

ISSN 0024-5135

LIVARSKI VESTNIK

61/2014

4



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY



1/3



99,7 %



StrikoWestofen[®]
Group

Efficiency. Powered by knowledge.
www.strikowestofen.com

DI Johann Hagenauer
+HAGI+ Ingenieurbüro für
Giesserei- und Industriebedarf:

Hauptstraße 14, 3143 Pyhra, Austria
Tel.: +43 (0)2745 24172-80
Mobil: +43 (0)664 2247128
E-Mail: johann.hagenauer@hagi.at





PROIZVODNI PROGRAM:

- KREMENOV PESEK
- KERAMIČNI PESEK
- OPLAŠČENI KREMENOV
IN KERAMIČNI PESKI
- OGNJEVZDRŽNI PREMAZI
- POMOŽNA LIVARSKA SREDSTVA

www.termit.si



**MATERIALS FOR MELTING SHOP -
RECARBURISER, INOCULANTS
AND FERROALLOYS**

**COATINGS AND ADDITIVES
FOR SAND CORES
AND FOR SAND MOULDS**

**EXOTHERMIC MATERIALS, FEEDER
SLEEVES AND OTHER AUXILIARIES**

**EXOTHERMIC AND INSULATING
MATERIALS FOR STEEL WORKS**

CASTING TECHNOLOGY WITH

MAGMA

PRIHODNOST JE PRIŠLA

NAJVEČJI SEJMI
NAJPOMEMBNEJŠIH
PODROBNOSTI

Celjski sejem, 21.-24. april 2015

13. FORMA TOOL
orodja, orodjarstvo, stroji

7. GRAF&PACK
grafika, papir, stroji, embalaža, pakiranje

11. PLAGKEM
plastika, guma, kemija

6. LIVARSTVO in VARJENJE
livarski stroji, oprema in materiali, vse za varjenje in rezanje

Mednarodni strokovni sejmi
povezanih industrijskih panog.

Referenčen pregled inovacij, novosti, dosežkov,
tehnologij, materialov, trendov in izzivov.

→ Zaradi velikega zanimanja razstavljalcev v 2015 še ena dodatna sejemska dvorana!

Strokovne prireditve in poslovna srečanja.

Rezervirajte si termin za strokovno razpravo s svojimi stanovskimi kolegi:

→ O prihodnosti pakirne industrije (torek, 21. april)

→ Dan plastičarstva (sreda, 22. april)

→ Dan livarstva (sreda, 22. april)

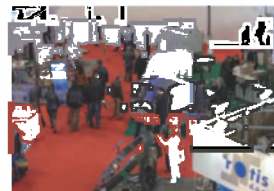
→ Dan kovinske industrije (četrtek, 23. april)

- Kako povečati dodano vrednost in odpirati nova delovna mesta v orodjarski industriji?
- Kako usmeriti mlade v orodjarsko industrijo?

→ Posvet direktorjev slovenskih orodjarn o stanju slovenskega orodjarstva in strategiji do leta 2020 ter srečanje s stanovskimi kolegi iz tujine (četrtek, 23. april)

→ Tehnološki dan: Obdelava zelo trdnih materialov (četrtek, 23. april)

→ Dan varilne tehnike & tekmovanje varilcev (petek, 24. april)



www.ce-sejem.si



LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

Društvo livarjev Slovenije
Lepi pot 6, P.P. 424, SI-1001 Ljubljana
Tel.: ++386 1 25 22 488
Fax: ++386 1 426 99 34
E-mail: drustvo.livarjev@siol.net
www.drustvo-livarjev.si

Glavni in odgovorni urednik / Chief and responsible editor:

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

Tehnično urejanje / Technical editing:

mag. Mirjam Jan-Blažič

Uredniški odbor / Editorial board:

prof. dr. Alojz Križman, Univerza v Mariboru
prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani
doc. dr. Gorazd Lojen, Univerza v Mariboru
prof. dr. Andreas Bührig-Polaczek, Giesserei
Institut RWTH Aachen
prof. dr. Peter Schumacher, Montanuniversität
Leoben
prof. dr. Reinhard Döpp, TU Clausthal
prof. dr. Jozef Suchy, AGH Krakov
prof. dr. Jaromir Roučka, Institut Brno
prof. dr. Faruk Unkić, Univerza Zagreb
dr. Milan Lampič, Fritz Winter, Stadtallendorf

Prevod v angleški jezik / Translation into English:

prof. dr. Andrej Paulin, Darja Srakar-Tomanič

Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:
dipl. ing. Peter Haensel, Düsseldorf
Slovenski jezik / Slovene:
prof. Janina Šifrer

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

Naklada / Circulation:

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

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: december 2014



Naslov/Adresss:

Striko Westofen Group
Hohe Str. 14
D-51643 Gummersbach
Direktor: Ludger Greskoetter,
Rudi Riedel

T: +49 (0) 2261 7091 117
F: +49 (0) 2261 7091 108
E: uti@strikowestofen.com
<http://www.strikowestofen.com>

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

Christian Wilhelm: Bodoči obeti za livarske tehnologije / Future Prospects for Foundry Technology	166
Roučka Jaromir, Nuxa Petr: Vplivi na kristalizacijo rotorjev turbo polnilnika iz zlitin na osnovi niklja / Influencing the crystallization of nickel-based turbocharger rotors	182
Zdenka Zovko Brodarac, Tamara Holjevac Grgurić, Maja Vončina, Davor Stanić: Termodinamična in mikrostrukturalna karakterizacija zlitine AlSi8Cu3 / Thermodynamic and Microstructural Characterization of AlSi8Cu3 Alloy	153

AKTUALNO / ACTUAL

55. mednarodno livarsko posvetovanje Portorož 2015 / 55 th International Foundry Conference Portorož 2015	209
Razširjena seja Izvršnega odbora Društva livarjev v dvoru	210
54. mednarodno livarsko posvetovanje – Portorož 2014 17.-19. september 2014	211
IFF, mednarodni livarski forum	220
Koledar prireditev	221
Izobraževalni seminarji Društva v poslovnem letu 2014	222
Nova proizvodnja ključnih delov za volanske sisteme v Hidrii	223

Izdajanje Livarskega vestnika sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije

Publishing supported by Slovenian Research Agency

Livarski vestnik je vpisan v razvid medijev Ministrstva za kulturo pod zaporedno številko 588

Bodoči obeti za livarske tehnologije

Future Prospects for Foundry Technology

Povzetek

Nemška livarska industrija predstavlja okoli 5,5 milijona ton ulitih delov z vrednostjo skoraj 14 milijarde evrov. Približno 80 000 ljudi je zaposlenih v 600 podjetjih. Z veliko prednostjo je Nemčija vodilna država v Evropi, na svetu pa je četrta največja livarska proizvajalka za Kitajsko, ZDA in Indijo, skupaj z Japonsko. Da bi se lahko pojasnili izzivi v prihodnosti, je treba pogledati pomembna dejstva, zaslužna za uspeh nemške livarske industrije, ter tehnološki in organizacijski razvoj, ki je vplival na to. Predstavljeni bodo odgovori na vse glavne izzive. Začeli bomo s primeri uspešnega razvoja do sedaj:

- izboljšanje uspešnosti ulitkov v konkurenci izdelovalnih postopkov,
- izboljšanje okoljske varnosti izdelovalnih procesov in sonaravno obnašanje ulitkov v celem življenjskem ciklu,
- širjenje razvojnega partnerstva med livarji in konstruktorji za optimiranje stroškov v začetni fazi.

To po logičnem zaporedju zahteva:

- vlaganje v razvoj in raziskave kot tudi v akademsko izobraževanje/usposabljanje ter stalno nadaljnje usposabljanje.

Summary

The German foundry industry represents approx. 5,5 Mio tons of cast components with a defined production value of almost 14 milliards €. Approximately 80.000 people are employed in 600 companies. With a big distance Germany is the leading Foundry nation within Europe and acts worldwide as the fourth-biggest nation following China, USA and India and equal with Japan. For an explanation of questions concerning future challenges it should be allowed to take a look at the important factors of success of the German Foundry Industry and which technological and organizational developments have affected these positive developments.

In the following we will respond to all main challenges, starting with examples of successful development until now.

- Improve the performance of castings in the competition of manufacturing processes.
- Improve environmental safety of manufacturing processes and sustainability of castings for the whole lifecycle.
- Expand development partnership of foundrymen and design engineers to optimize frontloading.

In logical consequences it demands:

- investment in research and development as well as in academic studies/training and a continuous further training.

1. Izboljšanje uspešnosti ulitkov v konkurenci izdelovalnih postopkov

Ena od glavnih značilnosti je konkurenca na prostem trgu v okviru tržne ekonomije. Konkurirajo si ne samo podjetja, države, območja in delavci, ampak tudi posamezni proizvodni postopki pri izdelavi izdelkov.

Ulitki glede na svojo maso, funkcionalne značilnosti in cene stalno tekmujejo z različnimi proizvodnjami in materiali.

V primerjavi z deli, ki jih izdeluje kovinsko-predelovalna industrija, ulitki ohranjajo svoje mesto in celo večajo svoj pomen. V bitki za zmanjšanje mase izdelka prihaja do izraza tendenca prehajanja z ulitkov iz železove litine na ulitke iz lahkih kovin. Kovinske dele zamenjujejo deli iz sodobnih visoko trdnih kompozitnih materialov in polimernih materialov. Vendar lahko visoko trdne železove litine znova pridobijo izgubljeno področje uporabe.

Zaradi izboljšanja mehanskih lastnosti pri uporabi visoko trdnih železovih litin se

1. Improve the performance of castings in the competition of manufacturing processes

One main characterization is the free market competition within the market economy. Competition does not only take place between companies, countries and regions and among acting persons, but also between single production processes for manufacturing of product-parts.

Castings are due to their weight, their functional characteristics and their prices constantly in competition with various productions and materials.

Compared with sheet forming parts casting parts have maintained their position and increased their significances. A trend from cast iron to light metal casting is being noticed due to fight on the light weight requirement section. Parts made of metal components had been replaced by modern high strength composite and plastic materials. Nevertheless, high strength

prej / before:

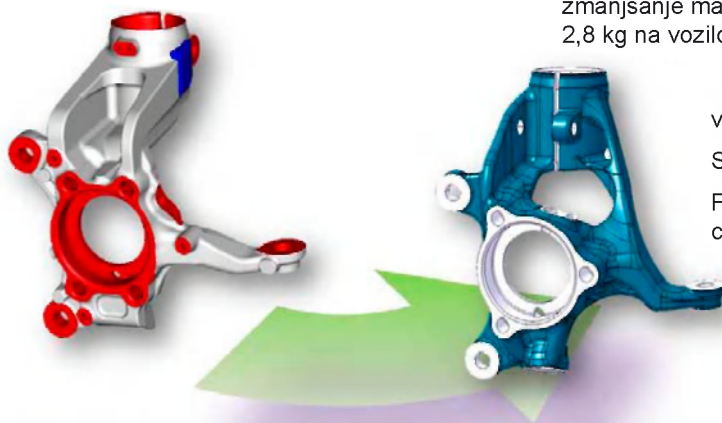
material / material: GJS 400
masa / weight: 4,4 kg

nato / afterwards:

material / material: SiboDur(R) 700
masa / weight: 3,0 kg

prednost / benefit

zmanjšanje mase / weight reduction: 32%
2,8 kg na vozilo / per vehicle

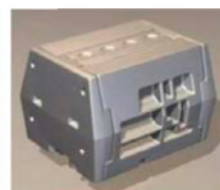


vir / source: GF Automotive

Slika 1. Teže komponent

Figure 1. Weight of component part

	klasična izvedba / conventional	lahka izvedba / lightweight	tankostenska izvedba / thin-wall
debelina stene / wallthickness	4.0 - 5.0 ±1	3.5+0,8	3.0 + 0.5
toleranca prereza / profile-tolerance	2,4	2	1,6
masa / weight	100%	85%	78%
material / material	GJL250/GJL270+	GJL250/GJL270+	GJL250/GJL270+/ GJV450
položaj vlivanja / pouring position	vodoravno / horizontal	vodoravno / horizontal	navpično / vertical
vstavljanje jeder / core assembly	ročno / manually	ročno / manually	paket jeder / corepackage
pokrovi forme / formcovers	4 zgibni / 4 fold	4 zgibni / 4 fold	4 zgibni / 4 fold



Vir : Železarna Brühl / source: Eisenwerke Brühl

Slika 2. Razvoj component

Figure 2. Development of a component part

lahko masa vrtljivega nosilca zmanjša za 32 %, kar pomeni 2,8 kg na vozilo (slika 1). S predelavo konstrukcije tega dela se lahko optimalno izrabijo vse izvrstne mehanske lastnosti novega materiala. Malo obremenjeni deli lahko postanejo tanjši.

Na sliki 2 se lahko vidi razvoj sestavnega dela ohišja zaganjalne ročice pri osebem avtomobilu in razvoj postopka formanja ter ulivanja. Za klasično konstrukcijo s paketom jeder je bila v 70-tih letih značilna izdelava posameznih jeder in nato vstavljanje teh v formo, v 80-tih in 90-tih letih pa se je uporabljal že več ali manj popoln paket jeder. Končno so bila jedra zložena kot paket jeder, postavljen navpično v formo tako, da je bila forma kot enota pri transportu. Medtem ko se je s klasično konstrukcijo dosegala debelina sten 4-5 mm, se je z razvojem od klasične do lahke in tankostenske konstrukcije prešlo na debelino sten 3+0,5 mm. Masa sestavnega dela se je tako zmanjšala na manj kot 80 %.

casting materials could regain lost territory here.

(Fig. 1) Due to Improvement of the mechanical properties by usage of high-strength iron-cast alloys the weight of the component part of a swivel bearing could be reduced by 32% and therefore of 2,8 kg/vehicle. Reworking the design of the parts showed that all brilliant mechanical properties of the new material could be used in an optimal way. Weak stressed sections of the castings could be slimmed down.

In Fig. 2 you can see the development of a component part on a passenger-car crankcase und the development process of moulding- and casting. As the conventional core package design in the 70-ties was characterized by a single core production and by setting these single cores into the mould, the eighties and nineties showed a more or less complete core package. Finally cores are assembled to a core-package mould system with a vertically

prej / before:

material / material:

jeklena pločevina / steel sheet

nato / afterwards:

material / material:

aluminijev tlačni ulitek / aluminium die casting

masa / weight: 4,2 kg

prednost / benefit

zmanjšanje mase / weight reduction: 32%

14,5 kg na vozilo / per ve



vir / source: GF Automotive

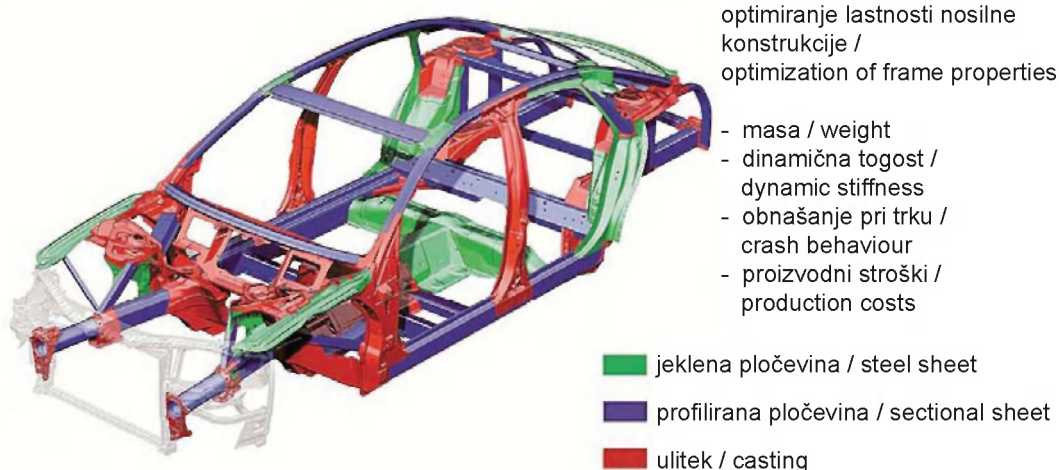
Slika 3. Primer zamenjave jeklenega dela pločevine z aluminijevim tlačnim ulitkom kontrolnega**Figure 3.** Example of substitution of a steel sheet part by an aluminium-die-casting of a control box

Istočasno je nadaljnji razvoj livnih zlitin od GJL 250 do GJV 450 v povezavi z manjšimi debelinami stene in manjšanjem mase omogočil povečanje moči motorja in končno zmanjšanje njegove velikosti.

Slika 3 kaže primer zamenjave dela stikalne omarice iz jeklene pločevine z aluminijevim tlačnim ulitkom. To je omogočilo zmanjšanje mase vozila za 14,5 kg in je lep primer prednosti ulivanja: ob primerni konstrukciji dela. Stalna debelina stene ni potrebna za ves del, kot pri izdelavi iz jeklene pločevine. Pri ulitku se lahko doseže okrepitev z debelino stene ali z rebri in niso potrebni dodatni dragi procesi sestavljanja. Vse te prednosti ulivanja zahtevajo prodorno oglaševanje na poslovnih tržiščih izdelovalnih postopkov. Postaviti pod vprašaj ustaljene rešitve naj bi bil izziv. Livarne so bolj pripravljene kot kdajkoli prej. Orodja za simulacijo (glej tč 3. tega prispevka) omogočajo ustvariti virtualne vizije in dajejo zanesljivost pri izbiri nadomestnih postopkov.

positioned core-package in the mould, reducing the mould to a transport unit. As with conventional design wall thicknesses of 4-5 mm could be reached, results of 3+/- 0,5 mm could be reached by these stages of development from conventional to lightweight towards the thin wall concept. The weight of the component part therefore reduced to below 80%. A simultaneously further development of casting alloys GJL-250 till GJV-450 in connection with less wall thicknesses and weight-reduction aimed in an increase of engine power, following the mainstream of downsizing.

Fig. 3 shows an example of substitution of a steel sheet part by an aluminum-die-casting of a control-box. This action enables a reduction of weight of 14,5 kg / vehicle. This shows a good example for the advantage of the casting method: an appropriate design of product parts. Constant wall thicknesses do not need to be carried along like metal sheet forming over the complete part. Stiffening and ribbings are produced in a single cast and do



vir / source: Audi

Slika 4. Primer ohišja vozila Audi A8

Figure 4. Example on a vehicle frame of an Audi A8

Slika 4 prikazuje primer nosilne konstrukcije avtomobila Audi A8. Uliti del (v rdeči barvi) je na mestu, kjer so posebne zahteve po mehanski odpornosti in togosti oz. duktilnosti, zamenjal druge izdelovalne procese. Prav tako se s ciljno uporabo ulitega dela zmanjša masa, izboljša obnašanje pri trku in zmanjšajo izdelovalni stroški. Ulivanje kaže svoje klasične prednosti glede svobode konstruiranja in primerne zasnove.

Sedanje rešitve z ulivanjem za izboljšanje delovanja, zmanjšanje mase in izboljšanje vzdržljivosti po zahtevah kupca bodo izzivi za prihodnost. Dodatno je treba uspeti pri zamenjavi različnih izdelovalnih postopkov, da se doseže na pameten način podpora kombinaciji ulivanja in lahkih kompozitnih materialov, kadar se zahteva posebna konstrukcijska trdnost in kompleksnost sestavnih delov.

Materiali, katerih sestava in lastnosti se spreminjajo po prostornini, sestavljeni postopki ulivanja in tudi prodor predoblikovanih delov je le nekaj

not need to be produced with additional expensive assembly processes. All these advantages of casting production processes require an offensive advertising on the business marketplace of production processes. To question well established solutions should be the challenge. Foundries are well prepared as they had never been before. Simulation tools – see chapter 3 of this lecture – generate such visions virtually and give secureness in decision processes for substitution.

Fig. 4 shows a next descriptive example on a vehicle frame of an Audi A8. The casted part (presented in red color) is in the position to meet the special requirements on mechanical resistance and stiffness respectively ductility and to replace other production processes. As well as weight, crash behaviour and manufacturing costs can be improved by targeted use of casted structural parts. Casting processes show their classic advantages towards freedom of design and suitable lay-out.

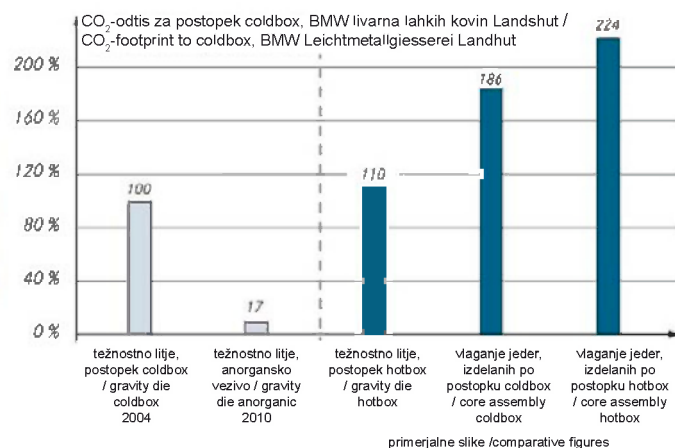
primerov, kam nas vodi razvoj, če moramo kombinirati lastnosti zapletenega dela, kot so temperaturna zanesljivost, trdnost, obrabna trdnost, trenjske lastnosti, dušilne sposobnosti in majhna masa.

2. Izboljšanje okoljske varnosti izdelovalnih postopkov in sonaravnost ulitkov v celotnem življenjskem ciklu

Naravne razmere pri litju, kot je uporaba sekundarnih surovin, veziv za jedra in forme ter tudi zelo velika poraba energije za taljenje ne prikazujejo litja kot vzor okolju in delovnemu okolju prijazne tehnologije. Kljub temu moderne livarne niso več kot nekdanje talilnice kovin, so čista podjetja, ki upoštevajo stroge delovne razmere in okoljevarstvene zakone. Moderne naprave za čiščenje zraka v delovnih prostorih

Future challenges will be now, to present casting solutions in improving performance, weight reduction and durability according to customer claims. Furthermore, we have to succeed in substituting in different production processes, to provide our support to combine casting technology with light composite materials in an intelligent way, if special structural strength and complexity of the components are required.

Gradient materials, compounded casting processes as well as infiltration of preforms are only a few examples of whereto the journey can go, if complex part properties like for instance temperature reliability, strength, wear resistance, friction properties, damping capability and low weight have to be combined.



■ plini pri litju / casting gases
 ■ produkti kondenzacije / condensation products
 ■ količina odpadnih plinov / exhaust air quantity
 ■ razvijanje smrada / odour emissions

■ energija / energy

vir / source: ASK Chemicals, BMW Leichtmetallgiesserei Landshut

Slika 5. Pozitivni učinki pri uporabi anorganskih veziv v serijski izdelavi ulitkov v livarni lahkih kovin

Figure 5. Positive effects in usage of inorganic core binding materials

zmanjšujejo delovne obremenitve livarjev in vpliv na ljudi, ki živijo v bližini livarn. V spopadu z emisijami v sami livarni se je treba odreči organskim vezivom. V zadnjih letih je prišlo do več uspešnih poskusov pri razvijanju anorganskih veziv.

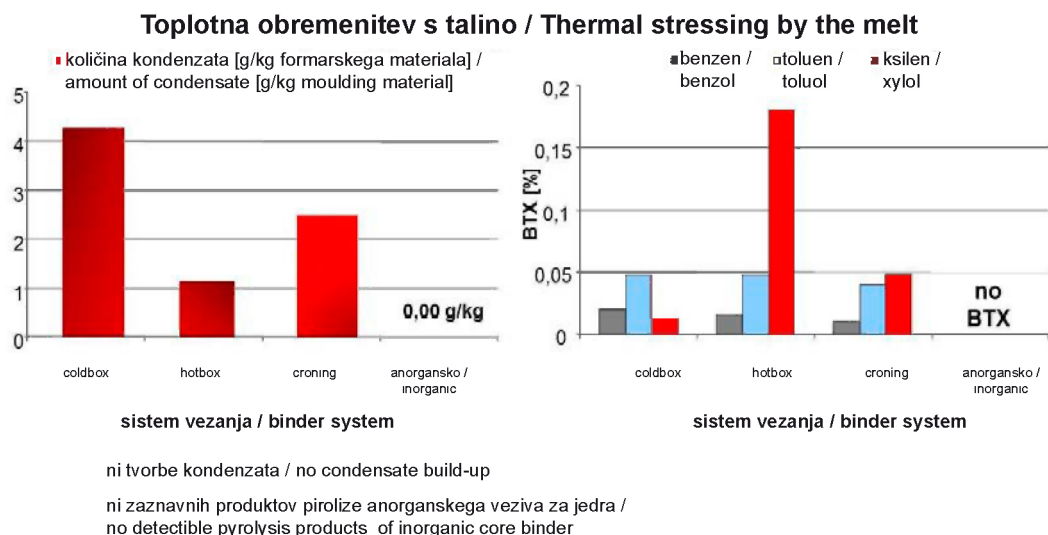
Slika 5 kaže pozitivne učinke pri uporabi anorganskih veziv v serijski izdelavi ulitkov v livarni lahkih kovin. Vidnih emisij plinov in dima ter sočasnega razvijanja smradu pri litju kot posledica uporabe jeder, izdelanih po postopku coldbox, ni več. CO₂-odtis celotne verige procesov skupaj s čiščenjem orodij in naknadne toplotne obdelave kaže izboljšanje v primerjavi s prejšnjim stanjem.

Slika 6 prikazuje zmanjševanje količine kondenzata v formarskih materialih s prehoda z organskih na anorganska veziva. Količina benzena, toluena in ksilena limitira proti nič.

Serijska vpeljava anorganskih veziv se je že začela. Izziv bo sedaj optimirati

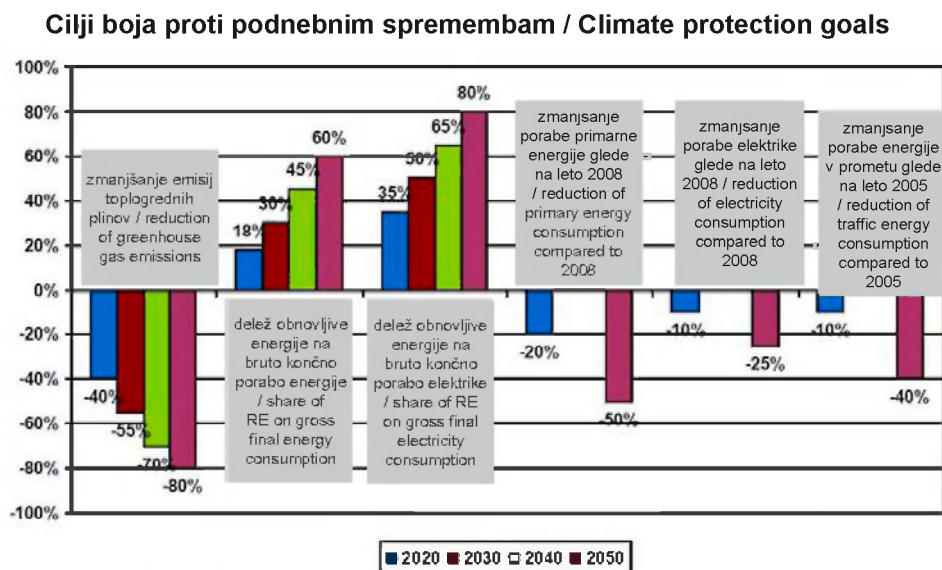
2. Improve environmental safety of manufacturing processes and sustainability of castings for the whole lifecycle

The natural circumstances by casting like usage in scrap metal, core- and mould binding as well as extremely use of energy by melting do not place casting in a light of a workplace- and environmental friendly processing manner. Despite of this modern foundries are no archaic-seeming smelteries any more, however, they are clean companies which meet the strict working-conditions and laws of environment. Modern waste-air installations reduce the workplace-loads of foundrymen and reduce the impact to a minimum on persons living in the surrounding of a foundry. To combat the emissions of a foundry in the center, it requires a renunciation from organic binding materials. Many successful efforts had been



Slika 6. Zmanjševanje količine kondenzata v formarskih materialih s prehoda z organskih na anorganska veziva

Figure 6. Reduction of quantity of condensate in moulding materials in comparison of procedures of organic to inorganic binding materials



Vir / source: IfG, Ecofys, Federal Environmental Agency

Slika 7. Cilji boja proti podnebnim spremembam

Figure 7. Climate protection goals

občutljivost za vlago in sprejemljivost za sisteme z mešanim in obnovljenim peskom ter spodbuditi preboj tega sistema tudi na litje železovih litin. Posebej pomembna je pri tem poraba energije. Stroški za energijo so glavni del stroškov livarskega procesa. Zaradi boja proti podnebnim spremembam, povezano s predpisi, to ni samo dodaten pritisk na prehod na energijsko intenzivne industrije, ampak predstavlja tudi bistveno odgovornost livarske industrije pri najpomembnejši nalogi, ki povezuje človeštvo, to je zaščititi življenje na tem planetu. Livarska industrija se ne bo izogibala tej odgovornosti.

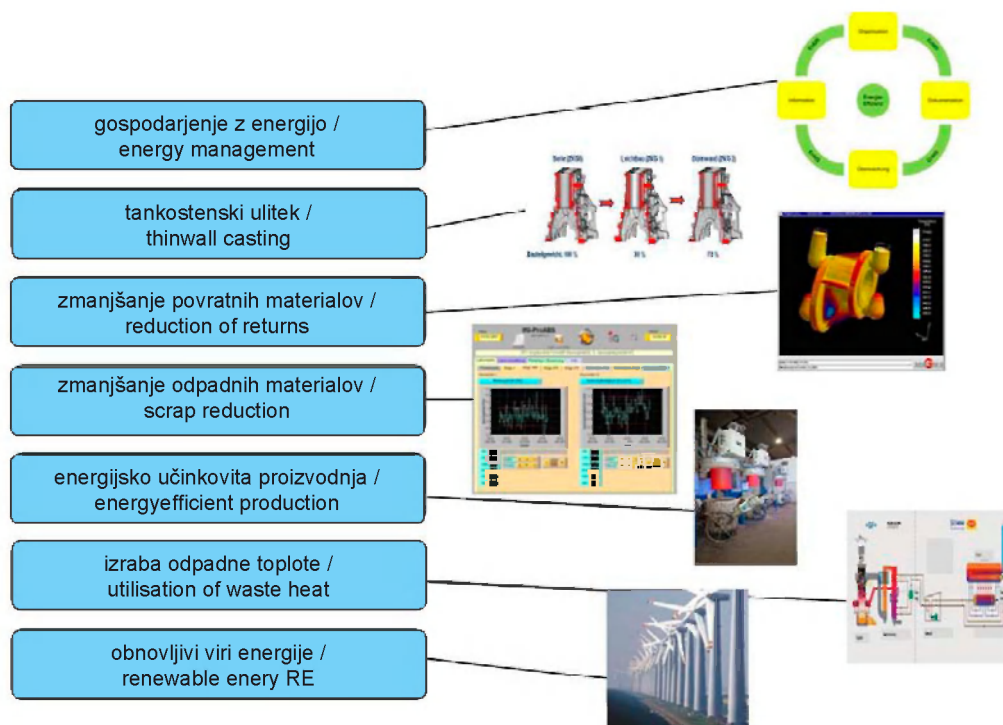
Slika 7 prikazuje cilje boja proti podnebnim spremembam v Nemčiji. Za izpolnitev teh ciljev ter zagotovitev varnega preživetja podjetja, so pripravljene številne interne akcije, katerih glavna in najpomembnejša naloga je uvajanje sistema gospodarjenja z energijo. Vsi

done within the last years by developing inorganic binding materials.

Fig. 5 shows the positive effects in usage of inorganic core binding materials in serial actions in allLight-metal foundry. Visible casting gas and smoke emissions and in connection with them combined odour pollution as a result of die casting with cold-box cores at working places do not adapt anymore. CO₂ Footprints of the total process chain including tool-cleaning and thermic follow-up treatment show the reached improvements of processes in comparison.

Fig. 6 shows the reduction of quantity of condensate in moulding materials in comparison of procedures of organic to inorganic binding materials. The quantity of benzene, toluene and xylene are regressing towards zero.

The serial introduction with inorganic binding materials has started. The challenge



vir / reference: IfG Ecofys, Umweltbundesamt

Slika 8. Uvajanje energetskega upravljalnega sistema

Figure 8. Implementation of an energy management system

naslednji omenjeni koraki bodo doseženi le z uspešnim uvajanjem te naloge (slika 8).

To kaže, da postaja posebna organiziranost livarjev, ki spominja že na rokodelstvo, posebno pomembna z vidika energijske učinkovitosti, tj. zmanjševanje povratnih materialov/povečanje učinka in zmanjšanje odpadkov.

Načrtovanje sodobnega izdelka, kot je tankostenski ulitek, dejavnosti za povečanje energijske učinkovitosti izdelovalne opreme in izraba odpadne toplote so cilji, ki bodo največ prispevali. Uporaba obnovljivih virov energije v livarnah je lahko le spremljajoč ukrep. Zgoraj omenjene mere za varčevanje z energijo je treba takoj intenzivirati.

Slika 9 kaže, da se je po uvedbi nove proizvodne linije za litje železove litine

now will be to optimize the moisture sensitivity and tolerability with mix sand and reclaimed sand systems and to encourage the breakthrough of this system also in iron-casting.

From particular importance for foundries is their energy consumption. Energy costs are a major factor in casting production costs. Due to the declared climate protection and therefore combined regulations there is not only an additional pressure of costs for this energy intensive industry, however, it implements the essential responsibility of the foundry industry for the most important task of the unity of humanity, the protection of life on this planet. The foundry industry will not withdraw this responsibility.



Slika 9. Energetski prihranek

Figure 9. Energy savings

zmanjšala celotna poraba energije za 41 %. Jasno se vidi, kaj je možno doseči v okviru celote.

Slika 10 prikazuje tisti vidik prednosti lahke konstrukcije, ki se tiče bilance CO_2 za celotni življenjski cikel in ki se ga ne sme zanemariti. **Opomba:** okoljsko prijazna izvedba je dosežena takrat, ko je zmanjšanje CO_2 -emisije v času uporabe večje, kot so izpusti pri energijsko intenzivni izdelavi. **Sklep:** Ta argument se lahko uporabi tudi v obratni smeri. Energijsko intenzivni proces izdelave sestavnega dela, kamor spada tudi livarski proces, je upravičen, če je njegov cilj pozitivna celotna ekološka bilanca življenjskega cikla dela. Vsekakor je treba upoštevati celotno ekološko bilanco, preden se vrednotijo energijsko zelo intenzivna področja. Ni treba posebej poudarjati, da je o tem vidiku treba razpravljati politično. Toda to ne odvezuje livarn, da ne uvedejo

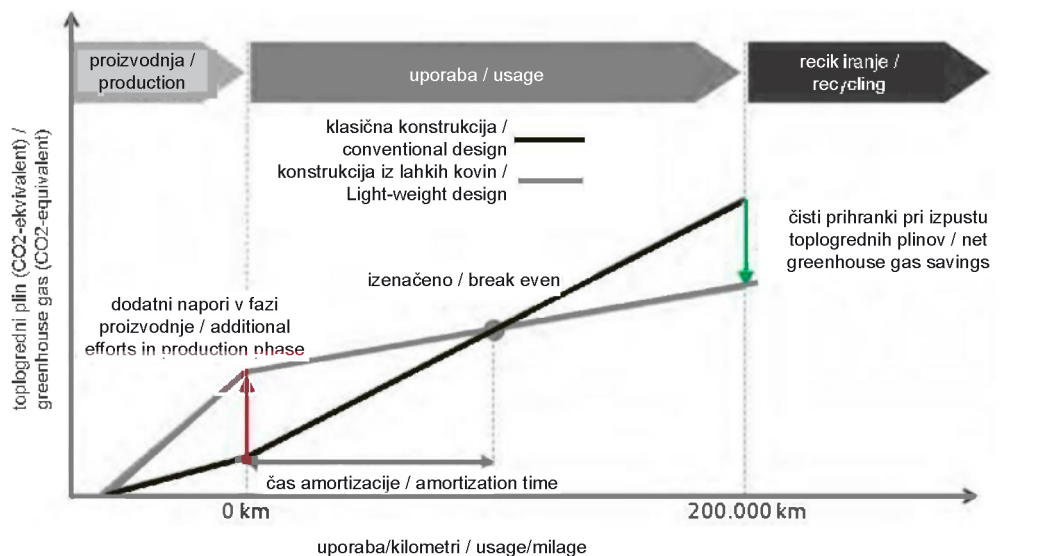
Fig. 7 reflects the climate protection targets in Germany. To fulfill these claims and to secure survivability of the company, many internal specific actions have been issued, which first and most important element is an implementation of an energy management system. All following mentioned steps will only be successfully implemented with its help (Fig. 8).

This shows, that special arrangements quasi the handcraft of the foundrymen, gets a more important meaning under the aspect of energy efficiency. I.e. reduction of returns / increase of output and scrap reduction.

Objectives out of modern product design like thin-wall casting, but even also actions to increase the energy efficiency of production equipments and utilization of waste heat will give a substantial contribution. Use of renewable energies in foundries is to be understood as

“Okolju prijaznejša konstrukcija se lahko doseže, če je izpust CO₂ v fazi uporabe manjši kot ekološka obremenitev energijsko intenzivne proizvodnje” /

“Environment lightweight design is only realised, if the saving of CO₂ in the usage phase ist higher than the ecological backpack of energyintensive production”



Vir / Source: Audi / VDI-lectures

Slika 10. Okolju prijaznejša konstrukcija ob upoštevanju CO₂ bilance CO₂ za celotni življenjski cikel

Figure 10. Light-weight design concerning the issue „CO₂-Balance Sheet of the total Life-Cycle

čim hitreje zgoraj omenjenih ukrepov za varčevanje z energijo.

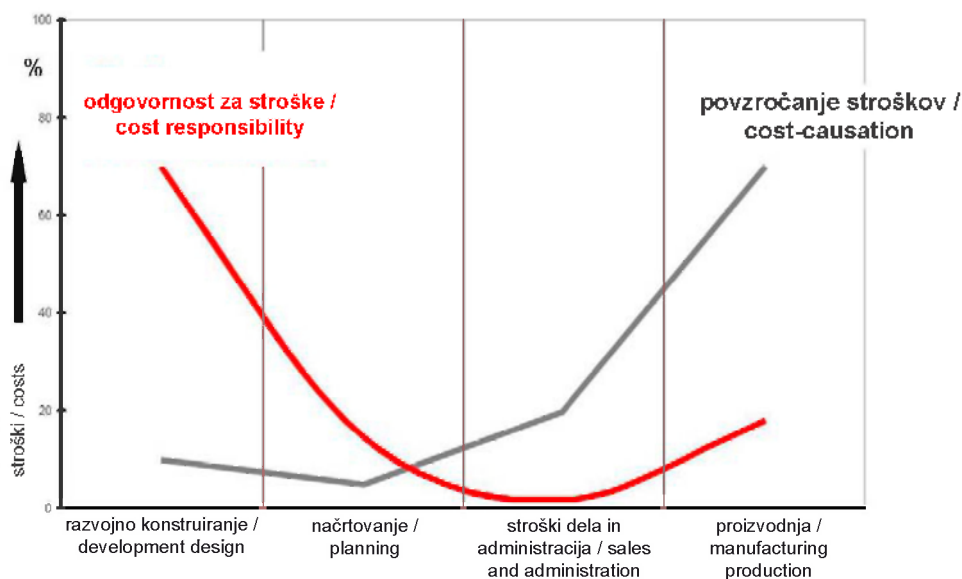
3. Širjenje razvojnega partnerstva med livarji in konstruktorji za optimizacijo začetne faze

Slika 11: Pri spremljanju posameznih faz nastajanja izdelka od razvoja do izdelave postane jasno, da velike stroške proizvodnje povzroča razvojna faza. Poenostavljeno, vse napake, ki so narejene v fazi razvoja, imajo velik vpliv na proizvodne stroške. To pomeni, da je treba vložiti več energije, sredstev in časa v fazo razvoja, da se izognemo tem negativnim učinkom.

accompanying measure. Potentials out of above mentioned energy-saving measures should be raised immediately.

Fig. 9 shows the total energy savings after taking a new iron-casting production-line in process with 41% less energy consumption in sum. It shows clearly, what in sum is possible.

Fig. 10 shows one aspect of light-weight design concerning the issue „CO₂-Balance Sheet of the total Life-Cycle”, which should not remain unconsidered. Quotation mark: “environmentally light-construction will be only then achieved, if the savings of CO₂ within the use-phase is higher than the ecological backpack out of an energy-intensive production” Unquote. This



Slika 11. Razširjeno razvojno partnerstvo livarjev in inženirsko konstruiranje za optimizacijo začetne faze

Figure 11. Expanded development partnership of foundrymen and design engineers to optimize frontloading

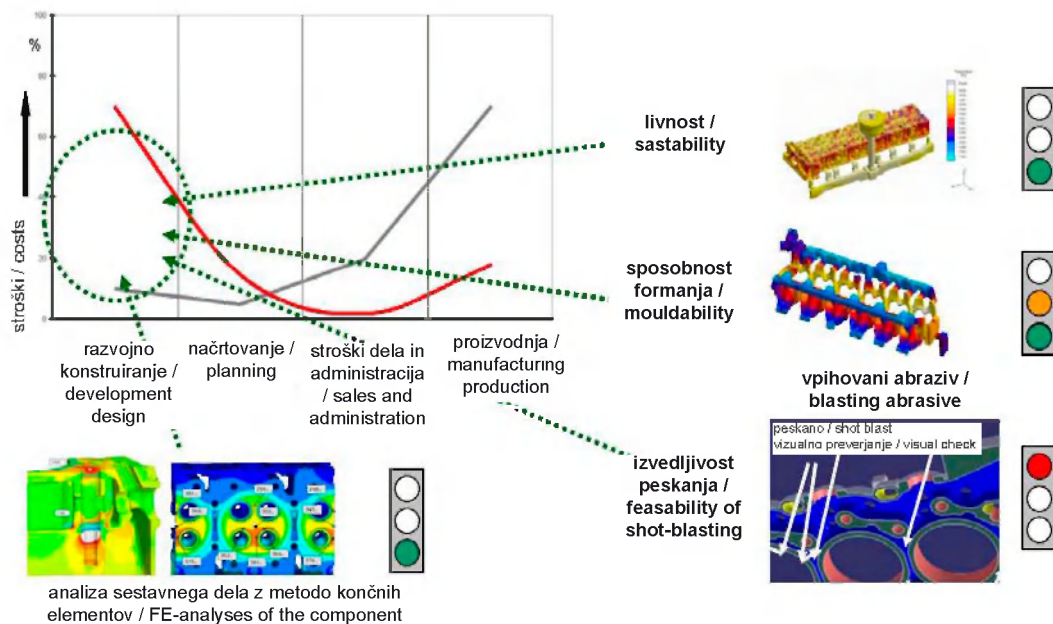
Livarne so dobro pripravljene. Zaradi intenzivnega sodelovanja med livarji in konstruktorji od samega začetka, obstaja možnost priprave primerne konstrukcije forme in ulitka.

Z orodji za simulacijo, ki so danes na razpolago, se livarji povezujejo z dobavitelji orodij in izdelovalci livarskih strojev ter postrojev, zato lahko razvijajo sestavne dele, pri katerih je tveganje v proizvodnji minimalno, s tem pa se zmanjšajo tudi proizvodni stroški. To se dejansko zgodi, še preden je izdelan prvi prototip. Na minimum skrajšani časi razvoja so rezultat tega. V praksi zato ne pride do predragih ulitkov in popravljanj ter tveganj, da se ne bi dosegli roki. Simulacije ulivanja in strjevanja so na tržišču dobro poznane. Simulacija izdelave jeder je razvita do popolnosti in uporabljena v mnogih primerih (slika 12).

argument, however, could also be used vice versa. An energy-intensive production – including the foundry process – which aims to a positive total ecological balance in the life-cycle of a part, is legitimate – even though to be favoured. Definitely the total ecological balance should be taken into consideration before extremely energy-intensive areas get charged in an extraordinary way. There is no need to say that such a view has to be discussed politically. But: It does not dispense the foundries of implementing above mentioned energy savings as soon as possible.

3. Expanded development partnership of foundrymen and design engineers to optimize frontloading

Fig. 11: By watching the single phases in product creation from development to



Slika 12. Simulacija izdelave jeder

Figure 12. Simulation of core production

Možnosti za napovedovanje razpada jeder in forme, kot tudi sposobnosti peskanja in čiščenja še vedno manjkajo. Izziv bo zapolniti to vrzel. V zaprtem krogu se lahko veliki stroški čiščenja ulitkov zmanjšajo na minimum pred začetkom proizvodnje, tveganja za investiranje pa se lahko zmanjšajo pri peskanju zapletenih ulitkov. Proizvodni stroški celotne verige procesa ulivanja in s tem povezane investicije so na ta način predvidljive. Navidezne pentlje optimiranja v sodelovanju s konstruktorji ustvarjajo ulitke, ki se lahko izdelajo brez tveganj in z majhnimi stroški. Realizacija te vizije bo velik izziv v prihodnosti na tem področju.

production it gets clear that the high costs in production are caused in the development-phase. Simpler, all mistakes which had been made during development, have a great impact on production costs. Consequently, much more energy, costs and time should be invested during the stage of development to avoid these negative effects.

The foundries are well prepared. Due to intensive cooperation between foundrymen and design engineers as from the beginning, there is a possibility to take action for receiving an appropriate mould- and casting design.

With simulation tools which nowadays belong to the state of the art, foundrymen are in connection with their tool suppliers and foundry machines and plant manufacturers and therefore in a position to develop a component, which minimizes the risk of production and reduces production

4. Vlaganje v raziskave in razvoj kot tudi akademsko izobraževanje/ usposabljanje ter stalno nadaljnje usposabljanje

Vsi zgoraj omenjeni vidiki kažejo livarne v luči najmodernejših tehnoloških in proizvodnih obratov ter visoko razvitih postopkov. Te tovarne so realnost. Težko se jih primerja z zastarelimi nekdanjimi livarnami iz druge polovice prejšnjega stoletja in nimajo več nič skupnega s tistimi livarnami. Mehatronika, procesna tehnika, kemijska tehnika in računalništvo so dodani klasičnemu tehničnemu znanju o formanju in ulivanju. Virtualno delo zahteva posebno znanje ter zelo dobro izobrazbo in se ne more več brez tega.

Za izpolnitev te zahteve, so potrebni dobro izobraženi delavci in tehniki s sodobnim tehničnim znanjem, ki ga daje optimalna univerzitetna izobrazba.

charges. This occurs virtually, even before the first prototype is made. Minimized times of development are the result and exhausting and cost intensive casting and correction loops and their implemented risk of deadline do not apply. Casting- and solidifying simulation are well established in the market. Simulation of core production has been developed to a maturity stage and has been introduced in many cases (Fig. 12).

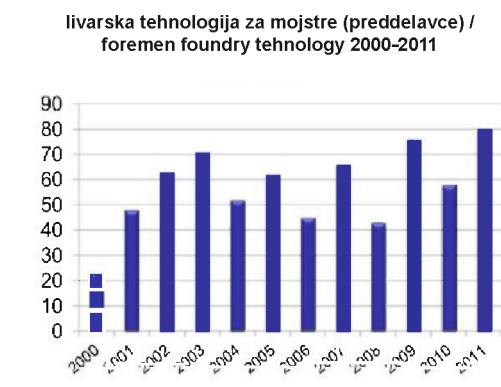
Possibilities to forecast decomposition of core and mould of castings as well as the ability of shot-blasting and fettling is still missing in this queue. The challenge will be to close this gap. In a closed circle high fettling costs can be minimized prior to production and risks of investments can be reduced at shot-blasting of sophisticated castings. Production costs of the complete casting process chain and necessary investments are predictable in this vision.

Akademsko izobrazbo / Academic education



vir / source: BDG

- približno 28 diplomantov je končalo dodatne študije: livarski inženir in diplomirani inženir na VDG-akademiji / Approximately 28 graduates finished the additional studies: Giessereifachingenieur (VDG) über die VDG-Akademie



vir / source: BDG

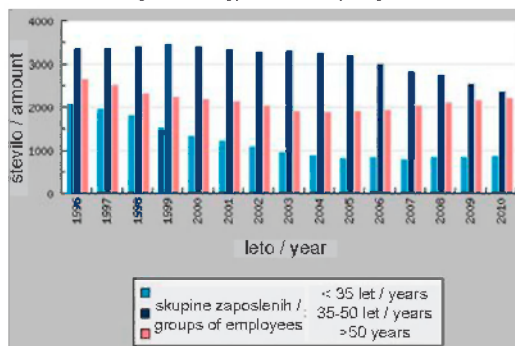
- v povprečju je končalo 60 udeležencev na leto / in average approx. 60 successful participants/year
- v povprečju približno 20 udeležencev z dodatno izobrazbo: livarski tehnik s spričevalom/ In average approx. 20 participants additional education: certified technician foundry technology

Slika 13. Razvoj izobraževanja strokovnjakov v nemški livarski industriji

Figure 13. Development of experts in the German foundry industry

demografske spremembe in pomanjkanje strokovnjakov /
demographic change and lack of experts

rudarski, metalurški in livarski inženirji /
mining, metallurgy and foundry engineers



- starost 50+ stalno narašča / age 50+ increases constantly
- predvideno staranje / foreseen overaging
- pomanjkanje strokovnjakov bo naraščalo / lack of experts will increase
- zahteve po novih tehnologijah se bodo stalno večale / demand on new technology will increase more and more

Slika 14. Demografske spremembe in pomanjkanje strokovnjakov

Figure 14. Demographic change and lack of experts

Slika 13 kaže izobraževanje strokovnjakov v nemški livarski industriji. Ti visoko kvalificirani delavci bodo dvignili raven vrhunskih strokovnjakov v livarnah.

Za doseg teh ciljev je potrebna izvrstna infrastruktura na univerzah ter izobraževalnih centrih, kot je npr. v Nemčiji. V povezavi z močno in inovativno industrijo, ki dobavlja, in izdelovalci livarskih strojev ter postrojev se bo temu kos. Prihodnji projekti se bodo obravnavali uspešno. Programi raziskav in razvoja, ki jih obravnavajo vsi sodelujoči partnerji, kjer sodeluje in jih koordinira BDG, so osnova za visoko raven livarstva v Nemčiji.

Slika 14: Največji izziv v prihodnjih letih bo obvladovanje naraščajočih potreb

Virtual loops of optimization in cooperation with their designer generate castings which can be produced without risk and with low costs. To realize this vision is the big challenge for the future in this subject.

4. Investment in research and development as well as in academic studies / training and a continuous further training.

All above mentioned aspects show foundries in their lightning of most modern technology and production plants and highly developed processes. These factories are real. They hardly meet the archaic world of former foundries in the second half of the last century and have nothing in common with these former foundries anymore. Mechatronic, process engineering, chemicals and computing were added to the classic technical Know-How of forming and casting. Virtual work requires specific know-how and an excellent education and cannot manage without them anymore.

To meet these requirements it is necessary to have well educated specialized workers and technicians being on the actual stand of technic and an expanding stock of employees which received an optimal university education.

Fig 13 shows the development of experts in the German foundry industry. These highly qualified employees will force High Tech in foundries.

To reach all these aims it requires an excellent infrastructure at universities and education and training centers, as you can find them for instance in Germany. In combination with a powerful and innovational supplier-industry and foundry machine and plant manufacturers these subjects can cope. Future projects will be handled

dobro izobraženega osebja, upoštevajoč demografski razvoj.

Bistvena bodo vlaganja v izobraževanje zaposlenih na eni strani in predstavitve livarske industrije kot prihodnjega privlačnega modernega zaposlovalca na drugi strani, bosta glavna izziva, s katerim se bodo soočile posamezne livarne. Teh nalog se bodo morale skupaj lotiti vse vpletene strani - od livarn, do dobaviteljev ter izdelovalcev livarskih strojev in postrojev.

successfully. Research and development programmes successfully handled by all partners involved and under coordination and in co-operation with BDG are the basis for this high casting level in Germany.

Fig 14: The greatest challenge within the upcoming years will be to manage the growing demand of well-educated personnel considering the demographic development. Substantial investments in education and studies of employees on one hand and presenting the foundry industry as an attractive modern working place for future employees on the other hand, is the central challenge, which each single foundry should face up with. These tasks should be lifted collectively from all involved parties in foundries, suppliers as well as machinery and plant manufacturer.

Vplyvi na kristalizacijo rotorjev turbo polnilnika iz zlitin na osnovi niklja

Influencing the crystallization of nickel-based turbocharger rotors

1. Uvod

Ulitki rotorjev turbopolnilnika v energetiki, pri letalskih in avtomobilskih motorjih so izdelani predvsem iz superzlitin na osnovi niklja. Te zlitine s trgovskim imenom Inconel so legirane s karbidotvornimi elementi in drugimi elementi, ki utrjujejo osnovo in povečujejo dimenzijsko stabilnost pri visokih temperaturah. Pogosto je uporabljena zlitina npr. IN713LC, v kateri so zlitinski elementi predvsem Cr, Mo, W, Ta in Ti. Nikljeve superzlitine imajo osnovo iz substitucijske nikljeve trdne raztopine in karbidnih izločkov. Po toplotni obdelavi se faza pretvori v intermetalno fazo, sestavljeno iz Ni₃Al ali Ni₃(Al,Ti).

Pri strjevanju ogljik iz nikljevih superzlitin tvori z W, Ti, Mo, Hf, Ta in Nb primarne karbide. Primarni karbidi tipa MC imajo kubično morfologijo in se pojavljajo predvsem na mejah kristalnih zrn, kjer tvorijo mreže (slika 1). Pri mehanskih in toplotnih obremenitvah začno karbidi pokati in se lomiti (slika 2).

Slika 1 Mikrostruktura zlitine IN 713 LC s karbidno mrežo in razpokami. Makrostruktura ulitkov v vzdolžni smeri je navadno sestavljena iz treh morfoloških območij slika 2.4:

- območje drobnih globulitnih zrn v tankih stenah, pri veliki hitrosti strjevanja – **A**
- območje stebričastih zrn pri usmerjenem toplotnem toku – **B**
- območje grobih globulitnih ali deloma stebričastih zrn na mestih počasnega

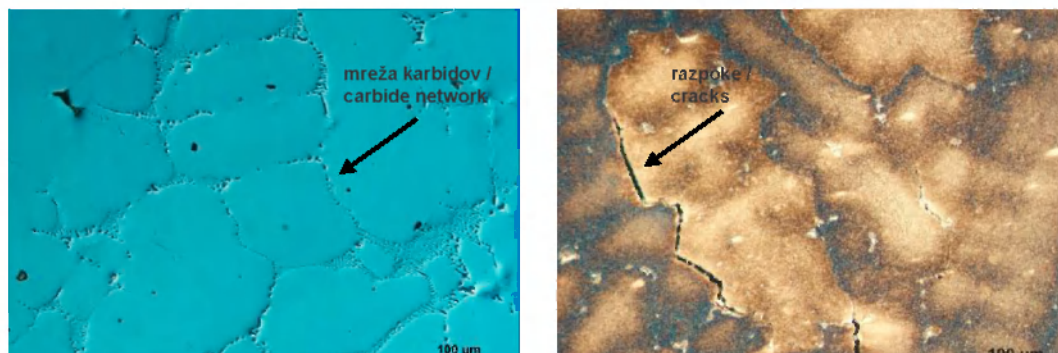
1. Introduction

Castings of turbocharger rotors for power engineering, aircraft and automobile engines are made of nickel-based superalloys in particular. These alloys, referred to as Inconel, are alloyed with carbide-forming and other elements which reinforce the matrix and increase dimensional stability under high temperatures. A frequently used alloy is, for example, the IN 713LC alloy, in which the alloying elements are mainly Cr, Mo, W, Ta, and Ti. Nickel superalloys are generally formed by a matrix of substitutional nickel solid solution and carbide precipitates. After heat treatment, the phase is transformed into the intermetallic phase formed by Ni₃Al or Ni₃(Al, Ti) components.

In the course of solidification, carbon in nickel superalloys forms primary carbides with the elements W, Ti, Mo, Hf, Ta, and Nb. Primary carbides of type MC are of cubic morphology and they occur in particular on grain boundaries, where they form a network -Fig.1. Under mechanical or thermal stress, the carbides can initiate cracks and fractures-Fig.2.

The macrostructure of castings in longitudinal section usually forms 3 morphological regions – Fig. 2:

- region of fine equiaxed grains in thin walls, with a high solidification rate – **A**
- region of columnar grains in the direction of heat flow – **B**
- region of rough equiaxed or partially



Slika 1. Mikrostruktura zlitine IN 713 LC s karbidno mrežo in razpokami

Figure 1. Microstructure of IN 713 LC alloy with carbide network and cracks

strjevanja, brez izrazitega usmerjenega toplotnega toka – posebno pri pestih koles – **C**.

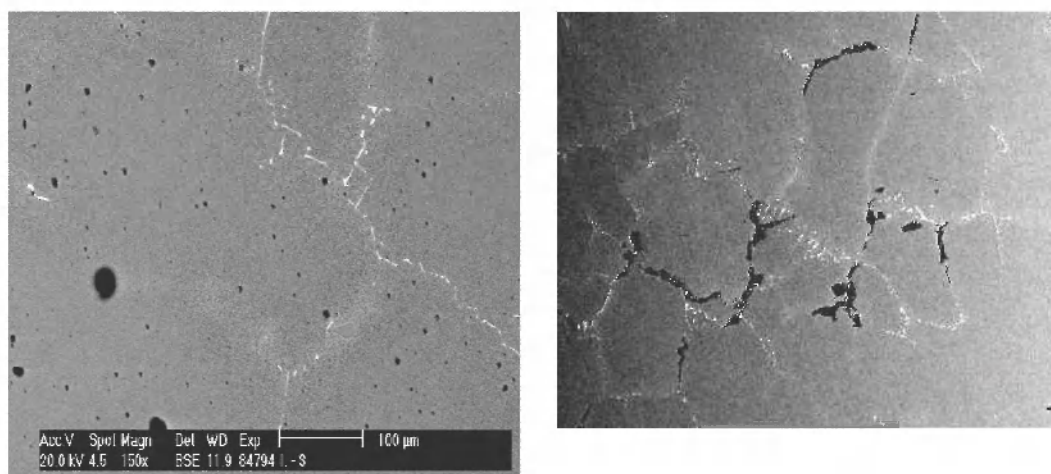
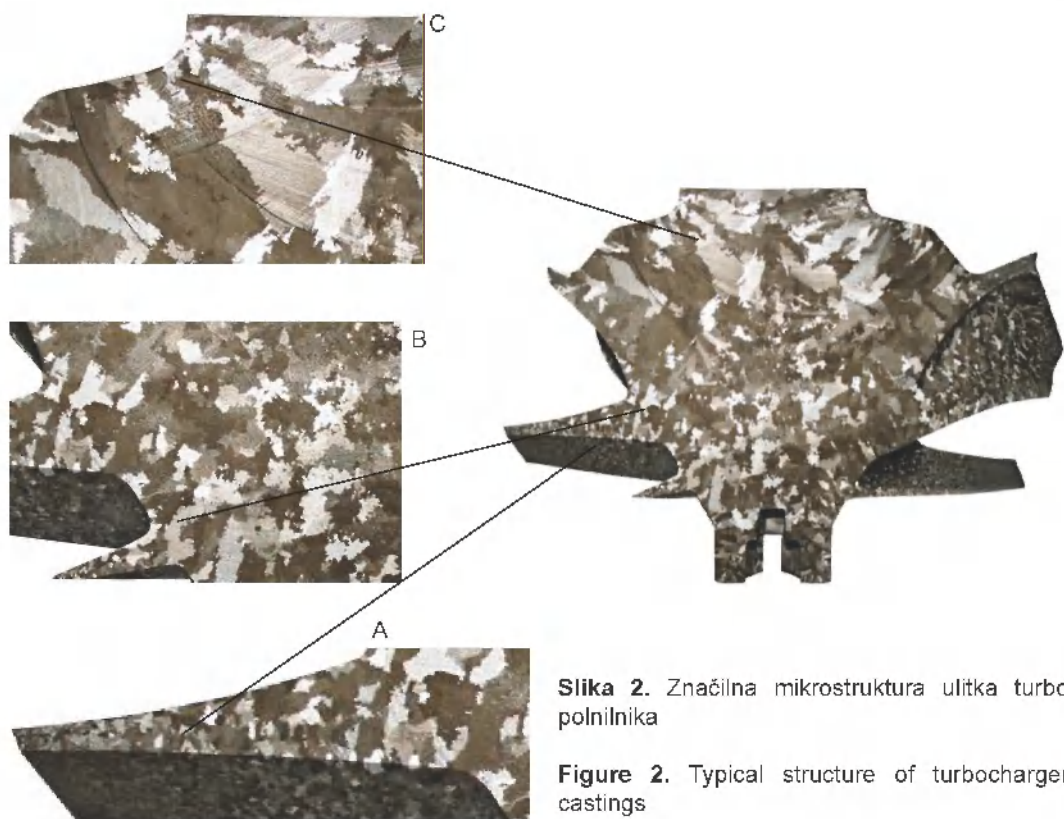
Zahteve posameznih kupcev po drobni mikrostrukturi so zato popolnoma razumljive. Omejitve se navadno zahtevajo za največje velikosti dendritnih in globulitnih zrn, toda možne so še druge zahteve. V ulitkih se ne smejo pojavljati razpoke.

V mikrostrukturi ulitkov iz nikljevih zlitih se navadno v določenem obsegu pojavljajo mikropore. Pojavljajo se tako v notranjosti zrn, kjer so navadno kroglaste oblike, kot na mejah zrn – sliki 3a in b. Pore na mejah kristalnih zrn so kopija mreže izločenih karbidov in predstavljajo začetek pojavljanja interdendritnih razpok. Poroznost se pojavlja predvsem v tankostenskih predelih pri majhnih hitrostih strjevanja. Obseg poroznosti se zmanjšuje s povečanjem temperaturnega gradienta v sistemu forma – napajalnik, s povečanjem hitrosti strjevanja v določenem predelu in z velikostjo zrn. Poroznost je eden od glavnih kazalnikov kakovosti teh ulitkov, ki ga kupci natančno ocenjujejo. Ulitki turbo polnilnikov se ulivajo v vakuumskih indukcijskih pečeh v maske, izdelane po metodi iztaljivih modelov. Kolesa večjih dimenzij se ulivajo posamezno z napajalnikom, ki je blizu pesta

columnar grains at points of slow solidification, without any pronounced directional orientation of heat flow – in particular in wheel hubs – **C**.

Individual customers' requirements for structure dispersity are not exactly unambiguous. Limitations are usually required for the maximum size of dendritic and equiaxed grains but other requirements are also possible. Occurrence of cracks in the castings is not admissible.

In the structure of nickel-alloy castings, microshrinkages usually occur to a considerable degree. They form both inside the grains, where they are usually of spherical shape, and on grain boundaries – Fig. 3a,b. Pores on the boundaries copy the precipitated carbide network and initiate the appearance of interdendritic cracks. Porosity occurs in particular in thin-walled cross sections with a low solidification rate. The porosity extent decreases with increasing temperature gradient in the mould-riser system, with increasing solidification rate in the given cross section, and with the grain size. Porosity is one of the main qualitative parameters for these castings and is usually strictly assessed by the customers.



(slika 4). Manjša kolesa so razporejena v »grozd« in imajo skupen ulivni sistem. Pri velikih kolesih se na proces strjevanja vpliva predvsem s povečanjem temperaturnega gradienta med ulitkom in napajalnikom s toplotno izolacijo napajalnika ali tudi dela ulitka. Uporablja se bazaltna izolacijska tkanina, katere debelina se veča v smeri napajalnika (slika 5).

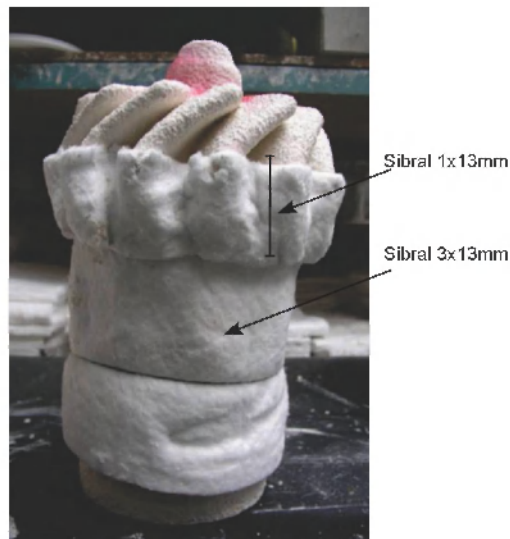


Slika 4. Voščeni grozd koles

Figure 4. Wax tree for wheels

Učinek toplotne izolacije je sorazmerno velik in se kaže v boljšem usmerjanju strjevanja in zmanjševanju obsega krčilnih mikropor. Mikrostruktura v toplotno izoliranih delih je bolj groba. Vpliv livne temperature kovine in temperature maske smo eksperimentalno preverjali. Oba parametra delno vplivata na drobnost mikrostrukture, toda ta vpliv ni bistven.

Turbocharger castings are cast in vacuum induction furnaces into shell moulds produced by the method of lost wax model. Wheels of larger dimensions are cast individually, with the riser located on the hub – see Fig. 4. Smaller wheels are arranged into a “tree” on a common ingate. With large wheels, the solidification process is influenced mainly by increasing the temperature gradient between the casting and the riser, via thermal insulation of the riser or also a part of the casting. Insulation matting of basalt insulation fabric is employed, with the thickness of insulation layer increasing in the direction of the riser – see Fig. 5.



Slika 5. Toplotna izolacija grozda

Figure 5. Thermal insulation of tree

The effect of thermal insulation is relatively strong and it manifests itself by better solidification directionality and limitation of the extent of microshrinkages. In thermally insulated parts the structure becomes rougher. The effect of the pouring temperature of the metal and that

Za udrobnjenje mikrostrukture nikljevih zlitin se navadno uporabljajo kristalizacijske kali. V praksi se pogosto uporablja kobaltov(II) aluminat, CoAl_2O_4 , v čelni plasti mask. Na ta način se lahko doseže občutna udrobnitev mikrostrukture v tankih stenah, ne pa v masivnih pestih turbinskih koles.

2. Vplivanje na mikrostrukturo z delovanjem fizikalnih sil

Ena od možnosti, kako vplivati na obliko in drobnost mikrostrukture, je delovanje fizikalnih sil na talino, ki se strjuje. Taka je npr. metoda Grainex, ki je sestavljena iz cikličnih sprememb hitrosti in smeri vrtenja forme z ulito kovino. Zaradi vztrajnostnih sil se deli strjenih dendritov zdrobijo, kar vodi do tvorbe novih kristalizacijskih kali. Rezultat je močno udrobnjena mikrostruktura z globulitnimi zrnji. Negativni faktor te metode je endogena gobasta morfologija strjevanja, kar je povezano s trendom pojavljanja razpršenih krčilnih mikropor.

Učinek fizikalnega vplivanja na kristalizacijo smo v livarni PBS Velka Bíteš preverili z različnimi vrstami koles. Poskuse smo delali v vakuumski indukcijski peči VIM-IC 5E/II s talilno zmogljivostjo približno 50 kg nikljeve zlitine. Na peč smo instalirali dodatno pripravo, ki omogoča vrtenje ali vibriranje livne klopi med ulivanjem in kristalizacijo (slika 6). Pri vrtenju se je lahko spreminjalo smer in število vrtljajev, medtem ko je bilo vibriranje sestavljeno iz ciklično spreminjajoče se smeri vrtenja in nastavljenih frekvence.

Poskuse smo delali z različnimi vrstami koles, narejenih iz zlitine IN 713LC, podrobneje smo se ukvarjali s kolesom, katerega masa v ulitem stanju je bila 32 kg. Maska in toplotna izolacija sta bili standardni, kot je prikazano na sliki 5. (Trenutno poteka preskušanje te metode z

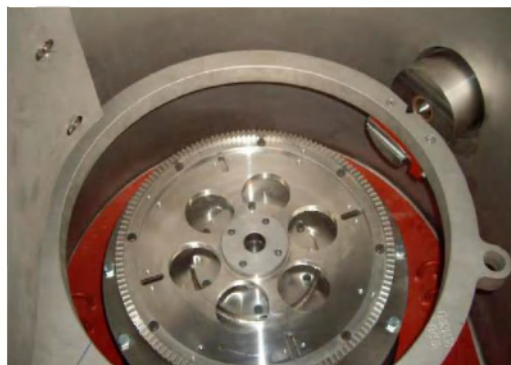
of the initial temperature of the shell were also experimentally verified. Both these parameters have a partial effect on structure dispersity, but this effect is not fundamental.

To refine the structure of nickel alloys, the nucleation effect of substances is commonly used that support the formation of crystallization nuclei. In practise, cobalt (II) aluminat, CoAl_2O_4 , is frequently used in the face layer of shells. In this way, significant refinement of structure can be achieved in thin walls but not in bulky hubs of axial turbine wheels.

2. Influencing the structure by action of physical forces

One of the possibilities how to influence the type and dispersity of the structure is the action of physical forces on the solidifying melt. This is, for example, the case of the Grainex method, which consists in applying cyclic changes in the rate and sense of rotation to the mould with cast metal. Due to inertia forces, parts of solidifying dendrites break off, leading to the formation of new crystallization nuclei. The result is a markedly refined structure with equiaxed grains. A negative factor in this method is the endogenous mushy morphology of solidification and the associated tendency to form scattered microshrinkages.

The effect of physically influencing the crystallization was verified on several wheel types in the PBS Velka Bíteš foundry. The experiments were carried out in a VIM-IC 5E/II vacuum induction furnace with a melting capacity of ca. 50 kg nickel alloy. Installed on the furnace is an additional facility that enables rotating or oscillating the casting bench during pouring and in the course of crystallization. – see Fig. 6. In the case of rotation, the sense of rotation and the



Slika 6. Vakuumska talična peč in priprava za vrtenje ter vibriranje klopi

Figure 6. Vacuum melting furnace and facility for bench rotation and oscillation

drugimi vrstami koles). V tej fazi smo ulili tri kolesa in sicer:

1. z mirnim ulivanjem,
2. z 1-minutnim vrtenjem med litjem in po njem (hitrost vrtenja se je spreminjala 50/100/50 vrt/s v intervalih po 10 s,
3. z vibriranjem med strjevanjem – 3 min s frekvenco 1/s.

Pri ulitkih se je ocenila mikrostruktura in mehanske lastnosti. Makrostruktura v osni smeri je prikazana na sliki 7.

Tanke stene lopatic, ko je bilo kolo 1 ulito z mirnim ulivanjem, imajo mikrostrukturo iz stebričastih zrn z vzdolžno osjo v smeri odvajanja toplote. Mikrostruktura spodnjega dela pesta (pri sorazmerno veliki hitrosti ohlajanja) je bila iz sorazmerno drobnih globulitov, katerih velikost se je občutno večala v smeri proti napajalniku.

Z vrtenjem med ulivanjem (kolo 2) se je doseglo delno udrobnjenje dendritne mikrostrukture v lopaticah. To je verjetno

number of revolutions can be chosen while oscillation consists in cyclically changing the sense of rotation with adjustable frequency.

Tests were performed on several types of wheel made of the IN 713LC alloy, in greater detail on a wheel of 32 kg in pouring mass. The shell and its thermal insulation were of standard execution, as indicated in Fig. 5. (The testing currently continues on other types of wheel.)

At this stage, three wheels have been cast, namely with

1. stationary pouring
2. rotation during and after pouring – for a period of 1 min, the rate of rotation change 50/100/50 rev/s for 10 s
3. oscillation during solidification – oscillation frequency 1/s for 3 min.

The castings were evaluated for structure and mechanical properties. Macrostructure in an axial section can be seen in Fig. 7.



1 – mirno ulivanje / stationary pouring



2 – ob vrtenju / rotation



3 – ob vibriranju / oscillation

Slika 7. Makrostruktura dela kolesa**Figure 7.** Macrostructure in wheel section

In thin blade walls, the wheel 1 produced by stationary pouring exhibits columnar crystals with the longitudinal axis oriented in the direction of heat removal. The lower part of the hub (with a relatively high cooling rate) is formed by comparatively fine equiaxed crystals, the size of which increases considerably towards the riser.

Rotation during pouring (wheel 2) leads to a partial refinement of the dendritic structure in the blades. This is probably the result of a better contact between the metal and the mould due to the acting inertia force, and thus a more intensive heat removal. In the hub region, no detectable effect of rotation on grain dispersity can be established. This kind of pouring contributes to the metal running perfectly into thin walls but has no fundamental effect on structure changes.

Oscillation gives rise to a provable and marked change in the nature and dispersity of the structure. The structure is fine and equiaxed over the whole volume; also in the blades the dendritic nature of grains changes to equiaxed grains. This effect was confirmed in all the subsequent experiments.

3. Effect of rotation and oscillation on mechanical properties

Samples for mechanical testing were taken from the wheels as indicated in Fig. 8. Samples marked 1 and 3 were used in cold testing while samples 4 and 6 were used in tests at a temperature of 600 °C; the results are given in Table 1:

rezultat boljšega stika med kovino in formo zaradi delovanja vztrajnostnih sil in s tem intenzivnejšega odvajanja toplote. V območju pest ni bilo zaznati občutnejšega učinka vrtenja na drobnejšo mikrostrukturo. Ta način ulivanja prispeva, da kovina bolj popolno steče v tanke stene, nima pa bistvenega vpliva na spremembo mikrostrukture.

Vibriranje je povzročilo večje, dokazljive in pomembne spremembe oblike in drobnosti mikrostrukture. Mikrostruktura je bila iz drobnih, globulitnih zrn po vsej prostornini, tudi v lopaticah se je dendritna mikrostruktura spremenila iz dendritne v globulitno. Ta učinek je bil potrjen pri vseh nadaljnjih poskusih.



Slika 8. Mesta vzorčevanja za mehanske preskuse

Figure 8. Sites of sample removal for mechanical tests

Razpredelnica 1. Mehanske lastnosti koles pri različnih strjevalnih razmerah

Table 1. Mechanical properties of wheels, for different solidification conditions

Vzorec / Sample	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	Z (%)	A5 (%)
Preskušanje v hladnem / Cold testing (20 °C)				
1 -1	625	636		5,8
1 -3	682	736		3,1
2 -1	650	706		7,6
2 -3	695	731		1,7
3 -1	731	807		3,5
3 -3	745	803		2,5
Najmanjše vrednosti / min. values	≥ 620	priporočene / recommended > 740		≥ 3,0
Hot testing / Preskušanje v vročem (600 °C)				
1-4	593,5	664,6	9,7	6,7
1-6	653,6	763,9	9,7	-
2-4	637,3	749,8	12,9	7,7
2-6	641,9	750,5	12,9	6,7
3-4	710,2	828,7	9,7	5,0
3-6	693,2	801,8	9,7	4,0
Najmanjše vrednosti / min. values	> 620	priporočene / recommended > 720		> 4,0

3. Učinek vrtenja in vibriranja na mehanske lastnosti

Preizkušanci za mehanske preskuse so bili izrezani iz koles, kot kaže slika 8. Vzorca 1 in 3 sta se uporabila za preskušanje v hladnem, vzorca 4 in 6 pa za preskuse pri 600 °C. Rezultati so v razpredelnici 1.

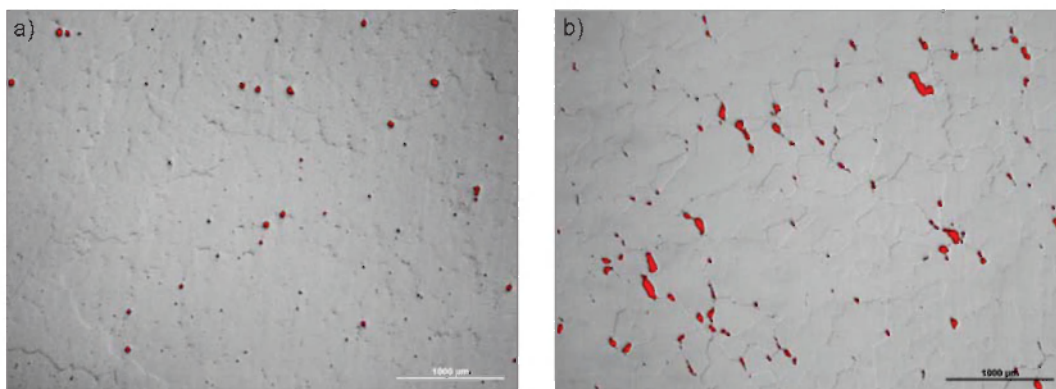
4. Makro- in mikrostrukture ter delež krčilnih mikropor

Makro- in mikrostrukture smo ovrednotili v vzdolžnih prerezi koles ter ugotavljali površinske krčilne mikropore. Na mestih, kjer je bil pojav por merljiv, smo z analizo slike ovrednotili delež površine s porami. Lahko rečemo, da je bila v vseh preiskanih primerih pestov koles poroznost le lokalna. V lopaticah ali na prehodu lopatica pesto ni bilo zaznati merljivega deleža mikropor. Največja velikost mikropor je bila velikostnega reda 0,1 – 0,2 stotinke. Pore so se pojavljale tako v zrnih kot na mejah zrn. Največji delež porozne površine je bil pri mirnem litju kolesa 0,12 % in 0,76 %

4. Structure and content of microshrinkages

In axial sections of the wheels the macrostructure and microstructure were evaluated and the surface area of microshrinkages was determined. At points where the occurrence of pores was measurable, the content of pores was evaluated via image analysis as the proportion of pore area in the evaluated image. It can be said that in all the cases examined, porosity occurs only locally in parts of the wheel hubs. No measurable pore content can be found in the blades or in the hub/blade transition. The pore size is in the order of hundredths, 0.1 – 0.2 as a maximum. Pores appear both within the grains and on grain boundaries. The maximum porosity values are 0.12 % for the wheel with stationary pouring, and 0.76 % of the evaluated area for the wheel with oscillation; as expected, the effect of oscillation is negative from the porosity point of view – see Fig. 9.

The tests performed did not confirm any significant difference in the distribution



Slika 9. Poroznost na mestih največjega pojavljanja por: kolo pri a) mirnem ulivanju, b) pri ulivanju z vibriranjem

Figure 9. Porosity at points of maximum occurrence: a) wheel with stationary pouring, b) wheel with oscillation

pri vibriranju. Po pričakovanju je bil učinek vibriranja z vidika poroznosti negativen – slika 9.

Poskusi niso pokazali občutne razlike v porazdelitvi karbidnih mrež na kristalnih mejah. Uporabili smo kemično mikroanalizo zaugotavljanjekemičnesestaveposameznih mikrostrukturnih komponent. Ugotovljeno je bilo, da karbidne mreže oblikujejo izključno niobijevi in titanov karbidih.

5. Sklepi

Poskusi so potrdili izrazit učinek vztrajnostnih sil pri spreminjanju hitrosti in smeri vrtenja form na morfologijo in udrobnjenje mikrostrukture med ulivanjem in kristalizacijo toplotno odpornih nikljevih zlitin, v našem primeru vrste IN 713LC. Vibriranje forme, ki je bilo sestavljeno iz periodično spreminjajoče se smeri vrtenja livne klopi, se je pokazalo kot zelo učinkovito. Standardno mirno ulivanje, ki je značilno za območja velikih ohlajevalnih hitrosti, je povzročalo pojavljanje dendritne mikrostrukture, medtem ko se je groba globulitna mikrostruktura pojavljala v masivnih delih pest koles. Z vibriranjem se je mikrostruktura po vsej prostornini spremenila v globulitno z občutno manjšimi in zelo pravilnimi kristalnimi zrnji. Učinek delovanja vztrajnostnih sil, povezan s spreminjanjem vrtenja forme, je bil občutno bolj izrazit kot učinek spremembe temperature kristalizacije zaradi sprememb temperatur kovine ali maske ali toplotne izolacije.

Pri statičnih mehanskih preskusih se je pokazalo, da vibriranje poveča trdnostne vrednosti R_m in $R_{p0.2}$ tako pri sobni temperaturi kot pri 600 °C. Duktilnost se je spreminjala zelo malo, z rahlim trendom zmanjševanja. Pokazalo se je, da ulivanje ob vrtenju forme nima občutnega vpliva na

of carbide network on grain boundaries. Chemical microanalysis was used to establish the chemical composition of individual structure components; it was established that the carbide network was formed almost exclusively by niobium and titanium carbides.

5. Conclusion

Experimental tests have confirmed a pronounced effect of inertia forces appearing in the course of changing the rate and sense of rotation of moulds during pouring and crystallization on the structure morphology and dispersity of heat-resistant nickel alloys, in our case of the IN 713LC type. Mould oscillation, consisting in changing periodically the sense of rotation of the casting bench, proved to be highly effective. The usual static mode of pouring, typically in regions of high cooling rates, leads to the appearance of dendritic structure while rough equiaxed structure appears in bulky hub regions. Due to oscillation, the structure in the whole volume of the casting changes to equiaxed structure with a substantially smaller and very regular grain size. The effect of the action of inertia forces appearing in connection with the change in mould rotation is considerably more pronounced than the effect of the change in the crystallization temperature due to changes in the metal and shell temperatures or in thermal insulation.

In static tests, oscillation was clearly responsible for increased R_m and $R_{p0.2}$ strength values both at normal temperature and at a test temperature of 600 °C. The ductility values change very slightly, with some tendency to decrease. It was found that pouring under rotation has in itself a certain but not significant effect on grain

udrobnjenje zrn v območju lopatic, drugače je bilo v območju pesta. Poleg tega se mehanske lastnosti niso spreminjale v primerjavi z mirnim ulivanjem.

Preiskava vzorcev, ulitih ob vibriranju, je pokazala, da so bili posamezni deli pesta bolj porozni v primerjavi z mirnim litjem. Ta sklep potrebuje še nadaljnje preverjanje. Z vibriranjem se dobi enakomerno drobnozrnato mikrostrukturo, ki v celoti zadovoljuje navadne pogoje za preverjanje kakovosti. Primerno bi bilo optimirati način vibriranja z nadaljnjimi preskusi.

Prispevek je bil napisan na osnovi rezultatov projekta MPO CR-TIP FR-TI 2/104: »raziskave in razvoj tehnologij za precizijsko lije novih vrst ulitkov lopatic in turbinskih koles plinskih turbin«

refinement in the region of blades but not in the hub region. Also, the mechanical properties practically do not change in comparison with static casting.

On examination, the oscillated samples revealed in local parts of the hub a higher porosity content in comparison with static pouring. This conclusion needs checking in further tests.

The application of oscillation yields a fine-grain structure with a dispersity that fully satisfies the usual conditions of quality inspection. It would be appropriate to optimize the oscillation mode via further testing.

The paper has been written in connection with solving the MPO CR-TIP FR-TI 2/104 project "Research into and development of technologies for precision casting of novel types of castings of blades and turbine wheels of gas turbines."

6. Viri / References

- [1] Wei, C.N., Bor, H.Y.: *A study of In-713LC superalloy grain refinement effects on microstructure and tensile properties*. Material chemistry and physics. 2003, č. 80
- [2] Howmet Turbine Components Corporation. Grainex. USA TradeMark, Serial Number US73318107. Sept. 28, 1982
- [3] Chang, E, Chou, J.C.: *Microporosity in an investment-cast turbine blade of IN-713LC superalloy*. AFS Transactions. 1995, s. 87-168.

Zdenka Zovko Brodarac¹, Tamara Holjevac Grgurić¹, Maja Vončina², Davor Stanić³

¹ Univerza Zagreb, Metalurška fakulteta, Hrvatska / University of Zagreb, Faculty of Metallurgy, Croatia

² Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Slovenija / University of Ljubljana, Faculty for Natural Sciences and Engineering, Slovenia

³ CIMOS, P.P.C. Buzet d.o.o. Buzet, Hrvatska / Croatia

Termodinamična in mikrostrukturalna karakterizacija zlitine AlSi8Cu3

Thermodynamic and Microstructural Characterization of AlSi8Cu3 Alloy

Izvilleček

Načrtovanje materialov z izbiro kemične sestave, s termodinamičnim modeliranjem, z obdelavo taline s cepljenjem in modificiranjem, z žarjenjem in pravilno razvito tehnologijo litja lahko izboljšajo lastnosti ulitkov. Zaradi zapletene geometrije ulitkov je včasih potrebna toplotna obdelava kot žarjenje po ulivanju. Strogi režim s sorazmerno visoko temperaturo in dolgim časom zadrževanja pri temperaturi kaže na mikrostrukturne spremembe v materialu in tako neposredno vpliva na njegove mehanske lastnosti. Pomemben vidik za nadaljnje izboljšave in uporabo predstavlja boljše razumevanje spreminjanja mikrostrukturnih sestavin s toplotno obdelavo.

Podvtektične aluminij-silicijeve livne zlitine, kot je zlitina AlSi8Cu3 (EN AC 46200), se široko trgovsko uporabljajo v avtomobilski industriji za varnostne sestavne dele. Termodinamično modeliranje omogoča vpogled v potek strjevanja zlitine AlSi8Cu3. Simultana termična analiza odkriva temperature faznih premen z napovedovanjem reakcij na osnovi termodinamičnega modeliranja. Število in vrednosti dobljenih faznih premen kaže na homogenizacijski učinek toplotne obdelave, kot je potrdila mikrostrukturalna analiza. S preiskavami mikrostrukturnih značilnosti se ugotavljajo porazdelitev, morfologija in delež delcev intermetalnih spojin, ki ustrezajo stanju toplotne obdelave. Cilj tega dela je bil ugotoviti potek strjevanja s termodinamičnim modeliranjem ter učinek toplotne obdelave na mikrostrukturo in mehanske značilnosti ločeno ulitih preizkušancev zlitine AlSi8Cu3. Metalograska analiza je ugotovila naslednje mikrostrukturne sestavine: primarne dendrite α_{Al} , evtektične ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$) in intermetalne faze na osnovi stehiometrije bakra, $Al_{1-x}Cu_x$, $Al_xMg_ySi_zCu_w$. Žarjena mikrostruktura se je spremenila v bolj enakomerno porazdelitev primarnih aluminijevih dendritov, ki so bili obogateni z bakrom, zato je fragmentacija v zadnjih fazah strjevanja slonela na bakru.

Ključne besede: Al-Si zlitine, termodinamično modeliranje, simultana termična analiza, mikrostruktura, toplotna obdelava

Abstract

The design of materials through the selection of the chemical composition, thermodynamic modelling, melt treatment by inoculation and modification, annealing and correctly developed casting technology could improve castings properties. Due to castings complex geometry, it is sometimes necessary to provide heat treatment such as annealing after casting. Rigorous regime with a relatively high temperature and long holding time indicates the microstructural changes in the material, thus indirectly affects the mechanical properties of the material. An important aspect for further improvement and application is to develop

a better understanding of the microstructural constituent changes due to provided heat treatment.

Hypoeutectic aluminium - silicon casting alloy such as AlSi8Cu3 (EN AC 46200) has found a wide commercial applications in automotive industry for safety components. Thermodynamical modelling enables an insight in solidification sequence of the AlSi8Cu3 alloy. Simultaneous thermal analysis reveals corresponding temperatures of phase transformations with predicted reaction on the base of thermodynamical modelling. The number and values of obtained phase transformations indicate homogenization impact of heat treatment, as confirmed by microstructural analysis. Investigation of microstructural features defines distribution, morphology and ratio of particular intermetallic compounds corresponded to heat treatment state. The aim of this work was to determine solidification sequence using thermodynamic modelling and establishment of heat treatment effect on the microstructure and mechanical features of separately cast test AlSi8Cu3 alloy samples. Metallographic analysis established following microstructural constituents: α_{Al} primary dendrites, eutectic ($\alpha Al + \beta Si$) and intermetallic phases based on copper stoichiometry Al-Al_xCu-Si, Al_xMg_ySi_zCu_w. Annealed microstructure has been changed as more uniformly distribution of primary aluminum dendrites, its copper enrichment, and therefore fragmentation of the last solidifying phases based on copper.

Keywords: Al-Si alloys, thermodynamic modeling, simultaneous thermal analysis, microstructure, heat treatment

1. Uvod

Podvtektične aluminij-silicijeve livne zlitine, kot je zlitina AlSi8Cu3 (EN AC 46200), se široko trgovsko uporabljajo v avtomobilski industriji za varnostne sestavne dele. Zato so stalne zahteve po izboljšanju lastnosti zlitin z izbiro kemične sestave, obdelavo taline, toplotno obdelavo in računanjem pravilne tehnologije litja.

Potek strjevanja podvtektične zlitine Al-Si se začne z razporeditvijo primarnih aluminijevih dendritov α_{Al} , ki postanejo negibljivi zaradi vpliva koherence med njimi, ko nastane toga dendritna mreža [1,2]. Zrna evtektika ($\alpha Al + \beta Si$) se izločajo na primarnih zrnih α_{Al} ali neodvisno na že prisotnih fazah, bogatih z železom ali na nečistotah [3]. Osnovna reakcija je binarna evtektična aluminij-silicijeva reakcija, ki je bila prva ali so ji sledile količinsko omejene ternarne ali kvaternarne evtektične reakcije. Vrsta parametrov vpliva na rast in

1. Introduction

Hypoeutectic aluminium-silicon casting alloys such as AlSi8Cu3 (EN AC 46200) have found wide application in the automotive industry for safety components. Consequently, there is a constant imperative to improve the properties of alloys by selection of the chemical composition, melt treatment, heat treatment and a calculation of correct casting technology.

Solidification sequence of hypoeutectic Al-Si alloy begins by allocation of primary aluminum dendrites α_{Al} which become immobile due to their impact in dendrite coherency point and therefore formation of rigid dendrite network, [1,2]. Precipitation of eutectic grains ($\alpha Al + \beta Si$) occurred on primary α_{Al} grains, or independently on already present iron-rich phases or impurities [3]. The basic reaction is a binary eutectic aluminum-silicon reaction which has been preceded and/or followed

Razpredelnica 1. Potek strjevanja zlitine AlSi8Cu3 [1]**Table 1.** Solidification sequence of AlSi8Cu3 alloy [1]

štev. reakcije / reaction No.	reakcija / reaction	predpostavljena temperatura / presumed temperature, °C
1	Developing of dendrite network / developing of dendrite network & - natajanje dendritne mreže in $\text{Al}_{15}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}_2$	568
2	$\text{L} \rightarrow \text{Al} + \text{Si} + \text{Al}_5\text{FeSi}$	575
3	$\text{L} \rightarrow \text{Al} + \text{Si} + \text{Mg}_2\text{Si} + \text{Al}_8\text{Mg}_3\text{FeSi}_6$	554
4	$\text{L} + \text{Mg}_2\text{Si} + \text{Si} \rightarrow \text{Al} + \text{Al}_5\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Cu}_2$	529
5	$\text{L} \rightarrow \text{Al} + \text{Al}_2\text{Cu} + \text{Al}_5\text{FeSi} + \text{Si}$	525
6	$\text{L} \rightarrow \text{Al} + \text{Si} + \text{Al}_5\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Cu}_2$	507

morfologijo aluminij-silicijevega evtektika [3]. Najpomembnejši so kemična sestava skupaj z vplivnimi elementi, ki pridejo v talino pri njeni obdelavi [4], in hitrost ohlajevanja [5] ter naknadna toplotna obdelava [6]. Temperature, pri katerih potekajo osnovne reakcije, so prikazane v razpredelnici 1.

Aluminijeve livne zlitine se legirajo s številnimi elementi na osnovi silicija, magnezija in bakra ter železa kot pogoste nečistoče. Učinek raztopljenih elementov na razvoj aluminij-silicijevega evtektika ni v celoti pojasnjen. Naraščajoči delež silicija poveča trdoto, natezno trdnost in napetost tečenja, sočasno pa se zmanjša duktilnost [4,7]. Magnezij in baker se dodajata aluminij-silicijevi zlitini za utrjevanje aluminijeve faze. Dodatki majhnih deležev magnezija, 0,3 do 0,7 %, občutno izboljšajo mehanske lastnosti, kot sta napetost tečenja in natezna trdnost. To povečanje trdnosti se pripisuje intermetalni spojini Mg_2Si , ki se v glavnem izloča v osnovi med staranjem [4,5]. Mehanske lastnosti, natezna trdnost in duktilnost so odvisne od tega, ali je baker prisoten v trdni raztopini kot enakomerno porazdeljeni okrogli delci ali kot groba mreža na kristalnih mejah. Če je baker raztopljen v osnovi, se bo trdnost povečala. Na drugi strani, če se baker izloča v obliki zveznih mrež na kristalnih mejah, se lahko pričakuje

by a relatively small amount of ternary and quaternary eutectic reactions. There is a number of parameters that affect the growth and morphology of aluminium-silicon eutectic [3]. The most important are chemical composition along with influenced elements due to melt treatment [4] and the cooling rate [5], and subsequently heat treatment [6]. Temperatures at which the basic reactions take place are as shown in Table 1.

Aluminum cast alloys are alloyed with the wide range of elements on the base of silicon, magnesium and copper, and with iron as a common impurity. The effect of dissolved elements on development of aluminum - silicon eutectic is not completely explained. Increasing the silicon content, implies the increase of hardness, tensile strength and yield strength, but its higher concentration indicate a reduction in ductility [4,7]. Magnesium and copper are added to aluminum - silicon alloy for hardening of aluminum phase. Addition of small amounts of magnesium, 0,3 to 0,7%, implies significant increase of mechanical properties such as yield strength and tensile strength. This improvement in strength will be attributed to the intermetallic compound Mg_2Si which generally precipitates in the matrix due to aging [4-5]. Mechanical

zmanjšanje duktilnosti [8] in povečanje mikroporoznosti [6].

Pogosto se kot del splošne obdelave ulitka (tj. obdelava za odstranitev neustrezne mikrostrukture v sredini) in/ali zaradi izboljšanja lastnosti uporabi toplotna obdelava. Toplotna obdelava lahko vpliva na spremembo mikrostrukturnih značilnosti in tako neposredno na spremembo živnih lastnosti. Cilj tega dela je bil ugotoviti potek strjevanja s termodinamičnim modeliranjem ter učinek toplotne obdelave na mikrostrukturo in mehanske značilnosti ločeno ulitih preizkušancev zlitine AlSi8Cu3.

2. Eksperimentalna metodologija

Metodologija preiskav obsega termodinamično modeliranje, preiskavo mikrostrukturnih in mehanskih značilnosti ločeno ulitih vzorcev livne zlitine AlSi8Cu3 v ulitem stanju in po toplotni obdelavi.

Predhodno je bila ugotovljena kemična sestava vzorcev zlitine AlSi8Cu3 z optičnim spektrometrom ARL-3460. Kemična sestava taline predstavlja začetni pogoj za računanje ravnotežnega faznega diagrama s programsko opremo ThermoCalc (TCW 4). Modeliranje ravnotežnega faznega diagrama na osnovi ugotovljene kemične sestave je omogočilo ugotoviti možne interakcije in potek strjevanja zlitine. Toplotna obdelava je potekala na naslednji način: dvournno segrevanje s sobne temperature do temperature žarjenja 480 °C, zadrževanje pri temperaturi žarjenja 8 ur, nato ohlajanje na zraku, kot je prikazano na sliki 1.

Napravili smo simultano termično analizo obeh vzorcev zlitine AlSi8Cu3, tj. v ulitem stanju in po toplotni obdelavi. Z diferenčno termično analizo (DTA) na aparaturi Netzsch STA 449C smo dobili

properties, tensile strength and ductility depend on whether the copper is present in solid solution as evenly distributed spherical particles or as a coarse network at the grain boundaries. If copper is dissolved in matrix, strength will increase. On the other hand, if the copper precipitates in the form of a continuous network at the grain boundaries, the decrease of ductility [8] and increase of microporosity could be expected [6].

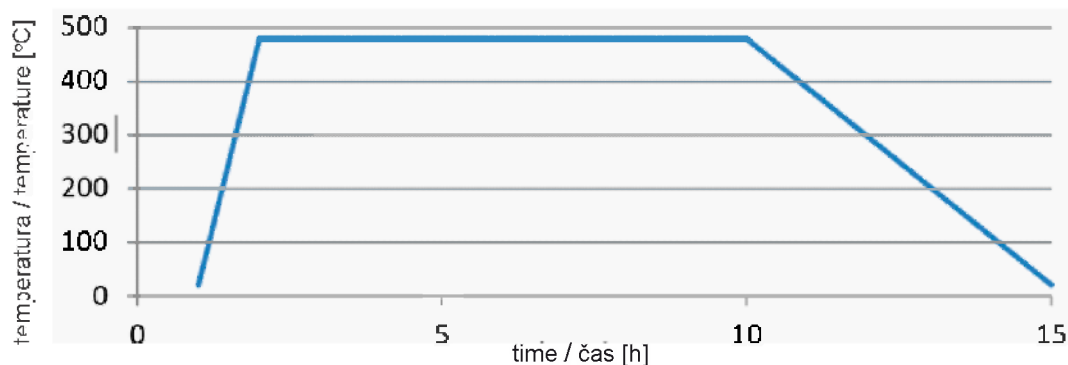
Often, as a part of the common procedure of final casting treatment (i.e. decorement treatment) and/or with the aim of properties improving, heat treatment has been applied. Heat treatment could affect the microstructural features change and thus indirectly the change in casting properties.

The aim of this work was to determine solidification sequence using thermodynamic modelling and establishment of heat treatment effect on the microstructure and mechanical features separately cast test samples AlSi8Cu3 alloys.

2. Experimental Methodology

Investigation methodology included thermodynamic modelling, examination of microstructural and mechanical features of separately cast samples of AlSi8Cu3 cast alloy in as-cast and heat-treated condition.

Preliminary, chemical composition of AlSi8Cu3 alloy samples was established by optical spectrometer ARL-3460. Chemical composition of melt represents an initial precondition for calculation of equilibrium phase diagram by ThermoCalc (TCW 4) programme. Modelling of equilibrium phase diagram for examined chemical composition has been performed, which enables possible interaction and alloy solidification sequence establishment.



Slika 1. Uporabljen režim toplotne obdelave

Figure 1. Applied heat treatment regime

segrevalne in ohlajevalne krivulje pri hitrosti 0,17 K/s.

Natezno trdnost, napetost tečenja in raztezek [9] ter mikrotrdoto smo ugotavljali za vzorca v ulitem stanju in po toplotni obdelavi.

Vzorci za mikrostrukturno preiskavo smo pripravili po standardni metodi brušenja, poliranja in jedkanja 5 s v 0,5 %ni raztopini HF. Za mikrostrukturno analizo smo uporabili svetlobni mikroskop Olympus GX 51 in vrstični elektronski mikroskop TescanVega (SEM), opremljen z energijskodisperzijskim spektrometrom Bruker (EDS).

Z optično metalografsko analizo smo primerjali našo morfologijo intermetalnih spojin z morfologijo v literaturnih virih, kar je omogočilo vizualno razpoznavanje, medtem ko je elektronska mikroskopijam omogočila podroben vpogled v kemično sestavo faz kot tudi porazdelitev posameznih elementov po preiskanih površinah. Z optično mikroskopijo in računalniško opremo za analizo slik AnalysisResearchLab ® smo ugotavljali mikrostrukturne značilnosti.

Applied heat treatment followed the next regime: heating, starting from room temperature to the annealing temperature of 480° C for 2 hours, and the retention of the final annealing temperature during 8h followed by air cooling, as shown in Figure 1.

Simultaneous thermal analysis was performed on both AlSi8Cu3 alloy samples, i.e. in as-cast and heat-treated state. Applied method of differential thermal analysis (DTA) performed on Netzsch STA 449C Jupiter, resulted in heating and cooling curves, obtained by 0,17 K/s.

The tensile strength, yield strength and elongation [9] and microhardness examination was performed on as-cast and heat-treated samples.

Samples for microstructural studies were prepared by the standard method of grinding, polishing and etching in dilute HF 0.5% over 5s. Microstructural investigations were performed on an optical microscope Olympus GX 51 and the scanning electron microscope TescanVega (SEM) equipped with an energy dispersive spectrometer Bruker (EDS).

3. Rezultati in razprava

Kemično sestavo preiskovane zlitine AlSi8Cu3 in primerjalni pregled zahtevanih vrednosti po evropskem standardu prikazuje razpredelnica 2.

Kemična sestava preiskovanih vzorcev je bila v skladu z zahtevami. Termodinamični račun stabilnosti posameznih faz, povezan z začetno temperaturo litja 726,85 °C pri tlaku 101,325 kPa in za dobljeno kemično sestavo, je dal ravnotežni fazni diagram, ki je prikazan na sliki 2.

Črtna črta označuje delež silicija 9,34 mas. % v preiskani zlitini. Ravnotežni fazni diagram prikazuje naslednji potek strjevanja zlitine: nastanek dendritov, visokotemperaturne železove faze, osnovnega evtektika in končno izločanje sekundarnih evtektičnih faz. Nadaljnje modeliranje je razkrilo natančne temperature faznih premen in ustrezne Gibbsove proste energije ter entalpije, ki so prikazane v razpredelnici 3.

Temperatura konca strjevanja (TS) je višja kot temperatura izločanja sekundarnih evtektikov, kar kaže, da so ti nastali v trdnem stanju kot tri binarne evtektične faze, ki so sestavljene iz trdne raztopine α_{Al} , prenasičene z bakrom in magnezijem.

S simultano termično analizo (DTA) smo dobili segregovalne in ohlajevalne krivulje

Optical metallographic analyzes compared the morphology of intermetallic compounds with those in the literature which enable visual recognition, while electron microscopy allowed detailed insight into the chemical composition of the phases, as well as the distribution of the individual elements of the study area. An analysis of microstructural features was performed on an optical microscope using software for image analysis AnalysisResearchLab®.

3. Results and Discussion

Chemical composition of investigated AlSi8Cu3 alloy, as well as comparative review of required values demanded by European norm is shown in Table 2.

The chemical composition of the investigated samples is in accordance with the requirements.

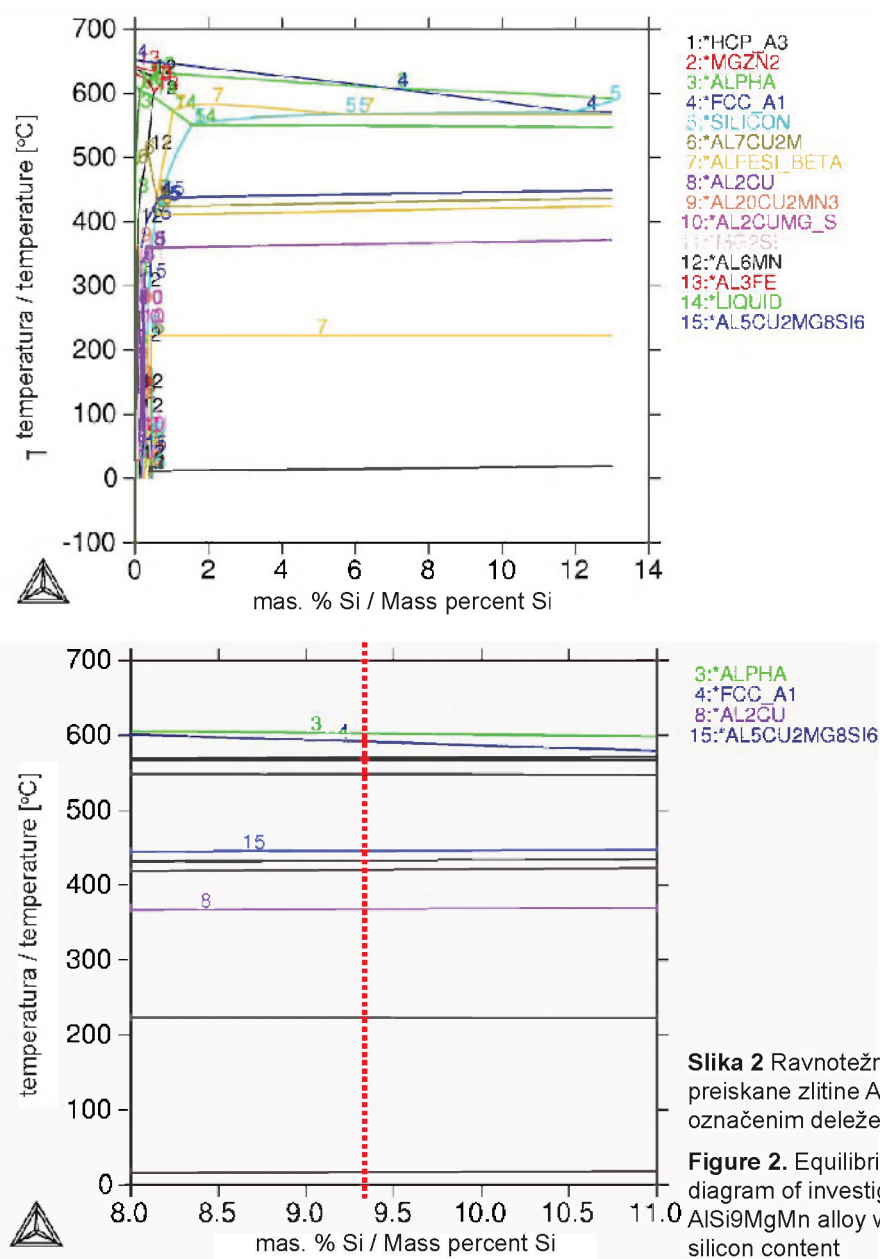
Thermodynamic calculation of stability of particular phases accompanied by initial condition of pouring temperature of 726,85°C, pressure 101,325 kPa and obtained chemical composition resulted in equilibrium phase diagram shown in Figure 2.

Dashed line indicates silicon content of 9,34 % in investigated alloy. Equilibrium phase diagram indicates solidification

Razpredelnica 2. Kemična sestava preiskovanih zlitin in primerjava s kemično sestavo, zahtevano po EN 1706:1998 [10]

Table 2. Chemical composition of the investigated alloy and comparative chemical composition required by EN 1706:1998 [10]

kemični element / chemical element vzorec/ sample	mas. %/ Wt. %	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Pb	razlika / balance
Sample EN 1706:1998 (AC 46200)	povprečje / average	9,34	0,61	2,30	0,30	0,39	0,76	0,14	0,04	0,003	0,06
	min.	7,5		2,00	0,15	0,05					
	max.	9,5	0,80	3,50	0,65	0,55	1,20	0,25	0,35	0,25	0,05



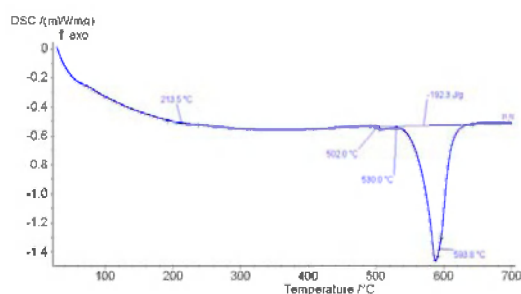
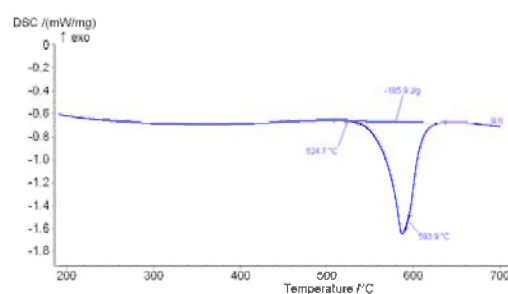
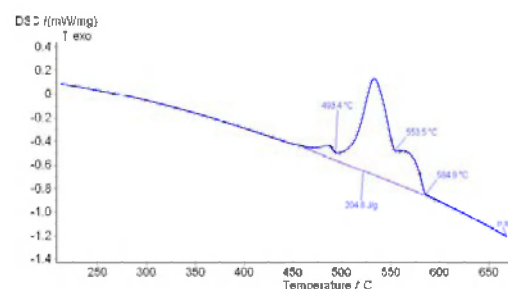
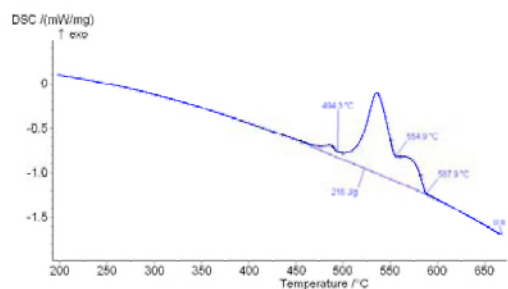
za obe stanji pri 0,17 K/s, kar je primerjalno prikazano na sliki 3.

Diagrami na sliki 3 prikazujejo natančne vrednosti pomembnih temperatur faznih

sequence of an alloy as follows: dendrite development, high-temperature iron phase, main eutectic development and finally secondary eutectic phases precipitation.

Razpredelnica 3. Potek strjevanja zlitine AlSi8Cu3 ter ustrezni termodinamični podatki**Table 3.** Solidification sequence of AlSi8Cu3 alloy and corresponding thermodynamic data

Štev. reakcije / reaction no.	predpostavljena reakcija / presumed reaction	temperatura / temperature (°C)	ΔG (J/mol) $\times 10^4$	ΔH (J/mol) $\times 10^4$
1	Nastajanje dendritne mreže / dendrite network development	596,85	-3,47381	2,90462
2	$L \rightarrow L1 + \alpha Al$	576,85	-3,32805	2,82990
3	$L2 \rightarrow L3 + Al5FeSi$ (AlFeSi_BETA)	570,85	-3,28496	2,59755
4	$L1 \rightarrow L2 + (\alpha Al + \beta Si)$	566,85	-3,25885	1,96360
	Ts (konec strjevanja) / Ts (solidification end)	548,85	-3,15485	1,42767
5	$\alpha Al \rightarrow \alpha' Al + Al5Cu2Mg8Si6$	446,85	-2,60926	1,08381
6	$\alpha' Al \rightarrow \alpha'' Al + Al7Cu2$	434,85	-2,54803	1,04486
7	$\alpha'' Al \rightarrow \alpha''' Al + Al2Cu$	368,85	-2,22343	0,83409

a) Segrevalna krivulja, lito stanje (F)
Heating curve, as cast (F) stateb) Segrevalna krivulja, toplotno obdelano stanje (T)
Heating curve, heat-treated (T) statec) Ohlajevalna krivulja, lito stanje (F)
Cooling curve, as cast (F) stated) Ohlajevalna krivulja, toplotno obdelano stanje (T)
Cooling curve, heat-treated (T) state**Slika 3.** Simultana termična analiza vzorcev zlitine AlSi8Cu3 po metodi DTA**Figure 3.** Simultaneous thermal analysis of the AlSi8Cu3 alloy samples by DTA method

premen. Začetek strjevanja (temperatura likvidus) pri 584,9 °C za stanje F in 587,9 °C za stanje T; izračunana eutektična temperatura 553,5 °C za stanje F in 554,9

Further modelling reveals exact temperatures of phase transformations and corresponding Gibbs free energy and enthalpy as given in Table 3.

°C za stanje T, nastanek sekundarnih evtektičnih faz pri 493,4 °C za stanje F in 494,3 °C za stanje T na ohlajevalni krivulji.

Te konice nakazujejo izračunan evtektični interval nastanka kompleksnih večkomponentnih faz.

Na segrevalni krivulji je prikazan začetek taljenja večkomponentnih faz pri 502,0 °C, in poleg tega še pri 530,0 °C za stanje F ter majhen delež faznih premen pri 213,5 °C, kar vse kaže na večje število različnih nizkotemperaturnih sekundarnih evtektičnih faz v litem stanju. Vendar je pri stanju T enotna temperatura 524,7 °C, kar kaže na homogeniziranje mikrostrukture zaradi toplotne obdelave s poudarkom na sekundarnih evtektičnih fazah.

Tudi DTA kaže nastanek dendritov pri 593,8 °C za stanje F in 593,9 °C za stanje T, kar je zelo blizu teoretičnim vrednostim.

Če primerjamo s teoretičnimi vrednostmi, dobljenimi z TCW, pride pri dejanskih vzorcih do nekaterih razlik, kot kaže razpredelnica 4.

Temperature pri dejanskih vzorcih ustrezajo teoretičnim za nastanek dendritov, a so rahlo višje za α_{Al} ter nižje za nastanek glavnega evtektika ($\alpha Al + \beta Si$). Na diagramih DTA ni bilo nakazano nastajanje železove faze. Glavna razlika je v številu premen nizkotemperaturnih faz v litem stanju, če se

Temperature of solidification end (TS) is higher than temperature of secondary eutectics precipitation which indicate its development in solid state as a three binary eutectic phases consists from αAl solid solution supersaturated with copper and magnesium.

Simultaneous thermal analysis (DTA) resulted in heating and cooling curves for both states, obtained by 0,17 K/s, comparatively shown in Figure 3.

Diagrams in the figure 3 resulted in exact values of significant temperatures of the phase transformations. Solidification beginning (liquidus temperature) at 584,9 °C for F state and 587,9 °C for T state, eutectic evaluation temperature at 553,5 °C for F state and 554,9 °C for T state, and secondary eutectic phases development at 493,4 °C for F state and 494,3 °C for T state were indicated on the cooling curve. Those peaks indicate eutectic interval evaluation of complex multicomponent phases development.

The heating curve indicates beginning of multicomponent phases melting at 502,0 °C and furthermore at 530,0 °C for F state, and a small amount of phase transformation at 213,5 °C, all of which indicate a number of various low-temperature secondary eutectic phases in as cast state. Nevertheless,

Razpredelnica 4. Primerjava poteka strjevanja zlitine AlSi8Cu3 po TCW in DTA

Table 4. Compared solidification sequence of AlSi8Cu3 alloy obtained by TCW and DTA

Štev. reakcije / reaction no.	predpostavljena reakcija / presumed reaction	temperatura / temperature °C TCW	Temperatura, °C stanje F	Temperatura, °C stanje T
1	Nastajanje dendritne mreže / dendrite network development	596,85	593,8	593,9
2	$L \rightarrow L1 + \alpha Al$	576,85	584,9	587,9
3	$L2 \rightarrow L3 + Al5FeSi$ (AlFeSi_BETA)	570,85		
4	$L1 \rightarrow L2 + (\alpha Al + \beta Si)$	566,85	553,5	554,9
	Ts (konec strjevanja) / Ts (solidification end)	548,85		
5	$\alpha Al \rightarrow \alpha' Al + Al5Cu2Mg8Si6$	446,85	530,0	524,7
6	$\alpha' Al \rightarrow \alpha'' Al + Al7Cu2$	434,85	502,0	
7	$\alpha'' Al \rightarrow \alpha''' Al + Al2Cu$	368,85	213,5	

Razpredelnica 5. Primerjava vrednosti mehanskih lastnosti zlitine AlSi8Cu3 v ulitem in toplotno obdelanem stanju in vrednosti, ki jih predpisujejo standardi [10]

Table 5. Comparative values of mechanical properties AlSi8Cu3 alloy cast and annealed state, and the values prescribed norms [10]

	RP02 / MPa	Rm / MPa	A5 / %	HV
preiskovana zlitina / ulito stanje (F) / investigated alloy / as cast state (F)	171	229	1,9	97,3
preiskovana zlitina / toplotno obdelano stanje (T) / Investigated alloy / heat treated state (T)	169	253	2,5	110,5
zahtevane vrednosti EN 1706 / required values EN 1706	90	150	1,0	60

primerja z enotno temperaturo pri toplotno obdelanem stanju. Te temperature so precej višje od teoretično napovedanih.

Po EN 1706:1998 [10] pričakovane mehanske lastnosti so bile primerjane s standardnimi vrednostmi posebej ulitih preizkušancev za mehansko preskušanje [12], ki so bili in niso bili toplotno obdelani, kot kaže razpredelnica 5.

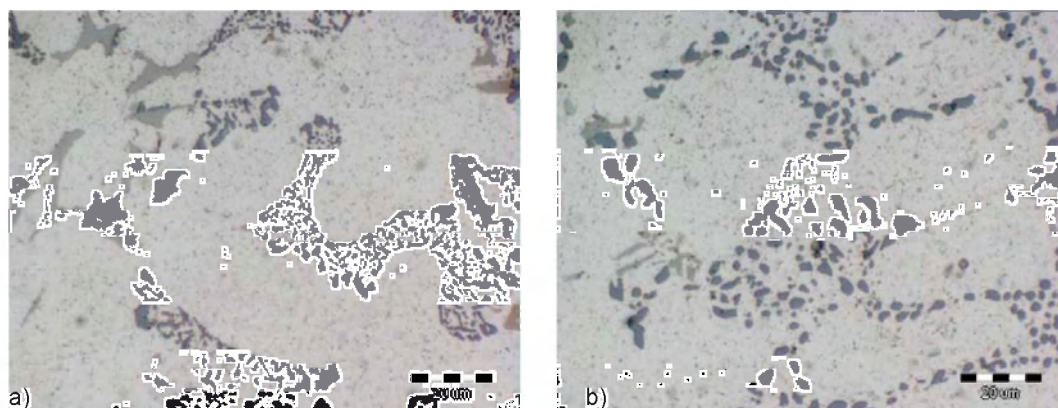
Primerjava mehanskih lastnosti vzorcev v litem in toplotno obdelanem stanju kaže na povečanje natezne trdnosti in raztezka, posebno pa mikrotrdote vzorcev, ki so bili toplotno obdelani, njihove vrednosti pa so občutno večje od zahtevanih.

T state reveals unique temperature at 524,7 °C, which indicated microstructure homogenization due to heat treatment with impact on secondary eutectic phases.

Also, DTA indicates dendrite development at 593,8 °C for F state and 593,9 °C for T state, which closely correspond to theoretical values.

When compared to theoretical values obtained by TCW, some differences in real samples occur as shown in Table 4.

Real samples values corresponds to theoretical ones for dendrite development temperature, but these are slightly higher for α Al, and lower for main eutectic evolution



Slika 4. Primerjava mikrostrukture zlitine AlSi8Cu3 v a) ulitem stanju (F) in b) toplotno obdelanem stanju, 1000 x

Figure 4. Comparative overview of the AlSi8Cu3 alloy microstructure samples in a) as cast state (F), and b) heat-treated state, 1000x

Nastanek določenih intermetalnih spojin s svojo velikostjo, morfologijo in porazdelitvijo delcev neposredno vpliva na mehanske lastnosti ulitkov iz zlitine AlSi8Cu3. Preiskava s svetlobnim mikroskopom je omogočila primerjalne serije mikroposnetkov ulitih in toplotno obdelanih vzorcev, kot kaže slika 4.

Mikrostruktura vzorca v litem stanju odkriva dendritno mrežo primarnega aluminija α_{Al} , ki jo prekinjajo intermetalne faze na osnovi železa (Al_5FeSi), podmodificiran evtektik z mešano igličasto-vlaknato morfologijo ($\alpha Al + \beta Si$) v meddendritnih prostorih in sekundarnimi evtektičnimi fazami na osnovi bakra, ki imajo različno, grobo, nepravilno morfologijo in so se strdile zadnje, vse potisnjene na mejo zrn. Vzorci v toplotno obdelanem stanju kažejo enakomerno porazdelitev dendritnih mrež kot tudi fino porazdelitev popolnoma modificiranega vlaknatega silicija na interdendritnih ploskvah. Sekundarne evtektične faze na osnovi bakra so manj vidne kot pri litem stanju, vendar še vedno v območju morfologij, odvisnih od kemične sestave.

Vrstična elektronska mikroskopija je omogočila identifikacijo določenih mikrostrukturnih sestavin. Glavne sestavine so primarna mreža dendritov (α_{Al}), evtektik ($\alpha Al + \beta Si$), visokotemperaturne faze na osnovi železa (Al_5FeSi) in številne intermetalne spojine na osnovi bakra. Opazili smo prisotnost treh različnih intermetalnih faz na osnovi bakra:

- kompleksne intermetalne faze z bakrom in magnezijem, ki so obogatene z železom in manganom, $Al_x(Fe, Mn)yMg_zSi_uCu_w$, in ustrezajo fazi $\alpha'Al + Al_5Cu_2Mg_8Si_6$, ugotovljeni s TCW,
- kompleksne intermetalne faze z bakrom, ki so obogatene z železom in manganom, $Al_x(Fe, Mn)yMg_zSi_uCu_w$, in ustrezajo fazi $\alpha''Al + Al_7Cu_2$,

($\alpha Al + \beta Si$). There was no indication for iron phase evolution in DTA diagrams. The main difference has been revealed in a number of low-temperature phase transformations in as cast state when compared to unique one in heat treated state. Those temperature are much higher than theoretically predicted ones.

Expected mechanical properties of alloys AlSi8Cu3 to EN 1706:1998 [10] compared with standard values separately cast test specimens for mechanical testing carried out with and without heat treatment, are shown in Table 5.

Comparison of mechanical properties of the samples in as-cast and heat-treated state indicates an increase in tensile strength and elongation, and significantly microhardness (HV) in samples subjected to heat treatment, the values of which significantly exceed the required ones.

The development of particular intermetallic compounds directly affects the mechanical properties of AlSi8Cu3 alloy castings by size, morphology and distribution. Optical microscope examination gave the comparative series micrographs of as-cast and heat-treated samples, as shown in Figure 4.

Microstructure of the sample in as-cast state reveals dendrite network of primary aluminum αAl intersected by intermetallic phases on iron base (Al_5FeSi), hypomodified eutectic with mixed needle-fiber morphology ($\alpha Al + \beta Si$) in the interdendritic regions, and last solidified secondary eutectic phases on the copper base with various coarse irregular morphology, all pushed to the grain boundaries. Samples in heat-treated state indicate a uniform distribution of dendrite networks, as well as fine distribution of completely modified fibrous eutectic silicon in the interdendritic areas. Secondary eutectic phases on the copper base are less visible when compared to as-cast state, but

- ugotovljeni s TCW,
- c) ternerni evtektik Al-Al₂Cu-Si, ki ustreza fazi α'' -Al + Al₂Cu, ugotovljeni s TCW.

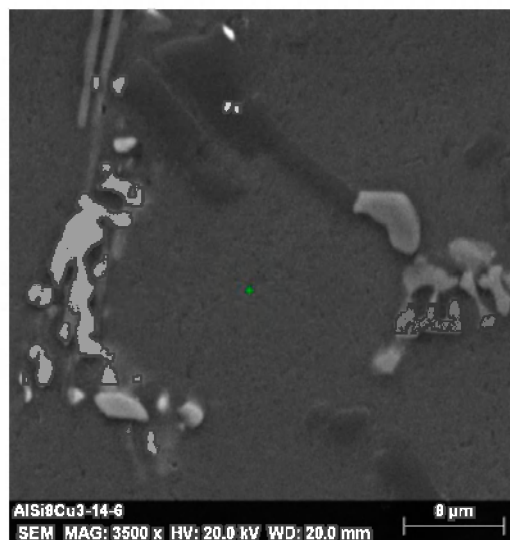
Kemična sestava osnove in sekundarnega evtektika se razlikuje v litelem (F) in toplotno obdelanem (T) stanju zaradi fizikalne spremembe v materialu med žarjenjem. Razliko deleža bakra v osnovi kaže slika 5.

Značilno povečanje deleža bakra za 1,46 mas. % (0,63 at. %) smo opazili pri toplotno obdelanem vzorcu, kar potrjuje hipotezo, da se zadnje strjene faze raztapljajo, ker postanejo nestabilne pri temperaturi žarjenja in zato pride do izločanja raztopljenega bakra v kristalni mreži primarnega aluminija. Ta mehanizem pojasnjuje povečanje trdnosti in duktilnosti toplotno obdelanih vzorcev. Rezultati preiskave kemične sestave faz

still with a range of morphologies depended from the chemical composition.

Scanning electron microscopy allowed the identification of particular microstructural constituents. The major constituents are primary dendrite network (α Al), eutectic (α Al + β Si), high temperature iron base phases (Al₅FeSi) and a number of intermetallic compounds on the basis of copper. The presence of three different intermetallic phases on the copper base has been noticed:

- complex intermetallic phases with copper and magnesium enriched by iron and manganese Al_x(Fe, Mn)_yMg_zSi_uCu_w, which corresponds to α' Al + Al₅Cu₂Mg₈Si₆ phase obtained by TCW
- complex intermetallic phases with copper enriched by iron and manganese



Element	mas. % / wt. %	at. %	Element	wt. %	at. %
Al	73,37	75,30	Al	95,70	98,13
Si	23,79	23,46	Si	-	-
Cu	2,84	1,24	Cu	4,30	1,87

Slika 5. Kemična sestava osnove, ugotovljena z EDS

Figure 5. Chemical composition of matrix obtained by EDS investigation

Razpredelnica 6. Kemične sestave določenih intermetalnih spojin na osnovi bakra v litem in toplotno obdelanem stanju zlitin AlSi8Cu3

Table 6. Chemical compositions of particular intermetallic compounds on the copper base in as-cast and heat-treated samples of AlSi8Cu3 alloy

kemični element / element mas.% / wt %	faza / phase					
	Al-Al ₂ Cu-Si		Al _x (Fe,Mn) _y Si _z Cu _w		Al _x (Fe,Mn) _y Mg _z Si _u Cu _w	
	F	T	F	T	F	T
Al	73,37	95,70	59,63	64,55	55,54	54,91
Si	23,79	-	6,95	6,08	6,35	7,67
Cu	2,84	4,30	5,17	5,96	16,42	18,31
Fe	-	-	19,65	16,22	13,06	7,44
Mn	-	-	8,61	7,19	6,86	8,47
Mg	-	-	-	-	1,78	3,19

na osnovi bakra pri obeh stanjih prikazuje razpredelnica 6.

Intermetalne spojine na osnovi bakra so v toplotno obdelanem stanju (T) postale drobnejše, za njih pa je značilna bolj kompaktna morfologija, vsebujejo pa tudi več Mg in Cu, kar se smatra, da povečuje trdnost teh vzorcev. Ker je toplotna obdelava z žarjenjem potekala pri 480 °C, kar je blizu temperature območja stabilnosti sekundarnih bakrovih faz (507-529 °C), se pričakuje, da ima to neposreden vpliv zaradi ponovnega delnega taljenja.

Mikrostrukturne analize so obsegale razporeditev in velikost določenih intermetalnih faz, tako v litem kot v toplotno obdelanem stanju. Fazna analiza mikrostrukturnih sestavin na osnovi železa (Fe), silicija (Si) in bakra (Cu) je pokazala, da so v litem (F) oz. toplotno obdelanem (T) stanju v določenih fazah različni deleži teh elementov, kar je prikazano na diagramu na sliki 6.

Opazili smo približno podobno razmerje faz na osnovi Fe in Si; v toplotno obdelanem stanju smo ugotovili občutno zmanjšanje deleža bakrovih faz (7,99% → 2,02%). Ugotovljene vrednosti kažejo, da visokotemperaturna faza na osnovi Fe in Si ni občutljiva na toplotno obdelavo. Toplotna obdelava z žarjenjem vodi do ponovnega

Al_x(Fe,Mn)_ySi_zCu_w, which corresponds to α''Al + Al₇Cu₂ phase obtained by TCW

c) ternary eutectic Al-Al₂Cu-Si, which corresponds to α'''Al + Al₂Cu phase obtained by TCW

Chemical composition of matrix and secondary eutectic differs in as-cast (F) and heat-treated (T) state due to physical changes in materials during annealing. Difference in copper content in matrix is shown in Figure 5.

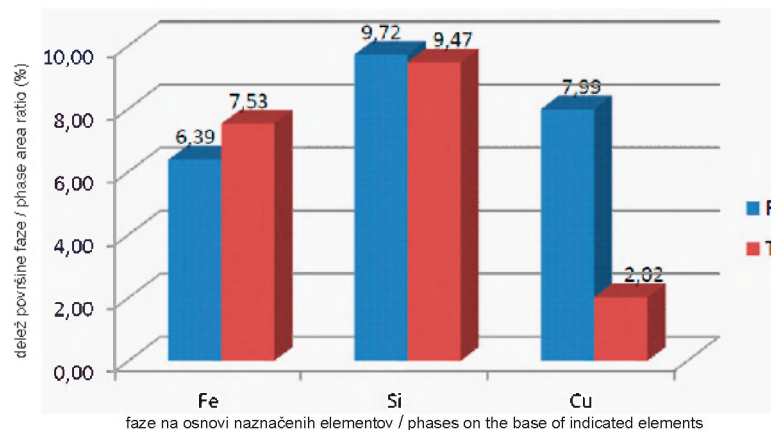
A significant increase in the copper content of 1,46 % (0,63 at.%) was noticed in heat-treated state, which confirms the hypothesis of dissolving the last solidifying phases, which become unstable at annealing temperature and thereby leads to precipitation of dissolved copper in the crystal lattice of primary aluminum. This mechanism explains an increase in strength and ductility of heat-treated samples.

Results of chemical composition investigations of copper base phases in both states are shown in Table 6.

Intermetallic compounds on the copper base in heat-treated (T) state become finer and characterized with more compact morphology, but also richer in Mg and Cu content, which is considered responsible for increasing the strength of these samples.

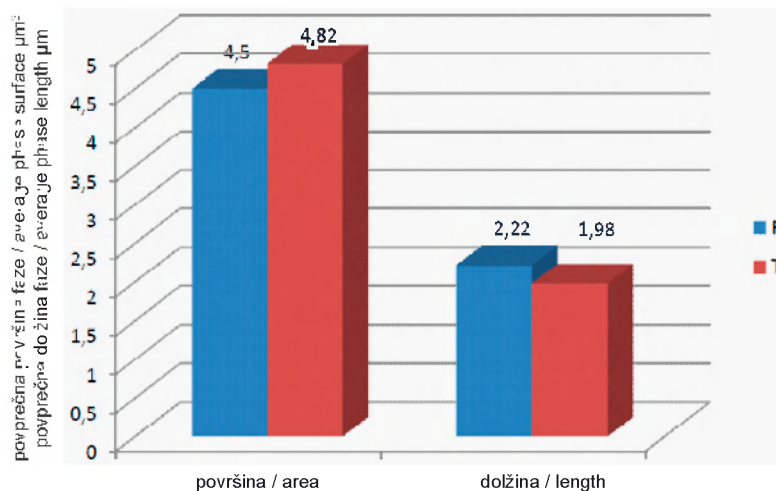
Slika 6. Fazna analiza mikrostrukture vzorcev zlitine AlSi8Cu3 v litem (F) in toplotno obdelanem (T) stanju

Figure 6. Phase analysis of the microstructure of as-cast (F) and heat-treated (T) samples of the AlSi8Cu3 alloys



Slika 7. Povprečna velikost delcev in njihove dolžine v mikrostrukturi ulitih (F) in toplotno obdelanih vzorcev (T) zlitine AlSi8Cu3

Figure 7. The average particle size and the length of the microstructure of as cast (F) and heat-treated (T) samples of the AlSi8Cu3 alloys



taljenja nizkotaljive bakrove faze, zato se njen delež v osnovi zmanjšuje.

Ugotovili smo odvisnost med povprečno površino in dolžino delcev mikrostrukturnih sestavin po toplotni obdelavi, kar je prikazano na sliki 7.

Vidi se, da se je povprečna velikost delcev v toplotno obdelanih zlitinah rahlo povečala, medtem ko se je dolžina vseh delcev zmanjšala, kar se lahko pripiše vplivu toplotne obdelave zaradi raztapljanja posameznih faz, enakomerne porazdelitve mikrostrukturnih sestavin in učinka modificiranja.

Since the heat treatment by annealing is carried out at a temperature of 480 °C, which is nearby the temperature stability range of secondary copper phase (507-529 °C), it is expected to have direct influence through partial remelting.

Microstructural studies included classification and size of the particular intermetallic phases in the as-cast and heat-treated state. Phase analysis of the microstructure constituents on the basis of iron (Fe), silicon (Si) and copper (Cu) resulted in different amounts of particular phases in the as-cast (F) and heat-treated

4. Sklep

Cilj raziskave je bil ugotoviti vpliv toplotne obdelave z žarjenjem na mikrostrukturne značilnosti ločeno ulitih preizkušancev zlitine AlSi8Cu3. Termodinamično modeliranje se je uporabilo kot orodje za razkrivanje, kako se je oblikovala mikrostruktura.

S simultano termično analizo so se ugotovile temperature faznih premen z napovedovanjem reakcij na osnovi termodinamičnega modeliranja. DTA je dala primerjavo med napovedano in dejansko temperaturo nastanka dendritov in pokazala dobro ujemanje za kristalizacijo primarnega aluminija in razvoja glavnega evtektika pri obeh stanjih zlitine AlSi8Cu3. Glavna razlika se je pojavila pri številu nizkotemperaturnih sekundarnih evtektičnih faz, za katere je bila izračunana višja temperatura. Njihovo število in vrednosti kažejo na homogenizacijski učinek toplotne obdelave, kar je potrdila mikrostrukturna analiza. Metalografska analiza je pokazala na obstoj naslednjih mikrostrukturnih sestavin: primarni dendriti α_{Al} , evtektik ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$) z mešano, ne dokončno modificirano morfologijo v litem in v celoti modificirano nitasto morfologijo v toplotno obdelanem stanju, ter intermetalne faze na osnovi bakra: Al-Al₂Cu-Si, kompleksne intermetalne faze na osnovi bakra, obogatene z železom in manganom, Al_x(Fe,Mn)_ySi_zCu_w, in dodatne intermetalne faze z bakrom ter magnezijem, obogatene z železom in manganom, Al_x(Fe,Mn)_ySi_zCu_w.

Mikrostruktura po toplotni obdelavi je doživela spremembe z enakomerno porazdelitvijo dendritov aluminija, za katere je bilo značilno povečanje koncentracije bakra za 1,46 mas. % (0,63 at. %). Obogatitev osnove z bakrom pojasnjuje, zakaj se je povečala trdnost za 24 MPa in raztezek za 0,6 % ter občutno povečala mikrotrdota (97,3 → 110,5 HV). Intermetalne

(T) state, as shown in the diagram in Figure 6.

Approximately similar ratios of phase on the basis of Fe and Si were observed; while significant decrease of copper phases ratio in the heat-treated state (7,99% → 2,02%) was determined. Determined values indicate that the high-temperature phase on the basis of Fe and Si are insensitive to heat treatment. Heat treatment by annealing leads to remelting of the low-temperature copper phase, thus their share in matrix falls.

Consequently, the dependence of average surface and the length of particle microstructure constituents of provided heat treatment were established, as shown in Figure 7.

It has been shown that the total average size of particles in the heat-treated alloys slightly increases, while the average length of all particles falls which is attributed to the impact of heat treatment in terms of dissolution of individual phases, uniform distribution of microstructural constituents and performance modifications.

4 Conclusion

The aim of this study was to determine the influence of heat treatment by annealing on microstructural features of separately cast test samples of AlSi8Cu3 alloy. Thermodynamic modelling was used as a tool for revealing the microstructure development.

Simultaneous thermal analysis reveals corresponding temperatures of phase transformations with predicted reaction on the base of thermodynamical modelling. The DTA values reveal corresponding temperatures with modelled one for dendrite development, and close coincidence for primary aluminum and main eutectic

bakrove faze so po toplotni obdelavi postale drobnejše in bogatejše z Mg ter Cu, kar je tudi prispevalo k trdnosti zlitine. Zmanjšanje povprečne dolžine delcev v vzorcih po toplotni obdelavi kaže na delno stalitev nizkotemperaturnih sekundarnih evtektičnih faz in enakomernejšo porazdelitev mikrostrukturnih sestavin. V splošnem je bilo ugotovljeno, da je imela toplotna obdelava z žarjenjem pozitiven učinek na razvoj mikrostrukture in izboljšanje mehanskih lastnosti vzorcev zlitine AlSi8Cu3.

Viri / Literature

- [1] L. Backerund, G. Chai, J. Tamminen, Solidification Characteristics of Aluminium Alloys, Volume 2, Foundry Alloys, AFS/Skanaluminium, Stockholm, 1999.
- [2] L. Arneberg, G. Chai, L. Bäckerud, Determination of dendritic coherency in solidifying melts by rheological measurements, Materials Science and Engineering A, A173, 1993, 101-103
- [3] K. Dahle, J. Hjelen, L. Arnberg, Formation of hypoeutectic Al-Si alloys, Proceedings of the 4th International Conference on Solidification Processing, Sheffield, 1997, 527-530
- [4] C. H. Cáceres, I. L. Svensson, J. A. Taylor: Strength –Ductility behaviour of Al-Si-Cu-Mg casting alloys in T6 Temper, International Journal of Cast metals Research, 2002.
- [5] S. Shivkumar, C. Keller, M. Trazzera and D. Apelian: Precipitation hardening in A356 alloys, Production, Fabrication and Recycling of Light Metals.
- [6] G. A. Edwards., G. K. Sigworth, C.H. Cáceres, StJohn, D. H., Barresi, J., Microporosity formation in Al-Si-Cu-Mg

evolution for both states of AlSi8Cu3 alloy. The main difference appears in the number of low-temperature secondary eutectic phases which evaluate at higher temperature. Also, their number and values indicate homogenization impact of heat treatment, as confirmed by microstructural analysis.

Methods of metallographic investigation indicated following microstructural constituents: primary dendrites αAl , eutectic ($\alpha\text{Al} + \beta\text{Si}$) with mixed hypomodified morphology in as-cast and completely modified fiber morphology in heat-treated state and intermetallic phases on the basis of copper: Al-Al₂Cu-Si, complex intermetallic phases on the copper base enriched with iron and manganese $\text{Al}_x(\text{Fe}, \text{Mn})_y\text{Si}_z\text{Cu}_w$, and additionally intermetallic phases on the copper and magnesium phase enriched with iron and manganese $\text{Al}_x(\text{Fe}, \text{Mn})_y\text{Mg}_z\text{Si}_u\text{Cu}_w$.

Microstructure after heat treatment experiences changes in terms of uniform distribution of primary aluminium dendrites characterized by the copper enrichment for 1,46 % (0,63 at.%). Copper enrichment of matrix explains an increase in strength for 24 MPa and elongation for 0,6% and a significant increasing in microhardness (97,3 → 110,5 HV). Intermetallic copper phases become finer and enriched on Mg and Cu content, due to heat treatment which also comprehend the increasing the alloy strength. The decrease in the average length of particles in samples, undergone the heat treatment, indicates a partial remelting of low temperature secondary eutectic phases and more uniform distribution of microstructural constituents.

Generally, a positive effect of heat treatment by annealing on the development of microstructure and mechanical properties of samples AlSi8Cu3 alloys has been established.

- casting alloys, AFS Transaction, Vol. 105, 1997, 809-818
- [7] T. Takaai, M. Koga, Y. Nakayama, Heat treatment and mechanical properties of A356 aluminium casting alloys, Light Metals Processing and Applications.
- [8] Z. Li, A. M. Samuel, F. H. Samuel, C. Ravindran, S. Valtierra, H. W. Doty, Parameters controlling the performance of AA319-type alloys, Part I. Tensile properties, Materials Science and Engineering, September 2003.
- [9] ...ISO 6892-1:2009, Metallic materials -- Tensile testing -- Part 1: Method of test at room temperature
- [10] ...EN 1706:1998 Aluminum and aluminum alloys – Castings – Chemical compositions and mechanical properties

AKTUALNO / ACTUAL



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE

SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY

vas vljudno vabi na / invites you to

55. MEDNARODNO LIVARSKO POSVETOVANJE

55th INTERNATIONAL FOUNDRY CONFERENCE

PORTOROŽ 2015

**s spremljajočo razstavo / with accompanying exhibition
16.-18. september 2015**

**Informacije/Contact: Društvo livarjev Slovenije,
Lepi pot 6, p.p. 424, 1001 Ljubljana, T: +386 1 2522 488, F: +386 1 4269 934
drustvo.livarjev@siol.net, www.drustvo-livarjev.si**

AKTUALNO / ACTUAL

Razširjena seja Izvršnega odbora Društva livarjev v Dvoru



Zadnjo sejo Izvršnega odbora Društva livarjev smo sklicali v razširjeni sestavi na lokaciji nekdanje železo-livarne na Dvoru pri Žužemberku, kjer je 11. julija letos bil odprt železo-livarski muzej in galerija. Na tej lokaciji je svoje čase bil največji industrijski obrat na Slovenskem, ki je leta 1834 dobil naziv: »Cesarsko-kraljeva privilegirana tovarna za litoželezno in kovano železno blago kneza Auersperga«. Danes pa tu domuje podjetje Kovinska galanterija Novinc d.o.o., ki je del teh prostorov namenilo za železarsko-livarski muzej in galerijo ter EPC-edukacijski in produktni center. Ocenili smo, da je lokacija zanimiva in primerna

za vse naše stanovske člane, ki cenijo dragoceno tehnično dediščino slovenskega livarstva kot tudi lokalno iniciativo za ureditev muzejske zbirke.

Glede na to, da je v bližnjih Selah tudi sedež naše članice Društva, družbe FerroČrtalič, smo videli tudi izjemno priložnost, da se ob tej priliki seznanimo nekaj več o razvojnih načrtih tega uspešnega družinskega podjetja. Podjetje FerroČrtalič se uvršča med vodilna podjetja na svetu, ki razvijajo rešitve in opremo za najkompleksnejše izzive ter projekte na področju obdelave površin (ročno, avtomatizirano in robotizirano peskanje, shot peening, čiščenje s sodo, suhim ledom in snegom ter UHP vodno čiščenje). Predstavniki podjetja g. Aleksej Metelko je uvodoma podal celovito predstavitev podjetja in programov. Vsi prisotni so imeli možnost, da sodelujejo v pripravljeni pisni anketi in tudi neposredno povedo o produktih, ki bi bili lahko predmet bodočega sodelovanja.



Gostitelj železo–muzeja g. Novinc nas je prijetno presenetil s toplo dobrodošlico, prof. dr. Primož Mrvar, ki je tudi doma v teh krajih, pa še posebno s obširnimi in zanimivimi predavanjem o zgodovini livarstva.

Izvršni odbor Društva je v uradnem delu obravnaval poročilo predsednice Društva o delu v obdobju marec-avgust 2014, informacijo o poteku aktivnosti za 54. mednarodno livarsko posvetovanje Portorož 2014 in informacijo o pripravi skupinskega nastopa članic Društva na livarskem sejmu GIFA 2015 preko agencije SPIRIT. Podana je tudi pobuda, da bi lokacija naslednjega letnega Občnega zbora in Izvršnega zbora Društva, ki bo v zadnjem tednu februarja 2015, bila v livarni ETA Cerkno. Poročilo in ostale točke dnevnega reda te seje Izvršnega odbora društva so podrobno predstavljene v zapisniku.

mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / ACTUAL

54. mednarodno livarsko posvetovanje – Portorož 2014 17.-19. september 2014

Vsakoletno tradicionalno mednarodno livarsko posvetovanje, že 54. po vrsti, je tudi v letu 2014 potekalo v Portorožu in sicer v času med 17. in 19. septembrom. Udeležilo se ga je blizu 230 tujih in domačih znanstvenikov in strokovnjakov iz 16. držav in Slovenije. Kot vsako leto je tudi v letu 2014 glavni organizator posvetovanja bilo Društvo livarjev Slovenije ob soorganizaciji Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru. Predsednica organizacijskega odbora je bila predsednica Društva livarjev Slovenije, mag. Mirjam Jan-Blažič in predsednik programskega odbora, zasl. prof. dr. Alojz Križman. Tudi tokrat je posvetovanje potekalo s sodelovanjem držav Srednjeevropske livarske iniciative – MEGI. Ob posvetovanju je vzporedno kot vsako leto potekala tudi Livarska razstava s prikazom dosežkov na področju livarske



Sprejem na občini Piran (z leve proti desni): dr. I. Baconu-HA, mag. N. Zajc- gostiteljica Občine Piran, mag. M. Jan-Blažič, predsednica Društva in A. Turner-generalni sekretar WFO



Otvoritev konference, predsednica Društva livarjev Slovenije, mag. M. Jan-Blažič

tehnologije, livarske opreme, materialov, laboratorijske opreme in računalniških aplikacij, na kateri se je s svojimi dosežki predstavilo 38 razstavljalcev od tega 18 iz tujine.

Pozdravne besede vsem udeležencem posvetovanja in razstave ter gostom, je v imenu organizatorjev izrekla predsednica Društva livarjev Slovenije, mag. Mirjam Jan-Blažič, ki je predvsem izpostavila pomen našega vsakoletnega posvetovanja ne le za srednjeevropski, temveč tudi za širši prostor ter za našo livarsko industrijo. Sočasno pa je predstavila tematska področja, pomen izmenjave znanja ter mnenj in izkušenj za ohranitve konkurenčnosti v globalnem tržnem prostoru.

Ob zavedanju pomena raziskav za razvoj livarstva, je letošnje posvetovanje bilo organizirano z motom :» **Raziskave in razvoj za aplikacije v livarstvu**«. Med institucijami je svoje prispevke predstavilo skupaj 17 univerz, od tega 15 tujih in 4 raziskovalni inštituti, od tega 2 tuja, ter 14 gospodarskih organizacij od tega 10 tujih. Skupaj je bilo v dveh dneh podanih 34 predavanj, med temi 10 plenarnih. Na posvetovanju je dodatno bilo predstavljenih 9 posterskih prikazov raziskovalnih projektov, od tega 4 iz tujine. Tudi v letošnjem programskem delu smo na osnovi dobrih izkušenj iz preteklega leta posvetovanje razdelili v tri tematska področja:

plenarna predavanja (skupaj 10) železove litine in livarske tehnologije (skupaj 12) ter neželezne zlitine (skupaj 12). V celotnem predstavitvenem delu je vključno s soavtorji sodelovalo 132 strokovnjakov, od tega kar 82 iz tujine.

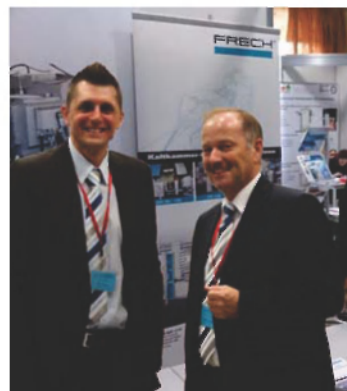
Plenarna sekcija, ki je zajela najzanimivejša predavanja širšega značaja, je potekala ves prvi dan posveta. Predstavljeni so bili pregledi razvojnih usmeritev ter vidnejši raziskovalni dosežki. Predstavljamo najpomembnejše elemente teh predavanj:

- **H. Wolff**, direktor IfG Giessereinstitut, Düsseldorf, ZR Nemčija, je predstavil temo: **Povečanje energetske učinkovitosti in znižanje stroškov v livarnah**. Izpostavil je izhodiščno stanje vsake livarne, ki ga je potrebno ugotoviti z natančnimi analizami ter spremljanjem podatkov energijske porabe v daljšem časovnem obdobju. Prav tako je to izhodiščno analizo potrebno primerjati s primerljivimi livarnami. Kot poglavitni kriterij je poraba energije na tono proizvedenih ulitkov. Glavni cilji energetske učinkovitosti so vezani na zmanjšanje mase ulitkov, zmanjšanje odnosa med bruto in neto maso ulitkov, optimizacijo procesa taljenja ter gretja orodij in naprav ter izkoriščanje odpadne toplote.

- **N. Frech**, tehniški direktor podjetja Oskar Frech GmbH+Co. KG, Schondorf, ZR Nemčija, je podal **prikaz inovativnega procesa modernega tlačnega litja**. Pri tem je posebej izpostavil fazo dovajanja taline v formo. Ilustriral je celoten cikel v hladno komornem stroju ter prikazal možnosti izboljšanja v procesu. Predstavljen je bil pri podjetju razvit Frech-gating sistem, ki močno zmanjšuje dovodne kanale v formi. Ta sistem je pokazal



Potek plenarnih predavanj



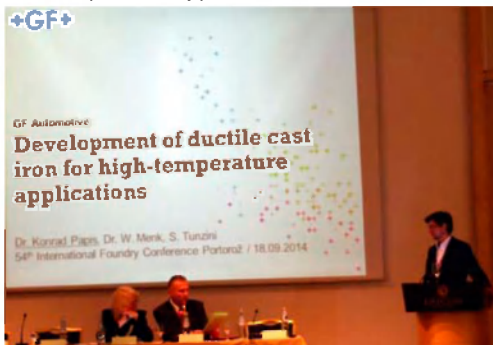
Plenarni predavatelj dr. N. Erhard s sodelavcem S. Babićem na razstavnem prostoru Oskar Frech



Plenarni predavatelj prof. dr. A. Križman in plenarno predsedstvo P. Mrvar, A. Rabuza, D. Goršek, J. Čevka



Plenarni predavatelj prof. dr. R. Deike



Plenarni predavatelj dr. K.J. Papis

raziskavami, SEM analizo ter EDX analizo, so določali nastanek posameznih faz in razvoj kroglastega grafitu ter vlogo magnezija.

- **K. J. Papis** iz podjetja Georg Fischer Automotive AG ZR Nemčija je s soavtorji prikazal razvoj sive litine s kroglastim grafitom za uporabo pri povišanih temperaturah. Predstavljen je bil razvoj novih feritnih, temperaturno obstojnih nodularnih litin, njihove lastnosti in uporaba. V najnovejših dizelskih in bencinskih motorjih ob zahtevah po zmanjšanju mase, prihaja do zahtev visoke temperaturne obstojnosti. Standardne feritne silicijeve in molibdenove nodularne litine ne zadostujejo več tem zahtevam.

velike prednosti predvsem pri tlačnem litju cinkovih in magnezijevih zlitin in odpira nadaljnje možnosti uporabe procesa tlačnega litja.

- **A. Križman**, zaslužni profesor Univerze v Mariboru, je s soavtorji predstavil **stanje slovenskega livarstva v letu 2013 in primere tehnoloških dosežkov**. V letu 2013 so slovenske livarne v primerjavi z letom 2012 dosegle povečanje celotnega obsega proizvodnje za 9%, povišale finančne prihodke za 7,3 %, povišale čisti prihodek za 7,8 %, povečale število zaposlenih za 4,8% ter povišale dodano vrednost na zaposlenega za 1,7%. Prikazani so bili lastni tehnološki dosežki 12 podjetij iz livarske dejavnosti, ki izpostavljajo tehnološko raven in globalno konkurenčnost.

- **P. Schumacher**, direktor avstrijskega livarskega inštituta ter profesor na Univerzi v Leobnu, Avstrija, je s soavtorji prikazal **nove možnosti preizkušanja svežega peska s pomočjo prenovljene opreme**. Predstavljene so bile informacije o razvoju novih načinov stiskanja peščenih mešanic, o uporabljenih tlakih, doseženi trdnosti ter primerjava teh s sedanji načini dela. Ob tem je bil izpostavljen nov sistem granulacij za doseganje odgovarjajočih lastnosti svežih livarskih peskov.

- **R. Deike**, vodja inštituta za metalurgijo Univerze Duisburg-Essen, ZR Nemčija, je podal izsledke **o vlogi magnezija pri obdelavi sive litine pri proizvodnji sive litine s kroglastim grafitom**. Magnezij tvori okside in sulfide in pospešuje nastanek grafitu. Na osnovi termodinamičnih izračunov so izvedli

eksperimente v litinah bogatih z ogljikom. Ugotovljene so bile osnovne reakcije, ki potekajo na meji med Mg in Fe talino. Z metalografskimi



Plenarni predavatelj prof. dr. P. Schumacher



Plenarni predavatelj prof. dr. J. Suchy



Plenarni predavatelj prof. dr. P. Mrvar

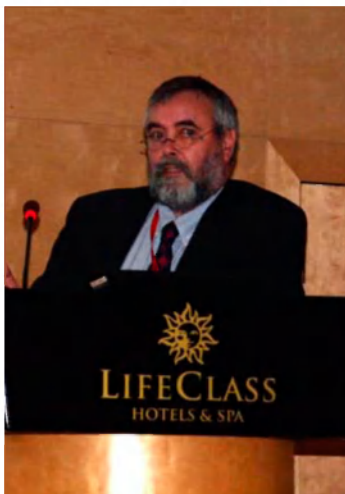


Plenarni predavatelj B. Kalkunte

Prikazan je bil razvoj navedenih litin s povišano temperaturo premene ferit / avstenit ter s tem višjo temperaturno obstojnostjo.

- **J. Suchy**, dekan fakultete za livarsko inženirstvo Tehniške univerze Krakov, Poljska, je podal svoja razmišljanja o livarski industriji in enotnem trgu. Ob popolni globalizaciji trga je izpostavil vprašanje konkurenčnosti evropske livarske industrije v naslednjem desetletju. Pri tem je za konkurenčnost izpostavil predvsem tri zadeve: globalizacijo metod in orodij za livarsko industrijo, evropski trg ekonomije in znanja ter mobilnost inženirskega kadra kot priložnost za evropsko ekonomijo in izziv za izobraževalne sisteme.

- **P. Mrvar** predstojnik katedre za livarstvo na FNT Univerze v Ljubljani, je s soavtorji prikazal **tehnologijo izdelave in karakterizacijo gradientnega ulitka**. Primer prikazane tehnologije izdelave je kombinacija horizontalnega centrifugalnega litja legirane bele litine in gravitacijskega litja jedra



Plenarni predavatelj dr. K. Weiss



Predavatelj debitant posvetovanja dr. Makino iz Japonske



Predavatelj prof. dr. R. Squatrito



Predavatelj dr. M. Acarer



Predavanje prof. dr. I. Dugić



Predavatelj prof. dr. J. Medved

valjev. Delovna površina valjev je narejena iz bele litine, legirane s kromom. Jedro je narejeno iz sive litine s kroglastim grafitom. Glavna pozornost pa je namenjena vmesni plati, ki je iz sive litine z lističastim grafitom. Kvalitativno in kvantitativno so bile določene mikrostrukturne komponente in lastnosti.

- **B. Kalkunte**, ekspert za virtualno proizvodnjo iz podjetja Calcom ESI SA Švica, je s soavtorjem podal temo: **Vpliv livarskih napak in lastnosti na zmogljivost celotne procesne verige**. Simulacija litja zagotavlja predvideno orodje za uporabo v celotnem procesu litja, vključno s polnjenjem forme in napakami pri strjevanju. Modeliranje ulivanja je tako celovit proces s končnim rezultatom resničnega virtualnega prototipa. Predstavljen je bil pregled najnovejšega razvoja, kot posledice zahtev iz industrije s končno usmeritvijo na predvidevanje lastnosti proizvodov skozi celotno procesno verigo.

- **K. Weiss**, direktor podjetja RWP GmbH, ZR Nemčija, je predstavil temo prihodnosti: **LHPM (Local high performance material)-material z lokalno izboljšanimi lastnostmi**. Natančen pogled

v načrtovanje ulitkov kaže na dejstvo, da samo nekaj področij ulitka potrebuje visoko trden material, za vse ostale dele pa zadostujejo lastnosti nižjih vrednosti. Gre za metodo izdelave ulitkov z različnimi mehanskimi lastnostmi na določenih področjih, torej za bioniko oblikovanja. Bionika si prizadeva za globalno zmanjšanje teže za do 20%. Ob računalniškem načrtovanju mora torej slediti razvoj novih postopkov in tehnologij.



Pogled na razstavne prostore tradicionalnega sponzorja-razstavjalca Exotermi-it



Razstavni prostor Letrike Komen

Drugi dan posvetovanja je bil namenjen predavanjem v obeh sekcijah. Težišča teh predstavitev so bila na



Pogled na razstavo



Druženje direktorjev pred razstavnim prostorom Termit

Specifikacija zahtev za belo litino za rotorje črpalk je med najbolj zahtevnimi v livarski dejavnosti. Eden glavnih problemov so razpoke ulitkov. Raziskave so pokazale, da ima velik vpliv na nastajanje razpok pravilna izbira formarskega peska. S pravilno izbiro peska je možno izdelati ulitke brez razpok in doseči zahtevano abrazivno odpornost.

Iz sekcije neželeznih kovin prav tako izpostavljam dve najzanimivejši predavanji:

- **J. Medved**, predstojnik katedre za metalurško procesno tehniko FNT Univerze v Ljubljani, je s soavtorji predstavil raziskavo **faznih ravnotežij v aluminijevih livarskih zlitinah v odvisnosti od vsebnosti Si in Fe**. Raziskana so bila fazna ravnotežja v Al-Si livarskih zlitinah in vpliv razmerja železa in silicija. Z uporabo Thermo-Calc programa so bile izvedene termodinamične simulacije napovedovanja faznega ravnotežja nastalih faz železa, izvedeno vrednotenje eksperimentalnih podatkov in izračunani fazni diagrami pri različnih razmerjih železa in silicija.

- **R. Squatrito**, raziskovalec iz Medresorskega centra za industrijske raziskave Univerze v

raziskavah in razvoju posameznih zlitinskih sistemov, v novih tehnoloških postopkih in računalniških simulacijah procesov.

Iz sekcije železovih litin in livarskih tehnologij izpostavljam dve predavanji:

- **C.H. Müller** iz livarskega inštituta RWHT Aachen, ZR Nemčija, je s soavtorji predstavil **raziskave različnih sestav in velikosti zrn blokov za cepljenje in njihov vpliv na cepljenje sive litine s kroglastim grafitom**. V primeru pomanjkljivega cepljenja v ponvi, je nastanek metastabilne strukture potrebno preprečiti z dodatnim cepljenjem z »bloki« na mestih ulivanja. Izdelana je bila eksperimentalna naprava za proizvodnjo in vrednotenje blokov za cepljenje, narejenih iz štirih različnih cepiv z dvema različnima porazdelitvama zrn. Lastnosti, ki so bile dosežene z dodajanjem takšnih blokov, so primerljive s standardnimi bloki cepiva. Tako je v določenih primerih možno zagotavljati stabilne grafitne faze v strukturi ulitkov.

- **I. Dugic**, raziskovalec s Fakultete za tehnologijo, Linnaeus Univerze, Växjö, Švedska, je prikazal svoje raziskave **bele litine za rotorje**.



Razstavna prostora razstavljalcev EKW Kremen in Belloi & Romagnoli Srl



Tradicionalni sponzor-razstavljaec LIVING

Bologni, Italija, je s soavtorji predstavil raziskave v okviru evropskega projekta Thermaco: **Visoko prevodni aluminijevi kompoziti z ogljikovimi vstavki izdelani z litjem**. Raziskave so usmerjene v proizvodnjo MMC (Metal Matrix Composites) s procesom litja. Osnovni material je komercialna aluminijeva zlitina A356, ojačana z različnimi materiali na osnovi ogljika, ki povečajo toplotno prevodnost osnovnega materiala. Proučeni so bili učinki toplotnega upora v medfaznem delu med osnovo in vstavki. Numerični rezultati so bili izvedeni z direktnimi meritvami toplotne prevodnosti na vzorcih dobljenih materialov s pomočjo termofluksimetra.

Od slovenskih znanstvenikov, ki se ukvarjajo z livarstvom in materiali so predavanja predstavili naslednji avtorji: prof. dr. Jožef Medved s Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani s koavtorji (J. Pirnat, P. Mrvar, A. Križman), na temo **Fazna ravnotežja v aluminijevih zlitinah v odvisnosti od vsebnosti Si in Fe** dr. Rebeka Rudolf s Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru s koavtorji (F. Rojko, A. Križman), na temo: **Precizijsko litje in analiza napak pri litju dentalnih zlitin** prof. dr. Franc Zupanič s Fakultete za strojništvo



Razstavni prostor sponzorja-razstavljalca FerroČrtalič



Predstavniki Dife v okrožju NTF in TC Livarstvo



Razstavni prostor zastopnika opreme +HAGI+



Razstavni prostor Hüttenes Albertus

Univerze v Mariboru s koavtorji (C.A.Nunes, G.C.Coelho, P.L. Cury, G.Lojen, T. Bončina), na temo: **Mikrostruktura kontinuirno ulite nikljeve dentalne zlitine**.

In ne nazadnje posebna dodana vrednost posvetovanja so zmeraj bili prispevki o razvojnih dosežkih v naših livarskih podjetjih. Preden jih naštejemo bi poudarili predvsem to, da mednarodna strokovna javnost pričakuje, da bodo o le-teh naši livarski strokovnjaki poročali na tej mednarodno uveljavljeni konferenci, kar je zagotovo dobro in koristno tako za podjetja, kot širše za Slovenijo.

Praktične izkušnje in dosežke iz slovenskih livarn so letos na posvetovanju predstavili naslednji avtorji:

- Uroš Eržen iz tlačne livarne LTH castings d.o.o. s koavtorjem L. Hafner, na temo: **Simulacija tlačnega litja s pomočjo programskega paketa MAGMA in vpliv na življenjsko dobo orodja**.

Damjan Bizjak iz tlačne livarne Mariborska livarna Maribor s koavtorji Z. Pušnik in A. Mikložič, na temo: **V aluminijevih ulitkih je moč in dinamika**



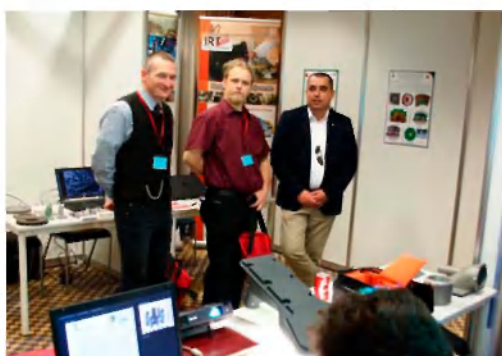
Razstavni prostor ExOne



Predstavniki razstavljalcev Labena, Chemets in Ipro Ing



Razstavni prostor Elkem



Utrinek iz razstave pred razstavnim prostorom medijskega sponzorja IRT 3000

Daniel Mitrović iz livarne sive in nodularne litine Livar d.d., na temo: **Učinek vibracij in lokalne ohlajevalne hitrosti na evtektoidno premeno v sivi litini s kroglastim grafitom**

Iz poster sekcije Miro Zdovc iz podjetja specializiranega za gravitacijsko kokilno litje aluminija, Fimago d.o.o. s koavtorji R. Frandolič, A. Kump, A. Mahmutović, D. Kaljun, B. Kladnik, na temo: **Razvoj sklopov ulitkov svetil s tehnologijo kokilnega litja**

Izvečki vseh predavanj in plakatnih predstavitev so objavljeni v Zborniku referatov posvetovanja, kateremu je priložena tudi zgoščenka s predavanji.

Kot razstavljalci so se na livarski razstavi, ki spremlja posvetovanje v Portorožu razpoznavno predstavile naslednje članice Društva livarjev Slovenije: STRIKOWESTOFEN (edina članica izven Slovenije), Livarna LETRIKA KOMEN, EXOTERM-IT, TERMIT, SIAPRO, TALUM, TDR LEGURE, FERROČRTALIČ, EKW KREMEN, SWATY COMET, LIVINGinMESSERterNARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA.

54. mednarodno livarsko posvetovanje s livarsko razstavo je ob svoji tradiciji, ugledu v širšem, sedaj že lahko rečemo svetovnem prostoru,



Razstavljalca Mecas ESI-TC Livarstvo



Razstavni prostor Trokuttest



Razstavni prostor Topomatika



Razstavljalec Sistemska tehnika

številnih uglednih predavateljih, številni udeležbi ter visoki ravni predstavitev, ponovno dokazalo, da smo v stanju pripraviti dogodek na visoki strokovni ravni in s tem tudi pripomoči k širšemu ugledu slovenskega livarstva.

Na koncu gre še zahvala županstvu občine Piran, ki je že tradicionalno na predvečer pričetka posvetovanja priredilo za udeležence posvetovanja sprejem na občini, ki pomeni tudi prvi spoznavni večer posvetovanja za udeležence.

Zahvala gre nadalje tistim, ki so omogočili popestritev druženja med udeleženci posvetovanja s posebnim družabnim programom. Gre za sponzorje - razstavljavce in še posebno za naslednje pokrovitelje posvetovanja:

OMCO FENIKS SLOVENIJA d.o.o. kot zlati pokrovitelj



LTH CASTINGS d.o.o. kot srebrni pokrovitelj



DIFA d.o.o. in SIAPRO d.o.o. kot bronasta pokrovitelja



*Predsednik programskega odbora
Emeritus prof. dr. Alojz KRIŽMAN*

*Predsednica organizacijskega odbora
Mag. Mirjam JAN-BLAŽIČ*

AKTUALNO / ACTUAL



IFF mednarodni livarski forum

Vsako drugo leto CAEF (Evropsko livarsko združenje) in CEMAFON (Evropsko združenje dobaviteljev livarske opreme) organizirata v eni od evropskih držav IFF - Mednarodni livarski forum. Letos je konferenca potekala v času od 26. do 27. septembra 2014 v Benetkah v Italiji, pod geslom »Where the CEOs meet«. Zbralo se je nekaj več kot 250 udeležencev - vodilnih direktorjev metalurške in livarske industrije ter dobaviteljev te industrije iz 26 držav, kar je za spoznanje več kot pred dvema letoma.

Glavni namen tega srečanja je izmenjava mnenj o stanju livarske industrije po svetu in obetih za le-to v prihodnje. Izbrane teme v programu so bile zanimive in v prvi vrsti zelo aktualne. Dejstvo je, da se globalno po celem svetu soočamo na različne načine s nenehnimi zelo hitrimi spremembami na tehnični, ekonomski in finančni ter politični ravni. Navkljub negotovostim je bilo ocenjeno, da vendarle obstajajo scenariji za prihodnost livarske proizvodnje v Evropi. Konkurenčnost in rast se krepi. Usmeritev »Misli globalno in delaj lokalno!« je pot k večji internacionalizaciji in večji produktivnosti. Da je avtomobilska industrija še vedno ena izmed gonilnih sil, ki pospešuje ta proces, so transparentno predstavili predstavniki OEM in globalno dejavne livarne, kot tudi različni predstavniki iz mednarodno znanih podjetij.



Pogled na konferenčno dvorano IFF

Prvega dne foruma so bile predstavljene naslednje teme:

- prihodnost poslovanja v Evropi: rast konkurenčnosti in razvoj,
- izvoz- internacionalizacija v avtomobilski industriji,
- komponente iz visoko tlačnega litja kot ključ do lažje avtomobilske karoserije,
- novi pogledi na livarsko industrijo,
- manjše HPDC komponente – trendi materialov v avtomobilski industriji,
- trendi v jeklolivarski industriji pri aplikacijah za proizvodnjo ventilov in pump,
- CNH Industrial; vodilen v sektorju investicij,
- mobilnost v prihodnosti - smernice, spremembe in izzivi.

Drugi dan foruma je bil posvečen predstavitev glavnih svetovnih livarskih regij, ki predstavljajo več kot 90 % globalne proizvodnje ulitkov (Južna in Severna Amerike, Japonska, Rusija, Indija, Kitajska in Evropa).

Organizatorji IFF niso pripravili posebnega zbornika predavanj ali elektronskega zapisa, sporočili pa so nam, da lahko kot udeleženci srečanja iz zaprte baze podatkov na spletni strani IFF prevzamemo materiale, ki so jih predavatelji dali na razpolago. S strani podsekretarke CHINA FOUNDRY ASSOCIATION, gospe Fan Qi, smo prejeli seznam TOP 100 livarn na Kitajskem, iz katerega so razvidni naslednji podatki: ime in lokacija livarne, email in panoga dobave ulitkov. Vsi tisti člani Društva, ki bi želeli imeti te materiale, jih lahko na Društvu pripravimo za vas in vam jih pošljemo.

Prijavo za brezplačne materiale IFF pošljite na e-naslov: drustvo.livarjev@siol.net

mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / ACTUAL

Koledar prireditev

Termin	Naziv dogodka	Kraj / država dogodka
10.-11.02.2015	8. VDI- Tagung "Giessereitechnik im Motorbau"	Magdeburg/Nemčija
04.-05.03.2015	15. Int. Deutscher Druckgusstag	Bad Homburg/Nemčija
19.-20.03.2015	Aachener Giesserei Kolloquium	Aachen/Nemčija
21.-23.04. 2015	119 th Metalcasting Congress	Columbus/ZDA
23.-24.04.2015	59. Österreichische Giesserei-Tagung	Leoben/Avstrija
12.-16.05.2015	Aluminium Two Thousand	Firence/Italija
15.-20.06.2015	GIFA, METEC, THERMOPROCESS, NEWCAST, NEWCAST forum, WFO forum	Düsseldorf/Nemčija
12.-14.01.2016	EUROGUSS 2016	Nürnberg/Nemčija

AKTUALNO / ACTUAL



Izobraževalni seminarji Društva v poslovnem letu 2014

Ob potrditvi programa dela Društva za letošnje leto smo si zastavili cilj, da bomo naše izobraževalne aktivnosti dvignili na višjo strokovno in kakovostno raven. Da bi za seminarje v prihodnje bile izbrane v danem trenutku aktualne teme oziroma tiste, ki jih strokovnjaki v livarskih podjetjih najbolj potrebujejo ali pogrešajo, sta bili ustanovljeni dve strokovni programski komisiji: Komisija za neželezne livarne in Komisija za železne livarne.

Komisija za neželezne livarne je letos že opravila svoje delo. Iz predloženih programov izobraževanja Livarskega inštituta v Leobnu je za začetek izbrala konkretne teme iz segmenta tlačnega litja. Društvo je na tej podlagi organiziralo 5. novembra 2014 na Gospodarski zbornici Slovenije enodnevni intenzivni seminar, ki so se ga udeležili predstavniki LTH catings d.o.o., Mariborska livarna Maribor d.d., Hidria Rotomatika d.o.o, Difa d.o.o. in Letrika Komen d.o.o. Na seminarju je bil zelo podrobno in uporabno predstavljen postopek tlačnega litja po posameznih fazah, tipične napake in rešitve, pravilna konstrukcija ulitka in orodja, pravilno naprševanje, optimiranje faz litja, toplotna bilanca livne forme (temperiranje), simulacija litja ter poškodbe in vrste lomov.

Ocene slušateljev tega seminarja so zelo visoke. Ocenili so, da so v enem dnevu prišli do vrste spoznanj in zaključkov, kaj v svojih livarnah v procesu proizvodnje ulitkov še lahko izboljšajo. Kolega Pušnik, vodja razvoja iz Mariborske livarne, je zapisal, da mu je seminar odprl rešitve za mnoge napake, ki so se do sedaj pojavljale v proizvodnji. Zato so v Mariboru že dan po seminarju začeli z aktivnostmi in na prvem artiklu že dosegli pozitivne rezultate.

Priprave na seminar za železne livarne, ki so potekale v organizaciji vodstva Društva od začetka septembra letos z Inštitutom Ifg- Institut für Giessereitechnik v Duesseldorfu, pa so bile prekinjene, ker smo 14. novembra prejeli obvestilo od stečajnega upravitelja, da je inštitut šel v stečaj. Takoj smo urgentno navezali poslovne stike s Livarskim inštitutom v Leobnu, ki bo zagotovo lahko izvedel kakovosten seminar tudi za železne livarne. Žal pa ta seminar ne bo mogel biti izveden še v tem poslovnem letu. Prvi možni termin je v marcu 2015. Na podlagi nabora tem, ki jih pričakujemo v kratkem iz Leobna, bo Komisija za železne livarne izbrala najbolj aktualno oziroma primerno temo za ta seminar.

Da bi zapolnili programsko praznino, smo se odločili, da za vse livarne še v tem poslovnem letu organiziramo skupaj z Gospodarsko zbornico Slovenije seminar o aktualnih vprašanjih s področja okoljevarstvene problematike za livarne. Gre za aktualne teme, s katerimi se dnevno srečujemo v vseh livarnah.

mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / ACTUAL



Nova proizvodnja ključnih delov za volanske sisteme v Hidrii

Povzemamo informacijo, ki smo jo prejeli od Hidrie, službe korporativnega komuniciranja, ki sporoča, da je Hidria pridobila nov posel za PSA Peugeot Citroen, vreden 24 mio EUR. Ta posel pomeni nominacijo za razvoj in dobavo ključnih delov volanskih sistemov, ki jih bosta PSA Peugeot in Citroen vgrajevala v vozila Citroen C3 in DS3, skozi sodelovanje z njimi pa tudi nemški Opel od leta 2017 v Opel Merimo. S tem poslom se bo Hidria umestila na mesto enega najpomembnejših in največjih proizvajalcev ključnih delov za volanske sisteme v Evropi. Že skoraj celo desetletje se namreč Hidria prebija na globalnem trgu na segmentu volanskih sistemov tudi pri drugih avtomobilskih blagovnih znamkah, kot so AUDI, BMW, Porsche, Macan, Mercedes in Jaguar.

Hidria bo tehnološko visoko zahtevno aluminijasto ohišje volanskega sistema proizvodila z najnovejšimi tehnologijami za visokotlačno litje in za visoko precizne mehanske obdelave, kjer je s svojimi razvojnimi strokovnjaki že doslej razvila zahtevne tehnološke procese. Visoke zahteve glede kakovosti izdelka Hidria izpolnjuje z namensko opremo, pri čemer v procesu preverja številne kompleksne karakteristike, zahtevane za varnostne dele v avtomobilski industriji. Gre namreč za pomemben sestavni del za »crash-test« vozil. Hidria s proizvodnjo tega sistema na lokaciji v Kopru potrjuje svoj nadaljnji uspešen razvoj v tem zahtevnem segmentu.

Informacijo povzela: *mag. Mirjam Jan-Blažič*





*Prijetne božične praznike in uspešno
novo leto želimo vsem članom
Društva livarjev Slovenije in bralcem
Livarskega vestnika.*

*Vodstvo Društva livarjev Slovenije
in redakcija Livarskega vestnika*

*We wish a merry Christmas and a
happy and prosperous new year to all
members of Slovenian Foundrymen
Society and readers of Livarski vestnik.*

*Management team of the Slovenian Foundrymen Society
and Editorial Board of Livarski vestnik*