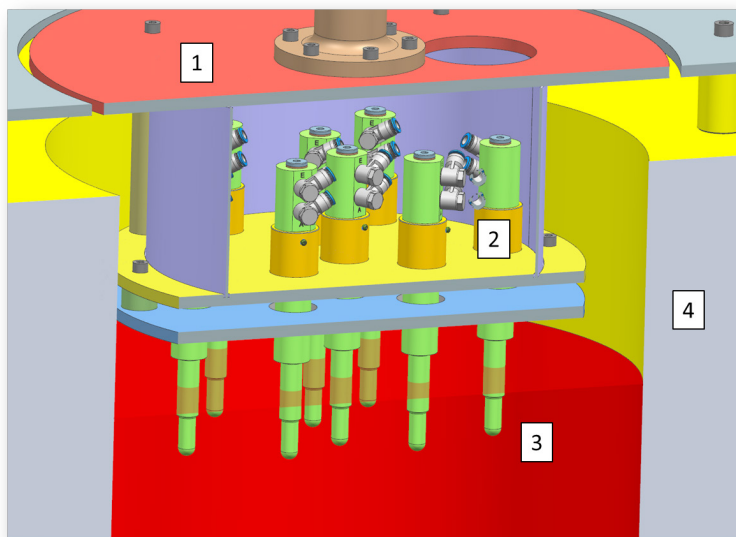
Slika 10. Geometrija vzorca; 1) dovod vode, 2) odvod vode, 3) hladilna cev

Figure 10. Geometry of the specimen; 1) water inlet, 2) water outlet, 3) cooling tube

be reduced if the maximum temperatures during the cycle are controlled very well.

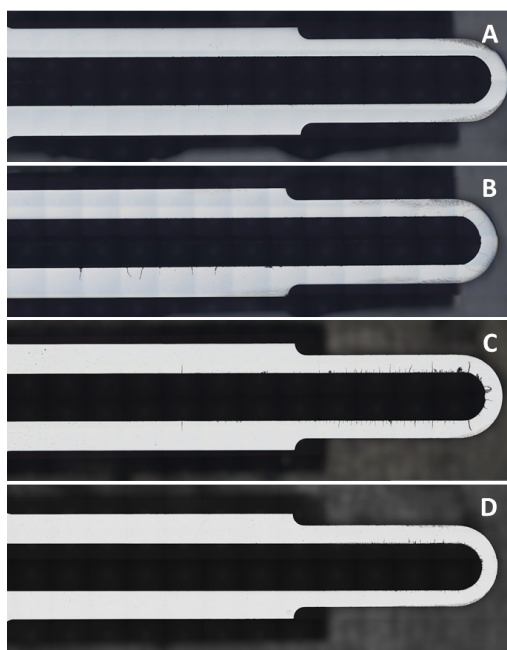
An influence of the roughness of the cooling channel could be observed for specimens from additive manufacturing. Smooth surfaces show a higher resistance against cracking, shorter cracks, and a reduced number of cracks at the bore surface. Smoothing of the cooling channel surface might delay the onset of cracking and prolong the lifetime of the insert.

For the material X38CrMoV5-1, produced from bulk material showed, that the hardness of the specimens influences the crack behavior. Specimens with a hardness of 44-46 HRC (a value that is recommended for HPDC-application) showed better performance in the test than specimens with a hardness of 54-56 HRC. If a high hardness is demanded (e.g. when the surface is subject to abrasive wear) die materials should be chosen very carefully.



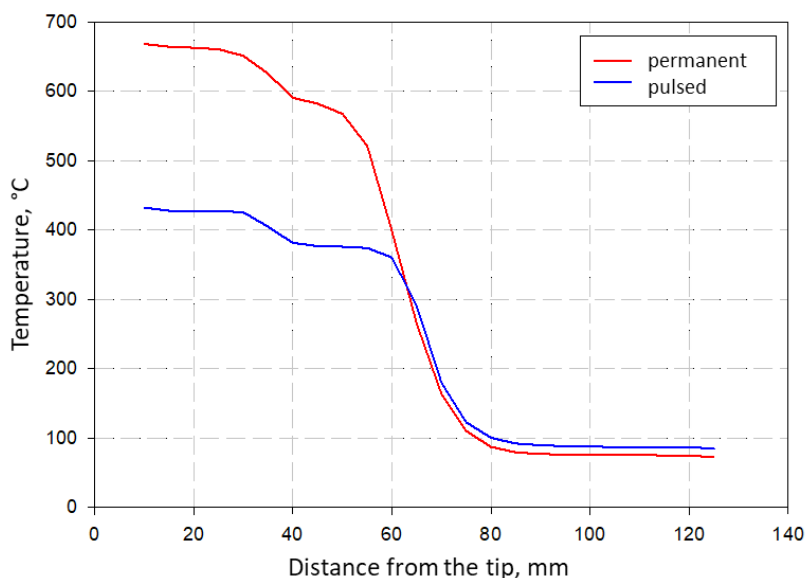
Slika 11. Preskusna postavitve; 1 pritrditev, 2 vzorec, 3 Al-kopel, 4 stena talilnega lonca

Figure 11. Test set-up; 1 mounting, 2 specimen, 3 Al-bath, 4 crucible wall



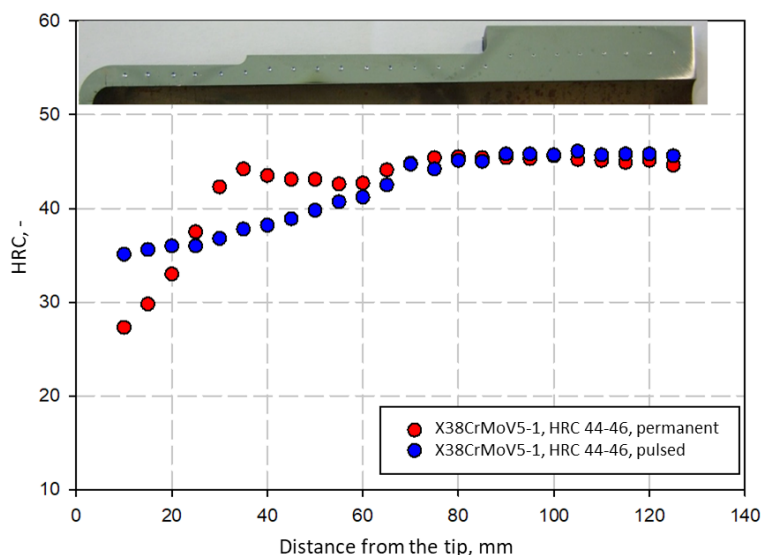
Slika 12. Vzorci po preskušanju; A) X38CrMoV5-1, 44-46 HRC, kontinuirno hlajen; B) X38CrMoV5-1, 54-56 HRC, kontinuirno hlajen; C) X38CrMoV5-1, 44-46 HRC, pulzno hlajen; D) X50CrMoV4-3-1, 54-56 HRC, pulzno hlajen

Figure 12. Specimens after Testing; A) X38CrMoV5-1, 44-46 HRC, permanently cooled; B) X38CrMoV5-1, 54-56 HRC, permanently cooled; C) X38CrMoV5-1, 44-46 HRC, pulse-cooled; D) X50CrMoV4-3-1, 54-56 HRC, pulse-cooled



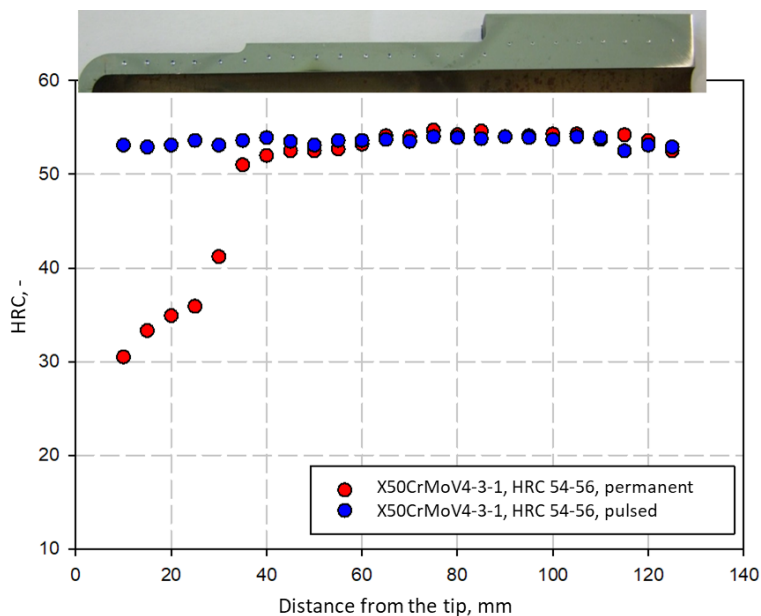
Slika 13. Izračunane vrednosti najvišjih temperatur v ciklu za kontinuirno in pulzno hlajene vzorce

Figure 13. Calculated values for the maximum temperatures within the cycle for permanently and puls cooled specimens



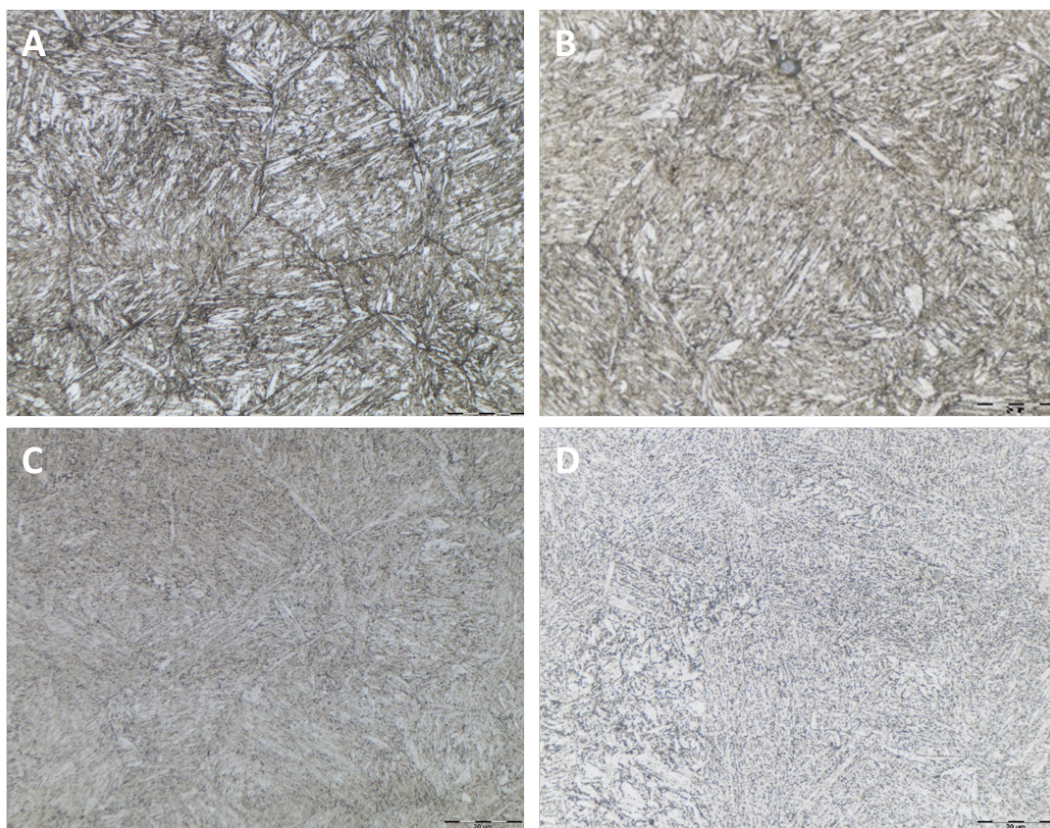
Slika 14. Degradacija trdote X38CrMoV5-1 po 20.000 ciklih v odvisnosti od razdalje od konice vložka za kontinuirno in pulzno hlajene vzorcev

Figure 14. Degradation of the hardness of X38CrMoV5-1 after 20.000 Cycles as a function of the distance from the tip of the pin for permanently and puls-cooled specimens



Slika 15. Degradacija trdote X50CrMoV4-3-1 po 20.000 ciklih v odvisnosti od razdalje od konice vložka za kontinuirno in pulzno hlajene vzorcev

Figure 15. Degradation of the hardness of X50CrMoV4-3-1 after 20.000 Cycles as a function of the distance from the tip of the pin for permanently and puls-cooled specimens



Slika 16. Mikrografija vzorcev iz X38CrMoV5-1 po 20.000 ciklih; A) termično neizpostavljen presek, kontinuirno hlajen, B) termično neizpostavljen presek, pulzno hlajen, C) termično izpostavljen presek, kontinuirno hlajen, D) termično izpostavljen presek, pulzno hlajen

Figure 16. Micrograph of the specimens from X38CrMoV5-1 after 20.000 cycles; A) thermally uninfluenced cross-section permanently cooled, B) thermally uninfluenced cross section puls-cooled, C) thermally exposed cross-section permanently cooled, D) thermally exposed cross-section puls-cooled

pri pulznem hlajenju močno vpliva tudi zmanjšanje trdote zaradi toplotne izpostavljenosti. Razpoke v jeklenih jedrnih vložkih je mogoče zmanjšati, če so najvišje temperature med ciklom zelo dobro nadzorovane.

Vpliv hrapavosti hladilnega kanala je bilo mogoče opaziti pri vzorcih izdelanih z aktivno tehnologijo. Gladke površine imajo

None of the specimens showed heat checking at the outer surface. This leads to the conclusion that the omission of water spray cooling reduces surface wear and leads to lower maintenance efforts and/or higher overall tool lifetime.

The results of this work deliver a baseline for commonly used tool materials and can be used as a benchmark for newly

večjo odpornost proti razpokam, krajše razpoke in manjše število razpok na površini izvrtine. Z glajenjem površine hladilnega kanala bi lahko odložili nastanek razpok in podaljšali življenjsko dobo vložka.

Za X38CrMoV5-1, izdelan iz sipkega materiala, se je pokazalo, da trdota vzorcev vpliva na nastajanje razpok. Vzorci s trdoto 44-46 HRC (vrednost, ki je priporočena za uporabo pri tehnologiji tlačnega litja) so se pri preskusu bolje izkazali kot vzorci s trdoto 54-56 HRC. Če se zahteva visoka trdota (npr. pri abrazivni obrabi površine), je treba materiale za orodja izbrati zelo previdno.

Pri nobenem od vzorcev ni bilo opaziti finih razpok na zunanji površini. Iz tega je mogoče sklepati, da opustitev hlajenja z vodnim pršenjem zmanjša obrabo površine in vodi k manjšim vzdrževalnim posegom in/ali daljši celotni življenjski dobi orodja.

Rezultati te študije zagotavljajo osnovo za pogosto uporabljene materiale za orodja in se lahko uporabijo kot merilo za novo razvita jekla za delo v vročem in/ali kvalifikacijo samega postopka 3D-tiskanja.

Glede na te rezultate se zdi, da sta termomehansko utrujanje in toplotna izpostavljenost, zlasti pri temperaturah nad 450 °C, glavna mehanizma poškodb v preskušanih vzorcih. Za oceno vloge drugih mehanizmov okvare, kot je napetostna korozija razpok, so potrebne nadaljnje raziskave.

developed hot working steels and/or the qualification of the 3D-printing process itself.

According to these results thermo-mechanical fatigue and heat exposition especially at temperatures above 450 °C seem to be the main damage mechanism in the tested specimens. For the assessment of the role of other failure mechanisms such as stress crack corrosion further research is needed.

Literatura / Literature

- [1] W. Gössl, Untersuchung zur Kühlwirkung in Druckgussformen, Master thesis, Montanuniversität Leoben, 2011.
- [2] Tucan, K.; Gschwandtner, R.; Hofer, P. Vergleich der Wirkung von Lokalen Temperiermaßnahmen in Druckgießformen. Giesserei-Rundschau 2012, 59, 8.
- [3] P. Hofer-Hauser, R. Gschwandtner, G. Schindlbacher; Die Charakterisierung des Sprühprozesses als Schlüssel zur Bauteil- und Formenstandzeitoptimierung Giesserei 105 09/2018, 54 – 59.
- [4] Wiedenegger, A., Bruckwilder, J. & Deutsch, C. Ecological and Economic Benefits of Additive Manufacturing in High Pressure Die Casting. Berg Huettenmaenn Monatsh 166, 237–242 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00501-021-01110-5>.
- [5] M. Berbić, P. Hofer-Hauser, R. Gschwandtner, M. Ognianov, S. Leuders, S. Glatz, C. Lochbichler, M. Mangelberger, Thermomechanical and thermochemical endurance of hot work tool steels and PVD-coatings for high pressure die casting, 60th IFC Portorož, 2020.

Priložnosti in možnosti neposredne uporabe odpadnega materiala v livarnah aluminija

Opportunities and possibilities for the direct use of scrap in aluminum foundries

Povzetek

Ponovna uporaba odpadkov v livarnah lahkih kovin je neizogibna zaradi potrebe po učinkovitosti surovin in zmanjšanja izpustov plinov z velikim potencialom globalnega segrevanja. Splošno znano je, da znaša potreba po energiji za ponovno taljenje aluminija samo 7–8 % energije, potrebne za proizvodnjo primarnega aluminija.

Izrabljeni (EoL – End of Life) izdelki imajo nični ogljični odtis. Zato je mogoče pričakovati skoraj linearno korelacijo med količino odpadkov in zmanjšanjem izpustov. V sektorju majhnih in srednje velikih livarn bomo razvili pristop, s katerim bo mogoče vsaj 30 % potreb po materialu pokriti z odpadki. Poleg zmanjšanja izpustov CO₂ je mogoče močno zmanjšati tudi stroške.

En del tega pristopa se osredotoča na natančnejše razvrščanje za pridobitev večjih količin različnih razredov zlitin. Poleg konvencionalnih metod, kot so spektrometrija lasersko vzbujene plazme (LIBS – Laser-Induced Breakdown Spectroscopy), rentgenske metode in razvrščanje z optično emisijsko spektrometrijo (OES – Optical Emission Spectroscopy), bi lahko ena rešitev temeljila na fotometričnem postopku, ki je povezan z zbirko podatkov o materialu. Drugi del se osredotoča na uresničljive lastnosti materiala med ponovnim taljenjem in litjem. Če vzamemo primer ponovnega taljenja aluminijastih platišč, glav valjev in pločevine različnih kakovostnih razredov, lahko dokažemo, da visoka stopnja učinkovitosti ni v nasprotju z neposredno uporabo odpadnega materiala v livarnah. Soočiti se je treba z več težavami, npr. obdelavo premazov in nečistoč, kot sta olje in premog. Obdelave talin se izvaja v skladu z industrijskimi standardi. To pomeni, da postopek vključuje razplinjanje z mešalom, udrobnjevanje in modifikacijo aluminijevo-silicijeve zlitine. Obdelavi s soljo se zaradi velikih količin žlindre izogibamo. Postopek je torej zaradi zmanjšane potrebe po odstranjevanju odpadkov tudi manj zapleten.

Posebej razvita rešitev programske opreme podpira shranjevanje odpadne kovine in vodi skozi postopek taljenja za talitev določene zlitine z ustreznimi količinami vhodnih materialov. Upoštevali smo vedenje in učinek legirnih elementov na lastnosti kot tudi inženirske standarde za zlitine lahkih kovin. Močan pozitiven učinek odpadnega materiala je mogoče končno potrditi z analizo življenjskega cikla (LCA) v skladu s standardom DIN EN ISO 14040.

Ključne besede: aluminij, recikliranje, sekundarni aluminij, znižanje potenciala globalnega segrevanja, dekarbonizacija, taljenje odpadkov, izrabljeni izdelki, razvrščanje

Abstract

The use of recirculated scrap in light metal foundries is unavoidable due to the need for resource efficiency and the reduction of gases with high global warming potential. A

common knowledge is that the need for energy for remelting aluminum is just 7-8% of the energy required for the production of primary aluminum.

End of Life (EoL)-scraps by definition have a carbon footprint of zero. So nearly a linear correlation between the amount of scrap and the reduction of emissions is expected. For the small and middle foundry-business sector an approach is going to be developed, which covers at least 30% of the needed material by scrap. Besides the reduction of CO₂ emissions, costs can also be reduced significantly.

One part of this approach addresses a more precise sorting to get a higher amount of different alloy classes. Besides conventional methods like laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), X-ray-based methods, or optical emission spectroscopy (OES) sorting one solution may be a photometric-based process that is connected with a material database. The second part targets the achievable material performance while remelting and casting. Using the example of remelting alloy rims, cylinder heads, and different qualities of sheet metals it could be demonstrated that a high level of performance does not contradict the direct use of scrap material in foundries. Several challenges like the treatment of coatings and contaminations like oils or coal adherence have to be faced. The melt treatment follows industrial standards. This means the process deals with impeller degassing, grain refining, and modification for aluminum-silicon alloys. Salt treatment is avoided due to the high amount of slags. Thus, the process is also less complex because of the reduced waste disposal.

A specifically developed software solution supports the storage of scrap metal and leads through the melting process to melt a certain alloy with the appropriate amount of input materials. The behavior and the impact of alloying elements on the properties have been taken into account as well as engineering standards for light metal alloys. A significant positive impact of scrap material finally could be validated by Life Cycle Assessment (LCA) according to DIN EN ISO 14040.

Keywords: Aluminum, Recycling, Secondary Aluminum, GWP reduction, Decarbonization, Scrap melting, End of Life Scrap, Sorting

1. Uvod – zakaj potrebujemo recikliranje?

Od leta 2004 se je letna proizvodnja aluminija na svetovni ravni podvojila in leta 2023 znašala več kot 70 milijonov ton [1]. Količina sekundarnega aluminija predstavlja še dodatnih 35 % [2]. Aluminij je zaradi svoje majhne gostote (2,7 kg/dm³) v primerjavi z drugimi konstrukcijskimi materiali, kot je jeklo, boljša izbira v prihodnosti v določenih primerih. Vendar pa dejstvo, da je proizvodnja aluminija zelo energetsko intenzivna, poudarja nujnost po uporabi več recikliranega materiala.

1 Introduction – why do we need recycling?

Since 2004 the annual global aluminum production has doubled to more than 70 million metric tons in 2023 [1]. The quantity of secondary aluminum constitutes an additional 35 % on top [2]. Due to its low mass density (2.7 kg/dm³) compared to other construction materials such as steel, aluminum is decisive for facilitating future transitions. However, the fact that aluminum production is highly energy-intensive underscores the necessity to use more recycled material. Primary aluminum

Za proizvodnjo primarnega aluminija je potrebnih 167,748 MJ/t, za proizvodnjo sekundarnega aluminija pa le 11,160 MJ/t, kar pomeni, da se poraba energije zmanjša tudi do 93 % [3]. Poleg tega krajinska podoba trpi zaradi rudarjenja boksita, glavne rude za pridobivanje aluminijevega oksida. Za en kilogram proizvedenega primarnega aluminija sta potrebna dva kilograma rdečega blata v suhem stanju [4].

Za vzpostavitev krožnega sistema in povečanje deleža neposrednih sekundarnih ingotnih materialov v obratih za litje aluminija je potrebna sprememba paradigme. V današnji praksi se velik del odpadnega materiala melje in nato razvršča. Vendar se ga pogosto razreči s primarnim materialom zaradi velike onesnaženosti z elementi, kot so železo, baker in cink. Vpliv na lastnosti litih zlitin v mehanskem in elektrokemičnem smislu je razviden iz [5]. Po drugi strani pa je treba sprejeti ukrepe za preprečevanje kontaminacije s temi kritičnimi elementi, saj je njihovo odstranjevanje zaradi termodinamičnih lastnosti osnovnih kovin zelo težko ekonomsko izvedljivo [6].

Notranja preiskava, pri kateri so je talil zmleti recikliran odpad, je razkrila precejšnje pomanjkanje čistosti v smislu kemijske sestave. Z vsebnostjo cinka nad enim odstotkom je bila dobljena zlitina primerna le za eno standardizirano zlitino v skladu s standardom DIN EN 1706: EN AC-46500 (AlSi8Cu3(Fe, Zn)). To neizogibno vodi v proizvodnjo razredov zlitin z zmanjšano kakovostjo materiala pri recikliranju, kot je opredeljeno v [7], razen če se material ustrezno razredči, da se izpolnijo določeni standardi koncentracije.

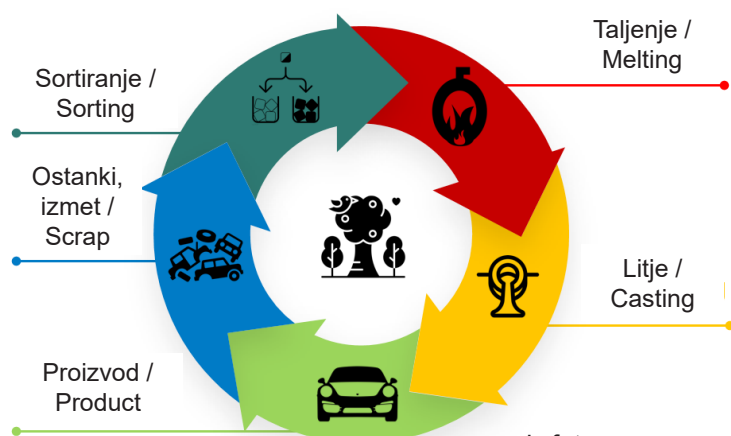
Napovedni modeli kažejo na presežek izmeta oziroma odpadnega materiala, ki ga ni mogoče uporabiti v preoblikovalnih ali livarskih zlitinah, in sicer 4,2 milijona ton leta 2030 in 14 milijonov ton leta 2050. Poleg tega se ta številka lahko poveča na

requires 167.748 MJ/t to produce, whereas secondary aluminum needs only 11.160 MJ/t, which means it reduces energy consumption by up to 93 % [3]. In addition, landscapes suffer from mining bauxite, the main ore used to obtain aluminum oxide. One kilogram of produced primary aluminum requires the deposition of two kilograms of red mud on a dry basis [4].

To establish a closed-loop system and increase the proportion of direct secondary ingot materials in aluminum casting facilities, a paradigm shift is required. In contemporary practice, a substantial proportion of scrap material undergoes shredding, followed by sorting. However, it is often diluted with primary material due to significant contamination with elements such as iron, copper, and zinc. Impacting the properties of cast alloys in mechanical and electrochemical terms can be seen in [5]. On the other hand, measures must be taken to prevent contamination with these critical elements, as their removal is very difficult to implement economically due to the thermodynamic properties of the base metal [6].

An in-house examination, in which shredded end-of-life scrap was melted, revealed a significant lack of purity in terms of chemical composition. With a zinc content exceeding one percent, the resulting alloy was suitable for only one standardized alloy according to DIN EN 1706: EN AC-46500 (AlSi8Cu3(Fe, Zn)). This inevitably leads to the production of downcycling alloy grades, as defined in [7], unless the material is diluted accordingly to meet the specified concentration standards.

Predictive models indicate a surplus of scrap that cannot be used in wrought or cast alloys, amounting to 4.2 million tons in 2030 and 14 million tons in 2050. Furthermore, the latter number can increase up to 18.3 million tons. More precise sorting processes



Slika 1. Ilustracija krožnega modela za lite dele

Figure 1. Illustration of circular model for cast parts

18,3 milijona ton. Natančnejši postopki razvrščanja pri predelavi odpadnega materiala v prihodnosti bi postali ključna tehnologija za preprečevanje presežkov odpadnega materiala z uporabo naprednih metod analize in tehnik umetne inteligence [8-10]. Zato uveljavljene metode analize vključujejo tehnike, ki temeljijo na rentgenskih žarkih, kot sta rentgenska fluorescenčna spektrometrija (XRF) ali spektroskopija laserske inducirane razgradnje (LIBS). Te metode se lahko uporabljajo tako v načinu zunaj linije kot na liniji, čeprav se med seboj precej razlikujejo glede stroškov in hitrosti analize [11]. Omejenost tehnike LIBS na analizo površine ni bistvena pomanjkljivost, zlasti ker so uliti deli običajno monolitni in izkazujejo makroskopsko homogenost sestave, kljub prisotnosti funkcionalnih dodatkov, kot so ležaji, vijaki ali zakovice [12]. Prihodnja predelava odpadnega materiala mora okrepiti postopek razstavljanja pred mletjem, da se izvede recikliranje v zaprtem krogu (Slika 1) za ustrezne ulite dele, kot so nosilci koles in platišča [13].

Še ena vrzel pri raziskovanju taljenja odpadnega materiala je pomanjkanje naprednih računalniških orodij, ki bi lahko izvajala numerične napovedi na podlagi razpoložljivega in dobro razvrščenega

in future scrap processing would become the key technology for avoiding scrap surpluses, using advanced analysis methods and artificial intelligence techniques. [8–10] Therefore, established analysis methods include X-ray-based techniques such as X-ray fluorescence (XRF), or Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). These methods can be employed both offline and inline, although they differ significantly in terms of cost and analysis speed [11]. The limitation of LIBS to surface analysis is not a significant drawback, particularly because cast parts are typically monolithic and exhibit macroscopic homogeneity in composition, despite the presence of functional attachments such as bearings, screws, or rivets [12]. Future scrap processing has to intensify dismantling before shredding to implement closed-loop recycling (Figure 1) for relevant cast parts such as wheel carriers and rims [13].

Another research gap in scrap melt operations is the absence of advanced computational tools capable of performing numerical predictions based on the available and well-sorted scrap material. The development of user-friendly software, accessible even to less experienced operators, could significantly enhance melt processes to achieve high-performance target alloys. Cast alloys are intended to

odpadnega materiala. Z razvojem uporabniku prijazne programske opreme, ki bi bila dostopna tudi manj izkušenim operaterjem, bi lahko bistveno izboljšali postopke taljenja za doseganje visoko zmogljivih ciljnih zlitin. Zlitine so namenjene oblikovanju sestavnih delov, ki so izpostavljeni visokim obremenitvam, kot so strukturni deli podvozja ali šasije. Pretekli pristop je pokazal, da lahko z uporabo posebnih kalkulatorjev livarne izboljšajo svoje strategije recikliranja, ohranijo standarde visoke kakovosti pri proizvodnji zlitin, pridobijo boljše predvidljivost glede surovin in podpirajo stroškovno učinkovit postopek taljenja [14].

Pridobljene in obravnavane izzive bi lahko povzeli na naslednji način:

- Sistemi so običajno zelo specializirani in zahtevajo visoko raven strokovnega znanja.
- Pogosto so najnovejše različice programov zastarele in ne odražajo trenutnega stanja tehnologije.
- V večini primerov so računski programi na voljo le za zlitine na osnovi železa, ne vključujejo pa drugih zlitinskih sistemov, kot so aluminijeve zlitine.
- Programi za računanje sestave šarže so običajno na voljo le kot del celovite rešitve. To povečuje stroške in otežuje dostopnost.

2 Eksperimentalni postopek za razvrščanje, izračunavanje in potrjevanje

Izboljšanje metod sortiranja in izračun zlitin na podlagi masne bilance potekata vzporedno, čeprav se razvrščanje morda ne izvaja na istem mestu kot taljenje kovine. Postopek lahko ponazorimo, kot je prikazano na Sliki 2. V postopku potrjevanja se uporabljajo standardne metode

form components subjected to high stress, such as underbody or chassis structural parts. A past approach showed that using specific calculators can help foundries improve their recycling strategies, maintain high-quality standards in alloy production, gain better predictability in terms of raw materials, and support a cost-effective melt process [14].

The obtained and addressed challenges could be summarized:

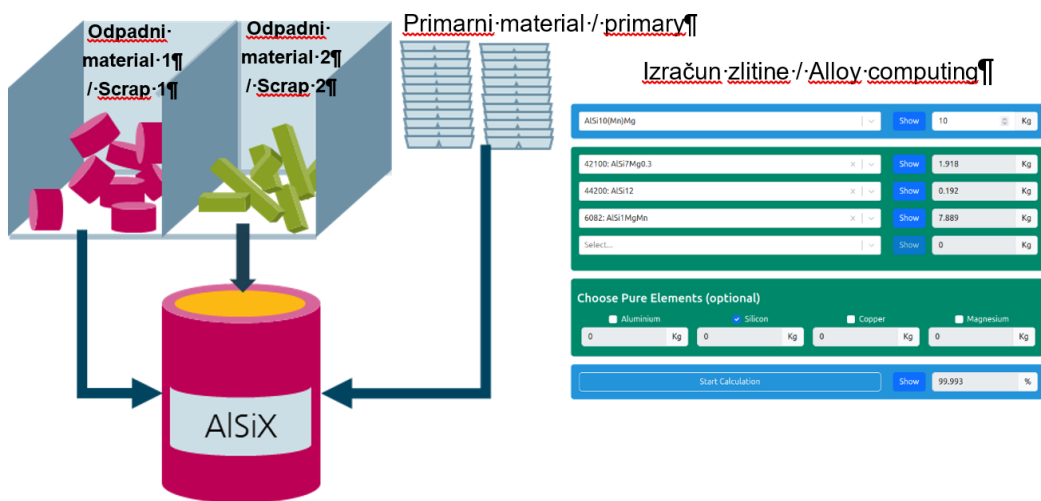
- The systems are often highly specialized and require a high level of expertise.
- Frequently, the latest versions of the programs are outdated and do not reflect the current state of technology.
- In most cases, calculation programs are offered only for iron-based alloys, excluding other metallic alloys such as aluminum alloys.
- Programs for calculating charge composition are usually offered only as part of comprehensive solutions. This drives up costs and complicates accessibility.

2 Experimental Procedure for Sorting, Calculating, and Validating

Improving Sorting Methods and the mass balance based calculation of alloys goes hand in hand, although sorting may not take place at the same site as the metal is going to be molten. The process can be illustrated as it is shown in Figure 2. The validation procedure uses standard foundry environment methods to prove the sorting and calculating process.

2.1 Sorting Technique

Established methods such as X-ray diffraction (XRD) or laser-induced



Slika 2. Obdelava odpadnega materiala, ki vključuje postopek razvrščanja in taljenja

Figure 2. Scrap processing incorporating sorting and melting process

livarskega okolja za dokazovanje postopka razvrščanja in izračuna.

2.1 Tehnika razvrščanja

Uveljavljene metode, kot sta rentgenska fluorescenčna spektrometrija (XRD) ali spektroskopija laserske inducirane razgradnje (LIBS), niso edine učinkovite metode za razvrščanje trdnih delov (pred mletjem). Obetavne se zdijo tudi inovativne tehnike, ki za primerjavo slik uporabljajo algoritme. S posebno programsko opremo je potrebno usposobiti algoritem da loči navidezno enake slike.

Za učenje nevronske mreže je bil izbran model YOLOv8s (You Only Look Once), ki uporablja enostopenjsko strategijo prepoznavanja. Pri tem pristopu je potreben le en prehod čez slike za vrednotenje. Učenje je bilo izvedeno v programskem jeziku Python na grafičnem procesorju nVidia Tesla T4, ki ga je zagotovil Google Colab. Skupaj je bilo izvedenih 200

breakdown spectroscopy (LIBS) are not the only effective methods for sorting solid parts (before shredding). Innovative techniques that use algorithms to compare images seem also promising. Semantically identical images that depict the same object must be trained using special software.

To train the neural network, the YOLOv8s model (You Only Look Once), which uses a one-step recognition strategy, was selected. This approach necessitates only a single pass over the images for evaluation. The training was executed using the Python programming language on an nVidia Tesla T4 GPU provided by Google Colab. A total of 200 training iterations were conducted. During each iteration, the model parameters were iteratively optimized to enhance alignment with the annotated training dataset. Subsequently, these parameters were applied to the validation dataset to compute the model's performance metrics. Key metrics include precision, recall, average precision (AP), and mean average precision (mAP).

ponovitev učenja. Med vsako ponovitvijo so bili parametri modela ponovitveno optimizirani, da bi se izboljšala usklajenost z označenim naborom podatkov za učenje. Nato so bili ti parametri uporabljeni za nabor validacijskih podatkov, da bi izračunali metrike uspešnosti modela. Ključne metrike vključujejo natančnost, priklic, povprečno natančnost (AP) in srednjo povprečno natančnost (mAP).

Natančnost meri zmožnost modela, da čim bolj zmanjša lažne pozitivne napovedi, in se izračuna kot razmerje med resničnimi pozitivnimi napovedmi in skupnim številom pozitivnih napovedi. Priklic ocenjuje zmožnost modela, da prepozna vse primere določenega razreda, in se izračuna kot razmerje med resničnimi pozitivnimi napovedmi in skupnim številom dejanskih pozitivnih primerov. Povprečna natančnost zagotavlja kombiniran postopek natančnosti in priklica za določen razred z izračunom površine pod krivuljo natančnosti in priklica. Za scenarije z več razredi je srednja povprečna natančnost še posebej uporabna, saj predstavlja povprečne vrednosti AP v različnih razredih predmetov [15].

2.2 Kalkulator zlitin (metoda masne bilance)

Postopek se začne tako, da uporabnik prek osrednjega vmesnika izbere zelene zlitine. Izbrani identifikatorji zlitin se nato prek vmesnika za programiranje aplikacij (API) prenesejo v zaledje. V zaledju so ti identifikatorji mapirani na ustrezne vrednosti zlitin, ki so običajno povprečje različnih meritev.

Dobljene vrednosti zlitine se skupaj s ciljno vrednostjo zlitine pošljejo računski enoti v zaledju. Koraki za pripravo operacij so pojasnjeni v Preglednici 1.

Precision measures the model's ability to minimize false positive predictions and is computed as the ratio of true positive predictions to the total number of positive predictions. Recall assesses the model's capacity to identify all instances of a particular class and is calculated as the ratio of true positive predictions to the total number of actual positive instances. AP provides a combined measure of precision and recall for a specific class by calculating the area under the precision-recall curve. For multi-class scenarios, mAP is particularly useful as it represents the average AP values across various object classes [15].

2.2 Alloy Calculator (Mass Balance Method)

The process begins with the user selecting the desired alloys via the front-end browser interface. The selected alloy IDs are then transmitted to the backend through an application programming interface (API). In the backend, these IDs are mapped to their corresponding alloy values, which are typically the average of various measurements.

The resolved alloy values, along with the target alloy value, are then sent to the computation unit in the backend. The steps for preparing the operations are explained in Table 1.

Once the optimization algorithm is called, it returns the best possible factors as an array. These factors are optimized to lie between 0 and 1, while their sum approximates 1.0.

Finally, the factors are multiplied by the target weight to determine the quantity of the individual alloys.

Preglednica 1. Koraki za pripravo delovanja

Delovanje	Pojasnilo
Ustvarjanje matrike	Iz dobljenih vrednosti zlitin se oblikuje matrika
Nastavitev začetnih vrednosti faktorjev	Začetne vrednosti faktorjev zlitine so nastavljene na [0,0, 0,0 ...]
Dodajanje funkcije omejitve	Dodana je funkcija omejitve, ki zagotavlja, da je vsota faktorjev približno 1,0
Opredelitev razponov vrednosti	Razponi faktorjev so določeni tako, da je najmanjša vrednost 0, največja pa se razteza do neskončnosti
Funkcija optimizacije	Izračuna se zmnožek osnovnih vrednosti zlitine in trenutnih faktorjev, od katerega se odšteje ciljna vrednost. Nato se oblikuje norma L2 rezultata
Algoritem za optimizacijo	Algoritem zaporednega programiranja najmanjših kvadratov (SLSQP) se uporablja za optimizacijo dejavnikov

Ko je optimizacijski algoritem pozvan, ponudi najboljše možne faktorje v obliki množice. Ti faktorji so optimizirani tako, da ležijo med vrednostjo 0 in 1, njihova vsota pa se približuje vrednosti 1,0.

Na koncu se faktorji pomnožijo s ciljno težo, da se določi količina posameznih zlitin.

2.3 Metode za potrjevanje postopkov litja v proizvodnji zlitin

Uporabljeni materiali so bili posebne vrste glav valjev (prvotno iz družbe Volkswagen AG, Nemčija), platišča vozil (prvotno iz družbe BMW AG, Nemčija) ter kosi odpadnega kovanega aluminija, kot so plošče in cevi, razrezane na primerno velikost za uporabljeni talilni lonec. Glave valjev so bile pred taljenjem razstavljene, razen čepov za odprtine za tlak olja. V laboratorijskih pogojih so bili izvedeni

Table 1. Operation preparing steps

Operation	Explanation
Matrix creation	A matrix is formed from the resolved alloy values
Setting initial factor values	Initial values for the alloy factors are set to [0.0, 0.0, ...]
Adding constraint function	A constraint function is added to ensure that the sum of the factors is approximately 1.0
Defining value ranges	The ranges for the factors are defined, with a minimum of 0 and a maximum extending to infinity
Optimization function	The product of the base alloy values and the current factors is calculated, from which the target value is subtracted. The L2 norm of the result is then formed
Optimization algorithm	The Sequential Least Squares Programming (SLSQP) algorithm is used to optimize the factors

2.3 Methods for Validating Casting Processes in Alloy Production

Materials utilized included specific types of cylinder heads (originally from Volkswagen AG, Germany), vehicle rims (originally from BMW AG, Germany), and wrought aluminum scrap such as plates and tubes, cut to an appropriate size for the used crucible. Cylinder heads were dismantled before melting, except for the plugs for the oil pressure holes. A total of four experiments were conducted under laboratory-scale conditions, as can be seen in Table 2.

For two of the experimental runs, the wheel rims were stripped and sawed into smaller pieces before being melted using a Nabertherm T10_13 furnace equipped with a clay graphite crucible. The overall mass of the specific experiments varied from 12 to 15 kg.

The characterization of the materials was performed using multiple analytical methods. To determine the chemical composition, an optical spectroscopy

Preglednica 2. Pregled izvedenih poskusov**Table 2.** Overview of out carried experiments

Poskus / Experiment	vZ1	vZ2	vZ3	vZ4
Ciljna zlitina / Target alloy	AlSi7MgCu0,5	AlSi7MgCu0,5	AlSi7MgCu1	AlSi9MgCu1
Odpadni material / Scrap material	umazan / dirty	očiščen / cleaned	umazan / dirty	očiščen / cleaned
Uporabljeni material / Material used	Glava valja / Cylinder head AlSi6Cu4 Primarni material / Primary material AlSi7Mg0,3	Glava valja / Cylinder head AlSi6Cu4 Platišče kolesa / Wheel rim AlSi1MgMn Platišče kolesa / Wheel rim AlSi7Mg0,3 Platišče kolesa / Wheel rim AlSi11 Platišče kolesa / Wheel rim	Glava valja / Cylinder head AlSi6Cu4 Primarni material / Primary material AlSi7Mg0,3	Glava valja / Cylinder head AlSi6Cu4 Platišče kolesa / Wheel rim AlSi1MgMn Pločevina / Sheet metal AlMg3Mn0,4 Platišče kolesa / Wheel rim AlSi11

skupno štirje poskusi, kot je razvidno iz Preglednice 2.

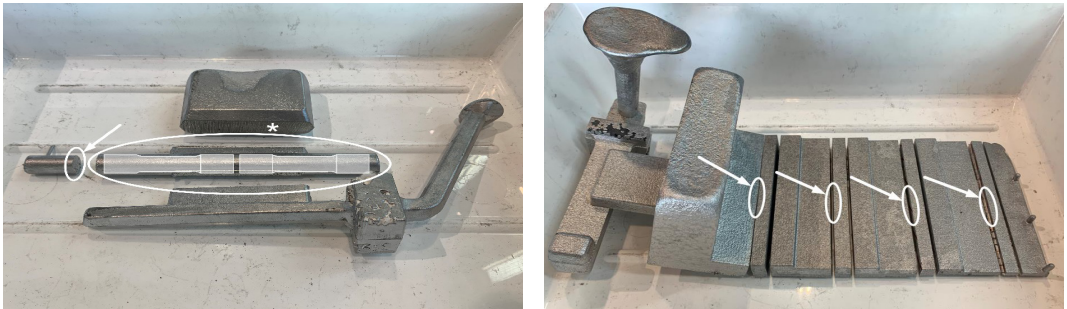
Pri dveh poskusih so bila platišča koles odstranjena in razžagana na manjše kose, preden so bila staljena v peči Nabertherm T10_13, opremljeni z šamotnim grafitnim tališnim loncem. Skupna masa posebnih poskusov je bila od 12 do 15 kg.

Karakterizacija materialov je bila izvedena z več analitičnimi metodami. Za določanje kemijske sestave je bila uporabljena naprava za optično spektroskopijo FoundryMaster Pro družbe Hitachi. Za preskus naplinjenosti taline (RPT) je bila uporabljena naprava ALSP družbe mk Industrievertretung GmbH, Nemčija. Preskusne palice, izdelane s posebno matrico, so bile nato obdelane v vzorce za enoosno natežno preskušanje, merjenje trdote in mikrostrukturno analizo. Poleg tega so bili vzorci uliti v stopničaste pečene forme za doseganje različnih hitrosti ohlajanja. Obe preskusni geometriji sta prikazani na Sliki 3. Mikrostrukturo preskusnih ulitkov smo preučili z optičnim mikroskopom Olympus BX53M.

device, the FoundryMaster Pro from Hitachi, was utilized. For the reduced pressure test (RPT) the ALSP device from mk Industrievertretung GmbH, Germany was utilized. Test bars, produced using a specific die, were subsequently processed into specimens for uniaxial tensile testing, hardness testing, and microstructural analysis. Additionally, sand molds with a step wedge design were cast to gain low chill gradients. Both test geometries are shown in Figure 3. The microstructure of the test castings was investigated using an Olympus BX53M optical microscope.

3 Results

This chapter adheres to the same structure as the explanation of the applied methods in the preceding section. Initially, the results of the sorting process are presented. Subsequently, an example utilizing the alloy calculator is described in detail. Finally, the results of the validation experiments are elucidated.



Slika 3. Levo: gravitacijsko liti del z vodilom, filtrom, preskusno palico in podajalnikom; Desno: stopničasti ulitek, označeni so položaji za mikroanalizo

Figure 3. Left: gravity die cast part with runner, filter, test bar, and feeder; Right: widget step part in sand casting, the positions for the microsection-analysis are marked

3 Rezultati

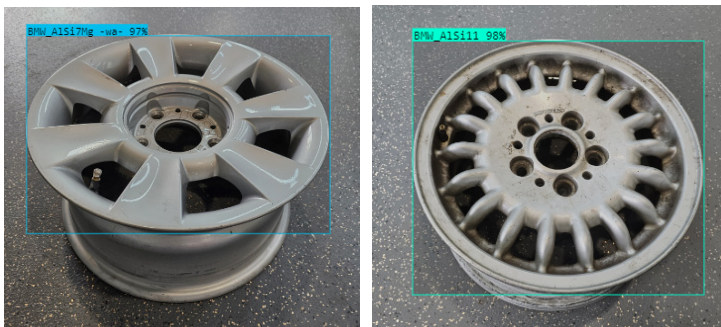
To poglavje sledi strukturi razlage uporabljenih metod v prejšnjem razdelku. Na začetku so predstavljeni rezultati postopka razvrščanja. Nato je podrobno opisan primer uporabe kalkulatorja zlitin. Na koncu so pojasnjeni rezultati validacijskih poskusov.

3.1 Razvrščanje rezultatov

Algoritem je z več kot 90-odstotno natančnostjo pravilno prepoznal 222 od skupno 234 prikazanih platišč, vključno s čelnim pogledom na neobdelano poškodovano platišče. Poleg tega so bile tri slike enega od modelov platišča

3.1 Sorting Results

The algorithm correctly identified 222 out of a total of 234 depicted rims with an accuracy of over 90 %, including a frontal view of an unprocessed damaged rim. Additionally, three images of one of the rim models were recognized with 87 %, 84 %, and 68 % accuracy, respectively, a damaged rim was identified with 54 % accuracy, and specific images of two models were correctly identified with 36 % accuracy. The rims used for subsequent experiments were also recognized with an accuracy of over 90 %. The respective alloy compositions were obtained from a prior characterization using optical emission spectroscopy (OES), which was then entered into the database.



Slika 4. Platišča koles, prepoznana po modelu YOLO in povezana s tipom zlitine; levo platišče AlSi7Mg; desno: starejše platišče iz AlSi11

Figure 4. Wheel rims recognized by the YOLO model and connected to the alloy type; left an AlSi7Mg-rim; right: an older rim made of AlSi11

prepoznane s 87-, 84- oziroma 68-odstotno natančnostjo, poškodovano platišče je bilo prepoznano s 54-odstotno natančnostjo, določene slike dveh modelov pa so bile pravilno prepoznane s 36-odstotno natančnostjo. Tudi platišča, uporabljena za nadaljnje poskuse, so bila prepoznana z več kot 90-odstotno natančnostjo. Ustrezne sestave zlitin so bile pridobljene s predhodno karakterizacijo z optično emisijsko spektroskopijo (OES), ki je bila nato vnesena v podatkovno zbirko. S tem je bilo mogoče razlikovati med avtomobilskimi platišči iz zlitin AlSi11 in AlSi7Mg, kar je ključnega pomena za nadaljnjo verigo obdelave.

3.2 Rezultati izračuna zlitine

Ker je sestava odpadnega materiala in primarnega ingotnega materiala znana, so bile v podatkovno zbirko vnesene vse ustrezne informacije. Matrika je bila izračunana z metodo, opisano v poglavju 2.2. V skladu s tem je bila uporabljena metodologija za izračun poskusa vZ4, s tem povezano poročilo je prikazano na Sliki 5

Sestava ciljne zlitine je bila nato izmerjena z optično emisijsko spektroskopijo. Kot je prikazano v Preglednici 3, je razlika med izračunanimi in dobljenimi vrednostmi (določenimi z optično emisijsko spektroskopijo) razmeroma majhna. Ta razlika je v prvi vrsti posledica dejanske sestave odpadne kovine, v drugi vrsti pa izgube med taljenjem, zlasti pri elementih z veliko nagnjenostjo do oksidacije, kot je magnezij.

Rezultati za primarne legirne elemente so zadovoljivi in dokazujejo ustrezno natančnost za livarske postopke. Vendar pa upravljanje »skritih« sestavnih delov, kot so vodila ventilov iz medenine ali železni čepi, ki se raztopijo v talini, predstavlja izziv pri ravnanju z odpadnimi deli. Da bi

This allowed for differentiation between car rims made of AlSi11 and AlSi7Mg alloys, which is crucial for the subsequent process chain.

3.2 Alloy Calculating Results

As the composition of both the scrap and the primary ingot material is known, the database was fed with all relevant information. The matrix was calculated using the method described in Chapter 2.2. Accordingly, the methodology for calculating experiment vZ4 has been used, the associated report is shown in Figure 5

The composition of the target alloy was subsequently measured using the OES device. As plotted in Table 3, the discrepancy between the calculated and obtained values (determined via OES) is relatively insignificant. This variance is attributed primarily to the actual composition of the scrap metal and secondarily to the loss during melting, particularly for elements with a high affinity for oxidation, such as magnesium.

The results for the primary alloying elements are satisfactory, demonstrating appropriate accuracy for foundry processes. However, managing "hidden" components, such as valve guides made of brass or iron plugs that dissolve into the melt, poses challenges when dealing with scrap parts. To prevent them from entering, the part must be completely dismantled, which is labor-intensive due to the variety of parts and the large number of mounted components, making it difficult to automate this process.

3.3 Results for obtained target alloys

One critical aspect of processing secondary alloys is to ensure that they meet the specific requirements of a target alloy compared to

Calculation Report

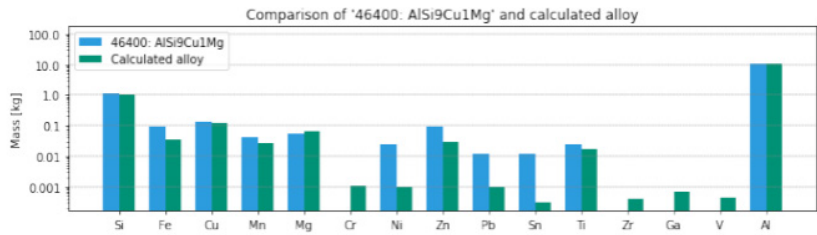
46400: AlSi9Cu1Mg



Material Composition

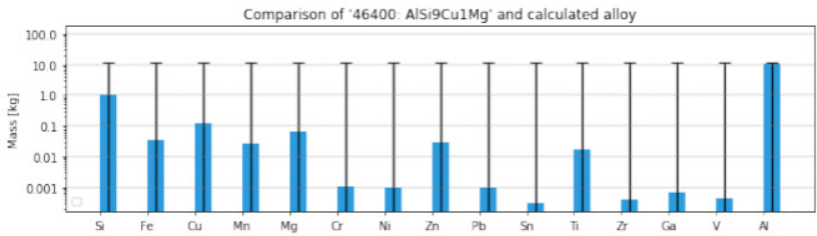
45000: AlSi6Cu4	5018: AlMg3Mn0	6082: AlSi1MgMn	44000: AlSi11
3.234 kg	0.726 kg	0.121 kg	8.025 kg
Total Mass: 12.1066 kg			

Current match rate: 98.18%



Details: 46400: AlSi9Cu1Mg and calculated values

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Zr	Ga	V	Al
9.0	0.8	1.05	0.35	0.45	0.0	0.2	0.8	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	86.95
8.94	0.28	1.03	0.22	0.56	0.01	0.01	0.24	0.01	0.0	0.14	0.0	0.01	0.0	88.57
-0.06	-0.52	-0.02	-0.13	+0.11	+0.01	-0.19	-0.56	-0.09	-0.1	-0.06	0.0	+0.01	0.0	+1.62



Slika 5. Samodejno ustvarjeno in zabeleženo poročilo kalkulatorja zlitin z izračunanim materialom ingota za ciljno zlitino

Figure 5. Automatically generated and recorded report of the Alloy Calculator with calculated ingot material for the target alloy

jim preprečili vstop, je treba del popolnoma razstaviti, kar je zaradi raznolikosti delov in velikega števila vgrajenih komponent delovno zahtevno, zato je ta postopek težko avtomatizirati.

primary alloys. Consequently, mechanical tests were conducted, including uniaxial tensile tests, alongside an examination of the microstructure. The absence of certain alloys in the Standard DIN EN 1706

Preglednica 3. Kemijska sestava za vsak pristop (vZ1-vZ4), izračunana (Calc.) in pridobljena (Obt.)

Table 3. Chemical composition for each approach (vZ1-vZ4) calculated (Calc.) and obtained (Obt.)

Elementi / Element	vZ1 AlSi7MgCu0,5		vZ2 AlSi7MgCu0,5		vZ3 AlSi7MgCu1		vZ4 AlSi9MgCu1	
	izračun. / calc. [%]	izmer. / obt. [%]	izračun. / calc. [%]	izmer. / obt. [%]	izračun. / calc. [%]	izmer. / obt. [%]	izračun. / calc. [%]	izmer. / obt. [%]
Si	6,92	7,23	7,00	7,04	6,83	7,19	8,90	8,85
Fe	0,23	0,17	0,21	0,18	0,26	0,20	0,28	0,20
Cu	0,50	0,59	0,50	0,46	1,00	0,98	1,03	0,84
Mn	0,15	0,08	0,21	0,18	0,19	0,14	0,24	0,16
Mg	0,34	0,32	0,43	0,29	0,34	0,31	0,56	0,18
Zn	0,15	0,17	0,12	0,09	0,23	0,24	0,24	0,16

3.3 Rezultati za pridobljene ciljne zlitine

Eden ključnih vidikov obdelave sekundarnih zlitin je zagotoviti, da v primerjavi s primarnimi zlitinami izpolnjujejo posebne zahteve ciljne zlitine. Tako so bili izvedeni mehanski preskusi, vključno z enoosnimi nateznimi preizkusi, ter preučitev mikrostrukture. Odsotnost nekaterih zlitin v standardu DIN EN 1706 predstavlja izziv pri primerjalni analizi teh zlitin.

Kritično vprašanje pri obdelavi odpadnih kovin je vključevanje oksidov v talino. S testom naplinjenosti (RPT) so bili pridobljeni indeksi z mejno visoko gostoto, ki so nezadostni za industrijske postopke in kažejo na visoko vsebnost vodika v talini. Ustrezna obdelava taline z magnetnimi pretoki, kot so jo pregledali MILANI in sod. v [16], lahko prinese znatno izboljšanje. Preglednica 4 prikazuje kazalnike gostote in vsebnost Sr v eksperimentalnih talinah (vZ1-vZ4).

Mikrostrukturalna analiza je dodaten dokaz za doseženo učinkovitost, kot je razvidno iz Slike 6. Bifilmi delujejo kot mesta za nastanek plinskih por, kot je opisano v [17, 18]. Korelacijo med bifilmskim indeksom (BI) in skrajno natezno trdnostjo (UTS) so raziskali YÜKSEL in sod. v [19].

Kljub temu so tovrstne zlitine ključnega pomena za proizvodnjo sestavnih delov za

presents challenges in benchmarking these alloys.

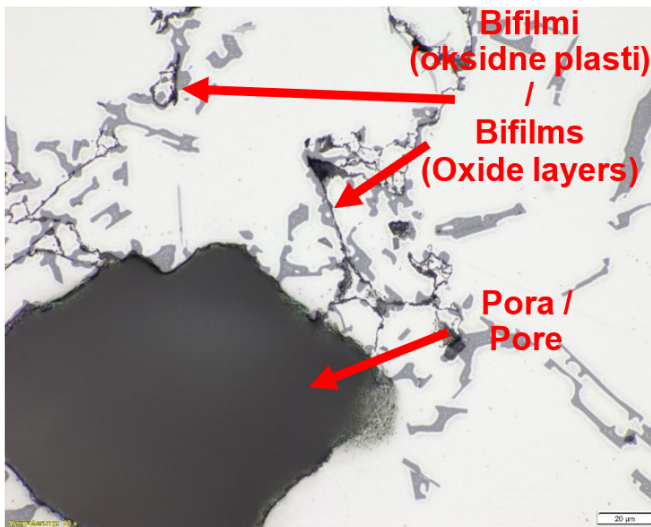
A critical issue in processing scrap metals is the incorporation of oxides into the melt. The exceeded RPT yielded marginally high-density indices, which are insufficient for industrial processes and indicate a high hydrogen content in the melt. Appropriate treatment of the melt with fluxes as reviewed by MILANI et al. in [16] may bring a significant improvement. Table 4 presents the density indices and the Sr-content of the experimental melts (vZ1-vZ4).

Preglednica 4. Indeks gostote in vsebnost Sr

Table 4. Density index and Sr-content

Poskus / Experiment	Indeks gostote / Density index [%]	Vsebina Sr / Sr-content [ppm]
vZ1	4,3	7
vZ2	9,69	83
vZ3	14,7	23
vZ4	10,09	131

The microstructural analysis provides further evidence of the obtained performance, as notably observed in Figure 6. Bifilms act as nucleation sites for gas pores, as described in [17, 18]. A correlation between bifilm-index (BI) and



Slika 6. Del mikrostrukture končnega odlitka iz odlitka vZ1 s klinasto stopnico; opazna je pora, ki se začne z bifilmi

Figure 6. Section of an as-cast microstructure from the wedge step cast of vZ1; remarkable is the pore which is initiated by bifilms

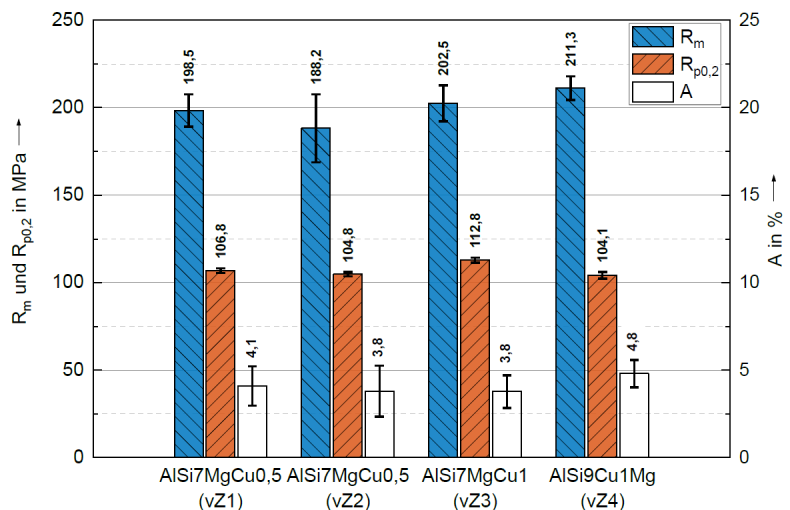
motorje s tehnologijo notranjega izgorovanja, kot so glave valjev, in zato upravičujejo obsežna prizadevanja na področju sekundarne metalurgije. Slika 7 prikazuje diagram z glavnimi mehanskimi (statičnimi) vrednostmi, značilnimi za pridobljene zlitine z različnimi količinami odpadne kovine. Zaradi pomanjkanja modificiranih elementov za eutektično fazo v talini, ki izhaja iz

ultimate tensile strength (UTS) has been investigated by YÜKSEL et al. in [19].

Nonetheless, these kinds of alloys are of central importance for the production of components for combustion engine technology, such as cylinder heads, and therefore justify the extensive efforts in secondary metallurgy. Figure 7 shows a chart with the main mechanical (static)

Slika 7. Rezultati za vsak preskus glede natezne trdnosti (R_m), meje plastičnosti ($R_{p0,2}$), raztezka do razpoke (A)

Figure 7. Results for each test in terms of tensile strength (R_m), yield strength ($R_{p0,2}$), elongation at fracture (A)



primarnega poudarka tega dela na kemijski sestavi glavnih elementov, mehanskih lastnosti ni mogoče neposredno primerjati z drugimi študijami na tem področju, katerih cilj je izboljšanje teh lastnosti. Kljub temu so lahko zahteve za zlitino vZ4, AlSi9Cu1Mg v skladu s standardom DIN EN 1706:2013 presežene. Dobljene vrednosti v primerjavi s standardom so naslednje: UTS (211,3 MPa proti 170 MPa), meja plastičnosti (104,1 MPa proti 100 MPa) in raztezek (4,8 % proti 1 %). Lastnosti se lahko izboljšajo z ustrežno toplotno obdelavo, kar je podrobno raziskal KILINC v [20].

4 Zaključek

Ta celostni pristop dokazuje, da je mogoče kombinirati nove metode razvrščanja in izračunati količine izmeta v skladu z danimi specifikacijami. To je ključno za optimizacijo postopkov recikliranja, saj omogoča natančen nadzor nad vhodnimi materiali, ki se uporabljajo v nadaljnjih metalurških postopkih. S prilagajanjem sestave izmeta je mogoče bolje izpolniti želene specifikacije zlitin ter tako izboljšati kakovost in zmogljivost ulitih izdelkov.

Pomembna ugotovitev te študije je, da je natančnost sortiranja in skladiščenja neposredno povezana z natančnostjo obdelave zlitin. Izboljšane metodologije razvrščanja in shranjevanja omogočajo bolj predvidljivo in dosledno sestavo končne zlitine.

Poleg tega raziskava poudarja povpraševanje po čiščenju taline pri obdelavi odpadnih materialov. Onesnaževala in nečistoče v odpadnem materialu lahko bistveno vplivajo na kakovost končne zlitine. Zato je izvajanje učinkovitega postopka čiščenja nujno za doseganje visokokakovostnih rezultatov. Nazadnje, statistični modeli bodo pomagali izboljšati kakovost vzdolž celotne procesne verige.

values characterizing the obtained alloys with different amounts of scrap metal. Due to the lack of modifying elements for the eutectic phase in the melt resulting from the primary focus of this work on the chemical composition regarding the main elements the mechanical properties cannot be directly compared to other studies in this field that aim to improve these properties. Nevertheless, the requirements for the alloy of vZ4, AlSi9Cu1Mg according to the standard DIN EN 1706:2013 could be exceeded. The obtained values compared to the standard are as follows: UTS (211.3 MPa vs. 170 MPa), yield strength (104.1 MPa vs. 100 MPa), and elongation (4.8 % vs. 1 %). An Improvement in the properties can be achieved through appropriate heat treatment, as extensively investigated by KILINC in [20].

4 Conclusion

This holistic approach demonstrates that it is feasible to combine novel sorting methods and calculate scrap quantities according to a given specification. This capability is crucial for optimizing recycling processes, as it allows for precise control over the input materials used in subsequent metallurgical processes. By adjusting the composition of the scrap, it is possible to better meet the desired alloy specifications and thus improve the quality and performance of the cast products.

A significant finding of this study is that the precision of sorting and storage is directly correlated with the accuracy of alloy processing. Enhanced sorting and storage methodologies result in more predictable and consistent compositions in the final alloy.

Additionally, the research highlights the demand of a melt purification in scrap

S sprejetjem in razvojem teh inovativnih metod razvrščanja in izračuna lahko evropska livarska industrija znatno poveča svojo odpornost, izboljša kakovost predelave odpadnega materiala in znatno zmanjša stroške. Sodelovanje z nami vam ponuja priložnost za korenito spremembo poslovanja in zagotavlja konkurenčno prednost na trgu.

Contaminants and impurities present in scrap material can significantly affect the quality of the final alloy. Therefore, implementing an effective purification process is imperative for achieving high-quality outputs. Finally, statistical models will help to improve quality alongside the process chain.

By adopting and advancing these innovative sorting and calculation methods, the European foundry industry can significantly enhance its resilience, elevate the quality of scrap processing, and achieve substantial cost reductions. Partnering with us offers the opportunity to revolutionize operations and secure a competitive edge in the market.

Viri / References

- [1] N, N.: Primary Aluminium Production: Datum izdaje: 20. junij 2024, <https://international-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#data> (22. 7. 2024)
- [2] Raabe, D.; Ponge, D.; Uggowitzer, P. J.; Roscher, M.; Paolantonio, M.; Liu, C.; Antrekowitsch, H.; Kozeschnik, E.; Seidmann, D.; Gault, B.; Geuser, F. de; Deschamps, A.; Hutchinson, C.; Liu, C.; Li, Z.; Prangnell, P.; Robson, J.; Shanthraj, P.; Vakili, S.; Sinclair, C.; Bourgeois, L.; Pogatscher, S.: Making sustainable aluminum by recycling scrap: The science of "dirty" alloys, *Progress in Materials Science* 128 (2022), S. 100947
- [3] Schmitz, C. (ed.): *Handbook of aluminium recycling: Mechanical preparation, metallurgical processing, heat treatment*, 2. ed., Essen: Vulkan-Verl., 2014. (Edition heat processing)
- [4] Altenpohl, D. G.: *Aluminium von innen*, stran 10: Das Profil eines modernen Metalles, 5. Aufl., Düsseldorf: Aluminium-Verl., 2005
- [5] Beyer, T.; Kleinhans, R.; Rosefort, M.; Klan, S.; Siemund, A.; Decker, P.; Volk, W.: Influence of Increased Fe, Cu, and Zn Concentrations on Phase Formation in Aluminum A356 (AlSi7Mg0.3) Alloy, in: Wagstaff, S. (Hrsg.): *Light Metals 2024*, The Minerals, Metals & Materials Series, Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, S. 234–240
- [6] Taylor, J. A.: Iron-Containing Intermetallic Phases in Al-Si Based Casting Alloys, *Procedia Materials Science* 1 (2012), S. 19–33
- [7] Helbig, C.; Huether, J.; Joachimsthaler, C.; Lehmann, C.; Raatz, S.; Thorenz, A.; Faulstich, M.; Tuma, A.: A terminology for downcycling, *Journal of Industrial Ecology* 26 (2022), Nr. 4, S. 1164–1174
- [8] van den Eynde, S.; Bracquen  , E.; Diaz-Romero, D.; Zaplana, I.; Engelen, B.; Duflou, J. R.; Peeters, J. R.: Forecasting global aluminium flows to demonstrate the need for improved sorting and recycling methods, *Waste management (new york, n.Y.)* 137 (2022), str. 231–240

-
- [9] Modaresi, R.; Løvik, A. N.; Müller, D. B.: Component- and Alloy-Specific Modeling for Evaluating Aluminum Recycling Strategies for Vehicles, *JOM* 66 (2014), Nr. 11, S. 2262–2271
- [10] Modaresi, R.; Müller, D. B.: The role of automobiles for the future of aluminum recycling, *Environmental science & technology* 46 (2012), št. 16, str. 8587–8594
- [11] Barker, K.: LIBS vs XRF: comparing handheld scrap analyzers: The ability to determine material composition with versatility and accuracy is essential for today's scrap and recycling yards, <https://www.recyclingproductnews.com/article/27966/libvs-xrf-comparing-handheld-scrap-analyzers> (30. 7. 2024)
- [12] Raatz; Seidel; Tuma; Thorenz; Helbig; Reller; Faulstich; Joachimsthaler; Hagedorn; Bickel; Liedtke: OptiMet – Ressourceneffizienzsteigerung in der Metallindustrie – Substitution von Primärrohstoffen durch Verminderung des Downcyclings, Dessau – Roßlau, 2022
- [13] Løvik, A. N.; Modaresi, R.; Müller, D. B.: Long-term strategies for increased recycling of automotive aluminum and its alloying elements, *Environmental science & technology* 48 (2014), št. 8, str. 4257–4265
- [14] Hussain, L. B.; Ali Hakim, I. A.: Recycling and Formulation of Aluminum Scrap via Mass Balance Die Casting and Forming, *Materials and Manufacturing Processes* 22 (2007), 7–8, S. 916–921
- [15] Jocher, G. R.; Munawar, A.; Vina: Leistungsmetriken im Detail, <https://docs.ultralitics.com/de/guides/yolo-performance-metrics/> (24. 7. 2023)
- [16] Milani, V.; Timelli, G.: Solid Salt Fluxes for Molten Aluminum Processing—A Review, *Metals* 13 (2023), Nr. 5, S. 832
- [17] Di Sabatino, M.; Arnberg, L.; Rørvik, S.; Prestmo, A.: The influence of oxide inclusions on the fluidity of Al–7wt.%Si alloy, *Materials Science and Engineering: A* 413–414 (2005), S. 272–276
- [18] Campbell, J.: A personal view of microstructure and properties of Al alloys, *Materials* (Basel, Switzerland) 14 (2021), št. 5
- [19] Yüksel, Ç.; Dışpınar, D.; Çiğdem, M.: An Analytical Approach for the Correlation Between Bifilm Index and Tensile Properties of AlSi7Mg0.3 (A356) Aluminum Alloy Cleaned via Rotary Degassing and Different Fluxes, *International Journal of Metalcasting* 17 (2023), št. 3, S. 1615–1627
- [20] Kilinc, E.; Birol, Y.: Optimising the T6 heat treatment for gravity cast AlSi7MgCu0.5 alloy V8 cylinder heads, *International Journal of Cast Metals Research* 30 (2017), št. 4, S. 244–250

Plastične nestabilnosti pri obdelavi zlitine AlMg

Plastic Instabilities During Processing of AlMg Alloy

Povzetek

Med plastično deformacijo večine kovinskih materialov poteka normalen tok materiala v delu materiala, ki ga imenujemo deformacijska cona. Izjeme obstajajo pri nekaterih zlitinah, kjer je proces plastične deformacije nestabilen in pri določenih parametrih plastične obdelave prihaja do nehomogenega plastičnega toka. Primeri takih nestabilnosti so nehomogene plastične deformacije, kot so Lüdersovi pasovi in Portevin-Le Chatelierjev učinek, ki se pojavljajo v obliki deformacijskih pasov. Takšne nestabilnosti povzročajo težave pri predelavi kovin v končne izdelke. Ta raziskava se osredotoča na določitev vrste nestabilnosti v oblikovani zlitini AlMg. Vizualizacija pretoka materiala, merjenje premikov in deformacij med statičnim nateznim preskusom je bila izvedena z metodo digitalne korelacije slik (DIC). Rezultati nateznih preskusov so pokazali ponavljajoča se nihanja na krivulji napetosti in raztezka med plastično deformacijo. Analiza DIC je pokazala nehomogeno deformacijo med preskusom, kar je vodilo k razumni domnevi, da je bila opažena nestabilnost Portevin-Le Chatelierjev učinek. Da bi preučili mehanizme deformacije, smo na vzorcih posneli mikrostrukturo pred, med in po širjenju s pasom PLC. Strukturna analiza je pokazala, da deformacija poteka z gibanjem dislokacij, kar kaže njihova povečana gostota na sprednji strani PLC in za sprednjo stranjo po prehodu.

Ključne besede: plastične nestabilnosti, zlitina AlMg, Portevin-Le Chatelierjev učinek, digitalna korelacija slik

Abstract

During the plastic deformation of most metallic materials, the normal material flow occurs in part of the material, which we call the deformation zone. There are some exceptions in certain alloys where plastic deformation is unstable and there is inhomogeneous plastic flow at certain parameters of plastic processing. Examples of such instabilities are inhomogeneous plastic deformations such as Lüders bands and the Portevin-Le Chatelier effect, which appear in the form of deformation bands. Instabilities like these cause problems during metal processing into final products. The focus of this research was to determine the type of instability in received AlMg alloy. Visualization of material flow, displacement, and deformation measurement during the static tensile test was performed using the DIC method. From the results of tensile tests, repetitive serrations on the stress-strain curve during plastic deformation were observed. DIC analysis showed inhomogeneous deformation during the test, which led to a reasonable assumption that the observed instability was the Portevin-Le Chatelier effect. To investigate the mechanisms of deformation, microstructures were recorded on samples before, during, and after propagation by the PLC band. Structural analysis showed that the deformation takes place through the movement of dislocations, which is indicated by their increased density at the PLC front and behind the front after it passes.

Keywords: plastic instabilities, AlMg alloy, Portevin Le Chatelier effect, Digital Image Correlation

1 Uvod

Značilnost kovin in njihovih zlitin, da se jih oblikuje s plastično deformacijo ter izboljša njihove mehanske in fizikalne lastnosti, je razlog za njihovo široko uporabo v vsakdanjem življenju. Med plastično deformacijo večine kovinskih materialov poteka v območju deformacije normalen tok materiala. Plastično deformacijo opazimo kot enakomeren pretok materiala, ki se na diagramu napetosti in raztezka kaže kot enakomerno utrjevanje. Pri nekaterih zlitinah, ki veljajo za pomembne tehnične materiale, obstaja nekaj izjem. V teh primerih je proces plastične deformacije nestabilen in pod določenimi deformacijskimi pogoji pride do nehomogenega plastičnega toka [1]. Pri tem se pojavljajo različni pojavi, ki so predmet številnih raziskav. Primera takšnih pojavov sta Lüdersovi pasovi [2] in Portevin-Le Chatelierjev učinek, pri katerem se nestabilnost kaže kot lokalizirana deformacija v obliki deformacijskih pasov [3]. Portevin-Le Chatelierjev učinek, znan tudi kot učinek PLC, se pojavlja v različnih zlitinah z različnimi kristalnimi mrežami v materialih velikega industrijskega pomena, npr. v nekaterih vrstah jekel TRIP in TWIP [4] ter nekaterih aluminijevih zlitinah [5]. Učinek PLC povzroča težave povezane z vizualnimi in strukturnimi spremembami. Na površinah izdelkov iz aluminijevih zlitin, na katerih se med postopkom deformacije pojavi učinek PLC, lahko nastanejo hrapave in nezaželeni sledi. Spremembe površine predstavljajo začetne razpoke in koncentradorje obremenitve pri nadaljnji obdelavi takšnih materialov in lahko vodijo do okvare zaradi utrujenosti materiala [6]. Poleg tega se zaradi pojava učinka PLC v materialih povečajo obremenitve, trdota, natezna trdnost in hitrost deformacijskega utrjevanja, po drugi strani pa se zmanjšajo

1 Introduction

The ability of metals and their alloys to be shaped by plastic deformation, and to improve their mechanical and physical properties, is the reason for their wide application in daily life. During the plastic deformation of most metallic materials, the normal flow of the material takes place in the deformation zone. Plastic deformation is observed as the uniform flow of the material, which is manifested as uniform hardening on the stress-strain diagram. Some exceptions in certain alloys are considered important technical materials. In these cases, the process of plastic deformation is unstable and there is inhomogeneous plastic flow under certain deformation conditions [1]. In these cases, various phenomena occur that are the subject of much research. Examples of such phenomena are Lüders bands [2] and the Portevin-Le Chatelier effect, where instabilities manifest as localized deformation in the form of deformation bands [3]. The Portevin —Le Chatelier effect, also known as the PLC effect, occurs in various alloys with different crystal lattices in materials of great industrial importance, e.g. in some types of steel TRIP and TWIP steels [4] and some aluminum alloys [5]. The PLC effect leads to issues related to visual and structural changes. On the surfaces of products made of aluminium alloys in which the PLC effect occurs during the deformation process, rough and undesirable marks may appear. Surface changes represent initial cracks and stress concentrators during the further processing of such materials and they can potentially lead to failure due to material fatigue [6]. Furthermore, the occurrence of the PLC effect in materials leads to an increase in stress, hardness, tensile strength, and strain hardening rate, while on the other

duktilnost, žilavost in občutljivost na hitrost deformacije [7].

Ker se učinek PLC pojavlja v številnih aluminijevih zlitinah, se te zlitine pogosto uporabljajo kot material za preučevanje učinka PLC, predvsem zlitina AlMg [8]. Za ugotavljanje pojava učinkov PLC na nekatere zlitine, se najpogosteje uporabljajo natezni preskusi [9]. Pri določenem razponu hitrosti deformacije in temperatur lahko pride do destabilizacije plastičnega toka, kar se na krivulji napetosti/deformacije kaže kot nazobčanost in lokalizirani deformacijski pasovi, ki se v času trajanja plastične deformacije premikajo po merilni dolžini vzorca [10]. Poznamo tri glavne vrste deformacijskih linij, vrste A, B in C, katerih videz je odvisen od stopnje deformacije in temperature [11]. V literaturi sta omenjeni tudi redki vrsti linij E in D [12]. Pri višjih hitrostih deformacije in nižjih temperaturah se pojavijo pasovi tipa A, pri srednjih hitrostih deformacije in temperaturah se pojavijo pasovi tipa B, pri nizkih hitrostih deformacije in visokih temperaturah pa pasovi tipa C [13]. V večini raziskav se vizualizacija in lastnosti pasov PLC preučujejo s termografijo in metodami digitalne korelacije slik (DIC) vzporedno z nateznim preskusom [14].

Splošno sprejet mehanizem učinka PLC na mikroskopski ravni je Cottrellov model, ki temelji na interakciji med mobilnimi dislokacijami in atomi raztopljenih elementov v zlitini [15]. Ta model je znan tudi kot dinamično utrjevanje (DSA) materiala [16]. Če koncentracija raztopljenih atomov okoli dislokacij postane zadostna, se gibanje dislokacij blokira, kar povzroči zmanjšanje števila mobilnih dislokacij in povečanje napetosti. Ko napetost doseže vrednost, pri kateri se blokirane dislokacije sprostijo ali pomnožijo, se število mobilnih dislokacij poveča, kar povzroči zmanjšanje napetosti. Ponavljajoče se povečevanje in

hand, it decreases the ductility, toughness, and strain rate sensitivity [7].

Since the PLC effect occurs in a wide range of aluminium alloys, these alloys are often used as material for the study of the PLC effect, primarily AlMg alloys [8]. Tensile tests are most used for determining the occurrence of PLC effects on certain alloys [9]. At a certain range of strain rates and temperatures, destabilization of the plastic flow may occur, which manifests itself on the stress/strain curve as serrations and localized deformation bands move through the gauge length of the specimen throughout the plastic deformation [10]. There are three main types of deformation lines, A, B, and C type, whose appearance depends on the strain rate and temperature [11]. There are also rare types of E and D lines mentioned in some literature [12]. At higher strain rates and lower temperatures type A bands appear, at medium strain rates and temperatures, type B bands appear and finally, at low strain rates and high temperatures, type C bands appear [13]. In most research, the visualization and properties of PLC bands are investigated using thermography and Digital Image Correlation (DIC) methods parallel with tensile test [14].

The generally accepted mechanism of the PLC effect at the microscopic level is the Cottrell model, which is based on the interaction between mobile dislocations and the atoms of the dissolved elements in the alloy [15]. This model is also known as dynamic strain aging (DSA) of the material [16]. In the case when the concentration of dissolved atoms around the dislocations becomes sufficient, the movement of the dislocations is blocked, which leads to a decrease in number of mobile dislocations and an increase in stress. When the stress reaches the value at which the blocked dislocations are released or multiplied, the

zmanjševanje napetosti povzroči prekinitev na črti deformacijskega utrjevanja, kar pomeni pojav deformacijskega staranja [13]. V skladu s teorijo DSA, postane občutljivost na hitrost deformacije negativna (nSRS) v določenem temperaturnem območju in območju hitrosti deformacije, pod temi pogoji pa se pojavi nestabilen plastični tok.

Na pojav učinka PLC vplivajo številni dejavniki, na primer koncentracija topljenca in sestava zlitine [17,18]. Tudi gostota dislokacij in velikost zrn sta pomembna za pojav učinka [11], vendar ni nujno, da imajo vsi omenjeni dejavniki bistven vpliv. Čeprav se z dodajanjem elementov zlitini poskuša izboljšati njene mehanske lastnosti, sestava zlitine žal vpliva na videz učinka ali nSRS. V zlitinah AlMg je na primer ta pojav mogoče opaziti v odvisnosti od vsebnosti Mg, saj se po [19] s povečanjem vsebnosti Mg povečata tako DSA kot pojav nSRS, kar vodi v krepitev učinka PLC.

Komercialna zlitina AlMg 5754 se zelo pogosto uporablja in je namenjena nadaljnji hladni obdelavi s plastično deformacijo. Ker spada v skupino zlitin z zelo pogostim pojavom plastičnih nestabilnosti, smo z raziskavo poskušali ugotoviti, ali med hladno deformacijo te zlitine obstajajo plastične nestabilnosti, in če je ugotovljena njihova prisotnost, za katero nestabilnost gre.

2 Preskusni postopki

Izvedli smo natezne preskuse, da bi ugotovili, ali med deformacijo komercialne zlitine 5754 AlMg obstaja kakršna koli plastična nestabilnost. Vzorci so bili odvzeti iz hladno valjane pločevine iz zlitine 5754 Al v smeri valjanja. Vzorci so bili izrezani in pripravljeni za mehanske preskuse na stroju CNC. Mere merilne dolžine vzorcev so bile 50 mm × 20 mm × 3 mm. Za metodo DIC

number of mobile dislocations increases, which leads to the stress decrease. The repetitive increase and decrease of stress leads to a discontinuity on the strain hardening line, which corresponds to the phenomenon of deformation aging [13]. According to the DSA theory, the strain rate sensitivity of flow stress becomes negative (nSRS) in a certain temperature and strain rate range, and unstable plastic flow is observed under these conditions.

Many factors influence the occurrence of the PLC effect, such as the concentration of solutes and the composition of the alloy [17,18]. The density of dislocations and grain size are also significant in the occurrence of the effect [11], but all the mentioned factors do not necessarily have a significant influence. Although the addition of elements to the alloy attempts to improve the mechanical properties of the alloy, the composition of the alloy unfortunately influences the appearance of the effect or nSRS. In AlMg alloys, for example, the phenomenon can be observed as a function of the Mg content, according to [19], by increasing the Mg content, both DSA and the occurrence of nSRS increase, leading to a strengthening of the PLC effect.

The commercial AlMg alloy 5754 is a very commonly used alloy, intended for further cold working by plastic deformation. As it belongs to the group of alloys with a very common occurrence of plastic instabilities, research was carried out to determine whether there is plastic instability during the cold deformation of this alloy, and if their presence is established, which instability is involved.

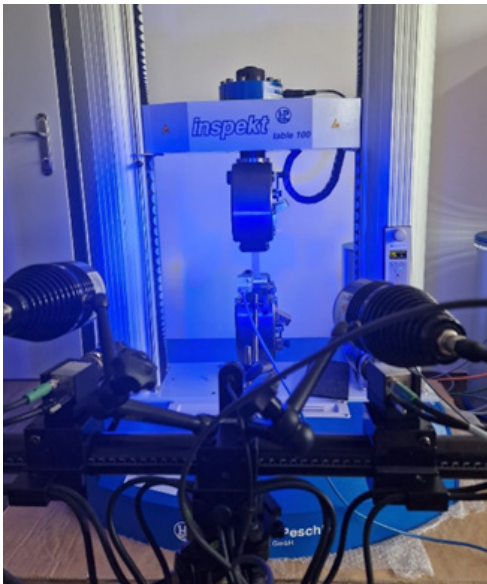
2 Experimental procedures

Tensile tests were carried out to investigate if there is any kind of plastic instabilities

smo vzorce ustrezno pripravili tako, da smo na površino nanесли bel mat premaz, nato pa na površino vzorcev naključno razpršili črne pikice (slika 1).

Natezni preskus je bil opravljen na nateznem stroju Hegewald&Peschke 100 kN pri konstantnem pomiku 20 mm/min pri sobni temperaturi. Vzporedno z nateznim preskušanjem je bila izvedena metoda digitalne korelacije slik (DIC) z uporabo sistema kamer ARAMIS Adjustable 2D/3D, slika 2.

Vizualizacija pretoka materiala, merjenje premikov in deformacij med poskusom so bili določeni z analizo posnetkov DIC v korelacijskem programu GOM correlate PRO.



Slika 2. Sistem kamer ARAMIS Adjustable 2D/3D

Fig. 2. ARAMIS Adjustable 2D/3D camera system

Za metalografsko analizo so bili vzorci pripravljeni z brušenjem in poliranjem

during deformation of commercial 5754 AlMg alloy. Specimens were taken from cold-rolled sheet from 5754 Al alloy in the rolling direction. The specimens were cut out and prepared for the mechanical tests by on a CNC machine. The dimensions of the specimens gauge length was 50 mm × 20 mm × 3 mm. For the DIC method specimens were properly prepared by applying a white matt coating on the surface and then black spackles were randomly sprayed on the specimen's surface, Fig. 1.



Slika 1. Pripravljen vzorec

Fig. 1. Prepared specimen

Tensile test was performed on Hegewald&Peschke 100kN tensile machine at the constant displacement of 20 mm/min at room temperature. Parallel with tensile testing Digital Image Correlation (DIC) method was performed, using ARAMIS Adjustable 2D/3D camera system, Fig. 2.

Visualization of the material flow, measurement of displacement, and deformation during the experiment were determined by analysis of DIC recordings in the correlation program GOM correlate PRO.

For metallographic analysis samples were prepared by grinding and polishing (gradations 120, 240, 400, 600, 800, aqueous solutions of Al_2O_3 respectively). Etching of the samples was carried out with Poulton solution (12 ml konc. HCl + 6 ml HNO_3 + 1 ml HF (48 %) + 1 ml H_2O). Metallography was recorded with an Olympus GX51 light microscope equipped with a DP70 digital camera, and with the AnalySIS Materials Research Lab software package.

(stopnje 120, 240, 400, 600, 800, vodne raztopine Al_2O_3). Vzorce smo jedkali z raztopino Poulton (12 ml konc. HCl + 6 ml HNO_3 + 1 ml HF (48%) + 1 ml H_2O). Metalografijo smo posneli s svetlobnim mikroskopom Olympus GX51, opremljenim z digitalno kamero DP70, in s programskim paketom AnalySIS Materials Research Lab.

3 Rezultati in razprava

Na sliki 3 je prikazan reprezentativni časovno-obremenitveni diagram preskušane zlitine.

Med nateznim preskusom je bila na napetostnih deformacijskih krivuljah opazna prisotnost nazobčanosti, slika 3. Na sliki 3 krivulja prikazuje čase, ko so bili z metodo DIC posnete preslikave deformacij (slika 4).

Metoda DIC med nateznim preskušanjem pokaže, da se deformacije pojavljajo v obliki ozkih pasov (črt), Slika 4. Te črte se širijo v različnih smereh skozi vzorec. V določenih obdobjih se hkrati

3 Results and Discussion

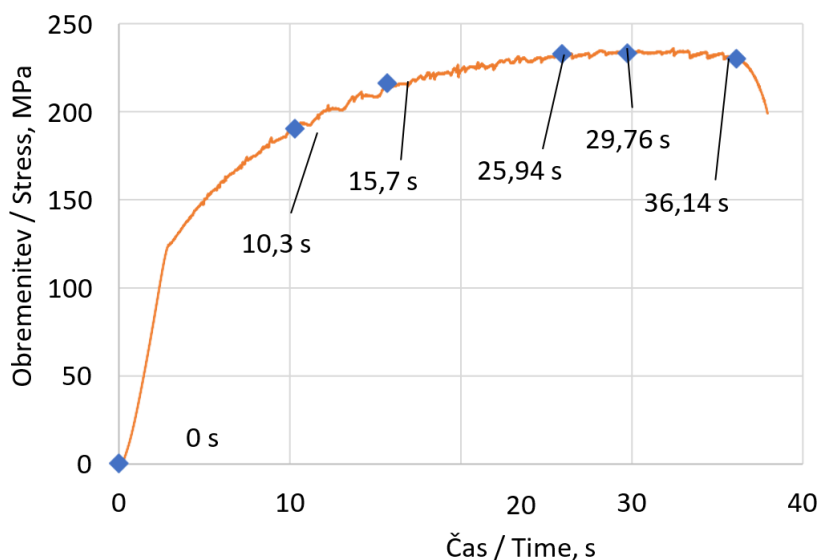
A representative stress-time diagram of the tested alloy is shown in Fig. 3.

During the tensile test it was noted the presence of serrations on the stress curves, Fig. 3. On Fig. 3, the curve shows the times at which the deformation maps were recorded with DIC method (Fig. 4).

During the tensile testing, DIC method shows that deformation occurs in form of narrow bands (lines), Fig. 4. These lines propagate in different directions through the specimen. At certain periods, several lines form at the same time and may cross each other, which usually happens right before the specimen failure.

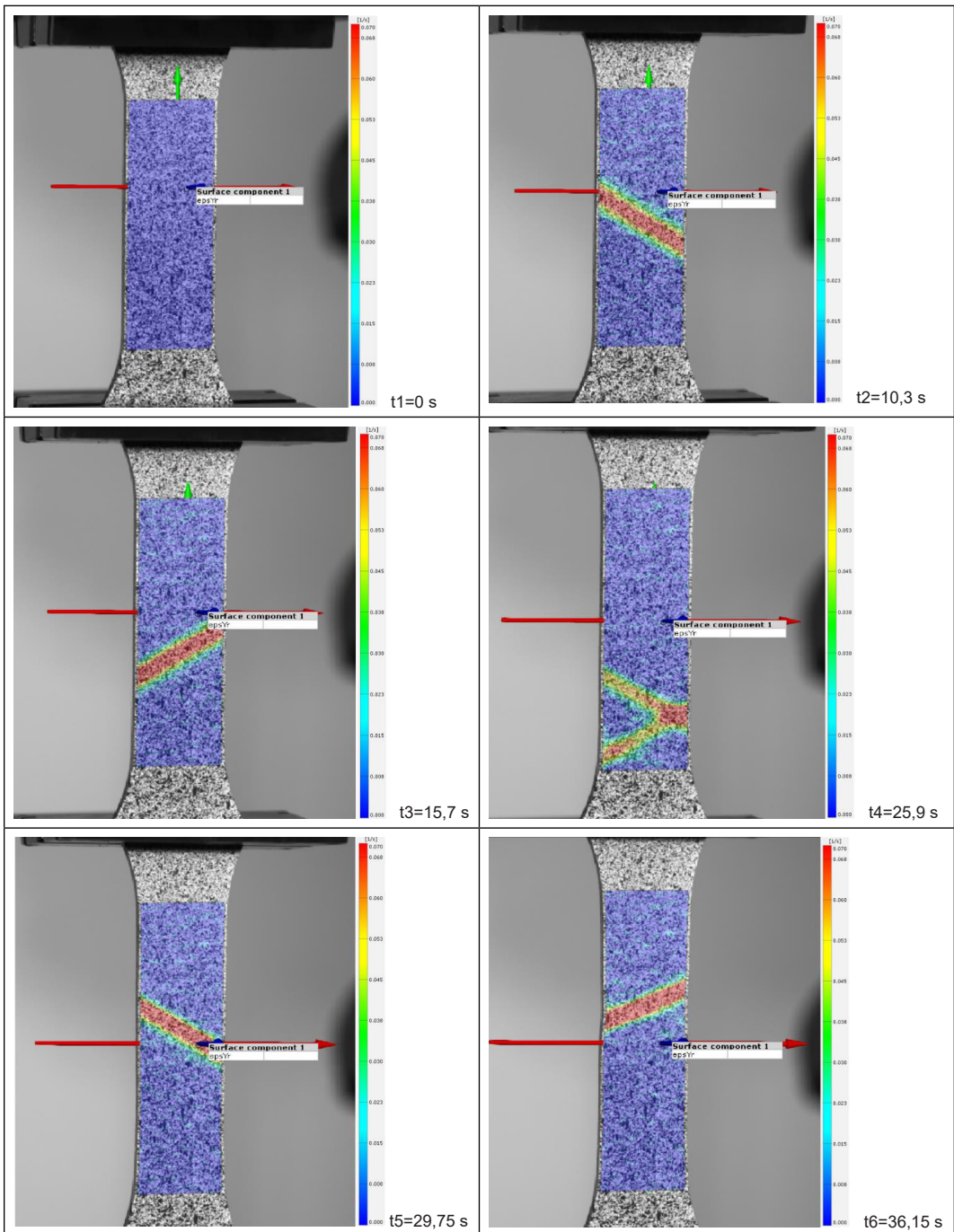
It is clear from Fig. 3. and Fig. 4. that the observed plastic instabilities are indeed a consequence of the occurrence of the Portevin – Le Chatelier (PLC) effect in this alloy. This is evident from the serrations of the stress curve and the deformation maps recorded by DIC analysis.

Consequently, to observe the structural changes that PLC effect does on the



Slika 3. Časovno-obremenitveni diagram

Fig. 3. Stress-time diagram



Slika 4. Prikaz DIC nastanka in širjenja več črt

Fig. 4. DIC representation of the formation and propagation of multiple lines

oblikuje več črt, ki se lahko križajo, kar se običajno zgodi tik pred napako vzorca.

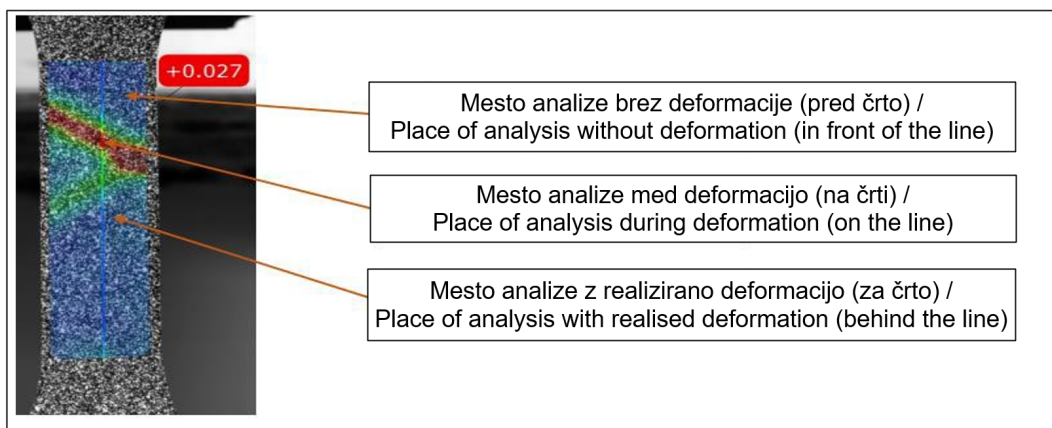
Iz Slik 3 in 4 je razvidno, da so opažene plastične nestabilnosti dejansko posledica pojava Portevin-Le Chatelierjevega učinka (PLC) v tej zlitini. To je razvidno iz nazobčanosti napetostne deformacijske krivulje in preslikav deformacij, posnetih z analizo DIC.

Da bi opazovali strukturne spremembe, ki jih učinek PLC povzroči na materialu, smo izvedli mikrostrukturno analizo. Deformacija

material, microstructural analysis was carried out. The deformation of specimens was stopped at a certain point, right at the moment that first line propagated the halfway through gauge length of specimen, Fig. 5.

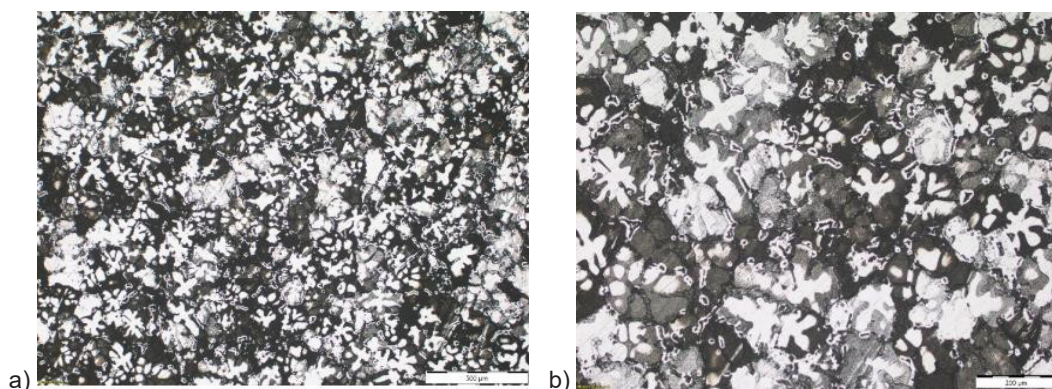
Microstructure was first observed before the PLC band deformed specimen, where the initial microstructure of the AlMg alloy is shown, in Fig. 6. (a), (b).

Then the microstructure was observed on the PLC band front, where deformation



Slika 5. Točke strukturne analize

Fig. 5. Points of structural analysis



Slika 6. Začetna mikrostruktura zlitine AlMg pri povečavah a) 50 ×, b) 100 ×

Fig. 6. The initial microstructure of the AlMg alloy at magnifications a) 50x, b) 100x

vzorcev se je ustavila na določenih točkah, in sicer v trenutku, ko se je prva črta razširila do polovice merilne dolžine vzorca (slika 5).

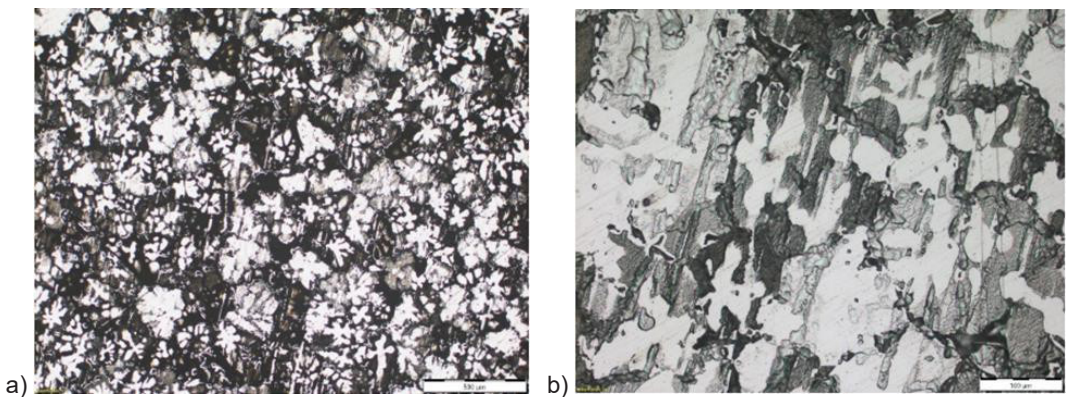
Mikrostrukturo smo najprej opazovali pred deformacijo vzorca pasu PLC, kjer je prikazana začetna mikrostruktura zlitine AlMg, Slika 6 (a), (b).

Sledilo je opazovanje mikrostrukture na sprednjem delu pasu PLC, kjer je prišlo do deformacije, pri čemer je viden vpliv deformacije pasu PLC na mikrostrukturo zlitine, Slika 7 (a), (b).

occurred, where the influence of deformation of the PLC band on the microstructure of the alloy is visible, Fig.7. (a), (b).

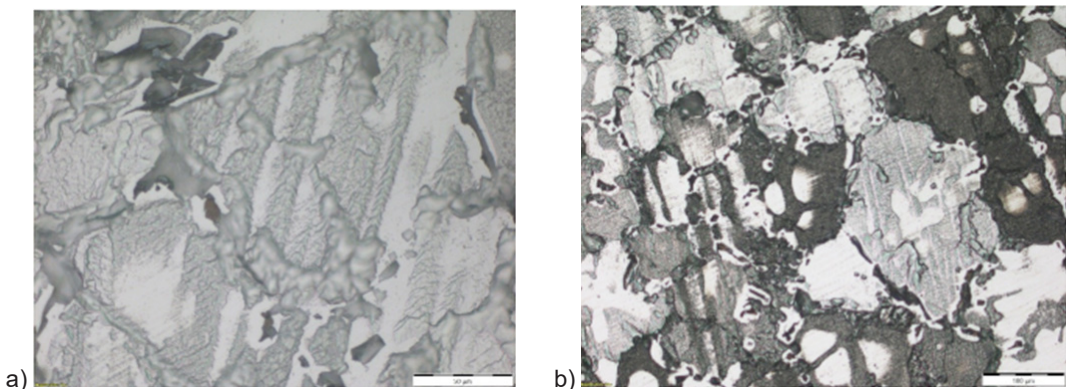
The last image was taken behind the PLC line, where at higher magnifications the structure after the line propagation and the influence of the line on the structure can be seen more clearly.

In Fig. 6. (a), (b) the initial microstructure shows a characteristic structure of AlMg alloy with differently oriented grains. The microstructure on the PLC line, Fig. 7 (a),



Slika 7. Mikrostruktura zlitine AlMg na črti PLC pri povečavah a) 50 ×, b) 200 ×

Fig. 7. Microstructure of the AlMg alloy on the PLC line at a magnification a) 50x, b) 200x



Slika 8. Mikrostruktura zlitine AlMg po prehodu skozi črto PLC pri povečavah a) 500 ×, b) 200 ×

Fig. 8. Microstructure of AlMg alloy after passing through the PLC line at magnifications a) 500x, b) 200x

Zadnja slika je bila posneta za črto PLC, kjer je mogoče pri večjih povečavah strukturo po širjenju črte in vpliv črte na strukturo jasneje videti.

Na slikah 6 (a) in (b) začetna mikrostruktura kaže značilno strukturo zlitine AlMg z različno usmerjenimi zrnji. Mikrostruktura na črti PLC, Slika 7 (a), (b), kaže deformirana zrna in jasno vidne linije zdrsa, iz česar lahko sklepamo, da je mehanizem, po katerem poteka deformacija v črti PLC, translacijski zdrs. Slika 8 (a), (b) prikazuje mikrostrukturo po širjenju črte PLC, pri čemer je razvidno, da črta PLC za seboj pusti deformirano stanje, podobno stanju same črte PLC. Pri večji povečavi so vidne dislokacije, ki jih na nedeformiranem območju vzorca ni bilo opaziti.

4 Sklepne ugotovitve

Rezultati statičnega nateznega preskusa kažejo, da ima zlitina AlMg natezno trdnost 230-235 MPa. Med statičnim nateznim preskusom so jasno vidne nestabilnosti v obliki nazobčane napetostne deformacijske krivulje. Plastične nestabilnosti so posledica pojava Portevin-Le Chatelierjevega učinka (PLC) v tej zlitini. To je razvidno iz nazobčanosti napetostne deformacijske krivulje in preslikav deformacij, posnetih z analizo DIC.

Rezultati analize mikrostruktur kažejo, da učinek PLC povzroči določene mikrostrukturne spremembe v primerjavi z začetno mikrostrukturo in da deformacijski proces poteka po mehanizmu translacijskega zdrsa. Če primerjamo mikrostrukturo na sami črti PLC in mikrostrukturo po prehodu skozi črto PLC, ni opaziti bistvenih razlik.

(b), shows deformed grains and clearly visible slip lines, from which it can be concluded that the mechanism by which the deformation in the PLC line takes place is translational slipping. Figure 8 (a), (b) shows the microstructure after the propagation of the PLC line and it is visible that the PLC line leaves behind a deformed state similar to that of the PLC line itself. At higher magnification, dislocations are visible that were not observed in the undeformed area of the sample specimen.

4 Conclusions

The results of the static tensile test show that AlMg alloy is an alloy with a tensile strength of 230-235 MPa. Instabilities, in the form of serrations of a stress curve, during the static tensile test are clearly visible. The plastic instabilities are a consequence of the occurrence of the Portevin – Le Chatelier effect (PLC) in this alloy. This is evident from the serrations of the stress curve and the deformation maps recorded by DIC analysis.

The results of the microstructure analysis show that the PLC effect causes certain microstructural changes compared to the initial microstructure and that the deformation process takes place by the mechanism of translational slipping. Comparing the microstructure on the PLC line itself and the microstructure after passing through the PLC line, no significant difference can be seen.

Zahvala

Raziskave so bile opravljene v okviru raziskovalnega projekta IP-124 Univerze v Zagrebu, Metalurški fakultet, Centar za ljevarstvo – SIMET, KK.01.1.1.02.0020 in Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne surovine VIRTULAB, KK.01.1.1.02.0022.

Acknowledgment

Investigations were performed within research project IP-124 University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Centre for Foundry Technology—SIMET, KK.01.1.1.02.0020 and VIRTULAB—Integrated laboratory for primary and secondary raw materials, KK.01.1.1.02.0022.

Viri / References

- [1] M. Lebyodkin, Y. Bougherira, T. Lebedkina, and D. Entemeyer, "Scaling in the local strain-rate field during jerky flow in an al-3%mg alloy," *Metals*, vol. 10, no. 1, 2020/1// 2020, doi: 10.3390/met10010134.
- [2] V. M. Farber, A. N. Morozova, V. A. Khotinov, D. I. Vichuzhanin, M. S. Karabanalov, and I. A. Veretennikova, "Lüders deformation in specimens made of normalized 09G2S steel," in *Procedia Structural Integrity*, 2021, vol. 40: Elsevier B.V., C ed., pp. 129-135, doi: 10.1016/j.prostr.2022.04.017.
- [3] S. Uvarov and D. Efremov, "Critical phenomena in Portevin-Le Chatelier effect during compression of aluminium-magnesium alloy and stored energy evolution," in *Procedia Structural Integrity*, 2019, vol. 18: Elsevier B.V., pp. 309-313, doi: 10.1016/j.prostr.2019.08.170.
- [4] J. Kang, L. Shi, J. Liang, B. Shalchi-Amirkhiz, and C. Scott, "The Influence of Specimen Geometry and Strain Rate on the Portevin-Le Chatelier Effect and Fracture in an Austenitic FeMnC TWIP Steel," *Metals*, vol. 10, no. 9, pp. 1201-1201, 2020/9// 2020, doi: 10.3390/met10091201.
- [5] P. V. Trusov, V. E. Wildemann, E. A. Chechulina, T. V. Tretyakova, and M. P. Tretyakov, "Influence of a complex loading on a behavior of an aluminum alloy within the framework of the Portevin - Le Chatelier effect," in *Procedia Structural Integrity*, 2021, vol. 40: Elsevier B.V., C ed., pp. 433-439, doi: 10.1016/j.prostr.2022.04.058.
- [6] M.A. Lebyodkin, Tatiana Lebedkina. "The Portevin-Le Chatelier Effect and Beyond," Jamieson Brechtli; Peter K. Liaw. *High-Entropy Materials: Theory, Experiments, and Applications*, Springer Nature Switzerland, 2021. <hal-03360977>.
- [7] T. V. Tretyakova, M. P. Tretyakov, and E. A. Chechulina, "Experimental study of the Portevin-Le Chatelier effect under complex loading of Al-Mg alloy: procedure issues," (in English), *Frattura Ed Integrità Strutturale-Fracture and Structural Integrity*, Article no. 58, pp. 434-441, Oct 2021, doi: 10.3221/igf-esis.58.31.
- [8] Y. Borisova, D. Yuzbekova, and A. Mogucheva, "Influence of phase composition on Portevin-Le Chatelier effect in Al-Mg alloys," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019/8// 2019, vol. 597: Institute of Physics Publishing, 1 ed., doi: 10.1088/1757-899X/597/1/012057.
- [9] S. Szalai, D. Harangozó, and I. Czinege, "Characterisation of Inhomogeneous Plastic Deformation of AlMg Sheet Metals during Tensile Tests," in *IOP Conference Series:*

- Materials Science and Engineering, 2020/8// 2020, vol. 903: IOP Publishing Ltd, 1 ed., doi: 10.1088/1757-899X/903/1/012023.
- [10] J. Xu, B. Holmedal, O. S. Hopperstad, T. Mánik, and K. Marthinsen, "Dynamic strain aging in an AlMg alloy at different strain rates and temperatures: Experiments and constitutive modelling," *International Journal of Plasticity*, vol. 151, 2022/4// 2022, doi: 10.1016/j.ijplas.2022.103215.
- [11] D. A. Zhemchuzhnikova, "Influence of the extreme grain size reduction on plastic deformation instability in an AlMg and AlMgScZr alloys", *Materials*, Université de Lorraine, 2018. Available online: <http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>
- [12] D. Zhemchuzhnikova, M. Lebyodkin, D. Yuzbekova, T. Lebedkina, A. Mogucheva, and R. Kaibyshev, "Interrelation between the Portevin Le-Chatelier effect and necking in AlMg alloys," (in English), *International Journal of Plasticity*, Article vol. 110, pp. 95-109, Nov 2018, doi: 10.1016/j.ijplas.2018.06.012.
- [13] S. Dahdouh, M. Mehenni, and H. Ait-Amokhtar, "Kinetics of formation and propagation of type A Portevin-Le Chatelier bands in the presence of a small circular hole," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 885, 2021/12// 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.160982.
- [14] S. Ren et al., "Effect of Lüders and Portevin-Le Chatelier localization bands on plasticity and fracture of notched steel specimens studied by DIC and FE simulations," doi: 10.1016/j.ijplas.2020.102880.
- [15] D. Yuzbekova, A. Mogucheva, Y. Borisova, and R. Kaibyshev, "On the mechanisms of nucleation and subsequent development of the PLC bands in an AlMg alloy," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 868, 2021/7// 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.159135.
- [16] M. Mehenni, H. Ait-Amokhtar, and C. Fressengeas, "Spatiotemporal correlations in the Portevin-Le Chatelier band dynamics during the type B - type C transition," *Materials Science and Engineering A*, vol. 756, pp. 313-318, 2019/5// 2019, doi: 10.1016/j.msea.2019.04.036.
- [17] T. Mäkinen, P. Karppinen, M. Ovaska, L. Laurson, and M. J. Alava, "Propagating bands of plastic deformation in a metal alloy as critical avalanches," in "Sci. Adv," 2020, vol. 6. Available online: <https://www.science.org>
- [18] S. Yamasaki et al., "Quantitative analysis of the Portevin-Le Chatelier effect by combining digital image correlation and dead-weight-type tensile test," *Materials Science and Engineering A*, vol. 816, 2021/6// 2021, doi: 10.1016/j.msea.2021.141277.
- [19] C. H. Cho, H. W. Son, J. C. Lee, K. T. Son, J. W. Lee, and S. K. Hyun, "Effects of high Mg content and processing parameters on Portevin-Le Chatelier and negative strain rate sensitivity effects in Al-Mg alloys," *Materials Science and Engineering A*, vol. 779, 2020/3// 2020, doi: 10.1016/j.msea.2020.139151.

Mazanje z minimalno količino maziva z elektrostatično aplikacijo

Minimum Quantity Lubrication with Electrostatic Application

Maksimizacija učinkovitosti procesov v kombinaciji z občutnimi zmanjšani stroškov energije, surovin in odstranjevanja odpadkov so glavni cilji industrije tlačnega litja, ki jih je treba nemudoma uresničiti, zlasti glede na ostro globalno konkurenco in okoljske izzive. Mazanje z minimalno količino maziva (MQL) je pomemben korak v tej smeri.

Dolga desetletja je bila standardna praksa uporaba razredčenih vodotopnih sredstev za ločevanje pri tlačnem litju v področju neželeznih kovin, kot so aluminij, magnezij, cink in njihove številne zlitine. To je še danes najpogostejše uporabljena tehnologija za ločevanje in hlajenje.

Namen emulzij kot ločilnih sredstev

- Hlajenje: Odstranjevanje toplotne energije, ki jo talina vnese v površino kalupa; do 80 % emulzije ločilnega sredstva se uporablja v ta namen.
- Tvorba ločilne plasti: Preprečevanje lepljenja taline na površino gravure, kar omogoča preprosto odstranitev končnih ulitkov iz kalupa.
- Mazanje: Mazanje premičnih delov kalupa (drsnikov, izmetačev itd.) brez dodatnih maziv.
- Visok učinek ločevanja: Dobro ločevanje ulitih delov od kalupa.

Te zahteve pogosto povzročajo občutno porabo ločilnega sredstva, kar vodi v dolge

Maximising process efficiency combined with significant reductions in energy, raw material and waste disposal costs are the declared goals of the die casting industry and should be implemented immediately, particularly in view of the tough global competition and environmental challenges. Minimum quantity lubrication (MQL) is an important step in this direction.

For many decades, it was standard practice to use diluted water-miscible die release agents (wmFT) for die casting in the field of non-ferrous metals, i.e., Aluminium, Magnesium, Zinc, and their numerous alloys. This is still the most common release and cooling technology today.

Purpose of die release agent emulsions

- Cooling, i.e., removing the heat energy introduced by the melt from the mold surface; up to 80 % of the release agent emulsion is used for this purpose.
- Forming a surface separating layer that prevents the melt from sticking to the mold surface so that the finished castings can be easily removed from the mold.
- Lubrication of the moving mold parts (slides, ejectors, etc.) without the addition of further lubricants.
- High release effect / good demoldability of the cast parts.

These requirements often lead to a significant consumption of die release agent

čase cikla in velike količine odpadne vode. Neizogibno čezmerno mazanje kalupa in okolice stroja pri kalupih brez notranjega hlajenja je običajno sprejeto.

Sčasoma to vodi do znatnih usedlin na površini kalupa, stroja in šob za pršenje zaradi ostankov sestavin v emulzijah ločilnega sredstva, ki vsebujejo:

- Olja: Mineralna olja, silikonska olja (siloksani, polisiloksani), estrska olja, PAO itd.
- Voski: voski, sintetični voski, PE voski itd.
- Aditivi: Emulgatorji, sredstva za zaščito proti koroziji, biocidi/fungicidi, sredstva proti penjenju, sredstva za omakanje.

Posledica so povečani naporji za čiščenje in vzdrževanje stroja, skupaj s povezanimi zastoji strojev.

Nadaljnje osnovne zahteve za emulzije ločilnih sredstev so:

- visoka stabilnost emulzije: odpornost pred ločevanjem posameznih sestavin
- visoka zaščita pred korozijo: kalup in deli stroja za tlačno litje,
- visoka bakteriološka stabilnost: stabilnost na mikrobo,
- nestrupenost: varstvo zdravja pri delu,
- nizka nagnjenost k nastajanju ostankov: gravura kalupa in okvir,
- ekonomična in ekološka usmeritev,
- združljivost z barvami/premaznimi materiali,
- možnost barvanja ulitih delov v nadaljnjih procesih.

Posledice za postopek tlačnega litja

Uporaba ločilnih sredstev na vodni osnovi ima naslednje posledice:

- Kratka uporabna doba kalupov: Močno toplotno ciklično obremenjevanje površine zaradi intenzivnega ohlajanja s hladnim ločilnim sredstvom s 700 °C na približno 100 °C povzroča visoke preostale napetosti v površinskih slojih

and, as a result, to long cycle times and large quantities of wastewater. However, the inevitable over-lubrication of the mold and the machine periphery in molds without internal cooling is usually accepted.

Over time, this leads to considerable deposits forming on the mold surface, the machine, and the spray nozzles due to residues of the wmFT ingredients:

- Oils: Mineral oils, Silicone oils (Siloxane, Polysiloxan), Ester oils, PAOs, etc.,
- Waxes: Montan waxes, Synthetic waxes, PE waxes, etc.,
- Additives: Emulsifiers, Corrosion Protection, Biocides / Fungicides, Defoamers, Wetting Agents.

The result is increased effort for cleaning and maintenance of the machine, combined with the corresponding machine downtimes.

Further basic requirements for a wmFT

- High stability of the emulsion: segregation stability,
- High corrosion protection: mold and die-casting machine,
- High bacterial stability: Microbial stability,
- Toxicological harmless: Occupational health and safety,
- Low tendency to form residues: Mold engraving and frame,
- Economic and ecological orientation,
- Compatibility with paints / coatings,
- Paintability of cast parts in subsequent operations.

Consequences for the die casting process

- Short mold lifetimes: the strong thermal cycling stresses on the surface during intensive quenching with cold mold release agents from 700 °C to around 100 °C generate high residual tensile stresses in the surface layers and lead to the formation of fire cracks with a

in nastanek razpok zaradi ognja. Te razpoke so globoke od delčka milimetra do več kot 50 mm, široke pa od nekaj tisočink milimetra do več kot 2 mm, kar vodi v prezgodnjo odpoved kalupa za tlačno litje.

- Rjave lise: Razbarvanje površin ulitkov zaradi zažganih ostankov voska in olj.
- Korozija: Zaradi visokega deleža vode v uporabljenih ločilnih sredstvih na osnovi vode pride do korozivnega vpliva na kalup za tlačno litje, vpenjalne plošče, okolje stroja in posodo za ločilno sredstvo.
- Poroznost: Korozijski inhibitorji, uporabljeni v ločilnih sredstvih na osnovi vode, so večinoma snovi na osnovi tolutriazolov, fosfonskih, fosfinovih in polikarboksilnih kislin, alkalnih mil, sulfonatov, aminov, derivatov benzojske kisline in borovih spojin. Njihova razgradnja med procesom litja bistveno poveča količino in vpliva na sestavo nastajajočih plinov, kar povzroča poroznost v ulitkih.
- Leidenfrostov učinek: Fizični pojav, pri katerem tekočina na osnovi vode (npr. kapljica ločilnega sredstva), ki pride v stik z zelo vročo površino kalupa, tvori izolacijsko plast pare. To prepreči omočenje površine z ločilnim sredstvom, kapljica pa se odbije s plasti pare. Zelo vroči kalupi zato potrebujejo dolge faze pršenja za nanos zadostnega sloja ločilnega sredstva, kar bistveno podaljša čas cikla.
- Stroški vzdrževanja sistema za pršenje: Onesnaženje zaradi kopičenja sestavin ločilnega sredstva na površinah gravur, okvirju kalupa in v šobah za pršenje vodi do velikih oblog in celo do delne odpovedi sistema za pršenje (blokada), kar povzroča nenačrtovane izpade strojev.
- Bakterije (aerobne, anaerobne,

crack depth of fractions of a millimetre to well over 50 mm and a width of a few 1/1000 mm to over 2 mm and thus to premature failure of the die casting mold.

- Brown Spots: Discoloration of the part surfaces due to burnt-in wax and oil residues.
- Corrosion: Due to the high water content of the wmFT used, there is corrosive attack on the die casting mold, the clamping plates, the machine environment and the container for the mold release agent.
- Porosity: The corrosion inhibitors used in wmFT are mostly substances based on Tolutriazoles, Phosphono-, Phosphino- and Polycarboxylic acids, Alkali Soaps, Sulphonates, Amines, Benzoic Acid derivatives and Boron compounds. Their decomposition during the casting process significantly increase the quantity and composition of gas development and thus the porosity in the cast parts.
- Leidenfrost effect: is a physical phenomenon in which an aqueous liquid, e.g. a drop of mold release agent (wmFT), which is in close contact with a mold surface that is significantly hotter than the boiling point of the water content, creates an insulating vapour layer. This prevents the surface from being wetted by the wmFT and the release agent droplet bounces off the vapour layer. Very hot molds therefore require very long cooling spray phases be able to apply a sufficient release film, which significantly increases the cycle time.
- Maintenance costs for the spray system: Contamination caused by the build-up of release agent ingredients on mold surfaces, the mold frame and in the spray nozzles lead to heavy deposits

fakultativno anaerobne) in gobe: Prisotna toplota in vlaga močno spodbujata rast mikroorganizmov na območju strojev za tlačno litje. To pogosto povzroča okvare, hkrati pa predstavlja zdravstvena tveganja za osebe in visoke stroške vzdrževanja.

- Stroški vzdrževanja velikih kompresorjev: Nanašanje ločilnih sredstev in odpihovanje površin kalupov za odstranjevanje ostankov povzročata veliko porabo stisnjenega zraka.
- Visoka poraba ločilnih sredstev, vode in energije: Običajno nanašanje ločilnega sredstva poteka pri visokem tlaku pršenja (pribl. 2–4 bara) in prostorninah do 12 litrov ali več. Do 80 % dejanskih ločilnih sredstev se „zlorabi“ kot čisti hladilni medij.
- Odpadna voda kot nevarni odpadke: Zaradi velike količine presežnega pršenja nastane velika količina mešanice ločilnega sredstva, hidravličnega olja, olja za prenos toplote, ostankov mazalnih past in drugih snovi iz okolja stroja.
- Zdravje delavcev: V skladu z vse strožjimi tehničnimi smernicami za kakovost zraka (TA-Luft) je treba financirati velike sisteme za odesavanje, da se odstranijo znatne količine hlapov vode in ločilnih sredstev. V nasprotnem primeru obstaja toksikološka nevarnost za delavce zaradi vdihavanja alveolarnih aerosolov/hlapov. Tudi neposredni stik s kožo je treba preprečiti. Študija nemškega združenja za zavarovanje odgovornosti delodajalcev za železarsko in kovinsko industrijo je pokazala, da 30 % resnih in ponavljajočih se kožnih bolezni povzročajo emulzije.
- Visoka raven hrupa: Zaradi velike potrebe po stisnjenem zraku za pršenje in odpihovanje ločilnih sredstev

and even partial spray system failures (Blockages), which cause unplanned machine downtime.

- Bacteria (aerobe, anaerobic, facultative anaerobic) and Fungi: The existing heat and moisture strongly favour growth in the area of the die casting machines. This often causes malfunctions, but also poses health risks for personnel and high maintenance costs.
- Maintenance costs for large compressors: The application of mold release agents and the blowing off of mold surfaces to remove flakes and still-moist release agent residues requires the use of a large amount of compressed air.
- High consumption of release agent, water and energy: The usual application of release agent is carried out at a high spray pressure of approx. 2 - 4 bar and volumes of up to 12 litres and sometimes more. Up to 80% of the actual mold release agents are “misused” as pure coolant.
- Wastewater is hazardous waste: Heavy over-spraying produces a large quantity of a mixture of mold release agent, hydraulic oil, thermal oil, wash-off from lubricating greases and lubricating pastes used and other substances from the machine environment.
- Health care for the workers: In accordance with the ever more stringent TA-Luft (Technical Instructions on Air Quality Control), large extraction systems must be financed to remove the significant quantities of water and release agent vapors produced. Otherwise, there would be a toxicological hazard for the workers at the machines due to inhalation of the alveolar aerosols / vapors formed. Direct skin contact must also be ruled out. A study by the German Employers'

so prisotne ravni hrupa okoli 98 dB(A), z vrhovi do 110 dB(A) (raven hrupa v diskoteki); pri dolgotrajni izpostavljenosti brez zaščite sluha že ravni nad 85 dB(A) povzročajo nepopravljivo poškodbo notranjega ušesa. Vse to pomeni visoke stroške in obremenitve ter tveganja za ljudi, stroje in okolje, znatno porabo surovin in energije, predvsem pa nasprotuje ideji trajnosti!

Da bi se popolnoma izognili tem težavam, je bilo treba temeljito prenoviti celotno zasnovo proizvodnje in hkrati zmanjšati porabo ločilnih sredstev in energije na minimum. Porodila se je ideja o mazanju z minimalno količino maziva (MQL), vendar je bilo treba najprej postaviti ustrezne temelje.

Prelomnica

Učinkovita in gospodarno naravnana raba energije omogoča temeljito prestrukturiranje celotnega proizvodnega procesa, kar vodi do maksimalnih prihrankov stroškov in hkrati do večjega varovanja okolja ter delovne okolice. Ključni za izboljšave so uravnotežena energijska bilanca v kalupih, pametna pretvorba razpoložljive toplotne energije ter zmanjšanje porabe električne energije in stisnjenega zraka.

Vendar je treba najprej vzpostaviti določene pogoje v proizvodnem procesu. Ker se je hlajenje kalupov v preteklosti izvajalo z intenzivnim pršenjem ločilnega sredstva, so bili stroški izdelave kalupov razmeroma nizki. Za znatno zmanjšanje ali celo popolno odpravo zunanega hlajenja kalupov pa je zdaj med izdelavo kalupov treba ustvariti zadostne hladilne kanale v notranjosti. To sicer pomeni dodatne stroške in napore pri proizvodnji, vendar se ti dolgoročno popolnoma povrnejo.

Liability Insurance Association for the Iron and Metal Industry found that 30% of serious and recurrent skin diseases are caused by emulsions.

- High noise level: Due to the high demand for compressed air for spraying and blowing off the mold release agents, noise levels of around 98 dB(A) with peaks up to 110 dB(A) are present (noise level in a discotheque); with permanent exposure without hearing protection, levels > 85 dB(A) already cause incurable damage to the inner ear. All of this means high costs and burdens as well as risks for people, machines and the environment, a significant consumption of raw materials and energy and above all: it contradicts the idea of sustainability!

In order to completely avoid these problems, it was necessary to fundamentally revise the entire production concept and at the same time reduce the consumption of release agents and energy to a minimum. The idea of minimum quantity lubrication (MQL) was born, but first the appropriate foundations had to be laid.

The turning point

Using energy profitably and without waste enables a comprehensive restructuring of the entire manufacturing and production process, resulting in maximum cost savings while at the same time maximising protection of the environment and the working environment. The keys to improvement are a balanced energy balance in the molds, a clever conversion of the available thermal energy and the reduction of the electrical energy and compressed air used.

However, a number of prerequisites must first be created in the production process. As mold cooling was previously achieved by intensive spraying of the

Osnove za mazanje z minimalno količino maziva

Zahvaljujoč „inteligentno“ oblikovanim temperaturno reguliranim kalupom za tlačno litje je mogoče zunanje hlajenje, tj. nadzor temperature kalupov, zmanjšati na minimum, kar omogoča mazanje z minimalno količino maziva (MQL) brez dodatnega hlajenja. Pogoji za to pa so:

- Ustrezno razporejeni hladilni kanali pokrivajo celotno površino kalupa,
- Hlajenje, nameščeno blizu površine, neposredno odvaja toplotno energijo.
- Selektivno hlajenje vročih točk, npr. z uporabo usmerjenih curkov.
- Uporaba ustrezno dimenzioniranih grelno-hladilnih enot.

Dodatno hlajenje kalupov za tlačno litje se doseže z uporabo industrijskih grelno-hladilnih enot (HKG), ki so nameščene poleg stroja za tlačno litje. Te enote uporabljajo prenosni medij (olje/voda) za odvajanje toplotne energije, ki jo v kalup vnese talina, da zagotovijo hitro strjevanje ulitkov in preprečijo splošno ali delno pregrevanje. Glede na število možnih hladilnih kanalov in njihove preseke se uporabljajo olja za prenos toplote ali sistemi s tlačno vodo.

To pomeni, da je treba nanesti le toliko ločilnega sredstva, kolikor je potrebno za zadosten učinek ločevanja, saj celotno potrebno hlajenje prevzame notranje uravnavanje temperature kalupov. Ločilnega sredstva ni več treba razredčiti v razmerju 1:50-1:120 ali več, temveč ga je mogoče nanesti nerazredčenega in v minimalnih količinah s primerno opremo za pršenje. S tem se ne zmanjša le potreba po sveži vodi, temveč tudi količina odpadne vode, ki se zmanjša na minimum ali celo popolnoma odpravi.

Rezultat tega je postopek, znan kot mazanje z minimalno količino maziva (MQL), ki so ga v zadnjih 20 letih uspešno uvedli že številni priznani proizvajalci.

applied mold release agent, the production costs of the molds used could be kept quite low. In order to significantly reduce or even completely avoid external mold cooling, sufficient cooling channels must now be created inside the mold halves during production. This is an additional manufacturing cost and effort, but it is worth it in every respect.

Basics for Minimum Quantity Lubrication

Thanks to “intelligently” designed temperature-regulated die casting molds, the required external cooling, i.e., mold temperature control, can be reduced to a minimum, so that minimum quantity lubrication (MQL) is possible without additional cooling:

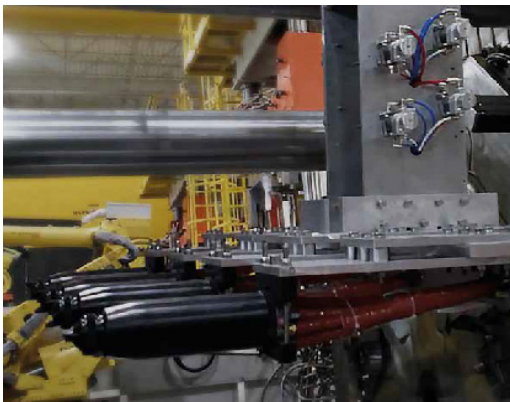
- Suitable mold cooling channels distributed over the entire surface reach all mold areas,
- Cooling positioned close to the surface dissipates the heat energy directly,
- selective cooling of hot spots, e.g., through the use of jet streams,
- Use of sufficiently dimensioned heating / cooling units.

Additional cooling for die casting molds is achieved through the use of industrial heating/cooling units (HKG), which are placed next to the die casting machine. They use a heat transfer medium (oil/water) to dissipate the heat energy introduced into the mold by the molten metal in order to ensure rapid solidification of the cast parts and prevent general or partial overheating. Depending on the possible number of cooling channels and their cross-sections, heat transfer oils or pressurised water systems are used.

This also means that only as much mold release agent needs to be applied as is necessary for a sufficient release effect,

Elektrostatična minimalna količina nanosa ločilnega sredstva

Razvoj za izpopolnjevanje in maksimiranje izboljšav obstoječih aplikacijskih sistemov MQL, zlasti v zvezi s povečano trajnostjo procesov, je privedel do še enega mejnika. Tega dosežemo z uporabo patentiranih ločilnih sredstev brez vode podjetja Quaker Houghton v kombinaciji s tehnologijo elektrostatičnega pršenja Quaker Houghton FLUIDCAST™ (slika 1) ločilnih sredstev za tlačno litje (o tem smo poročali v revijah Foundry 107 (2020), [št. 09], str. 49-51 in Foundry 108 (2021), [št. 09], str. 60-61, ur.). To je trenutno najboljša razpoložljiva tehnična rešitev za zagotavljanje želenih izboljšav zmogljivosti tlačnega litja in prihrankov proizvodnih stroškov. Quaker Houghton je to že dokazal v številnih aplikacijah v zadnjih letih, ne le v avtomobilski industriji, ampak tudi v drugih industrijskih sektorjih. Nanos potrebnega ločilnega sredstva je zmanjšan na tehnično izvedljiv minimum, tako da „čezmernega razprševanja“ skoraj ni. Hkrati to bistveno zmanjša težavo z onesnaženjem in čiščenjem.



Slika 1: Učinkoviti minimalni nanos maziva s pršilno glavo Quaker Houghton

Fig. 1: Effective minimum lubricant application with the Quaker Houghton spray head

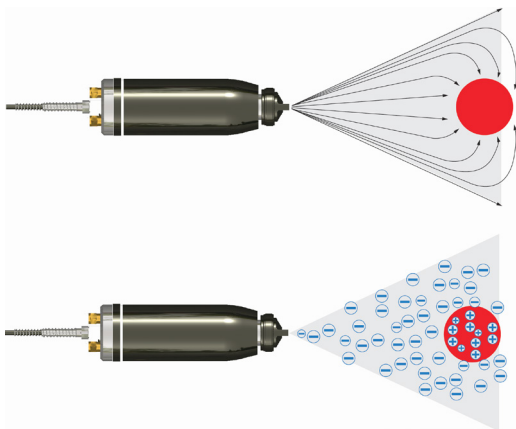
as the required cooling is completely taken over by the internal mold temperature control. The mold release agent no longer has to be diluted to a mixing ratio of 1:50 - 1:120 and higher but can be applied undiluted and in minimal quantities using suitable spraying equipment. This not only reduces the freshwater requirement, but also the associated wastewater volume to a minimum, or even to zero. The result is known as minimum quantity lubrication (MQL) and has already been successfully implemented by several well-known manufacturers over the past 20 years.

The Electrostatic Minimum Quantity Mold Release Agent Application

Developments to perfect and maximise improvement of existing MQL application systems, particularly with regard to increased process sustainability, has led to another milestone. This is achieved through the use of patented, water-free release agents from QH in combination with Quaker Houghton's FLUIDCAST™ Electrostatic Spray Technology (Fig. 1) for die-casting mold release agents (we reported on this in Foundry 107 (2020), [No. 09], pp. 49-51 and Foundry 108 (2021), [No. 09], pp. 60-61, the ed.). It is currently the best available technical solution to deliver the desired maximum die casting performance improvements and production cost savings. QH has already proven this in numerous applications in recent years, not only in the automotive industry but also in other industrial sectors. The application of the required mold release agent is reduced to the technically feasible minimum, so that an "over spray" is almost zero. At the same time, this significantly reduces the issue of contamination and cleaning effort.

Opis postopka

Pršilni sistem (slika 2) temelji na ločilnem sredstvu, ki se ne meša z vodo, kar pomeni, da voda ni več potrebna. Najprej se razprši s posebej razvitimi razpršilnimi šobami in nato elektrostatično negativno nabije v šobi na začetku dejanskega postopka razprševanja. Kot nosilni medij se uporablja zračni curek z dovodnim tlakom samo 0,5 bar - 1 bar. Nabite, fino razpršene delce ločilnega sredstva (mikro kapljice) potencialna razlika pritegne na kovinsko površino in, poravnana s silnicami polja, se enakomerno porazdeli na ozemljeno površino kalupa za tlačno litje, tako po površini kot glede na debelino ločilnega sredstva. Daljši čas škropljenja povzroči večje debeline sloja, vendar ne v nedogled, saj sicer obstaja nevarnost reionizacije, ki lahko privede do napak pri nanosu.

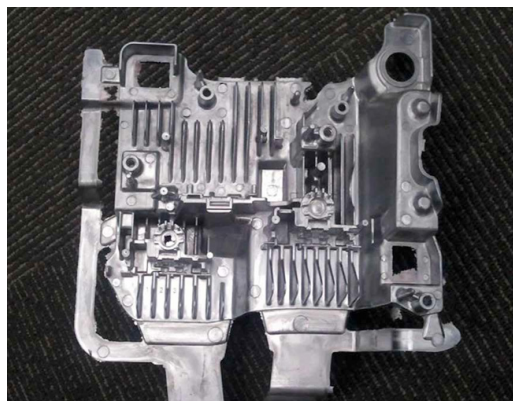


Slika 2: Sistem elektrostatičnega pršenja
Fig. 2: System of electrostatic spraying

Z uporabo tako imenovanega „ovijalnega učinka“ je mogoče doseči vse dele geometrije kalupa in drsnih delov kalupa, vse do globokih in ozkih območij (slika 3), npr. v območju ozkih reber. Empirično določene mejne vrednosti so ponovljivo pokazale, da je mogoče doseči

Procedure Description

The spray system (Fig. 2) is based on a non-water-miscible mold release agent (nwmFT), which means that water is no longer required. It is first atomized using specially developed spray nozzles and then electrostatically negatively charged in the nozzle at the start of the actual spraying process. An air jet with a delivery pressure of just 0.5 - 1 bar is used as the carrier medium. The charged, finely atomized, mold release agent particles (micro-droplets) are drawn to the metal surface by the potential difference and, aligned with the field lines, are distributed evenly on the earthed die casting mold surface, both over the surface and in relation to the release film thickness. A longer spraying time produces greater layer thicknesses, but not indefinitely, as otherwise there is a risk of reionization, which can lead to faults during application.



Slika 3: Elektrostatično pršenje doseže tudi globoka, ozka rebra

Fig. 3: Even deep, narrow ribs are safely reached by electrostatic spraying

By means of the so-called “wrap-around effect”, all undercuts of the mold geometry and the mold slides, up to deep and narrow cavity zones (Fig. 3), e.g. in the narrow rib area, are also reached. Empirically

globino do >100 mm z minimalno širino 2 mm-3 mm.

Prednosti elektrostatičnega nanosa ločilnega sredstva

Postopek mikro pršenja že zdaj omogoča znatne prihranke virov v smislu energije in surovin ter hkrati bistveno zmanjšuje vpliv na okolje. V primerjavi z MQL pa elektrostatična uporaba ločilnih sredstev omogoča še večje prednosti:

- Znatno daljša uporabna doba kalupov: občutno zmanjšanje termično povzročene površinske napetosti zmanjšuje predvsem nastanek razpok zaradi toplotnih obremenitev (slika 4).
- Popolno izogibanje porabi vode in s tem zmanjšanje splošnega obsega odpadne vode ponuja nadaljnji znaten potencial prihranka.
- Odsotnost vode preprečuje bakterijsko

determined limit value considerations have reproducibly shown an achievable depth of up to >100 mm with a minimum width of 2-3 mm.

Advantages of Electrostatic Die Release Coating

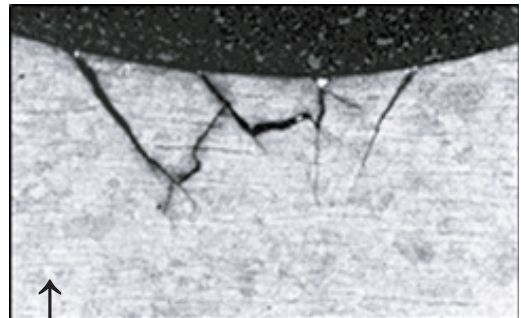
The process of micro-spraying is already known to save considerable resources in terms of energy and raw materials, while at the same time significantly reducing the impact on the environment. Compared to MQL, the electrostatic application of mold release agents achieves even greater benefits:

- significantly extended mold service life: a considerable reduction in thermally induced surface stresses reduces the formation of fire cracks in particular (Fig. 4).
- the complete avoidance of water



Notranja natezna napetost / Internal tensile stress

- Odvisno od postopka litja / Depending on the casting process
 - Faza oblikovanja / Formation phase → 100
 - Faza platoja / Plateau phase → 100 000
 - Faza sprostitve / Relaxation phase → > 100 000
 (avtor / by M. Hihara)
- Odvisno od konstrukcije kalupa / Depending on mold construction



Strukturna sprememba / Structural change

- Lokalno utrjene robne površine / Locally hardened edge areas
- Odvisno od konstrukcije kalupa / Depending on the mold construction
- Zrnate mejne prevleke v GW / Grain boundary coatings in GW
- Obogatitev elementov na površini / Element enrichment in the surface

Slika 4: Razvoj preostalih nateznih napetosti/strukturnih sprememb v kalupih za tlačno litje: Nastanek in zmanjšanje nateznih napetosti kot funkcija obremenitvenih ciklov (število strellov).

Fig. 4: Development of residual tensile stresses/structural changes in die casting molds: Build-up and reduction of tensile stresses as a function of load cycles (number of shots).

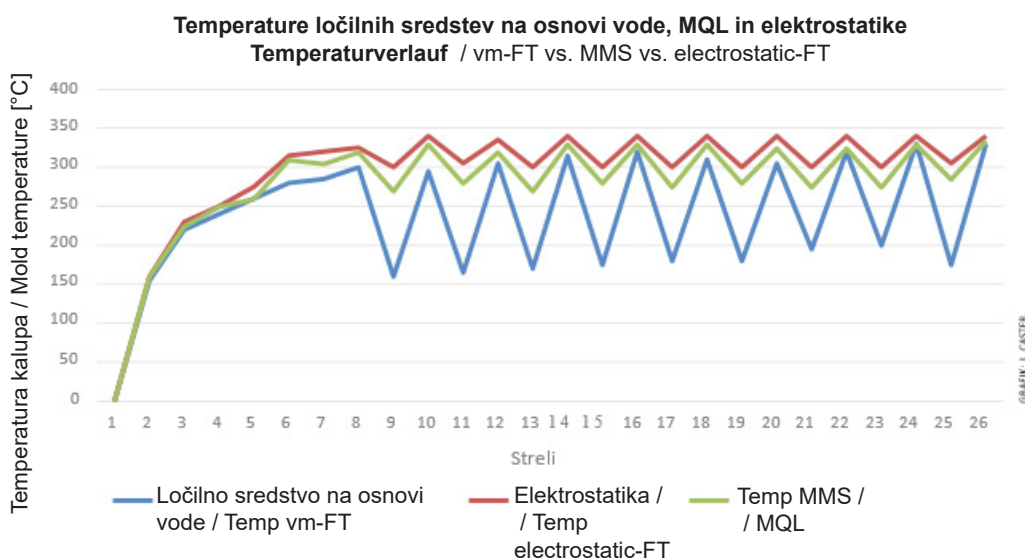
ali glivično okužbo.

- Občutno zmanjšana stopnja izmeta bistveno zmanjša tudi CO₂ odtis.
- Temperaturno območje uporabe kalupa je v širokem intervalu < 100 °C - >300 °C (slika 5),
- Znatno skrajšanje časa cikla je doseženo predvsem s krajšimi časi cikla za nanašanje ločilnega sredstva (brez pojava Leidenfrostovega učinka) in odpravo časa naknadnega pihanja ali izpihovanja, ki je potreben z ločilnimi sredstvi na osnovi vode, da se odpihne odvečna voda iz kalupa in prepreči motnje v proizvodnji.
- Ena sama elektrostatična razpršilna šoba z enega samega položaja lahko prekrije sprednjo in zadnjo površino hkrati, s čimer doseže učinkovitejši oprijem ločilnega sredstva s celotno prekrivnostjo.

Običajni MQL navadno zahteva pršenje iz treh različnih kotov s tremi ali več šobami ali razpršilnim robotom, da se doseže primerljiva, popolna pokritost površine.

consumption and thus reduction of the general volume of wastewater offers further considerable savings potential.

- the absence of water prevents bacterial or fungal infestation.
- the significantly reduced reject rate also substantially reduces the CO₂ footprint.
- the mold temperature application range lies in a wide interval of < 100 °C - >300 °C (Fig. 5),
- the significant cycle time reduction is mainly achieved by the shorter cycle times for release agent application (no occurrence of the Leidenfrost phenomenon) and the elimination of the post-blowing or blow-off time required with water-miscible mold release agents in order to blow excess water out of the mold and avoid production disruptions.
- A single electrostatic spray nozzle from a single position can cover the front and rear surfaces simultaneously, achieving a more effective, full-coverage adhesion of the release agent.



Slika 5: Primerjava temperaturnih ciklov različnih tehnik pršenja

Fig. 5: Comparison of the temperature curves of the different spraying techniques

Trajnost plus

Vsota vseh prihrankov, optimizacij in poenostavitev, povezanih s to novo proizvodno strategijo, ima za posledico učinkovito uporabo vseh surovin in energije ter povezanih virov v smislu optimalne trajnosti proizvodnje in celotnega proizvodnega procesa.

Dosegljivi prihranki stroškov

Ko gre za varčevanje s surovinami in energijo, se sliši preprosto, vendar je vsota vseh povezanih dejanj in vplivov navzgor in navzdol v verigi, ki proizvajata želeni, optimalen končni rezultat (slika 6):

- stroški ločilnega sredstva,
- stroški stisnjenega zraka,
- stroški odstranjevanja odpadnih snovi,
- stroški vzdrževanja in popravil,
- stroški rezervnih delov,
- delež izmeta,
- stroški čiščenja,
- zastoji strojev,
- načrtovani časi vzdrževanja,
- stroški orodja (kalup),

Conventional MQL usually requires spraying from three different angles with three or more nozzles or a spraying robot to achieve comparable, complete surface coverage.

Sustainability plus

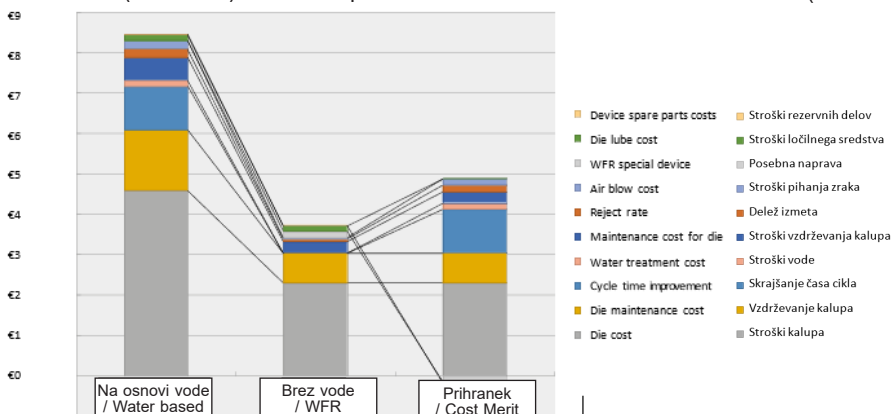
The sum of all the savings, optimisations and simplifications associated with this new production strategy results in the efficient use of all raw materials and energy as well as the associated resources in terms of optimal sustainability of manufacturing and overall production.

Achievable Cost Savings

It sounds simple when it comes to saving raw materials and energy, but it is the sum of all the associated upstream and downstream actions and influences that produce the desired, optimum end result (Fig.6):

- Costs for mold release agent,
- Costs for compressed air,
- Disposal costs,
- Maintenance and repair costs,

Primerjava stroškov (EUR/strel) / Cost comparison between water-free and water-based (Euro/shot)



Slika 6: Primerjava stroškov standardnega ločilnega sredstva z elektrostatičnim na osnovi študije primera
Fig. 6: Cost comparison of standard wmFT to electrostatic FT using an exemplary case study

- čas cikla procesa litja.

Neposredna primerjava stroškov običajne proizvodnje z uporabo ločilnih sredstev na osnovi vode in optimizirane proizvodnje s pomočjo elektrostatične uporabe jasno kaže ogromen potencial za izboljšano trajnost.

Povzetek in pogled v prihodnost

Energija in surovine so temelj vsakega nadaljnjega razvoja in izboljšav naših procesov, da bi dosegli in še razširili resnično trajnost. To, kar smo dosegli doslej, je lahko le prvi korak k nadaljnjemu razvoju pretoka toplote in energije znotraj proizvodnega območja ali še bolje znotraj celotne proizvodne lokacije v skoraj zaprt krog in doseganje najvišje možne splošne učinkovitosti: vpogled v možno prihodnost!

www.quaker-houghton.com

- Spare parts costs,
- Scrap rate,
- Cleaning costs,
- Machine downtimes,
- Planned maintenance times,
- Tool costs (mold),
- Cycle time of the casting process.

A direct comparison of the costs of conventional production using water-miscible mold release agents and optimised production with the aid of electrostatic application clearly shows the enormous potential for improved sustainability.

Summary and outlook

Energy and raw materials are the cornerstones of any further development and improvement of our processes in order to achieve and further expand true sustainability. What we have achieved so far can only be the first step towards further developing the heat and energy flow within a production area, or even better within an entire production site, into an almost closed cycle and achieving the highest possible overall efficiency: a glimpse into a possible future!

Literatura / Literature

- [1] DRUCKGUSS-PRAXIS, 2003, No. 3, S. 135-140
- [2] Jochen Caster, Minimalmengenschmierung mit elektrostatischem Auftrag, GiESSEREI; January 2024, No.1, Page 80-84
- [3] Jochen Caster, Minimum quantity lubrication with electrostatic application, CASTING" PLANT AND TECHNOLOGY INTERNATIONAL; March 2024, No.1, Page 54-58
- [4] Jochen Caster, Untersuchungen zur Umstellung von wassermischbaren auf pulverförmige Formtrennstoffe im Al- und Mg-Druckguß, Dissertation, Bergakademie Freiberg, 2007

AKTUALNO / CURRENT

UNIVERZA
V LJUBLJANI

NTF

Naravoslovnotehniška
fakulteta**Študij na Oddelku za materiale
in metalurgijo (OMM) na
Naravoslovnotehniški fakulteti (UL)**

Razvoj civilizacije in njenih obdobj ž e od vsega začetka narekujeta uporaba in razvoj materialov, tako za prvinsko uporabo pri pračloveku kot tudi danes pri osvajanju vesolja. V današnjem informacijskem obdobju je komunikacija z najbolj odročnimi deli na našem planetu možna prav zaradi namensko razvitih materialov. Strokovnjaki, ki materiale (kovinske, polimerne, keramične in kompozitne materiale) razvijajo, sočasno načrtujejo tudi tehnologije za njihovo izdelavo. Vodenje takih tehnologij poteka na makro-, mikro- (tisočina metra, ki jo še lahko vidimo z optičnim mikroskopom, je pa še vedno 1000-krat večja od atoma) in nano-nivojih. Lahko bi torej rekli, da so inženirji materialov tekom celotne človeške zgodovine pravzaprav počasi gradili svet, kot ga poznamo danes.

Zgodovina

Visokošolski študij materialov in metalurgije sega v sam začetek Univerze v Ljubljani. Ta je bila ustanovljena leta 1919 s popolnimi pravno, filozofsko, tehniško in teološko fakulteto ter nepopolno, dvoletno medicinsko fakulteto. Tehniška fakulteta je imela tudi oddelek za rudarstvo in plavžarstvo (fužinarstvo). Prvi stalno zaposleni metalurg na Tehniški fakulteti je v šolskem letu 1934/35 postal doc. dr. Matija Žumer, ki je rudarjem predaval enciklopedijo fužinarstva in metalurgijo. Redni pouk metalurgije na Odseku za metalurgijo se je začel v šolskem letu 1940/41. Odsek za metalurgijo je imel zavode za metalografijo, železarstvo, kovinarstvo, toplotno tehniko in metalurške peči ter za fužinarsko strojeslovje. V prvih dveh povojnih letih je metalurški odsek dobil prvi redni pedagoški kader in do leta 1950 so bila zasedena vsa odobrena učna mesta, tako da se je lahko začelo popolno pedagoško delo. Kot sestavni del šole je bil leta 1947 ustanovljen Metalurški inštitut, ki pa se je kmalu osamosvojil in priključil jugoslovanski železarski industriji kot njena raziskovalna ustanova. Z znano reformo visokega šolstva in prehodom na stopenjski študij se je v šolskem letu 1963/64 začel študij 3. stopnje (magistrski študij), ki je imel tri usmeritve: tehnološko-preiskovalno, proizvodno-ekstraktivno in strojno-predelovalno.

Do nove spremembe študijskega režima je na ljubljanski metalurgiji prišlo v šolskem letu 1991/92, ko je bila uvedena usmeritev Metalurgija, v šolskem letu 1992/93 pa še usmeritev Materiali. V šolskem letu 1996/97 sta se začela izvajati visokošolski strokovni program Metalurška tehnologija ter interdisciplinarni podiplomski študij Materiali. Do ponovne spremembe načina študija je prišlo z uvedbo bolonjske reforme leta 2009/2010, ko sta bila uvedena prvostopenjski visokošolski strokovni študijski program Metalurška tehnologija (3 leta) ter prvostopenjski univerzitetni študijski program Inženirstvo materialov (3 leta); oboje nadgrajujeta podiplomski študij druge bolonjske stopnje Metalurgija in materiali ter študij tretje bolonjske stopnje Znanost in inženirstvo materialov.

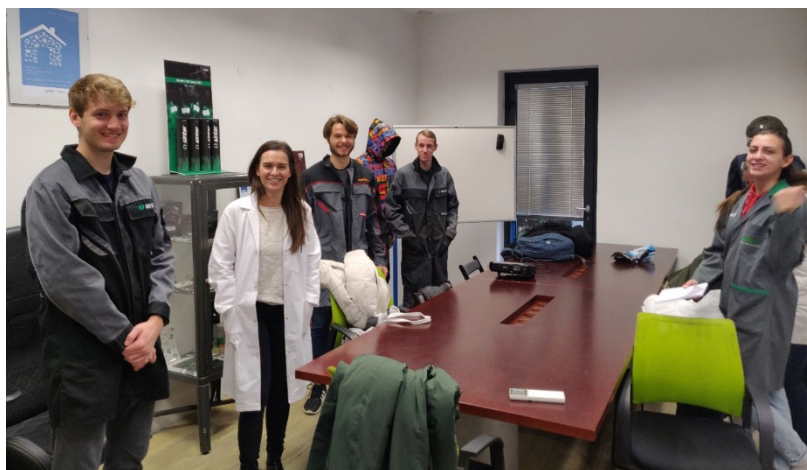


Slika 1. levo) Lokacija Aškerčeva 12; desno) lokacija Lepi pot 11

Prednosti študija na Oddelku za materiale in metalurgijo

Odderek za materiale in metalurgijo na Naravoslovnotehniški fakulteti vsako leto razpisuje univerzitetna študijska programa Inženirstvo materialov (I. stopnja) in Materiali in metalurgija (II. stopnja) ter visokošolski program Metalurške tehnologije (I. stopnja). Prav tako razpisuje doktorski študijski program III. stopnje Znanost in inženirstvo materialov. Študenti med študijem sodelujejo tudi pri raziskovalnih projektih, povezanih z gospodarstvom. V okviru programa Erasmus+ lahko en letnik ali semester opravijo tudi na eni izmed tujih univerz. Na številnih ekskurzijah v Sloveniji in tujini študenti pridobijo vpogled v industrijo ter v praksi vidijo izdelavo in predelavo materialov.

Interdisciplinarnost študija diplomantom zagotavlja izjemno široko in uporabno znanje, ki ga delimo v naslednje skupine: osnove razumevanja in raziskave zgradbe in lastnosti materialov, razvoj novih materialov in tehnologij njihove izdelave, uporaba in sinteza materialov v tehniki ter preiskava materialov in analiza njihovih poškodb. Diplomanti osvojijo veščine modeliranja lastnosti materialov ter simuliranja in optimiziranja tehnologij.



Slika 2. Ekskurzija in izdelava kompozitov v sklopu vaj v podjetju Sinter d.o.o.; Študenti oddelka za materiale in metalurgijo se vsako leto udeležujejo raznoraznih ekskurzij po Sloveniji in tujini



Slika 3: Metalurški dan pred Narodnim muzejem Slovenije; prikaz različnih metalurških tehnik (livarstvo, kovaštvo, varilstvo, ...)

Pridobijo vrhunsko znanje z veliko mero interdisciplinarnosti, so zaposljivi in zelo iskani tako doma kot v tujini. Na laboratorijskih vajah se študenti naučijo rokovanja z opremo, izdelave materialov z ulivanjem, aditivnimi tehnologijami in metalurgijo prahov ter mikrostrukturnih, mehanskih in toplotno-lastnostnih analiz. Pridobljeno znanje in veščine, katerih podlaga so naravoslovje in tehnologije, so uporabni pri razvojnem delu v laboratorijih, za načrtovanje in izvajanje tehnologij, vse do svetovanja pri izbiri materiala za izdelke ali njihovega vgrajevanja v naprave, zgradbe ali konstrukcije. Študij usmerjamo v lik diplomanta z inovativnim in podjetniškim značajem.

Diplomanti najdejo zaposlitev na raziskovalnih inštitutih ter raziskovalnih in razvojnih oddelkih proizvodnih panog industrije ter kot tehnologi v proizvodnih in predelovalnih panogah industrije jekla in neželeznih kovin, stekla, keramike, polimerov in kompozitov, polprevodnikov ... Zaposlijo se lahko v podjetjih, ki izdelujejo oz. sestavljajo ustrezne polizdelke ali končne izdelke, kot so na primer industrija vseh vrst vozil, elektroindustrija, kemična industrija, farmacija, energetika, medicinska tehnika, kriminologija in arheologija ter okoljevarstvena dela. Potrebujejo jih tudi državne ustanove za atestiranje materialov in izdelkov, državni raziskovalni in projektni management ter srednje šole in univerze za pedagoško delo. Poseben status uživajo univerzitetni strokovnjaki, ki svoje znanje nadgradijo z znanjem s področja ekonomije in managementa. Pomanjkanje strokovnjakov za materiale in metalurgijo je v Sloveniji doseglo kritično raven. Tudi v prihodnje bo na razpolago zadostno število štipendij in delovnih mest.



Slika 4. (Vir: vesolje.si): Satelit NEMO-HD je bil eden od prvih dveh slovenskih satelitov v vesolju; eden od ustanoviteljev Centra odličnosti Vesolje-SI je tudi Oddelek za materiale in metalurgijo na NTF; orbita satelita NEMO-HD poteka nad Slovenijo ter v center pošilja podatke in posnetke o površju naše dežele, ki se nato uporabijo za različne namene (meteorologija, obseg naravnih nesreč, prostorski podatki, ...)



Prav tako velja omeniti, da imajo študenti materialov in metalurgije ogromen nabor prostočasnih aktivnosti, ki se izvajajo preko Oddelka za materiale in metalurgijo. Kot najbolj odmevno štejemo Skok čez kožo, najstarejšo, več kot 100-letno, tradicijo na Univerzi v Ljubljani, ki na dve leti poteka v Grand Hotelu Union. Prav tako se na Oddelku za materiale in metalurgijo izvaja prav posebno brucovanje, na katerem bodoči inženirji materialov in metalurgijo v naš stan skočijo v pomanjšani izvedbi zgoraj omenjenega Skoka čez kožo, čemur sledi zabava v prostorih oddelka. Med bolj znane dejavnosti štejemo tudi Georudarijado, v sklopu katere se lahko naši študenti vsakoletno za en teden odpravijo na srečanje, druženje in sklepanje prijateljstev ter bodočih poslovnih priložnosti s študenti istih strok z držav kot so Avstrija, Hrvaška, Srbija ter Bosna in Hercegovina.

Študijski programi

Metalurške tehnologije (I. stopenjski visokošolski študijski program)

Prvostopenjski dodiplomski visokošolski strokovni študijski program METALURŠKE TEHNOLOGIJE traja 3 leta (6 semestrov) in obsega skupaj 180 kreditnih točk po sistemu ECTS.

Strokovni naslov, ki ga pridobi diplomant je: diplomirani/-a inženir/-ka metalurgije (VS) oziroma z okrajšavo dipl. inž. metal. (VS).

Temeljni cilji visokošolskega dodiplomskega študijskega programa I. stopnje Metalurške tehnologije so slediti potrebam in željam nacionalnega gospodarstva ter s tem tudi željam študenta po pridobitvi potrebnih **kompetenc**, ki bi mu zagotavljale neposredno zaposljivost po zaključku študija, skladno s tem pa:

- diplomantu omogočiti široka temeljna naravoslovna in inženirska znanja, še posebej kakovostna znanja s področja kovinskih materialov in tehnologij ter s tem ustrezno zaposljivost,
- diplomant dobi trdno temeljno podlago znanj in razumevanja na širšem področju metalurških tehnologij,
- diplomant je s pridobitvijo dodatnih kreditnih točk usposobljen za nadaljnji študij na II. stopnji,
- diplomant je dovolj razgledan na širšem področju Metalurških tehnologij, da bo sposoben interdisciplinarnega povezovanja različnih področij,

Skladno s tem diplomant dobi izobrazbo, ki je primerljiva s sorodnimi študijskimi programi v srednji in zahodni Evropi, študentu je omogočen prehod na drug soroden dodiplomski študij doma ali v tujini s kreditno ovrednotenim izkazom opravljenih študijskih obveznosti. S pogoji prehoda med študijskimi programi in načinom pedagoškega dela, ki vzpodbuja sprotni študij ter sistemom tutorstva, so zagotovljeni pogoji za dobro študijsko prehodnost študentov. Te sposobnosti in kompetence si bodo kandidati pridobili v sodobno zasnovanemu programu, ki poleg klasičnih oblik podajanja splošnih in strokovnih predmetov vključuje veliko praktičnega dela in projektnih nalog za reševanje problemov. Študentje bodo pri svojem delu uporabljali sodobne eksperimentalne metode, informacijske tehnologije in komunikacijske tehnike ter na osnovi obdelave rezultatov in njihovega vrednotenja pripravljali poročila in predstavljali dosežke pred kolegi in učnim osebjem fakultete ali vabljenimi osebami iz gospodarstva ter s tem bogatili izkušnje za profesionalno delo po zaključku študija.

Več informacij: <https://www.ntf.uni-lj.si/omm/studij/1-stopnja/metarulske-tehnologije-vs/>

Inženirstvo materialov (I. stopenjski univerzitetni študijski program)

Prvostopenjski dodiplomski univerzitetni študijski program INŽENIRSTVO MATERIALOV traja 3 leta (6 semestrov) in obsega skupaj 180 kreditnih točk po sistemu ECTS.

Strokovni naslov, ki ga pridobi diplomant je: diplomirani/-a inženir/-ka materialov (UN) oziroma z okrajšavo dipl. inž. mater. (UN).

Temeljni cilji univerzitetnega dodiplomskega študijskega programa I. stopnje INŽENIRSTVO MATERIALOV so predvsem slediti potrebam in željam nacionalnega gospodarstva, ter s tem tudi željam študenta po pridobitvi potrebnih kompetenc, ki bi mu zagotavljale neposredno zaposljivost po zaključku študija, skladno s tem pa:

- diplomantu omogočiti široka temeljna naravoslovna in inženirska znanja, še posebej kakovostna znanja s področja materialov in s tem ustrezno zaposljivost,
- diplomant dobi trdno temeljno podlago znanj in razumevanja na širšem področju materialov,
- diplomant je usposobljen za nadaljnji študij na podiplomski – II. stopnji,
- diplomant je dovolj razgledan na širšem področju materialov, da bo sposoben interdisciplinarnega povezovanja različnih področij.

Skladno s tem diplomant dobi izobrazbo, ki je primerljiva s sorodnimi študijskimi programi v srednji in zahodni Evropi, študentu je omogočen prehod na drug soroden dodiplomski študij doma ali v tujini s kreditno ovrednotenim izkazom opravljenih študijskih obveznosti. S pogoji prehoda med študijskimi programi in načinom pedagoškega dela, ki vzpodbuja sprotni študij, ter s sistemom tutorstva, so zagotovljeni pogoji za dobro študijsko prehodnost študentov. Te sposobnosti in kompetence si bodo kandidati pridobili v sodobno zasnovanemu programu, ki poleg klasičnih oblik podajanja splošnih in strokovnih predmetov vključuje veliko praktičnega dela in projektnih nalog za reševanje problemov. Študentje bodo pri svojem delu uporabljali sodobne eksperimentalne metode in informacijske tehnologije ter na osnovi obdelave rezultatov in njihovega vrednotenja pripravljali poročila ter predstavljali dosežke pred kolegi in učnim osebjem fakultete ali vabljenimi osebami iz gospodarstva ter s tem bogatili izkušnje za profesionalno delo po zaključku študija.

Več informacij: <https://www.ntf.uni-lj.si/omm/studij/1-stopnja/inzenirstvo-materialov-un/>

Metalurgija in materiali (II. stopenjski univerzitetni študijski program)

Drugostopenjski podiplomski magistrski študijski program METALURGIJA IN MATERIALI traja 2 leti (4 semestre) in obsega skupaj 120 kreditnih točk po sistemu ECTS

Strokovni naslov, ki ga pridobi magister je: magister/magistrica inženir/-ka Metalurgije in Materialov oz. z okrajšavo mag. inž. metal. in mater.

Temeljni cilj magistrskega študijskega programa Metalurgija in materiali je usposobiti strokovnjaka, ki bo pridobil poglobljena in usmerjena znanja in sposobnosti iz temeljnih področij metalurgije in materialov, glede na izbiro izbirnih predmetov pa še posebej poglobljena znanja iz posameznega področja metalurgije in materialov ali s tem povezanega področja. V okviru študija bo študent spoznal tradicionalna načela nadgrajena z najnovejšimi dognanji, posredovana na sodoben način, s sodobno tehnologijo. Z delom v skupinah, projektnim delom in problemskih nalogah se bo privajal dela v skupini, javnega nastopanja ter poslovanja s strankami in se aktivno vključeval v raziskave. Vsa pridobljena teoretična znanja bo v največji možni meri preskusil na primerih vaj in reševanju zahtevnih

teoretičnih ali strokovno usmerjenih problemov in projektov, kar mu bo omogočalo lažje vključitev v prakso po končanem študiju in razumevanje problematik ožjih področij materialov in metalurgije. Študent osvoji potrebna poglobljena in usmerjena znanja iz temeljnih naravoslovnih in računalniško-informacijskih predmetov, nadgradil bo znanja iz temeljnih predmetov metalurške stroke in specifična znanja iz strokovnih predmetov. V okviru predmetnika in izbirnih predmetov je študentu omogočena specializacija in tudi priprava za nadaljevanje študija po programih na tretji stopnji. Cilj programa je zagotoviti mednarodno primerljivost, mobilnost in prehodnost, diplomantu pa omogočiti nadaljevanje študija v Evropi in zaposlitev znotraj Evropske unije.

Naziv magister materialov in metalurgija se podeli študentom, ki so v ustreznem postopku ocenjevanja pokazali, da:

- obvladujejo temeljna teoretična znanja naravoslovno-matematičnih ved kemije, fizike, mehanike, matematike in informatike, primerljivo z najboljšimi, panožno sorodnimi evropskimi univerzami;
- so osvojili in uporabljajo temeljna strokovna znanja interdisciplinarno povezanih področij, značilnih za delovanje metalurških tehnologij, za odgovorno in kakovostno vodenje tehnologij, njihove kontrole in opozarjanja na možnosti izboljšav in inovacij;
- imajo razvito sposobnost komuniciranja s sodelavci in strokovnjaki sorodnih disciplin, kar jim omogoča aktivno sodelovanje v multidisciplinarnih skupinah;
- so pridobili takšen standard znanj in kompetenc, s katerimi bodo lahko vstopili v cikel sklopov predavanj doktorskih programov;
- so sposobni analize, sinteze in razumevanja vpliva tehniških rešitev na okoljske in socialne odnose;
- so sposobni razumeti načela vodenja in razumeti poslovno prakso;
- so sposobni razumeti svojo poklicno in etično odgovornost;
- so sposobni samostojnega učenja in imajo potrebo po vseživljenjskem učenju.

Več informacij: <https://www.ntf.uni-lj.si/omm/studij/2-stopnja/metalurgija-in-materiali-mag/>

Znanost in inženirstvo materialov (III. stopenjski doktorski študijski program)

Doktorski študijski program ZNANOST IN INŽENIRSTVO MATERIALOV traja 4 leta (8 semestrov) in obsega skupaj 240 kreditnih točk po Evropskem prenosnem kreditnem sistemu (ECTS). Deli se na tri smeri:

- študij materialov
- študij metalurgije
- študij rudarstva in geotehnologije

Znanstveni naslov, ki ga pridobi doktorand, je doktor znanosti.

Temeljni cilj doktorskega študijskega programa Znanost in inženirstvo materialov je usposobiti strokovnjake, ki bodo imeli kompetence, primerne za zaposlitev na raziskovalnih mestih v naravoslovno-tehničnih panogah, predvsem na področju razvoja, izdelave in uporabe tradicionalnih in sodobnih funkcionalnih materialov, v javnih službah ali za nadaljevanje raziskovalne kariere v akademskem okolju.

Študenti, ki bodo uspešno končali izobraževanje po predlaganem programu, bodo pridobili predvsem naslednje splošne **kompetence in veščine**:

- sposobnost kritične analize, vrednotenja in sinteze novih in kompleksnih idej,
- sposobnost komuniciranja na svojem strokovnem področju s kolegi, večjimi strokovnimi

skupinami in širšo javnostjo,

- sposobnost promocije znanstvenega in tehnološkega napredka na akademski in aplikativni ravni v na znanju temelječi družbi.

Več informacij: <https://www.ntf.uni-lj.si/omm/studij/3-stopnja/znanost-in-inzenirstvo-materialov-dr/>

Zaključek

Kot že omenjeno, je pomanjkanje strokovnjakov za materiale in metalurgijo v Sloveniji doseglo kritično raven in tudi v prihodnje bo na razpolago zadostno število štipendij in dobrih delovnih mest.

Kaj še čakaš – odločitev je tvoja!

- Višek delovnih mest v Sloveniji tudi v prihodnje.
- 5-odstotna letna rast števila delovnih mest za inženirje materialov in metalurgije je tudi obveza EU.
- Neizrabljene štipendije.
- Povečanje števila vpisnih mest na zahtevo ministrstva in gospodarstva.
- Možnost študija v tujini.
- Velika prilagodljivost zaposlovanja.

Pripravil dr. Matija Zorc, odgovorni za promocijo študija na Oddelku za materiale in metalurgijo, NTF, UL

AKTUALNO / CURRENT

Livarske prireditve 2025/26

Datum dogodka	Ime dogodka	Mesto in država
19. – 20. 02. 2025	15. WerkstoffPlus Auto	Stuttgart, Nemčija
05. – 07. 03. 2025	InCeight Casting C ³	Stockstadt, Nemčija
26. – 27. 03. 2025	5. Formstoff-Forum	Freiberg, Nemčija
26. – 28. 03. 2025	The 20th China Die Casting Congress	Nanjing, Kitajska
25. 04. 2025	33 rd Global Foundry Sourcing Conference	Shanghai, Kitajska
Maj, 2025	SEA Die Casting Congress	Bangkok, Tajska
16. – 18. 07. 2025	China Diecasting & China Nonferrous Expo	Shanghai, Kitajska
17- 19. 09. 2025	65. IFC Portorož 2024	Portorož, Slovenija
07. – 09. 10. 2025	Parts2clean	Stuttgart, Nemčija
24. – 25. 10. 2025	Ledebur-Kolloquium	Freiberg, Nemčija
25. – 28. 10. 2025	The 17th Asian Foundry Congress	Xi'an, Kitajska
12. – 13. 11. 2025	Parts Finishing	Karlsruhe, Nemčija
13. – 15. 01. 2026	Euroguss 2026	Nürnberg, Nemčija
09. – 11. 06. 2026	CastForge 2026	Stuttgart, Nemčija

AKTUALNO / CURRENT

Poročilo z 64. IFC Portorož 2024 - 2. del

V drugem delu poročila o 64. IFC Portorož 2024 predstavljamo po abecednem redu na kratko vse razstavljalce na livarski razstavi, skupaj s fotografijami* njihovih razstavnih prostorov.

1. 3D SYSTEMS

3D Systems je pionir na področju 3D tiskanja, ki z inovativnimi rešitvami že od leta 1986 presega meje tradicionalne proizvodnje. Njihova široka ponudba strojne opreme, programske opreme in materialov vključuje plastiko in kovine, podprta pa je s strokovnim znanjem za specifične industrijske potrebe. S svetovalnim pristopom in usmerjenostjo na aplikacije podjetje pomaga uporabnikom premagovati proizvodne izzive ter maksimalno izkoristiti prednosti aditivne proizvodnje.



3D SYSEMS inc. (USA)



ABC MAZIVA/ PROLUB d.o.o. (SI)

2. ABC MAZIVA/ PROLUB d.o.o.

Podjetje ABC Maziva d.o.o. je ekskluzivni zastopnik za prodajo industrijskih olj in maziv znamk Aral, BP in Castrol v sedmih državah regije. Njihova ponudba vključuje visokokakovostna olja, maziva in čistilna sredstva, ki ustrezajo najvišjim ekološkim in tehničnim standardom, ter brezplačen odvoz rabljenih olj in emulzij. Poleg tega ponujajo tehnično podporo, opremo za kontrolo in mešanje hladilno-mazalnih sredstev ter CMS sistem za optimizacijo proizvodnih stroškov in povečanje razpoložljivosti strojev.

3. APARATURA d.o.o.

Podjetje Aparatura d.o.o., ustanovljeno leta 2016, temelji na dolgoletnih izkušnjah s trga laboratorijske, analitične in procesne opreme. Deluje kot ekskluzivni distributer BRUKER Corporation, vodilnega svetovnega proizvajalca analitične opreme. Njihovi uporabniki so raziskovalci v akademskih in industrijskih okoljih, kjer podpirajo razvoj, analizo in zagotavljanje kakovosti v različnih panogah.



APARATURA d.o.o. (SI)

*foto Andrej Tarfila

4. BL METAL, BOGDAN LOVŠIN s.p.

Podjetje BL Metal iz Slovenije se ukvarja z dobavo opreme za industrijo, s poudarkom na livarski industriji, a pokrivajo tudi druge industrijske panoge. Specializirani so za inovativne tehnologije in skupaj s partnerskimi podjetji omogočajo celovito izvedbo investicij. Z veseljem sprejemajo nove izzive ter nudijo podporo pri nakupu, prodaji ali iskanju informacij o opremi.



BL METAL, BOGDAN LOVŠIN s.p. (SI)

5. CALDERYS DEUTSCHLAND GmbH

Calderys je globalni vodilni ponudnik rešitev za industrije, ki delujejo v visokotemperaturnih pogojih. Specializirani so za toplotno zaščito industrijske opreme z ognjevzdržnimi proizvodi ter naprednimi rešitvami za izboljšanje litja jekla, metalurških procesov in ulivanja. S svojo mednarodno mrežo strokovnjakov ter več kot 150-letnimi izkušnjami strankam pomagajo pri prehodu na energetske učinkovitejšje rešitve.



CALDERYS DETUSCHLAND GmbH (D)

6. CARL ZEISS d.o.o.

ZEISS je vodilno podjetje na področju optike in optoelektronike z več kot 175-letno tradicijo tehnološkega napredka. S svojimi rešitvami podpira številne industrije, od polprevodnikov, avtomobilske in strojne industrije do biomedicinskih raziskav, medicinske tehnologije ter optičnih naprav. Slovensko podjetje Carl Zeiss d.o.o., ustanovljeno leta 1994, pokriva Slovenijo in del Hrvaške ter je v 100% lasti matične družbe Carl Zeiss GmbH iz Avstrije.



CARL ZEISS d.o.o. (SI)

7. EKW-KEREMEN d.o.o.

Podjetje je specializirano za proizvodnjo in prodajo ognjevarnih materialov, ki se uporabljajo v ekstremnih pogojih. Podjetje se ukvarja s proizvodnjo različnih vrst ognjevarnih materialov, vključno z vlažnimi, suhimi in specialnimi masami. Ti materiali so ključni za industrije, ki zahtevajo visoko odpornost na visoke temperature in korozivno okolje. EKW-KREMEN d.o.o. je del poslovne skupine, ki vključuje tudi podjetja RHI Magnesita KREMEN d.o.o. in KREMEN d.o.o. Skupina se ukvarja s pridobivanjem, predelavo,



EKW-KREMEN d.o.o. (SI)

proizvodnjo in prodajo kremenovih surovin, kot so kremenov pesek in kvarcit, ter z izdelavo ognjevarnih materialov.

8. ELKEM ASA

Podjetje, ustanovljeno leta 1904 na Norveškem je specializirano za proizvodnjo silicijevih materialov, silicijevih zlitin, ogljikovih izdelkov in mikrosilike. Gre za eno vodilnih svetovnih ponudnikov naprednih silicijevih materialov, ki prispevajo k boljši in bolj trajnostni prihodnosti. Podjetje razvija in proizvaja širok spekter izdelkov, vključno s silikoni, silicijevimi izdelki in ogljikovimi rešitvami. Njihovi izdelki se uporabljajo v različnih industrijah, ki so povezane z mobilnostjo in transportom, gradbeništvo, digitalnimi komunikacijami, energetiko ter napredno proizvodnjo. Podjetje ima več kot 30 proizvodnih obratov po vsem svetu. Podjetje je zavezano trajnostnemu razvoju in inovacijam. Nedavno so predstavili novo

generacijo silikonskih elastomerov, posebej zasnovanih za aditivno proizvodnjo, kar kaže na njihovo zavezanost k napredku in prilagajanju tržnim potrebam.



ELKEM ASA (NO)

9. EXOTERM-IT d.o.o.

Podjetje je ustanovljeno leta 2002 in je specializirano za proizvodnjo in dobavo pomožnih materialov za livarstvo in metalurgijo, predvsem na območju jugovzhodne Evrope. Podjetje ponuja širok spekter izdelkov, kot sledi: izdelki za jeklarne (različni materiali, namenjeni optimizaciji procesov v jeklarnah), izdelki za livarne (pomožni materiali, ki izboljšujejo kakovost livarskih izdelkov), trgovsko blago (dodatni materiali in oprema za podporo livarskim in metalurškim procesom). S pomočjo računalniške simulacije litja in strjevanja livarskih ulitkov, ki jo omogoča programski paket MAGMASOFT, podjetje svojim kupcem nudi tehnično podporo za doseganje optimalnih rešitev in kakovostnih metalurških ter livarskih proizvodov.



EXOTERM-IT d.o.o. (SI)

10. FAPROSID srl

Podjetje Faprosid, ustanovljeno leta 1965 v Brescii, je začelo z izdelavo izdelkov za jeklarske obrate, nato pa razširilo proizvodnjo na posebne izolacijske komponente (tulce) v livarstvu pri litju železa, jekla in neželeznih kovin in postalo eno vodilnih podjetij na tem področju v Italiji. Z nenehnimi vlaganji v proizvodne linije, širitev proizvodnih površin na 13.000 kvadratnih metrov in pridobitvijo certifikata ISO 9001:2008, je podjetje postalo zanesljiv partner tako v jeklarski kot livarski



FAPROSID srl (IT)



FEAL INŽENIRING d.o.o. (SI)



FOUNDRY SERVICE GmbH (D)



GIESSEREI + HOME OF FOUNDRY (D)



GEMCO ENGINEERS BV (NL)

industriji. Njihova raziskovalna in razvojna ekipa neprestano razvija nove rešitve in materiale, s čimer izpolnjujejo visoke standarde kakovosti ter zagotavljajo izdelke, ki izboljšujejo lastnosti litih in jeklenih izdelkov.

11. FEAL INŽENIRING d.o.o.

Podjetje FEAL-INŽENIRING d.o.o. od leta 1992 uspešno deluje na trgih Slovenije, Hrvaške, Bosne in Hercegovine ter Makedonije, specializirano pa je za prodajo visokokakovostnih izdelkov za različne vrste livarn in litja. V sodelovanju z globalnimi proizvajalci, kot so CHEM-TREND, VESUVIUS in FOSECO, ponujajo izdelke z visoko kakovostno in ekološko strategijo. Njihova ponudba, znanje in napredne rešitve zagotavljajo vrhunske odlitke.

12. FOUNDRY SERVICE GmbH

Industrija 4.0, pametne tehnologije in zelena ekonomija so vodila podjetja Foundry Service, ki s prilagajanjem tradicionalnih postopkov prihodnjim zahtevam omogoča učinkovito rabo virov in nizkoenergijske rešitve. S patentiranimi tehnologijami za proizvodnjo, transport in vlivanje kovin ter uporabo visokozmogljivih materialov, kot so ultralahki kompoziti, podjetje svojim strankam zagotavlja optimalno tehnologijo za prihodnost. Njihov cilj je razumevanje specifičnih potreb posameznih strank in dolgoročen razvoj inovativnih rešitev, ki povečujejo konkurenčnost podjetij po meri njihovih procesov.

13. GIESSEREI + HOME OF FOUNDRY

“GIESSEREI” je vodilna evropska strokovna revija za livarsko industrijo, ki pokriva teme, kot so tehnologija litja, materiali, oprema in tržne trende. “HOME OF FOUNDRY” je spletni portal, povezan z revijo, ki ponuja aktualne novice, članke, informacije o izdelkih in podjetjih, dogodkih ter zaposlitvenih priložnostih v livarski industriji. Skupaj zagotavljata celovite informacije in podporo strokovnjakom ter podjetjem v livarski panogi.

14. GEMCO ENGINEERS BV

GEMCO ENGINEERS je globalni strokovnjak za celovite livarske rešitve za železo, jeklo, aluminij

in druge kovine ter vse livarske procese, kot so HPDC, LPDC in Lost Foam. Podjetje izvaja projekte za ključne industrije, vključno z avtomobilsko, mašinsogradnjo, energetiko in pomorstvom. S svojim znanjem omogoča napredne rešitve za širok spekter industrijskih potreb.

15. HA ITALIA – CHEMEX

Hüttenes-Albertus, z več kot 100-letno tradicijo, je zanesljiv partner livarn po vsem svetu. Je proizvajalec naslednjih kemičnih izdelkov za livarsko industrijo: organskih in anorganskih veziv, premazov, posebnih peskov, ločilnih sredstev ter metalurških izdelkov. Kot globalno uspešno družinsko podjetje ima HA Group močno mednarodno mrežo s približno 1.800 zaposlenimi v več kot 30 državah. Njihova vizija je ustvarjati trajnostne rešitve, ki pustijo vtis, ne pa okoliškega odtisa.



HA ITALIA – CHEMEX (IT)

16. HAGI GmbH

Podjetje Hagi GmbH je eden od najbolj zvestih partnerjev konference in razstave v Portorožu, saj se jih neprekinjeno udeležuje že tretje desetletje. HAGI GmbH je tehnična prodajna agencija, ki s strokovno usposobljenimi inženirji svetuje na področju livarstva, trdnih snovi in 3D tiskanja. S svojo mrežo in partnerstvi zagotavlja tehnično in ekonomsko svetovanje, prilagojeno potrebam strank. Poleg tega zastopa podjetja in proizvode za avstrijski trg ter sosednje države.



HAGI GmbH (AT)

17. HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINENFABRIK (HWS) GmbH

Podjetje HWS, ustanovljeno leta 1937, se ukvarja s proizvodnjo naprednih livarskih strojev in sistemov za izdelavo visoko kompaktnih kalupov za sodobne livarne. Od leta 2003 je v 100-odstotni lasti japonske skupine SINTOKOGIO, največjega svetovnega proizvajalca livarskih strojev. Podjetje je danes vodilno na trgu oblikovalnih sistemov, strojev in tehnologij za livarsko industrijo.



HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINENFABRIK GmbH (D)

18. IDEF d.o.o.

Podjetje IDEF d.o.o. s sedežem v Zagrebu se ukvarja z zastopanjem, uvozom, izvozom in veleprodajo opreme ter potrošnega materiala za neporušitveno testiranje (NDT). Že od leta 1992



IDEF d.o.o. (CRO)

uspešno sodeluje z vodilnimi svetovnimi proizvajalci, za katere zagotavlja tudi pooblaščen servis in tehnično podporo na najvišji ravni. Njihova oprema je namenjena širokemu spektru industrij, kot so kovinska industrija, ladjedelništvo, livarstvo, letalska in kemijska industrija, kot tudi izobraževalnim ustanovam. Delujejo tudi na trgih Bosne in Hercegovine in Srbije.

19. IRT3000

Revija IRT3000 se osredotoča na inovacije, razvoj in tehnologije, ki podpirajo napredek gospodarstva ter povečujejo konkurenčnost industrije. Poroča o novostih, dosežkih in dobrih praksah v različnih tehniških in industrijskih panogah ter spodbuja prenos znanja v prakso. Z obsežnimi tematskimi področji, kot so strojništvo, energetika, proizvodne tehnologije in informatika, predstavlja ključen vir informacij za strokovnjake v industriji.



IRT3000 (SI)

20. KATEDRA ZA LIVARSTVO NTF LJUBLJANA

Katedra za livarstvo deluje v okviru Oddelka za materiale in metalurgijo na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Njena glavna dejavnost je izobraževanje in raziskovanje na področju livarstva ter sorodnih tehnologij. Katedra izvaja pouk na univerzitetnem študijskem programu "Materiali in metalurgija" ter na visokošolskem strokovnem programu "Metalurške tehnologije". Predmetna področja vključujejo livarstvo, livarske tehnologije, inženirske materiale, statistiko in kontrolo kakovosti. Raziskovalno delo katedre obsega temeljne raziskave, usmerjene v industrijsko uporabo. Sodelujejo z industrijo na področjih, kot so gravitacijsko litje v trajne in enkratne forme, tlačno litje, procesna tehnika litja, livne zlitine, taljenje, obdelava taline, razplinjevanje, oksidacija, cepljenje in kontrola. V laboratoriju se izvajajo raziskave s področja livarstva za potrebe pedagoškega procesa in znanstvenoraziskovalnega dela. S svojim delom prispeva k razvoju livarske stroke v Sloveniji ter k povezovanju znanstvenih in industrijskih praks na tem področju.



KATEDRA ZA LIVARSTVO NTF LJUBLJANA (SI)

21. LABENA d.o.o.

Skupina Labena, ustanovljena leta 1993, se ukvarja s prodajo in servisno podporo visoko specializirane laboratorijske, proizvodne in procesne opreme,



LABENA d.o.o. (SI)



LABTIM d.o.o. (SI)

namenjene farmacevtski, živilski in raziskovalni industriji. Poleg distribucije opreme podjetje aktivno deluje na področju raziskav in razvoja z lastnim pogodbenim raziskovalnim laboratorijem (CRO) z nenehnim vlaganjem v laboratorijske kapacitete ter z ustanovitvijo programa Labena Ventures, podjetje spodbuja inovacije in širi svojo prisotnost v biotehnoškem in farmacevtskem sektorju po vsem svetu.

22. LABTIM d.o.o.

Podjetje LABTIM d.o.o. se ukvarja z zagotavljanjem celovitih rešitev na področju laboratorijske opreme in storitev. Njihova ponudba vključuje instrumente in aparate za tekočinsko kromatografijo, masno spektrometrijo, termično analizo, kalorimetrijo, reologijo, mehansko in elementno analizo ter pripravo laboratorijske vode. Poleg tega nudijo programsko opremo, izobraževanja, tehnično in aplikativno podporo ter izvajajo analize v lastnem laboratoriju. Podjetje sodeluje z vodilnimi svetovnimi proizvajalci laboratorijske opreme.

23. LAEMPE MÖSSNER SINTO GmbH (Zlati pokrovitelj 64. IFC in razstave)

Laempe Mössner Sinto GmbH je nemško podjetje, ustanovljeno leta 1980. Specializirano je za tehnologije izdelave jeder v livarski industriji. Podjetje ponuja celovite rešitve, vključno z avtomatskimi stroji za izdelavo jeder, plinskimi napravami, mešalniki peska, sistemi za pripravo peska ter rešitvami za nadaljnjo obdelavo jeder. Podjetje zaposluje približno 300 ljudi na področjih marketinga, prodaje, raziskav in razvoja, projektiranja, proizvodnje ter storitev. Leta 2015 je sklenilo strateško partnerstvo z japonskim podjetjem Sinto, največjim proizvajalcem livarskih strojev na svetu. Laempe Mössner Sinto sodeluje z različnimi industrijami, vključno z avtomobilsko industrijo, rudarstvom, energetiko, elektrotehniko, železniškim inženiringom ter proizvodnjo industrijskih ventilov in strojnih komponent. Podjetje je znano po inovativnih rešitvah in visokih standardih kakovosti.



LAEMPE MÖSSNER SINTO GmbH (D)

24. LIVING d.o.o.

Podjetje je bilo ustanovljeno leta 1996 in je specializirano za projektiranje in proizvodnjo opreme za livarne ter sistemov za čiščenje zraka. Proizvodni program vključuje transportne naprave (elevatore, tračne transporterje, vibracijske transporterje in pnevmatski transport), peskalne stroje različnih tipov za obdelavo površin, opremo za livarne (mešalnike, aeratorje, sita, hladilnike



LIVING d.o.o. (SI)



MASCHINENFABRIK GUSTAV EIRICH GmbH & Co.KG (D)

intenzivnega mešalnika, ki omogoča ločeno vrtenje mešalnega orodja in posode, kar povečuje kakovost mešanja. Njihovi izdelki se uporabljajo v različnih industrijah, vključno z metalurgijo, gradbeništvom, keramiko, steklarstvom, baterijsko industrijo. Podjetje se osredotoča na raziskave in razvoj ter sodeluje z raziskovalnimi inštituti in univerzami. Poleg

peska in drobilnike) ter filtrirne sisteme z različnimi vrstami filtrov za industrijsko odpraševanje.

25. MASCHINENFABRIK GUSTAV EIRICH GmbH & Co.KG

Podjetje je ustanovljeno leta 1863. Specializirano je za razvoj in proizvodnjo strojev ter naprav za pripravo sipkih materialov, gnojek in blata. Njihova glavna področja delovanja vključujejo mešanje, mletje, granuliranje, peletiranje in sušenje. Podjetje ima 15 lokacij v 12 državah, Eirich je znan po svoji inovativni mešalni tehnologiji, zlasti po razvoju tega ponuja storitve, kot so svetovanje, inženiring, proizvodnja, montaža, zagon, usposabljanje in poprodajna podpora.



MAZZON S.p.A (IT)

26. MAZZON S.p.A.

Podjetje F.lli Mazzon S.p.A., ustanovljeno leta 1962, se ukvarja s proizvodnjo in dobavo kemikalij za livarne in gradbeno industrijo, z vezivi, premazi, raznimi dodatki ter izdelki za zaščito in čiščenje kovin. S široko paleto izdelkov, ki vključuje približno 1.000 kemikalij, oskrbuje več kot 600 podjetij v več kot 30 državah, zlasti prek mreže

agentov in distributerjev, ki zagotavljajo lokalno podporo in prilagoditev izdelkov. Podjetje se osredotoča na inovacije, kakovost, trajnost in partnerski pristop, kar omogoča reševanje izzivov livarske industrije na učinkovit in zanesljiv način.



ODLEWNIA OSTROWIEC SP z.o.o. (PL)

27. ODLEWNIA OSTROWIEC

Podjetje Odlewnia Ostrowiec se ukvarja s proizvodnjo jeklenih ulitkov, vključno z izdelavo livarskih ponvi za industrije jekla, bakra, kositra in svinca, ter drugih ulitkov do teže 30 ton za področja metalurgije, energetike, industrijo cementa in ladjedelništvo. Posebnost podjetja so prilagojeni ulitki, namenjeni tako domačim kot tujim partnerjem, zlasti v Evropi in ZDA. Z dolgo tradicijo in izkušnjami v livarski industriji zagotavlja visokokakovostne izdelke širokega spektra.



OLMA d.o.o. / QAKER HOUGHTON (SI/IT) - Generalna pokroviteljka konference

28. OLMA d.o.o.

Podjetje Olma z več kot 70-letno tradicijo se ukvarja z razvojem, proizvodnjo, trženjem različnih vrst maziv ter svetovanjem za njihovo pravilno uporabo. Njihova prodaja je osredotočena na trge jugovzhodne Evrope, kjer z visokokakovostnimi izdelki in strokovnimi storitvami zagotavljajo celovito podporo uporabnikom. Olma gradi dolgoročno zadovoljstvo svojih partnerjev z rešitvami, prilagojenimi skupnemu razvoju.

QUAKER HOUGHTON

Podjetje je globalni vodilni ponudnik industrijskih procesnih tekočin, ki z nenehnimi izboljšavami in inovacijami podpira proizvajalce jekla, aluminija, avtomobilov, letal, strojev in industrijskih delov pri ohranjanju konkurenčnosti v spreminjajočem se svetu. Njihovi kemiki, inženirji in strokovnjaki sodelujejo s strankami, da optimizirajo njihove procese ter jim omogočijo še učinkovitejše in zanesljivejše delovanje. S prilagodljivimi rešitvami zagotavljajo podporo za prihodnje izzive industrije.

29. PARWAR d.o.o.

Podjetje je bilo ustanovljeno leta 2017, ukvarja pa se s posredništvom pri prodaji goriv, rud, kovin in tehničnih kemikalij. Poleg tega ponujajo storitve na področju bencinskih servisov in kuriv. Podjetje sodeluje z mednarodnimi partnerji, kot je Rovalma



PARWAR d.o.o. (SI)

S.A., kar kaže na njegovo vpetost v širše poslovno okolje.

30. PIQ2 S.r.l.

Podjetje PIQ2, ustanovljeno leta 2011, razvija in podpira programske rešitve za livarsko industrijo, v prvi vrsti visoko tlačno litje. Njihove rešitve združujejo najsodobnejšo tehnologijo modeliranja z dolgoletnimi praktičnimi izkušnjami ustanoviteljev in partnerjev. Kot član Tehnološkega centra CSMT v Brescii podjetje tesno sodeluje z akademskim in industrijskim okoljem pri raziskovalno-razvojnih programih z visoko usposobljenimi strokovnjaki.

31. PRIMAKEM d.o.o.

Podjetje je specializirano za proizvodnjo in trženje kemijskih izdelkov ter opreme za industrijsko čiščenje. Podjetje razvija in proizvaja čistila, sredstva za obdelavo kovin, biološko razgradljiva maziva, sredstva za protikorozijsko zaščito ter izdelke za poliranje in razmaščevanje. Podjetje nadalje ponuja različne naprave in stroje za industrijsko pranje in čiščenje, vključno z vakuumskimi destilatorji za obdelavo odpadnih voda. Ob tem pa nudi tudi celovite rešitve za industrijsko čiščenje, ki obsegajo svetovanje, dobavo naprav, kemikalij za čiščenje, izobraževanje, servis ter podporo v celotni življenjski dobi naprav. Podjetje sodeluje z uglednimi tujimi proizvajalci opreme za industrijsko čiščenje in obdelavo odpadnih voda, kar omogoča ponudbo celovitih rešitev za različne industrijske panoge.

32. PSR d.o.o. – Projekti , Svetovanje in Razvoj

Podjetje je specializirano za zagotavljanje celovitih tehnoloških rešitev zlasti v livarski industriji. Glavne dejavnosti podjetja je dobava nove opreme v sodelovanju z vodilnimi proizvajalci opreme za livarne, kot so DISA, Wheelabrator, ItalPressGauss, Inductotherm, ProserviceTech, Indefunsa in LIANCO. Podjetje ponuja širok spekter opreme za optimizacijo proizvodnje. Podjetje nudi kakovostne in hitre servisne storitve ter dobavo rezervnih delov za opremo, ki jo ponuja, kar zagotavlja nemoteno delovanje proizvodnih procesov. Ponuja tudi visokokakovostna brusna orodja za avtomatsko in ročno obdelavo, vrhunske tehnologije 3D tiskanja s SLA in DLP 3D tiskalniki in inženirske storitve (razvoj izdelkov, izdelava tehnične dokumentacije in geometrijske meritve).



PIQ2 S.r.l. (IT)



PRIMAKEM d.o.o. (SI)



PSR d.o.o. (SI)



RESAND OY (FI)



RWP GmbH (D)



SAND TEAM spol. s.r.o. (CZ)

33. RESAND OY

Podjetje je bilo ustanovljeno leta 2013 v okolju, kjer se s peski ukvarjajo že od leta 1793. To finsko tehnološko podjetje je specializirano za regeneracijo in reciklažo livarskega peska. Podjetje ponuja inovativne rešitve za skoraj 100-odstotno reciklažo livarskega peska, kar zmanjšuje potrebo po novem pesku in emisije CO₂ pri uporabi ter transportu peska do 80 %. Aprila 2024 je Resand predstavil prvi električni regeneracijski sistem za pesek na evropskem trgu. Ta modularna enota omogoča čiščenje uporabljenega peska neposredno na lokaciji livarne, kar odpravlja potrebo po odlaganju peska na odlagališčih.

Podjetje s svojimi inovativnimi rešitvami prispeva k trajnostnemu razvoju livarske industrije, zmanjšuje okoljski vpliv in spodbuja učinkovito rabo virov.

34. RWP GmbH

Podjetje RWP, ustanovljeno leta 1984 pod vodstvom dr. Konrada Weissa, je vodilni razvijalec programske opreme za optimizacijo livarskih procesov, znano po inovativni programski opremi WinCast® expert. S pomočjo računalniške simulacije omogočajo enostavno upravljanje procesov, kot so načrtovanje ulitkov, polnjenje kalupov, strjevanje in deformacije, kar prispeva k izboljšanju kakovosti izdelkov in prihrankom. RWP si je z zanesljivostjo, stalnimi inovacijami in strokovno ekipo ustvaril odličen ugled ter dosegel široko sodelovanje.

35. SAND TEAM spol. s.r.o.

Podjetje SAND TEAM, spol. s r.o., se osredotoča na celovito podporo pri proizvodnji ulitkov, zlasti ter razvoju geopolimernih veziv GEOPOL®. Poleg nudijo kremenove in nekremenove peske, obložene spekter pomožnih sredstev in laboratorijske opreme za raziskave in razvoj, usmerjene v okolju prijazna pravo peskov in reciklažo le-teh.

36. SIAPRO d.o.o.

Podjetje je Izvajalec inženiring projektov posodobitve ali vgradnje nove opreme za livarne ter proizvajalec in zastopnik industrijske opreme za livarstvo, jeklarstvo in strojno industrijo. Zagotavlja širok spekter naslednje opreme, naprav in strojev: livarsko opremo za



SIAPRO d.o.o. (SI)

pripravo peska in sekundarno regeneracijo peska, formarske stroje, opremo jedrarne, avtomatske livne naprave in sisteme nadzora litja, opremo za iztresanje in hlajenje, razne transportne sisteme, peskalne stroje s opremo za peskanje, opremo za mikrokovanje, drobilce, spektrometre za kemijsko analizo kovin.

37. SIPAG BISALTA SPA

Sipag Bisalta S.p.a., ustanovljeno leta 1948 v Genovi, je vodilni proizvajalec bentonita in kemijskih izdelkov za različne industrije. Njihovi izdelki in tehnologija se uporabljajo v livarnah proizvajalkah ulitkov za avtomobilsko in strojno industrijo, gradbeništvo ter v okoljskem inženiringu, kemični industriji in drugih panogah. Podjetje ima sedež v Genovi, proizvodni obrat pa se nahaja v Sovizzu pri Vicenzi.



SIPAG BISALTA SPA (IT)

38. STEM d.o.o.

Podjetje je bilo ustanovljeno leta 1989. z namenom proizvodnje in razvoja peskalnih strojev za površinsko obdelavo, kot so peskanje, matiranje, mikrokovanje (shot peening, stress peening) in hrapavljenje. Podjetje ponuja širok spekter peskalnih strojev

Podjetje je zelo močno prisotno na mednarodnih trgih, saj več kot 95 % svoje proizvodnje izvozi v skoraj vse evropske države ter tudi v Azijo, Avstralijo in na Bližnji vzhod. Podjetje ima pomembne reference v najprestižnejših evropskih podjetjih in multinacionalkah.



STEM d.o.o. (SI)

39. TC LIVARSTVO d.o.o.

Podjetje TC Livarstvo d.o.o. deluje kot tehnološki center za podporo livarnam v Sloveniji in širši regiji. Specializirani so za optimizacijo livarskih procesov z numeričnimi izračuni, razvoj materialov in zlitin ter zagotavljanje kakovosti taline z lastno termično analizo aluminijevih zlitin. Poleg tega ponujajo izdelavo prototipnih in maloserijskih ulitkov, svetovanje pri razvoju tehnologije litja ter zastopajo numerične programe skupine ESI Group za območje nekdanje Jugoslavije.



TC LIVARSTVO d.o.o. (SI)



TCT TESIĆ GmbH (D)

40. TCT TESIĆ GmbH

Podjetje je ustanovljeno leta 1993. Specializirano je za mednarodno trgovino z rabljenimi livarskimi napravami ter njihove premestitve, vzdrževanje in posodobitve. Podjetje deluje kot povezovalni člen med ponudniki in kupci, pri čemer zagotavlja celovite storitve, vključno z demontažo, montažo, popravili in modernizacijo opreme po vsem svetu. Podjetje ponuja naslednji spekter storitev: nakup in prodajo rabljenih livarskih naprav ter opreme, demontažo, transport in ponovno montažo celotnih livarn ali posameznih naprav, popravila, vzdrževanje in modernizacijo livarske opreme za izboljšanje učinkovitosti in podaljšanje življenjske dobe naprav.



TERMIT d.d. (SI)

41. TERMIT d.d.

Gre za rudarsko podjetje ustanovljeno leta 1960. Specializirano je za proizvodnjo in predelavo kremenovih peskov ter izdelavo pomožnih livarskih sredstev za livarne in železarne. Podjetje ponuja rešitve in inovativne tehnologije za potrebe livarstva, gradbeništva ter urejanja športnih in travnatih površin v državah srednje in jugovzhodne Evrope. Iz lastnih oplaščenih, sušenih in sejanih peskov izdelujejo jedra po postopkih Croning, Cold-Box in Anorganic. Program pomožnih livarskih sredstev pokriva vse proizvodne procese

v livarnah, od izdelave jeder, priprave taline, formanja, premazovanja do litja vseh vrst železnih in barvnih kovin. Podjetje s svojo dolgoletno tradicijo in inovativnim pristopom ostaja vodilni proizvajalec oplaščenih kremenovih peskov in livarskih jeder v regiji.



THELEICO SCHLEIFTECHNIK GmbH & Co. KG (D)

42. THELEICO SCHLEIFTECHNIK GmbH & Co.KG

Podjetje je specializirano za proizvodnjo visokokakovostnih brusilnih orodij, vključno s keramično vezanimi, sintetično vezanimi ter superabrazivnimi orodji (CBN in diamant), kot tudi orodji za dresiranje. Na več kot 7.500 m² proizvodnih površin izdelujejo približno 250.000 orodij letno, prilagojenih individualnim potrebam strank, z uporabo najsodobnejših CNC sistemov za zagotavljanje konstantne kakovosti.

43. TOPOMATIKA d.o.o.

Podjetje je specializirano za 3D-digitalizacijo in optične meritve, vključno z merjenjem oblik, dimenzij, položajev ter deformacij objektov od 10 mm do več deset metrov. Poleg storitev ponujajo vrhunske tridimenzionalne merilne sisteme Carl Zeiss GOM Metrology, programske rešitve Geomagic, mikroskope Vision Engineering ter opremo za testiranje mehanskih lastnosti materialov podjetja Hegewald & Peschke. Podjetje je ekskluzivni zastopnik za več svetovno priznanih blagovnih znamk na področju 3D-meritev za območje celotne regije.



TOPOMATIKA d.o.o. (CRO)

44. TREBI s.r.l. Unipersonale

Podjetje se ukvarja z avtomatizacijo procesov obdelave kovin, predvsem s pomočjo robotiziranih sistemov za raziglevanje, brušenje, poliranje in končno obdelavo kovinskih izdelkov. Njihove rešitve so namenjene izboljšanju učinkovitosti, zmanjšanju odpadkov ter povečanju varnosti in produktivnosti v proizvodnih procesih. Trebi ponuja prilagojene rešitve za različne industrijske panoge, vključno z avtomobilsko, strojniško in pohištveno industrijo ter proizvodnjo svetil.



TREBI s.r.l. UNIPERSONALE (IT)

45. TROKUTTEST d.o.o.

Podjetje se ukvarja z zagotavljanjem celovitih rešitev na področju materialnega testiranja, vključno z opremo za merjenje trdote, mehanskimi preizkušnji in metalografijo. Sodelujejo z vodilnimi svetovnimi proizvajalci ter ponujajo podporo pri opremljanju laboratorijev za nadzor kakovosti. Poleg tega nudijo svetovalne storitve za optimizacijo proizvodnih procesov in kakovosti izdelkov v različnih industrijskih panogah.



TROKUTTEST d.o.o. (CRO)

46. VULKAN INOX GmbH

Podjetje je bilo ustanovljeno leta 1985 in je del skupine INDUS Holding AG, kar jim omogoča širitev in razvoj na globalnem trgu. Specializirano je za razvoj in proizvodnjo nerjavnih jeklenih abrazivov, ki se uporabljajo pri obdelavi površin različnih kovinskih in mineralnih materialov. Njihovi izdelki, kot sta sferični CHRONITAL in kotni GRITTAL, se uporabljajo za odstranjevanje peska in oksidnih



VULKAN INOX GmbH (D)



WEILER ABRASIVES d.o.o. (SI)

plasti, glajenje, čiščenje ter pripravo površin za nadaljnjo obdelavo.

47. WEILER ABRASIVES d.o.o.

Podjetje ima bogato zgodovino, ki sega v leto 1879 in je specializirano za proizvodnjo visokozmogljivih abrazivov, vključno z rezalnimi in brusnimi ploščami ter fleksibilnimi brusnimi orodji. Podjetje je del globalne skupine Weiler Abrasives, ki je vodilni proizvajalec rešitev za obdelavo površin. Podjetje ponuja širok spekter izdelkov za rezanje, brušenje in čiščenje, vključno s vezanimi rezalnimi in brusnimi ploščami, lamelnimi brusnimi ploščami, diamantnimi rezalnimi ploščami, strojnimi in ročnimi ščetkami in tehničnimi tkaninami. Podjetje ponuja tudi več programov za izboljšanje in je zavezano k zagotavljanju visokokakovostnih izdelkov in storitev ter k partnerskemu sodelovanju s strankami za reševanje njihovih izzivov na področju obdelave površin.



WINOA ABRASIV MUTA d.o.o. (SI)

48. WINOA ABRASIV MUTA d.o.o.

Podjetje je del mednarodne skupine WINOA, ki je vodilni proizvajalec jeklenih abrazivov za obdelavo površin. Po letu 1950 se je usmerilo v litje in proizvodnjo litoželeznih abrazivov. Danes je specializirano za proizvodnjo visokokakovostnih jeklenih abrazivov, kot so jekleni okrogli in drobljeni abrazivi ter abrazivi iz nerjavnega jekla. Njihovi

izdelki se uporabljajo v različnih industrijah, vključno z avtomobilsko, metalurško, energetiko in gradbeništvom. Podjetje je zavezano k trajnostnemu razvoju in nenehnim inovacijam, kar jim omogoča, da ostajajo vodilni na področju obdelave površin.



V nadaljevanju predstavljamo še nekaj utrinkov z razstave in prizorišč konference ter livarskega večera.



Sekcija mladih magistrskih in doktorskih študentov



Prof. dr. Reinhard Döpp, častni član
Društva livarjev Slovenije



mag, Tadeusz Franaszek, častni član Društva in dr. Katarzyna Liszka, generalna sekretarka STOP, s predsednico Društva



Prof. dr. Zdenka Zovko Brodarac Metalurški fakultet Sisak in Simona Stegne Ceraj, direktorica Livarne Gorica s predsednico Društva



Glavna operativca priprav za konferenco in razstavo: Ajla Ajkić in Mitre Rusevski s predsednico Društva



prof. dr. Doru Stefanescu s soprogo in predsednico Društva



Pripravila
predsednica
Društva livarjev
Slovenije mag.
Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

Kazalnik razpoloženja evropske livarske industrije, september 2024

FISI nadaljuje z upadom v septembru

Septembra 2024 je kazalnik razpoloženja evropske livarske industrije (FISI) ponovno upadel in dosegel 93,8 indeksnih točk. To predstavlja padec za 1,0 točke v primerjavi z avgustovskim rezultatom, ki je znašal 94,8, kar nadaljuje postopni trend padanja, opažen v zadnjih mesecih.

Ta upad odraža kombinacijo širših makroekonomskih pritiskov v Evropi in specifičnih izzivov v sektorju. Pomemben dejavnik, ki vpliva na razpoloženje v livarstvu, je nedavni padec cen surovin, vključno z odpadnimi kovinami. Čeprav to koristi pri zmanjševanju stroškov, pa je ta učinek zasenčen zaradi šibkega povpraševanja v več industrijah. Posebej prizadet je gradbeni sektor, eden največjih potrošnikov livarskih izdelkov, ki se še vedno sooča z dolgotrajnim upadom zaradi visokih obrestnih mer in omejenih proračunov, ki zavirajo nove investicije.

Skrbi glede spreminjajočega se gospodarskega okolja povzročajo večjo previdnost v livarski industriji. Pričakovane spremembe v Evropski komisiji in prihajajoče predsedniške volitve v ZDA vzbujajo previdnost pri podjetjih in njihovih strankah, ki se odločajo odlašati z dolgoročnimi obveznostmi, dokler ne bo več jasnosti glede morebitnih sprememb v politiki. Jeklarne in železolivarne, ki so odvisne od stabilnega povpraševanja v panogah, kot so avtomobilska industrija in strojegradnja, te učinke občutijo še posebej močno. Medtem pa so neželezne livarne, ki se lahko zanašajo na bolj konstantno povpraševanje v različnih aplikacijah, nekoliko bolj stabilne, a še vedno prizadete zaradi splošne negotovosti na trgu.

Kontakt: info@caef.eu • www.caef.eu • CAEF Linkedln

Kljub občasnim znakom optimizma za postopno okrevanje, je evropska livarska industrija še naprej pod vplivom tako globalnih kot regionalnih gospodarskih pritiskov, in številna podjetja pričakujejo nadaljnje tržne nihaje v letu 2025.

Kazalnik poslovnega okolja (BCI) je septembra doživel izrazit padec z -0,62 na -0,73, kar odraža naraščajoče izzive v evropskem industrijskem sektorju. Ta znaten padec je posledica trdovratnih ovir, kot sta nizko povpraševanje v ključnih panogah, kot sta avtomobilska industrija in strojegradnja, ter previdnostni pristop proizvajalcev, ki se soočajo s počasnim globalnim povpraševanjem in visokimi stroški proizvodnje. Počasen gospodarski razvoj Evrope, deloma zaradi oslabiljenega okrevanja Kitajske po pandemiji, še poslabšuje pomanjkanje povpraševanja po izvozu, ki je ključno za številne evropske proizvajalce.

Poleg tega inflacija v evroobmočju, čeprav se upočasnjuje, še vedno vpliva na zaupanje potrošnikov in industrije. Prilagoditve v dobavnih verigah, poleg širših strukturnih vprašanj, kot sta zelena tranzicija in naraščajoči stroški dela, še naprej močno obremenjujejo razpoloženje v livarstvu. Zato številna podjetja ostajajo previdna pri povečevanju proizvodnje ali naložb, saj čakajo na jasnejše znake gospodarske stabilnosti in politične smeri nove Evropske komisije.

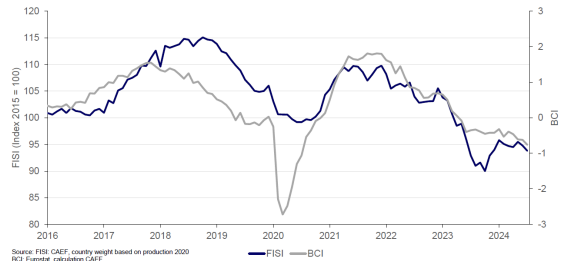
FISI – kazalnik sentimenta evropske livarske industrije – je najzgodnejši dostopen sestavljeni kazalnik, ki zagotavlja informacije o uspešnosti evropske livarske industrije. Objavlja ga CAEF, Evropsko livarsko združenje, vsak mesec in temelji na odgovorih evropske livarske industrije v anketah. Člani CAEF so pozvani, da podajo oceno trenutne poslovne situacije v livarskem sektorju in svojih pričakovanj za naslednjih šest mesecev.

BCI – kazalnik poslovnega okolja – je kazalnik, ki ga mesečno objavlja Evropska komisija. BCI ocenjuje razvojne pogoje proizvodnega sektorja v evroobmočju in uporablja pet uravnoteženih mnenj iz industrijskih anket: proizvodni trendi, knjige naročil, knjige izvoznih naročil, zaloge in pričakovanja glede proizvodnje.

O CAEF: CAEF je krovna organizacija nacionalnih evropskih livarskih združenj. Organizacija, ustanovljena leta 1953, vključuje 22 evropskih držav članic in deluje v smeri spodbujanja ekonomskih, tehničnih, pravnih in socialnih interesov evropske livarske industrije. Hkrati CAEF izvaja dejavnosti, ki so usmerjene v razvoj nacionalnih livarskih industrij in usklajevanje njihovih skupnih mednarodnih interesov. Generalni sekretariat se od leta 1997 nahaja v Düsseldorfu.

CAEF predstavlja 4.400 evropskih livarn. Skoraj 260.000 zaposlenih ustvarja 39 milijard evrov prihodkov. Evropske livarne letno zaposlijo 20.000 delavcev in inženirjev. Glavne panoge kupcev so npr. avtomobilska industrija, splošno inženirstvo, gradbena industrija ter elektroindustrija. Noben industrijski sektor ne obstaja brez uporabe livarskih komponent.

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



Indeks razpoloženja evropske livarske industrije, oktober 2024

FISI odraža zaostrene tržne izzive

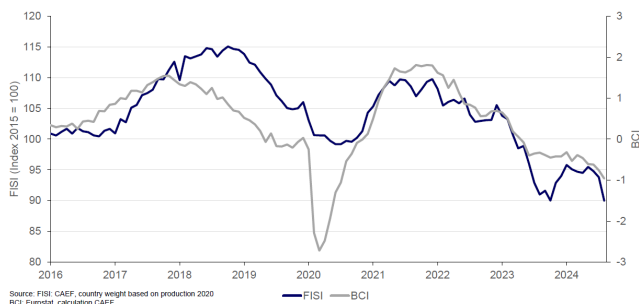
Oktobra 2024 je kazalnik razpoloženja evropske livarske industrije (FISI) doživel občuten padec, saj je z 93,8 indeksne točke v septembru padel na 90,0 točke. Ta upad predstavlja enega največjih mesečnih padcev v letu, kar poudarja poslabšanje izzivov, s katerimi se sooča livarski sektor.

Ta negativni trend odraža slabšanje razmer v livarski industriji, zlasti v ključnih odjemalskih panogah, kot sta gradbeništvo in avtomobilska industrija. Visoke obrestne mere, naraščajoči proizvodni stroški in zmanjšano povpraševanje močno bremenijo delovanje livarn. Gradbeni sektor, ki je pomemben porabnik ulitkov, ostaja v dolgotrajni recesiji, kar zmanjšuje naročila za strukturne komponente. Medtem je avtomobilska industrija pokazala znake upočasnitve, kar zmanjšuje povpraševanje po specializiranih ulitkih, potrebnih za proizvodnjo vozil.

Geopolitične napetosti, vključno s trenutnim konfliktom med Rusijo in Ukrajino, so dodatno porušile dobavne verige in povečale tržno nestabilnost. Čeprav so se cene energije

nekoliko umirile, ostajajo visoki stroški omrežnine in inflacijski pritiski, kar še povečuje operative izzive livarn. Hkrati nestanovitni trgi surovin in nihanje cen odpadnih kovin otežujejo načrtovanje proizvodnje in obvladovanje stroškov.

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



Kljub tem pritiskom obstajajo področja previdnega optimizma. Naložbe v infrastrukturne projekte in obnovljive vire energije spodbujajo lokalno povpraševanje po livarskih izdelkih, zlasti tistih, ki podpirajo prehod na zeleno energijo. Kljub temu splošno razpoloženje v sektorju ostaja nizko, saj številne livarne pričakujejo nadaljnjo nestanovitnost in negotovost v letu 2025.

Več informacij na www.caef.eu in CAEF LinkedIn.

Kontakt CAEF:

Johannes Kappes

CAEF – Evropsko združenje livarjev

Sekretar komisije za ekonomijo in statistiko

Telefon: +49 211 68 71 – 291,

E-pošta: johannes.kappes@caef.eu

Informacijo v slovenskem prevodu pripravila:

Mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

Seminar za tlačne livarne v podjetju Bühler, Uzwil

Seminar z naslovom »Workshop Die Casting«, ki je potekal od 22. do 24. oktobra 2024, v podjetju Bühler, Uzwil v Švici je organiziralo Društvo livarjev Slovenije za visoko usposobljene kadre v tlačnih livarnah članic Društva, kar je v skladu s sprejetim programom dela Društva za leto 2024. Dogodka smo se udeležili predstavniki slovenskih podjetij, med njimi Difa, Hidria, Iskra ISD, LTH in Talum, kar je omogočilo poglobljeno strokovno obdelavo vrste aktualnih in pomembnih tematik s področja tlačnega litja in izmenjavo izkušenj. Ob prihodu nas je prijazno sprejel gospod Damir Nuić, regionalni vodja prodaje podjetja Bühler.

Seminar je združil širok nabor tematik, usmerjenih v napredne tehnologije in pristope na področju tlačnega litja. Vodil ga je izkušen inštruktor Heiko Brahler, pridružila pa sta se mu tudi predavatelja Michael Cinelli in Jerome Scherrer. Udeleženci smo že prvi dan pridobili dragocena znanja o trendih na trgu, kot so digitalizacija proizvodnje, optimizacija učinkovitosti opreme (OEE) in prilagoditev proizvodnje naraščajočim zahtevam avtomobilske industrije. Posebej je bil poudarjen prehod k izdelavi strukturnih delov za vozila, kar odpira pomembne priložnosti za livarne.

Drugi dan je bil posvečen optimizaciji procesov tlačnega litja. Razpravljali smo o tehnologijah mazanja, temperiranju orodij in analizi parametrov, s čimer smo poglobili razumevanje, kako izboljšati procese in zmanjšati število napak. Poudarek je bil na pomembnosti pravilnega upravljanja vseh faz litja ter inovativnih metodah, kot je uporaba digitalnih orodij, ki omogočajo natančno spremljanje procesnih parametrov in prilagoditve v realnem času. Dragoceni so bili tudi odmori, namenjeni mreženju, kjer smo udeleženci delili svoje izkušnje in dobre prakse, kar je še dodatno povečalo vrednost dogodka.



Udeleženci seminarja v podjetju Bühler

Fotografija: podjetje Bühler

Zadnji dan seminarja smo pridobljena znanja preizkusili na praktičnih vajah. Delavnica je vključevala simulacije optimizacije procesov in preizkuse v realnih pogojih, kar je prispevalo k boljšemu razumevanju teoretičnih konceptov. Vrhunec dogodka je bil voden ogled proizvodnih obratov podjetja Bühler, kjer smo se seznanili z najsodobnejšimi stroji in postopki, ki odražajo prihodnost tlačnega litja. Predstavljen je bil tudi portal Bühler Insights, ki omogoča napredno spremljanje procesov in analizo ključnih kazalnikov uspešnosti, kar je izjemno uporabno za izboljšanje učinkovitosti in kakovosti v livarnah.

Dogodek je bil zasnovan tako, da je združeval teoretične vsebine z neposredno prakso, kar je omogočilo celovito izobraževalno izkušnjo. Ena ključnih tematik je bila optimizacija časov ciklov in analiza napak. Spoznali smo, kako lahko že manjše prilagoditve procesov

vodijo do pomembnih izboljšav. Predavatelji so izpostavili tudi izzive, kot sta natančnost v prvi fazi litja in pomembnost pravilnega odzračevanja, kar neposredno vpliva na kakovost ulitkov.

Udeleženci smo bili navdušeni nad organizacijo in kakovostjo seminarja. Povratne informacije so pokazale, da je bil dogodek izjemno koristna priložnost za poglobitev strokovnih znanj in širitev mreže kontaktov. Izkušnje, ki smo jih pridobili, bodo nedvomno prispevale k dvigu kakovosti in produktivnosti v naših proizvodnih procesih.

V zaključku lahko povzamemo, da je bil seminar vrhunsko organiziran dogodek, ki je združil slovensko strokovno javnost z vodilnim svetovnim podjetjem na področju tlačnega litja. Poleg tehničnega znanja in vpogleda v najnovejše tehnologije je dogodek ponudil priložnost za krepitev sodelovanja med podjetji in strokovnjaki. Takšna izobraževanja so ključnega pomena za razvoj slovenske livarske industrije in spodbudo k sledenju globalnim trendom, ki vodijo v učinkovitejšo in trajnostno proizvodnjo. Društvu livarjev Slovenije in podjetju Bühler gre zahvala za organizacijo dogodka, ki je postavil nove standarde na področju strokovnega izobraževanja.

Poročal vodja seminarske skupine
dr. Matic Žbontar

AKTUALNO / CURRENT

75. svetovni livarski kongres, Deyang, Kitajska

75. WFC 2024 – Svetovni livarski kongres je potekal v mestu Deyang na Kitajskem od 25. do 30. oktobra 2024. Gostitelj kongresa je bila **WFO – Svetovna livarska organizacija**, organizator pa **Foundry Institution of Chinese Mechanical Engineering Society (FICMES)** v sodelovanju s **Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd.** Kongres je privabil več kot 1500 udeležencev iz 32 držav in regij. V 18 sekcijah in na 45 posterskih predstavitev je svoje prispevke predstavilo 238 strokovnjakov, raziskovalcev in predstavnikov livarske industrije.

Predstavitve predavanj so potekale v naslednjih sekcijah in forumih:

- 2024 WFO International Forum on Cast Iron and Cast Steel Technology
- Die Casting
- Material Genome Engineering
- High Entropy Alloy
- Material Matrix Composite
- Precision Casting
- Green and Low-carbon Development
- Non-ferrous Alloy
- High-temperature Alloys



prof. dr. Primož Mrvar,
plenarni predavatelj

- 2024 WFO International Forum on Molding Material and Technology
- Global Youth
- Doctoral Candidates (6 skupin po 10 predavanj, predstavitve so potekale v večernem času od 19.00 do 21.30. Čas posameznega predavanja: 15 minut.)
- Digital Intelligent Casting
- Key Castings Manufacturing for Rail Transportation
- Additive Manufacturing
- Functional Materials

Posterske predstavitve (skupno 45) so bile razporejene po naslednjih tematikah:

- 2024 International Forum on Cast Iron and Cast Steel Technology
- Non-ferrous Alloy
- High-temperature Alloy
- Metal Matrix Composite
- Functional Materials
- Die Casting
- Additive Manufacturing
- Digital Intelligent Casting

Na koncu prispevka je QR koda s povezavo na **e-zbornik povzetkov predavanj** in QR koda za ogled predstavitev predavanj v živo.

Na istem prizorišču je potekal tudi **2024 China Congress**, ki je trajal en cel dan in dva popoldneva.

V okviru kongresa je potekala še livarska razstava na 8000 m² razstavnega prostora, kjer se je predstavilo 123 podjetij in raziskovalnih institucij s svojimi naprednimi tehnologijami, materiali, opremo in ulitki.



dr. Mitja Petrič,
vabljeni predavatelj



Udeleženci kongresa samo iz tujih držav

Sodelovanje Društva livarjev Slovenije

Na povabilo organizatorja je Društvo livarjev Slovenije podpisalo poseben dogovor o partnerstvu za **75. WFC 2024**. Društvo je bilo povabljen v skupino mednarodnih

soorganizatorjev kongresa, medtem ko je **Livarski vestnik** postal mednarodni medijski partner dogodka. Logotip **Livarskega vestnika** je bil objavljen v zloženki programa in na spletni strani kongresa.



Vodstvo WFO s predstavniki organizatorja kongresa

Društvo je nadalje dobilo povabilo za udeležbo s predavanji za dva slovenska znanstvenika in tudi povabilo, da se vsaj eden izmed teh vključi v mednarodni znanstveni komite kongresa. Skupaj s predstojnikom Katedre za livarstvo Naravoslovnotehniške fakultete, prof. Primožem Mrvarjem, je bilo odgovorjeno, da to povabilo organizatorja sprejmemo. Tako je katedra za livarstvo prijavila udeležbo prof. Primoža Mrvarja s predavanjem pod naslovom "In Situ Determination of Nonmetallic Inclusions in AlMg6Si2MnZr Alloy" in doc. dr. Mitjo Petriča s predavanjem pod naslovom "Early Stages of Ba-containing Inoculation in Ductile Cast Iron". Predlog oz. prijava o vključitvi prof. Primoža Mrvarja v mednarodni znanstveni komite je bila tudi sprejeta. Predsednica Društva, mag. Mirjam Jan-Blažič pa je bila vključena v skupino mednarodnih članov organizacijskega komiteja kongresa in je kot vodja slovenske delegacije prevzela vse organizacijske naloge na slovenski strani in tudi v celoti koordinacijo do kitajskega organizatorja.



predsednica Društva na generalni skupščini WFO

Predavanji naših dveh znanstvenikov sta dobili vidna mesta v programu predavanj kongresa. Prof. Primož Mrvar je nastopil na kongresu kot plenarni predavatelj v skupini devetih plenarnih predavateljev, doc. dr. Mitja Petrič pa je bil umeščen v skupino 25 vabljenih predavateljev od skupno 238 vseh predavanj na kongresu.

Dodatni dogodki in sodelovanja

Na povabilo organizatorja je celotno slovensko delegacijo sprejel tudi predsednik Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., prof. Xie Huasheng, ker s kitajske strani obstaja interes za sodelovanje preko naše mednarodne livarske konference v Portorožu s slovenskimi in evropskimi livarnami. Skupina kitajskih livarskih strokovnjakov in znanstvenikov je



na konferenci v Portorožu že bila leta 2019, ko je skupaj s 59. IFC Portorož 2019 potekal tudi Svetovni livarski forum, leta 2023 na 63. IFC pa še generalni sekretar FICMES-a., g. Liu Hongchao. V začetku leta 2025 bomo definirali skupaj scenarij obiska njihove delegacije na našem 65. IFC Portorož 2025.

V času 75. WFC je potekala tudi redna letna generalna skupščina WFO - Svetovne livarske organizacije, na kateri je kot delegatka sodelovala predsednica Društva livarjev Slovenije, mag. Mirjam Jan-Blažič.

Po kongresu smo se vključili v ogled podjetja **SICHUAN DAWN O TECHNOLOGY Co. Ltd.**, ki se nahaja v mestu Meishau (okrožje Oingchen, provinca Sichuan). Gre za proizvajalca, ki združuje raziskave in razvoj, proizvodnjo in prodajo industrijskih robotov, CNC strojev in mehanskih prenosnih delov. Proizvodni sistem podjetja vključuje litje, strojno obdelavo, toplotno in površinsko obdelavo, montažo, pakiranje in odpremo. Podjetje svoje izdelke izvaža v več kot 40 držav in za več kot 50 industrij. Gre za nacionalno visoko tehnološko podjetje, zeleno tovarno s visokim intelektualnim potencialom. Od tega kar nam je o podjetju

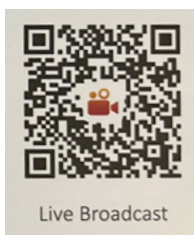


bilo verbalno predstavljeno oz. povedano, pa nam je žal na obhodu podjetja bilo bore malo pokazano v živo.

Na koncu nam je organizator omogočil tudi ogled muzeja, kjer smo lahko spoznali del starodavne in bogate kulturne kitajske dediščine.



Ogled Sichuan Dawn Precision Technology Co., Ltd.



Ocena dogodka

Organizacija **75. WFC 2024** je bila ocenjena kot izjemno uspešna in vrhunsko izvedena. Kongres je navdušil z visokokakovostnimi strokovnimi in znanstvenimi prispevki, skrbno izbranimi predavanji ter omogočil vpogled v najnovejše trende in dosežke v livarstvu.

Dogodek je ustvaril platformo za mreženje, izmenjavo znanja in poglobljene razprave, kar predstavlja odlično popotnico za nadaljnji razvoj livarske industrije. Udeleženci so kongres ocenili kot eno najpomembnejših mednarodnih srečanj v letu 2024.

Poročala: mag. Mirjam Jan-Blažič

POPRAVEK

V tretji številki Livarskega vestnika je na strani 168 v podnapisu tretje slike predavatelja napaka, in sicer ime predavatelja pravilno glasi Kristjan Duhi in ne Dejan Lorber. Za napako se opravičujemo.

Društvo livarjev



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE

Vabilo za

65. IFC PORTOROŽ 2025

z livarsko razstavo

17. - 19. SEPTEMBER 2025

Kontakt: DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE,

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

T: +386 1 2522 488, drustvo.livarjev@siol.net, www.drustvo-livarjev.si

2025

Prijetne božične praznike in uspešno novo leto!

Vodstvo Društva livarjev Slovenije
in uredništvo Livarskega vestnika

Merry Christmas and Happy new year!

Management of Slovenian Foundrymen Society
and Editorial Board of Livarski vestnik

CALDERYS
LEADING
IN HIGH
TEMPERATURE
SOLUTIONS





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.termmit.si