

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

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

**Glavni in odgovorni urednik /
Chief and responsible editor:**

prof. dr. Alojz Križman
E-mail: probatus@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. Branko Bauer, Univerza v Zagrebu
dr. Milan Lampič, Fritz Winter, Stadtallendorf

**Prevod v angleški jezik /
Translation into English:**

Marvelingua, Aljaž Seničar s.p.

Lektorji / Lectors:

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

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

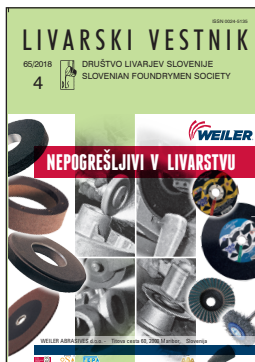
Naklada / Circulation:

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

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: december 2018



Naslov/address:
WEILER ABRASIVES d.o.o.
Titova cesta 60
SI-2000 MARIBOR

Direktor: Matjaž MERKAN

T: +386 2 333 16 00
F: +386 2 333 17 92
E: info.slovenia@weillerabrasives.com
www.swatycomet.com

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

N. Erhard: Prihodnje zahteve pri litju v trajne forme in tehnične zahteve za donosnost / Future Demands on Die Casting and Technical Requirements for its Profitability	198
R. Daňko: Pregled stanja in vpogled v prihodnost svetovne proizvodnje ulitkov. Vloga fakultete za livarstvo pri izobraževanju inženirjev za livarsko industrijo / The State of art and Foresight of World Casting Production. The Role of the Faculty of Foundry Engineering In Educating Engineers for Casting Industry	211
A. Mahmutović, S. Kastelic, M. Petrič, V. Buda, P. Mrvar: Načrtovanje orodja in procesa tlačnega litja s pomočjo FEM analize / HPDC Tool and Process Design Using FEM Analysis	223
T. Balaško, M. Petrič, J. Medved, P. Mrvar: Vpliv toplotne prevodnosti različnih materialov orodij na strjevanje zlitine AISi9Cu3 / The Influence of Thermal Conductivity of Different Mould Materials on Solidification of AISi9Cu3 Alloy	233

AKTUALNO / CURRENT

Koledar livarskih prireditev 2019	248
73. WFC - Svetovni livarski kongres	249
Generalna skupščina WFO	251
Livarski WFO summit	254
Seminarja Društva livarjev Slovenije	256
Portorož 2019	250

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

Prihodnje zahteve pri litju v trajne forme in tehnične zahteve za donosnost

Future Demands on Die Casting and Technical Requirements for its Profitability

1 Uvod

Proces tlačnega litja je tehnično zrel proces litja, ki je izjemno primeren za velikoserijsko proizvodnjo.

Trendi v smeri individualizacije izdelkov prav tako prinašajo izzive za tlačno litje. Pogostejše spremembe pri manjših serijah tako zahtevajo skorajda takojšnje povezovanje s proizvodnimi procesi predhodnih serij. Za nadaljnje dobičkonosno tlačno litje je neizogibno potrebno še dodatno poglobljeno razumevanje procesa:

1 Introduction

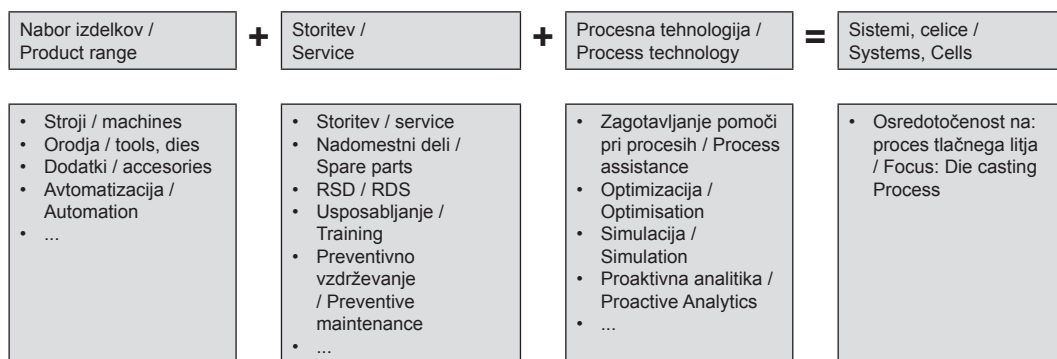
The die casting process is a technically mature casting process that is excellently suited for the production of large series.

The trend towards individualization of products also means new challenges for die casting. More frequent changings for smaller series therefore require, quasi ad hoc, to be linked back to the production process of the previous batches. Inevitably, another, a deeper process understanding is needed in order to continue to be profitable in die casting:



Slika 1. Procesna veriga skupine Frech

Figure 1. Process chain of Frech Group



Slika 2. Naša filozofija

Figure 2. Our philosophy

Skupina Frech z družbo Oskar Frech GmbH + Co. KG in njenimi podružnicami (Slika 1) ima mesto v procesni verigi celice tlačnega litja. Portfelj izdelkov skupine ne zajema zgolj strojev za tlačno litje, pač pa tudi pripomočke in naprave za avtomatizacijo livne celice. To nam omogoča povezovanje znanja in izkušenj vzdolž procesne verige ter možnost, da strankam ponudimo več kot zgolj opremo za celice in prvovrstne storitve (Slika 2).

Osredotočenost skupine Frech je tako osnovana na filozofiji zagotavljanja celovite ponudbe storitev za stranke in osredotočenosti celotnega procesa na celico za tlačno litje.

2 Dobičkonosnost tlačnega litja

Na tej podlagi smo razvili proces tlačnega litja za analiziranje in prikaz poti dobičkonosnosti glede na vrsto uporabe (Slika 3).

Na podlagi naše filozofije za ogled celic procese analiziramo skupaj s stranko. Preučimo izdelek in proces, ki bi lahko bil koristen v tem smislu. Na tej osnovi so osnovne tematike analize odločilne spremenljivke, ki vplivajo na dobičkonosnost:

The Frech Group, with Oskar Frech GmbH + Co. KG and its subsidiaries (see Fig. 1), is positioned along the process chain of a die casting cell. Not only die casting machines, but also accessories and automation devices of the casting cell belong to the product portfolio of the group. This makes it possible to bundle this know-how along the process chain and to offer the customer more than just the equipment of cells and first-level services (see Fig. 2).

The focus of the Frech Group is therefore based on the philosophy of offering the customer a comprehensive range of services and focusing the entire process in the die-casting cell.

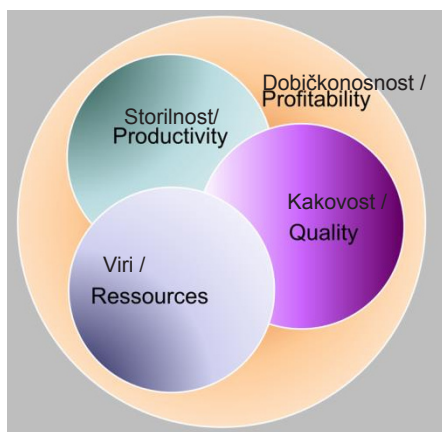
2 Profitability in Die Casting

From this, the die casting process has been developed in order to analyze and to show the path to profitability, depending on the application (see Fig. 3).

From our philosophy for cell viewing, we analyze the processes together with the customer. We consider the product and the process, which should be beneficial in this regard. On this basis, the core topics of the

- kakovost,
- viri,
- storilnost.

Za oceno, kako dobra ali slaba so ta tri področja v vaši livarni, običajno potrebujete informacije. Torej številke, podatke in dejstva, ki vam omogočajo izvedbo ocene na podlagi npr. kazalnikov. Bolj objektivni, kot so ti kazalniki, bolj zanesljivo je mogoče proces optimizirati.



Slika 3. Dobičkonosnost

Figure 3. Profitability

Te informacije lahko pokažejo tudi omejitve v trenutnem procesu. Izkušnje oziroma primerjalno znanje s podobnimi primeri morda ne zadostuje več za doseganje izboljšav. V teh primerih lahko včasih izboljšave in inovacije v tehnologiji tlačnega litja prinesejo odločilno prednost.

Kako pridobiti objektivne informacije, zanesljive številke, podatke in dejstva o predhodnih procesih?

3 Upravljanje masovnih podatkov in analitika

Tovarne v industriji tlačnega litja že desetletja upravljajo s tehnologijo digitalnega nadzora,

analysis are the decisive variables which influence the profitability:

- quality,
- resources,
- productivity.

In order to assess how well or how badly these three fields are in your foundry, you generally need information about it. That is, figures, data and facts, which allow a valuation based on, for example, indicators. The more objectively these indicators are determined, the more reliable the process can be optimized.

This information can also show limitations in the current process. Experiences, comparative knowledge with similar cases may no longer be sufficient to achieve improvements. In such cases, improvements and innovations in die casting technology can sometimes bring the decisive advantage.

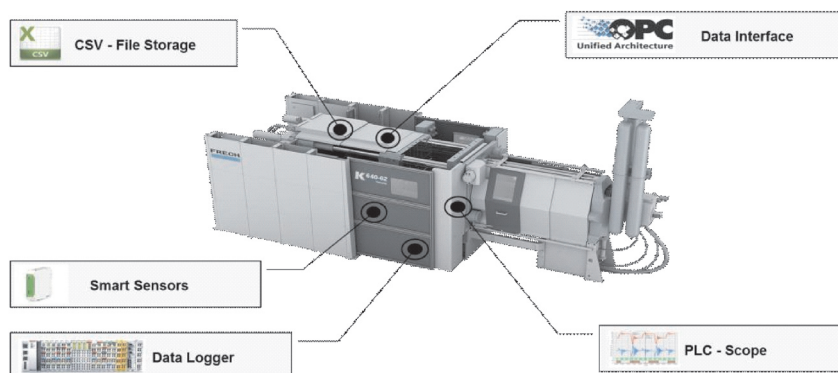
How do we get objective information, reliable figures, data and facts of the previous processes?

3 Big Data Management and Analysis

The production facilities in the die-casting industry have been equipped with digital control technology for decades. With sensors and actuators that acquire and respond to data via a programmed machine control system. Regulated machine functions are now largely standard.

The plants and die casting cells also have the possibility to store, analyze and display these data. Many people already use this in company networks and store this data centrally.

With the preceding questions, however, the question arises as to whether a process optimization can be operated with the manufacturer-dependent data of the



Slika 4. Beleženje podatkov: podatki o stroju in procesni podatki iz različnih virov

Figure 4. Data Recording: Machine and Process data from different sources

in to s tipali ter prožili, ki pridobivajo podatke prek programiranega sistema za nadzor strojev ter se nanje odzivajo. Nadzorovane funkcije strojev so v številnih primerih že osnova.

Obrati in celice za tlačno litje imajo zmožnosti shranjevanja, analiziranja in prikazovanja teh podatkov. Številni uporabniki te podatke že uporabljajo v družbenih omrežjih in jih shranjujejo centralno.

Iz predhodnih vprašanj pa se porodi vprašanje, ali je proces optimizacije mogoče upravljati s podatki proizvajalca, vezanimi samo na stroje in celice. Odgovor je jasen: zagotovo ne!

Zbiranje podatkov za ta namen sega še dlje. Če je tako predvideno za namene optimizacije livarne, mora biti zbiranje celovito in zajemati tudi podatke, ki niso vezani na stroje, kot so podatki o orodju, temperaturni nadzor pri tehnologiji brizganja itn. To velja tako za sodobne in nove stroje, kot že obstoječe stroje prek sistemov vodenja dnevnikov, sodobnih vmesnikov in podatkovnih povezav (Slika 4).

Nadalje je treba na splošno upoštevati tudi preostale sisteme v celotni livarni. Torej

machines and cells alone. Clear answer: certainly not!

Data collection for this purpose goes beyond this. And if it is to be used for the purpose of optimization in the foundry, it must also be more comprehensive, also to record non-machine-related data, such as data of the tool, the temperature control of the spraying technology etc. And this on modern, new machines as on existing machines, through data logger systems and modern interfaces and data interfaces (see Fig. 4).

Moreover, the overall consideration must also be thought of extending these systems to the entire foundry. That is, in a future development stage, not only the casting cell is recorded but also the logistics of the foundry, the material flow, the recycling, the production planning, etc.

This is the basis for tackling the ideas in the direction of industry 4.0 at all.

If enough data is collected, it means to evaluate it meaningfully. From data information must be taken. Information about the interactions in the process as well as the process improvement potentials (see Fig. 5).



Slika 5. Upravljanje masovnih podatkov in analitika
Figure 5. Big Data Management and Analytics

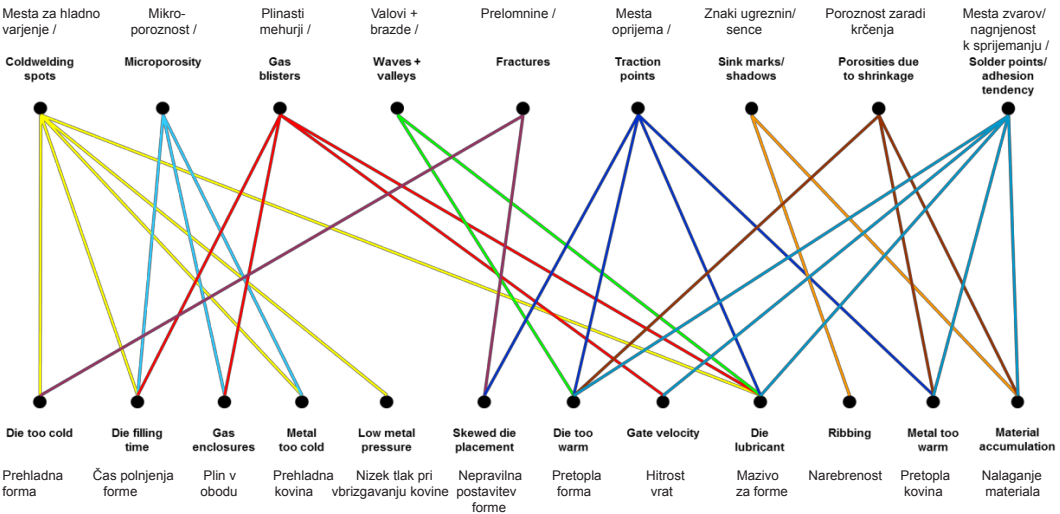
se v fazi prihodnjega razvoja ne beleži samo livarska celica, temveč tudi logistični procesi livarne, pretok materialov, recikliranje, načrtovanje proizvodnje itn.

To je osnova za to, da bomo sploh kos zamislim, vezanim na usmeritev industrije 4.0.

Če je zbrana zadostna količina podatkov, to pomeni, da jih je treba smiselno preučiti. Iz podatkov je treba zbrati informacije. To so informacije tako o interakcijah v procesih

4 Key Topics for Productivity

If the founders know these interactions in their processes, optimizations can be carried out. In many cases however they work heuristically or with pure empirical values. These methods are limited in consideration of the large number of interactions (see Fig. 6) and the unequivocal assignment of causes and effects in the die casting process.



Slika 6. Medsebojni vplivi
Figure 6. Interaction

kot potencialih za izboljšave procesov (Slika 5).

4 Ključne teme za storilnost

Če so livarji seznanjeni s temi interakcijami v njihovih procesih, je izvedba optimizacij mogoča. Vendar pa v številnih primerih delujejo hevristično ali zgolj na podlagi empiričnih vrednosti. Te metode so omejene v zvezi z velikim številom interakcij (Slika 6) ter jasno dodelitvijo vzrokov in učinkov v procesu tlačnega litja.

Pri obdelavi velikih količin podatkov lahko soodnosnost podatkov izhaja tudi iz parametrov, ki se na prvi pogled zdijo nepomembni. In po potrebi lahko iz tega izhajajo ukrepi, ki upravljavcu stroja ali obrata zagotavljajo priporočila za optimizacijo procesa prek tako imenovanih sistemov za zagotavljanje pomoči ali avtomatizacije.

Katere so tovrstne ključne tematike, ki vodijo v večjo dobičkonosnost? Članek v nadaljevanju navaja nekaj primerov, razvrstitev pa temelji na Sliki 7.

V grobem razlikujemo med naslednjimi tematikami:

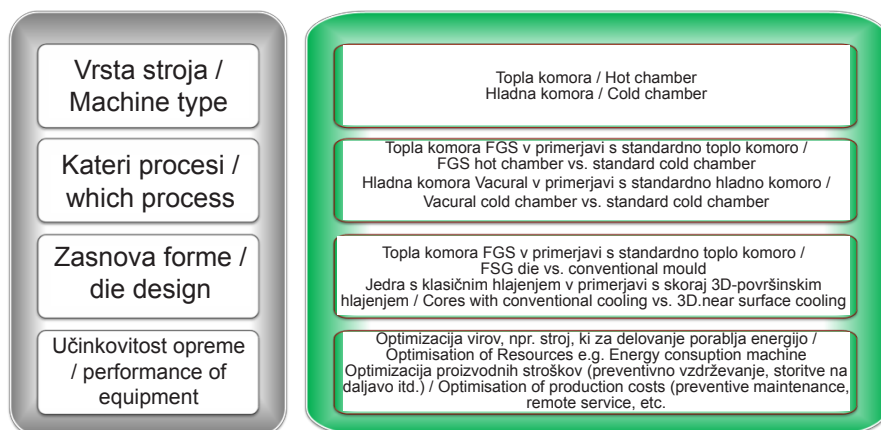
When processing large amounts of data, correlations can also be derived with parameters, which do not appear relevant at first sight. And, if necessary, measures can be derived from this, which support the machine operator or plant operators with recommendations to optimize the process via so-called assistance systems or automatisms.

What are such key topics that lead to greater profitability? In the following, some examples are shown in this article, the classification being based on Fig. 7.

Mainly the following topics can be distinguished:

- **Process technology and machine technique:**

Depending on the alloy being processed, the hot chamber and/or the cold chamber process are used for die casting. Magnesium alloys, for example, can be processed in both process technologies, which is why the spectrum of the die casting parts has to be considered in particular in order to select the optimum method. In /1/ und /2/, the authors compared the procedures for such applications and



Slika 7. Ključna področja za storilnost

Figure 7. Key fields for productivity

- **Procesna tehnologija in strojna tehnika:**

Glede na vrsto zlitine, ki se obdeluje, se za tlačno litje uporablja proces s toplo in/ali hladno komoro. Magnezijeve zlitine se na primer lahko obdelujejo z obema procesnima tehnologijama, zato je treba razpon tlačno litih delov upoštevati zlasti pri izbiri optimalne metode. V delu /1/ in /2/ so avtorji primerjali postopke za tovrstne aplikacije in določili merila za izbiro.

- **Tematike, vezane na proces:**

Na podlagi primernih in inovativnih metod lahko izkoristimo prednosti in izboljšave v primerjavi s standardnim procesom tlačnega litja. Sistem FGS ali proces Vacural® je inovativna procesna tehnika, ki omogoča izboljšano storilnost v primerjavi s standardnim procesom litja.

- **Forma za tlačno litje:**

Forma je ključni element tlačnega litja. Kakovost delov in učinkovitost litja posledično nista nepomembni. Zasnova forme s simulacijo polnjenja je dandanes standardni element. Holistični pogled na vsebnost toplote in nadzor temperature pri formi sta ključnega pomena za proizvodnjo, vendar se pogosto določata skladno s klasično metodologijo. Sistem FGS, tj. sistem z vročim dovodnim kanalom za spremenjeni proces tlačnega litja z vročo komoro (proces FGS), kaže potencial za gospodarnejše tlačno litje, pa tudi za tehnologijo 3D-konformnega tempranja kalupa.

- **Učinkovitost opreme:**

Ta tematika je precej obsežna. Vendar pa je učinkovitost odvisna tudi od procesa in procesne konkurenčnosti dobavitelja opreme za zagotavljanje zadevnih storitev livarju za optimizacijo virov in stroškov.

gave criteria for selection.

- **Process topics:**

By means of suitable, innovative methods, advantages and improvements can be used compared to the standard die casting process. The FGS system or the Vacural® process are innovative process techniques that perform more than the respective standard casting process.

- **Die casting die:**

The die is a key element in die casting. The quality of the parts and the efficiency of the casting are thereby determined not insignificantly. The design of the die by means of filling simulation is nowadays a standard feature. The holistic view of the thermal household and the temperature control of the die are essential for production, but they are often determined according to classical methodology.

The FGS system, a hot-runner system for a modified hot chamber die casting process (FGS process), shows potentials for more economical die casting as well as the technology of 3D conformal tempering the mold.

- **Performance Equipment:**

Beneath this a lot can be summarized. However, it also depends on the process and process competence of the equipment supplier to provide respective services to the caster to optimize the resources and costs.

5 Examples for Optimizing of the Die Casting Process

Frech not only offers its customers a broad product portfolio, but also the support of innovation and services in exactly, what are the core and key topics which are suitable

5 Primeri optimizacije procesa tlačnega litja

Skupina Frech svojim strankam ne ponuja zgolj obsežnega portfelja izdelkov, pač pa tudi podporo pri inoviranju in pomoč pri ugotavljanju, katere so osnovne in ključne tematike za optimizacijo procesa tlačnega litja. Sledi nekaj primerov:

5.1 Inovativni FGS

FGS, kratica za Frech Gating System (sistem z dovodnim kanalom Frech), je patentirani sistem z vročim dovodnim kanalom, ki ga je družba Frech razvila za visokotlačno litje neželeznih kovin v procesu, ki se izvaja v topli komori (/3/).

Zaradi sistema z dovodnim kanalom brez odklonskega ventila v formi po eni strani in privzetega procesnega vodila po drugi se široko izognemo običajnemu dolivku in velikim delom dovodnega kanala (Slika 8). To običajno pomeni, da teh odstranjenih

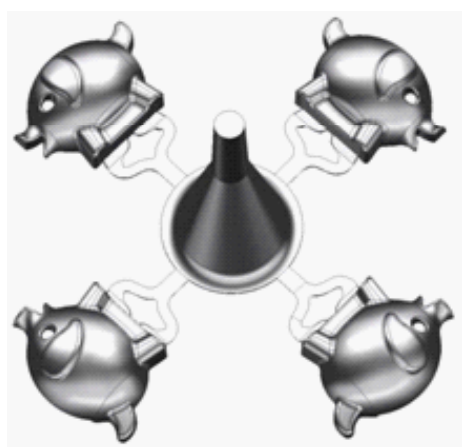
to optimize the die-casting process. Here are some examples:

5.1 Innovation FGS

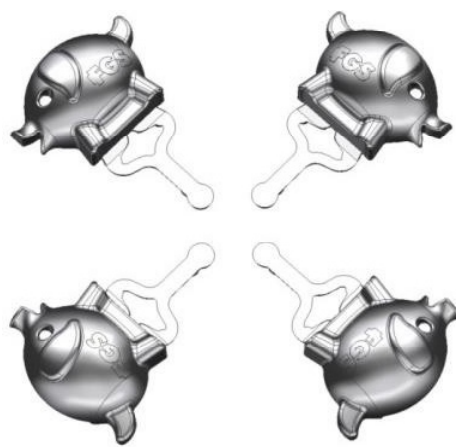
FGS, which stands for Frech Gating System, is a patented hot runner system developed by Frech for non-ferrous metal high pressure die casting in the hot chamber process (/3/).

By means of a reject-valve-free hot-runner system in the die on the one hand and by an adapted process guide on the other hand, the usual sprue of the casting and large parts of the runner are clearly avoided (see Fig. 8). This generally means that these eliminated runner components do not have to be recycled during the manufacturing process. This means, there is no effort required in the form of work incidents, handling and process costs, recycling, re-melting costs, etc.

The melt is also always kept at the gate. Thus, the venting expense in the die



Standardni / Standard



FGS

Slika 8. Prikaz klasičnega dovodnega kanala v primerjavi z dovodnim kanalom FGS

Figure 8. Scheme classical gating versus FGS

komponent dovodnega kanala med proizvodnim procesom ni treba reciklirati. To tudi pomeni, da odpadejo težave, vezane na nesreče pri delu, ravnanje in stroške obdelave, recikliranje, stroške ponovnega taljenja itn.

Talina v vsakem trenutku ostaja v dovodnem kanalu. Zato je strošek zračenja v formi omejen s količino zraka v livni votlini. Proces litja FGS ne zahteva več tako imenovane »prve faze«, pri kateri se standardni proces s toplo komoro uporablja za prenos taline, npr. brez zvrtničenja zraka do dovodnega kanala pri zmerni hitrosti. To privede do manjše poroznosti, krajših ciklov, večjega števila izdelkov boljše kakovosti. Slika 9 prikazuje preplet prednosti tudi glede porabe energije, kakovosti delov, učinkovitosti procesa in storilnosti.

5.2 Proces Vacural® za tlačno litje z visokonapeto hladno komoro

Slika 10 prikazuje načela te posebne metode pri tlačnem litju s hladno komoro. Za tlačno

is limited to the air volume of the cavity. The FGS casting process no longer requires a so-called „first phase“, which in the standard hot chamber process serves to transport the melt e. g. without air turbulence to the gate at a moderate rate. That is, less porosity, shorter cycles, higher parts yield with better quality. Fig. 9 shows the complexity of the advantages also in terms of energy consumption, part quality, process efficiency and productivity.

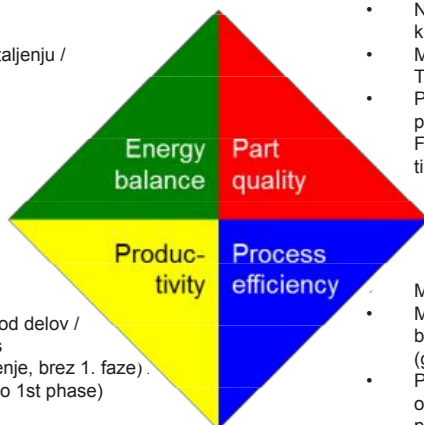
5.2 Vacural® Process for Highly-Stressed Cold Chamber Die Casting

Fig. 10 shows the principle of this special method in cold chamber die casting. Characteristic for Vacural® die casting is the extremely low porosity of the parts and the very good suitability for very thin-walled parts. The casting products in the Vacural® process are characterized by a high ductility among others.

In the Vacural® process the melt is sucked from a holding furnace via a

- Zmanjšanje krožnega materiala / Reduction of cycling material
- Zmanjšanje izgub pri taljenju / Reduction of melting loss
- Zmanjšanje porabe energije pri taljenju / Reduction of melting energy
- Zmanjšanje sile pri ulivanju / Reduction of casting force
- Segrevanje enote FGS / Heating of FGS unit

- Čas hlajenja, ki je odvisen zgolj od delov / Cooling time depending on parts
- Krajši delovni cikel (hitrejša hlajenje, brez 1. faze) / Cycle shorter (quicker cooling, no 1st phase)
- Več votlin / More cavities



- Manjša količina zraka v sistemu / Less air in system
- Natančno segrevanje taline v dolivnem kanalu / Exactly heated melt at gate
- Možno tankostensko litje / Thin-walled casting possible
- Polnjenje pri nizkih hitrostih (boljše prezračevanje; manjša poroznost) / Filling with low velocity (better ventilation, less porosity)

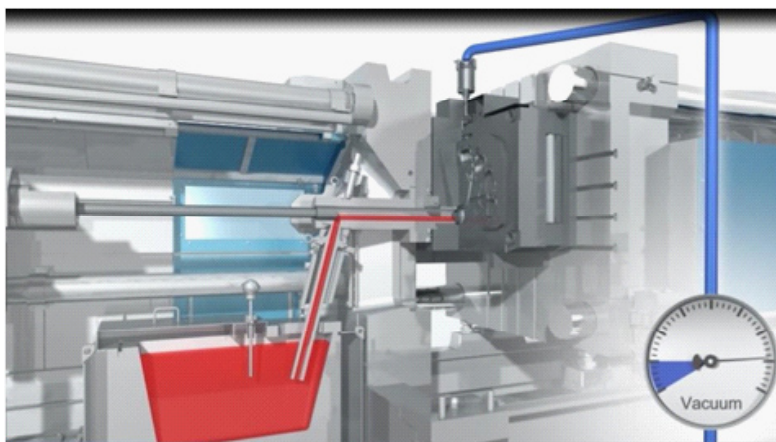
- Manjša obraba forme / Less die wear
- Manjša obraba orodij za litje (sifon, bat, šoba) / Less wear at casting set (goosneck, piston, nozzle)
- Povezava dela z dolivnim kanalom ni odvisna od števila votlin / Relation of part to gate is independent on number of cavities

Slika 9. Matrica prednosti

Figure 9. Matrix of advantages

Slika 10. Proces Vacural®

Figure 10. Vacural® Process



litje Vacural® je značilna izjemno nizka poroznost delov in zelo visoka primernost metode za dele z zelo tankimi stenami. Za ulitke, izdelane z metodo Vacural®, je med drugim značilna visoka tanljivost.

Pri procesu Vacural® se ulitek prek povezanega podtlaka v formi posesa iz zadrževalne poti in pošlje v cev hladne komore stroja za tlačno litje. To pomeni, da se v nasprotju z metodo standardne hladne komore z naknadnim vakuumom votlina forme in cev izpraznita celo pred odmerjanjem kovine. Vakuum v sistemu slabi nagnjenosti k oksidaciji taline v cevi in podpira odvajanje plina. Oba dejavnika trajno učinkujeta na kakovost ulitka.

5.3 Konformno tempranje forme

Dober primer so jedra, zatiči ali drsniki v formi, ki jih je zaradi njihove geometrije pogosto mogoče temprati samo posredno ali pomanjkljivo (Slika 11). Posledično so te komponente izjemno toplotno obremenjene in se v primerjavi z življenjsko dobo forme razmeroma hitro obrabijo.

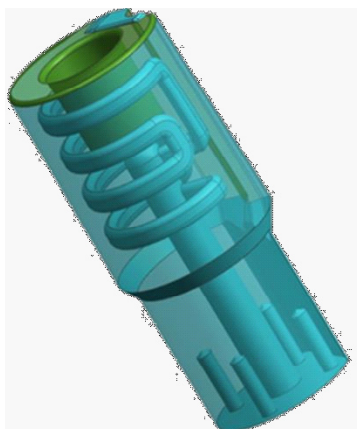
Če se jedra zdaj proizvajajo npr. s procesi aditivne proizvodnje, ki zajemajo hladilne kanale v bližini površine skladno z

connected vacuum on the die and is dosed into the sleeve of the cold chamber die casting machine. That is, in contrast to the standard cold chamber method with a downstream vacuum, the cavity of the die and the sleeve are evacuated here even before the metal dosing. The vacuum in the system counteracts the oxidation tendency of the melt in the sleeve and supports its degassing. Both factors have a lasting effect on the casting quality.

5.3 Conformal Die Tempering

A good example here are cores, pins or slides in a die which can often be tempered only indirectly or deficient due to their geometry (see Fig. 11). As a result, these components are thermally extremely stressed and wear relatively quickly compared to the lifetime of the die.

If cores are now produced, for example by means of additive production processes which contain cooling channels close to the surface in accordance with their contour, their lifetimes can be significantly increased. If the lifetime is the same as for the die, additional maintenance may be omitted;



Slika 11. Primer jedra s konformnim hlajenjem

Figure 11. Example for a core with conformal cooling

njihovo konturo, se lahko njihova življenjska doba bistveno podaljša. Če je življenjska doba enaka kot za formo, je mogoče izločiti dodatno vzdrževanje. Procesov litja ni treba deliti v serije; izogib stroškom postavitve in dodatnim stroškom popravil.

Poleg tega boljše sproščanje temperature običajno omogoča hitrejši proizvodni cikel. To pomeni, da so celice bolj storilne. Dobra razporeditev temperature tudi izboljša površino ulitka, ki v določenih primerih privede do sprožitve manjšega obsega odpadkov. Rezultat so »številne koristi« za dobičkonosnost procesa.

5.4 Prihranki pri virih, npr. energiji

V industriji tlačnega litja ni nenavaden pojav delo s stroji, starejšimi od 30 let. Vendar pa so pogosto v remontih. Toda ali se je tehnologija prilagodila najnovejšemu tehnološkemu stanju, če je to sploh mogoče? Ali se je zgolj ohranil »status quo«?

Slika 12 prikazuje vpliv različnih tehnologij na pogon stroja za tlačno litje s silo utopa 16 MN. Zgoraj levo je prikazana energijska poraba pri delovnem ciklu obstoječega starejšega stroja. V preteklosti se je navadno uporabljala tehnologija s

Casting processes do not have to be divided into batches; Additional setup costs and additional repair costs will be omitted.

In addition, the better temperature release usually allows a faster production cycle. This means, the cell works more productively. The good heat dissipation also improves the surface of the casting, which in some cases leads to a sustained reduction in the scrap rate. That is, „multiple benefits“ in the profitability of the process.

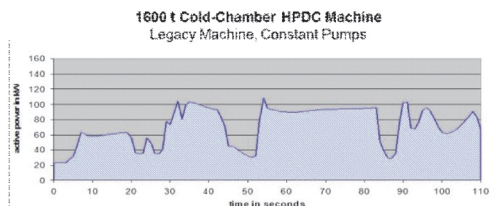
5.4 Savings in Resources, e. g. Energy

In the die casting industry it is not unusual to produce with machines older than 30 years. Often they are overhauled in the meantime. But was the technology adapted to the latest state of technology, if possible? Or was only the status quo conserved?

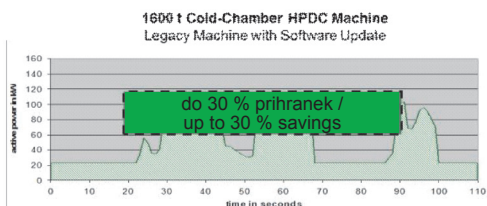
Fig. 12 illustrates the effects of different technologies on the machine drive of a die casting machine with a locking force of 16 MN. At the top left is the energy consumption of a working cycle of an existing machine of older years. The common technology of the early days was a constant-pump drive with high-low-pressure switchover.

Only modern software optimization and modifications to the machine control system

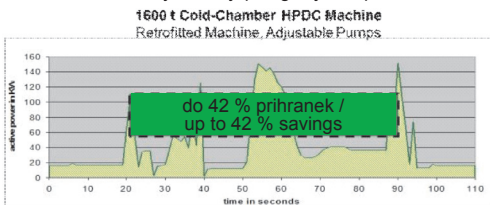
Stroj za visokotlačno litje s hladno komoro, ki tehta 1.600 ton
Stari stroj, črpalke s stalnim pretokom



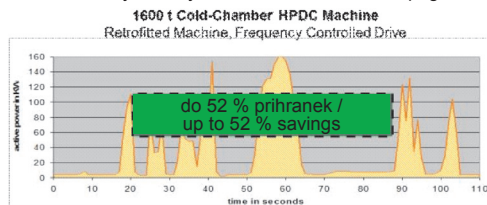
Stroj za visokotlačno litje s hladno komoro, ki tehta 1.600 ton
Stari stroj s posodobljeno programsko opremo



Stroj za visokotlačno litje s hladno komoro, ki tehta 1.600 ton
Zamenjani stroj, prilagodljive črpalke



Stroj za visokotlačno litje s hladno komoro, ki tehta 1.600 ton
Zamenjani stroj, frekvenčno nadzorovani pogon



Slika 12. Zmogljivost – prihranki pri virih

Figure 12. Performance - Savings in Resources

stalnim črpalnim pogonom z menjavanjem visokega in nizkega tlaka.

Samo z optimizacijo sodobne programske opreme in spremembami sistema krmiljenja motorja lahko prihranimo 30 % energije na delovni cikel (prikazano zgoraj desno). Prihranki so lahko še večji v primeru prilagoditve črpalnega sistema ali uporabe popolnoma nove tehnologije pogona v strojih najnovejših generacij. V tem primeru je mogoč energetski prihranek 53 % na delovni cikel. Vendar pa je treba za oceno te pomembne metode izmeriti energijsko porabo obstoječe tovarne in jo analizirati v primerjavi z ustreznimi izhodišči.

5.5 Upravljanje stroškov

Predhodne analize in metode niso omejene na strojne pogone. Na ta način je mogoče zaznati in oceniti celotne livne celice, pri tem pa lahko upravljaivec vidi, kje so potenciali za

can save 30% of energy in the cycle (shown in the upper right figure). The savings can be further increased, if the pumping system is adapted or when a completely new drive technology of today's machine generations is retrofitted. In this case, up to 53% of the energy consumption of the working cycle can be saved. However, in order to evaluate this in a meaningful manner, it is necessary to measure the energy consumption of the existing plant and to analyze it in comparison to corresponding benchmarks.

5.5 Cost Management

The previous analyzes and methods are not limited to the machine drive. In this way, entire casting cells can be detected and evaluated so that the operator can see where the optimization potentials lie in the respective casting process of a part. They are not the same per se, but depend heavily on the product.

optimizacijo pri zadevnem livnem procesu. Ti potenciali med seboj niso popolnoma enaki, pač pa so močno odvisni od izdelka.

Vse te analize pa je mogoče pretvoriti tudi v strošek na izdelavo dela oziroma boljše rešeno strošek na izdelavo kakovostnega dela – tako zagotovimo preglednost.

Orodja za to postajajo na voljo z vse večjo digitalizacijo, ki omogoča beleženje podatkov o celici, procesu in kakovosti, na podlagi katerih lahko osnujemo zaključke.

6 Povzetek

Zgornji primeri prikazujejo nekaj orodij za izboljšavo dobičkonosnosti tlačnega litja tako s ciljno usmerjenimi inovacijami kot v primerjavi z izhodišči. Uporabni so podatki o procesu, iz katerih lahko pridobimo zanesljive in objektivne informacije ter ki se lahko uporabljajo za ciljno usmerjene izboljšave.

Na voljo je tehnologija za ustvarjanje informacij iz podanih podatkov. Za tvorbo pravih sklepov je potrebno tudi razumevanje in poznavanje različnih področij tlačnega litja. V tem smislu je Skupina Frech organizirana skladno za uvajanje nenehnih izboljšav tlačnega litja skupaj s strankami ter za postavitev livarstva kot sodobne industrije za prihodnost z inovacijami in novitetami.

All these analyzes can, however, be converted at the cost per part – or better at the cost per good part - so that transparency is generated.

The tools for this are available with increasing digitization in order to record cell, process and quality data, and then draw conclusions from them.

6 Summary

The previous examples have shown some instruments on how to improve the profitability of die casting by means of targeted innovations, but also by benchmark comparisons. Process data from which you can obtain reliable, objective information and which can then be used for the purpose-oriented improvements are helpful.

The technology for data-based information generation is available. In order to draw the right conclusions, there is generally also a need for understanding and knowledge in the various fields of die casting. In this respect, the Frech Group is set up in accordance with this in order to continually improve die casting together with our customers and to position it as a modern industry for the future through innovations and novelties.

Viri / Literature

- /1/ Casting Symposium Aalen (Aalener Gießerei Symposium 2001: R. Fink. N. Erhard: Casting of Magnesium Alloys on Hot Chamber and Cold Chamber Die Casting Machines
- /2/ IMA 2014 World Conference Proceedings: N. Erhard, M. Schlotterbeck, C. Bark: Magnesium Die Casting Technologies: A Comparison based on Parts Requirements as well as Perspective on Innovation Potential of Magnesium Die Casting
- /3/ Casting Plant & Technology 1/2012: N. Erhard, D. Gerwig: FGS – high-pressure die casting without gate

Pregled stanja in vpogled v prihodnost svetovne proizvodnje ulitkov. Vloga fakultete za livarstvo pri izobraževanju inženirjev za livarsko industrijo

The State of art and Foresight of World Casting Production. The Role of the Faculty of Foundry Engineering In Educating Engineers for Casting Industry

Izvleček

Proizvodnja ulitkov velja za enega glavnih dejavnikov, ki vpliva na razvoj svetovnega gospodarstva. Ta članek obravnava pregled stanja in vpogled v prihodnost svetovne proizvodnje ulitkov na podlagi najnovejših statističnih podatkov. Napredek v zadnjih nekaj letih na področju livarstva je prikazan kot možnost dodatnega razvoja livarske tehnologije. Zadnje desetletje je prineslo pomembne spremembe na področju največjih proizvajalcev ulitkov. Globalizacija in preoblikovanje gospodarskih sistemov se odražata v spreminjanju proizvodnje livarn v različnih državah, pri čemer globalizacija gospodarstva ne pomeni zgolj priložnosti, pač pa predstavlja tudi nevarnost za poljske in evropske livarne [1–5].

V drugem delu te predstavitve je prikazan razvoj livarn in metalurških znanosti na Univerzi za znanost in tehnologijo AGH v Krakovu na Poljskem od ustanovitve Fakultete za obdelavo železa in jekla leta 1922 do danes. Raziskava predstavlja zgodovino izgradnje znanstvenega, didaktičnega in organizacijskega profila Fakultete za livarski inženiring, ki so jo ustanovili najuglednejši člani raziskovalne ekipe na univerzi AGH, kjer se ukvarjajo z disciplinami, vezanimi na livarsko industrijo z železnimi in neželeznimi kovinami v najširšem smislu.

Podan je kratek opis didaktičnih dejavnosti fakultete, raziskovalnih področij in sodelovanja z industrijo. Poudarjena je vloga, ki jo ima fakulteta pri rasti poljske livarske industrije.

Ključne besede: livarna, litje, proizvodnja, razvoj, izobraževanje

Abstract

The casting production is considered as one of the main factors influencing the development of world economy. The state of art and foresight of world's casting production is discussed in the paper on the basis of the latest statistical data. The progress gained during the last few years in foundry engineering is shown as a way to further development of foundry technology. The last decade brought significant changes in the world map of the greatest casting producers. Globalization and transformation of economic systems is reflected by variations of foundry production in different countries, more over the globalization of economy is regarded not only as a chance but also as a menace for the Polish and European foundries [1-5].

The second part of the presentation presents the development of foundry and metallurgical sciences at the AGH University of Science and Technology in Krakow, Poland, since the time when a Faculty of Iron and Steel Practice was established in 1922 until the present day. The study outlines the history of creating a scientific, didactic and organization profile of the Faculty of Foundry Engineering, founded by the most eminent members of AGH research staff who practice the disciplines related with iron steel and non ferrous metals casting industry in a widely understood meaning of this word.

A short characteristic of the didactic activities of the faculty was given, and the areas of research and cooperation with industry were described. The role, which the faculty plays in the growth of the Polish casting industry, was emphasized.

Key words: foundry, casting, production, development, education

Svetovna proizvodnja ulitkov

Proizvodnja ulitkov velja za enega glavnih dejavnikov, ki vpliva na razvoj svetovnega gospodarstva. Dejanska zmogljivost svetovne proizvodnje ulitkov se močno razlikuje. Zadnje desetletje je prineslo pomembne spremembe na področju največjih proizvajalcev ulitkov. Globalizacija in preoblikovanje gospodarskih sistemov se odražata v spreminjanju proizvodnje livarn v različnih državah, pri čemer globalizacija gospodarstva ne pomeni zgolj priložnosti, pač pa tudi nevarnost za evropske livarne [1].

Trenutno stanje v svetovni proizvodnji ulitkov

Proizvodnja ulitkov v zadnjih letih raste. To dokazuje dejstvo, da je v obdobju od leta 2009 do 2015 svetovna proizvodnja ulitkov narasla za 29,6 %. Skupna proizvodnja ulitkov, ki je v letu 2016 znašala 104,1 milijona ton, je bila rekordna [5].

Izmed 35 držav največjih proizvajalk ulitkov na svetu je bila proizvodnja ulitkov v letu 2015 v primerjavi z letom 2014 nižja v samo 14 država (tj. Norveška, Švica, Japonska, ZDA). Proizvodnja v Mehiki je

World Casting Production

The casting production is considered by the main factors influencing the development of the world economy. Actual capacity of the world's casting production is strongly diversified. The last decade brought significant changes in the map of the world by the greatest casting producers. Globalization and transformation of economic systems is reflected by variations of foundry production in different countries, moreover the globalization of economy is regarded not only as a chance¹ but also as a menace for the European foundries [1].

Current Situation in the World's Casting Production

A casting production in the last years has had an increasing tendency. It is shown by the fact, that the world casting production increased by 29,6 % from 2009 to 2015. The total casting production being 104,1 million tons in 2016 is the highest ever [5].

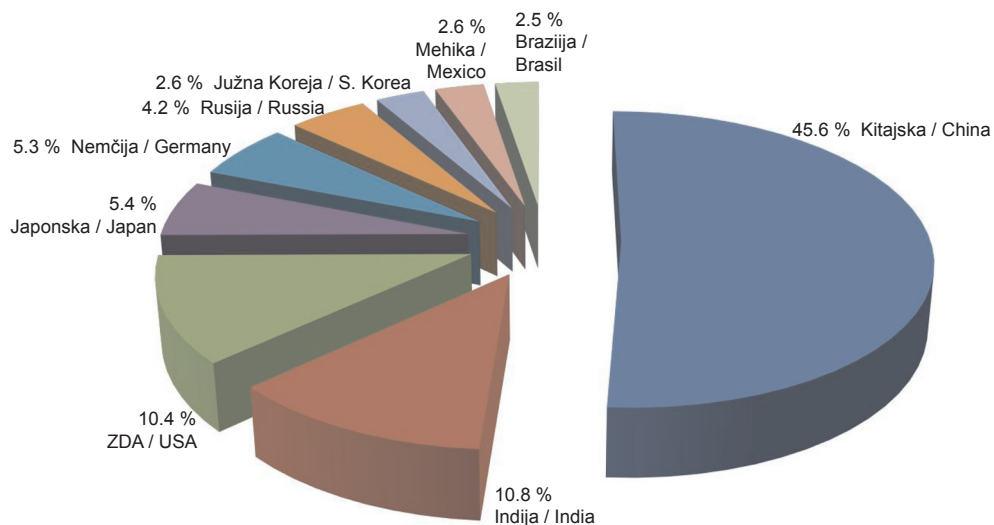
Out of 35 countries, main casting producers in the world, in 14 countries only the casting production in 2015 was lower than in 2014 (ie. Norway, Switzerland, Japan, US.). Whereas Mexico had the

doživela največji porast v tem obdobju, in sicer 55 %.

10 držav največjih proizvajalk ulitkov je v letu 2015 proizvedlo približno 87 % ulitkov, njihova udeležba v svetovni proizvodnji je ostala enaka letu 2014. Največje proizvajalke ulitkov v letu 2015 so bile: Kitajska, ZDA, Indija, Nemčija, Japonska, Rusija, Brazilija,

highest production increase in this period, being 55 %.

Ten countries, the largest casting producers in the world produced in 2015 approximately 87 % of casting, having the same participation in the global production as in 2014. The largest casting producers in the year 2015 were: China, USA, India,



Slika 1. Proizvodnja ulitkov 10 največjih svetovnih proizvajalk (v mio. ton) [5]

Figure 1. Casting production in top 10 world casting producers (in million tons) [5]

Tabela 1. Proizvodnja ulitkov največjih proizvajalk ulitkov (v tisoč tonah) [5]

Table 1. The production of castings in world largest casting producers (in thousands tons) [5]

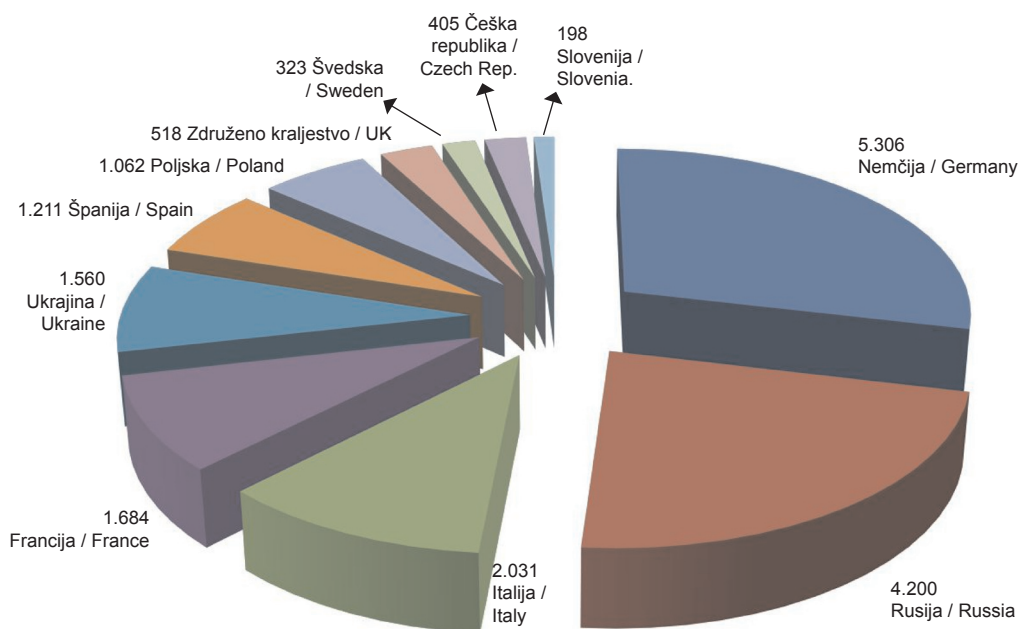
Država / Country	Siva litina / Grey Iron	Nodularna litina / Ductile Iron	Jeklo / Steel	Aluminij / Aluminum	Drugo / Other	SKUPAJ / TOTAL
Kitajska / China	20.200	12.600	5.100	6.100	7.700	45.600
Indija / India	7.410	1.180	880	1.250	1.300	10.770
ZDA / USA	3.328	3.115	1.493	1.622	2.452	10.388
Japonska / Japan	2.022	1.703	157	418	1.522	5.404
Nemčija / Germany	2.337	1.520	196	1.071	1.253	5.306
Rusija / Russia	2.982		756	462	462	4.200
J. Koreja / S. Korea	1.082	708	164	623	669	2.623
Mehika / Mexico	815	375	330	735	1.040	2.560
Brazilijska / Brasil	1.342	548	243	154	182	2.315
Italija / Italy	694	374	62	760	901	2.031

Južna Koreja, Italija in Francija (Slika 1, Tabela 1).

Proizvodnja ulitkov največjih evropskih proizvajalk v letu 2015 je prikazana na Sliki 2.

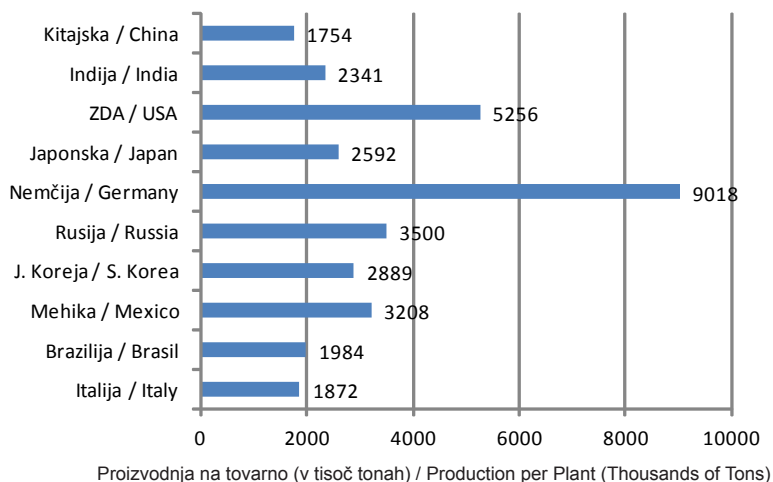
Germany, Japan, Russia, Brazil, South Korea, Italy and France (Figure 1, Table 1).

Casting production in the top European countries in 2015 is shown in Figure 2.



Slika 2. Proizvodnja ulitkov največjih evropskih proizvajalk [5]

Figure 2. Casting production in top European countries [5]



Slika 3. Letna proizvodnja ulitkov na livarno [5]

Figure 3. Year casting production per plant [5]

Proizvodnja na tovarno (v tisoč tonah) / Production per Plant (Thousands of Tons)

Kitajska, ki je v letu 2015 proizvedla 43,8 % ulitkov, na področju proizvodnje ulitkov prednjači že vrsto let. Drugo mesto s štirikrat manjšim obsegom proizvodnje od Kitajske pripada Indiji, katere delež znaša 10,3 % zaradi 44,7-% dviga glede na leto 2009. Bistveno zvečanje proizvodnje (40,2 % v primerjavi z letom 2009) so dosegle tudi Združene države Amerike. Države EU imajo nespremenjen delež proizvodnje ulitkov, ki znaša pribl. 28 % [2–4].

V letu 2015 je skupno obstajalo približno 47.000 livarn, število se je glede na leto 2010 zmanjšalo za 1.164. To kaže, da se livarstvo krepi in postaja učinkovitejše (Slika 3).

Izobraževanje inženirjev za livarsko industrijo

Poljsko terciarno izobraževanje in visokošolski (akademski) sistemi so bili kodificirani ter zajemajo tri stopnje izobrazbe: diplomant (dodiplomski študij oz. licencjat), magister (magistrski študij oz. magister) in doktor (doktorski študij oz. PhD). Proces uvedbe nove tristopenjske strukture namesto dvostopenjske (magister in doktor), ki se na številnih univerzah še vedno izvaja, vztrajno napreduje.

V poljskih akademskih krogih je Bolonjska deklaracija dobro poznana in se izvaja vsaj delno. Zato se želimo v navedbah v naslovu tega članka navezati na najpomembnejšo težavo v zvezi s to deklaracijo, ki zajema šest osnovnih ukrepov, vezanih na akademske kroge, hkrati pa določa cilje nalog in obveznosti državam, ki so jo podpisale. Naloge in obveznosti bi bilo treba uvesti v praksi do leta 2010. Te naloge so:

- uvedba primerljivega in preprostega sistema prepoznavanja akademskih

The leader in the casting production from many years is China, which produced 43,8 % of castings in 2015. The second place, however with the production 4-times smaller than China, belongs to India, which share is 10,3 %, due to 44,7 % increase in relation to 2009. A significant production increase (40,2 % as compared with 2009) obtained also the United States of America. The EU countries share in the casting production equaled approximately 28 % [2–4].

The total number of casting facilities in 2015 was about 47000 and it decreased from 2010 by 1164. This fact indicates that metalcasting business is consolidating and becomes more efficient Figure 3).

Education of Engineers for Casting Industry

The Polish tertiary education and academic systems have been codified including three levels of degrees: Bachelor (licencjat), Master (magister) and Doctor (PhD). The process of implementing a new, three-degree structure instead of the two-degree one (Master and PhD), which is still operative in many universities, is progressing steadily.

In Polish academic circles the Bologna Declaration is a document quite well known and verified practically in part at least. Therefore my remarks indicated in the title of this paper I would like to refer to the most important issues covered by this Declaration, which involves 6 basic actions addressed to the academic circles, and at the same time assigns the scope of tasks and duties to the states who have signed the Declaration. The tasks and duties should be put in practical implementation by year 2010. They are as follows:

- adopting a comparable and easy to read system of academic grades (professional

ocen (strokovnih in znanstvenih) – tudi z uvedbo Dodatka k diplomi;

- uvedba dvostopenjskega študijskega sistema – dodiplomski (ki zajema vsaj tri leta izobraževanja) in magistrski/doktorski (razen prava, medicine in psihologije);
- uvedba Evropskega sistema prenašanja kreditnih točk (ECTS) – kot sredstvo za spodbujanje mobilnosti. Takšne kreditne točke bi se lahko pridobile tudi zunaj višjega izobraževalnega sistema (npr. med usposabljanjem v industrijskem okolju);
- promoviranje in podpiranje mobilnosti študentov, učiteljev in administrativnega osebja, ki dovoljuje različna obdobja v smislu izobraževanja, usposabljanja in izvajanja raziskav;
- spodbujanje evropskega sodelovanja glede zagotavljanja kakovosti;
- promoviranje nepogrešljivega evropskega obsega visokošolske izobrazbe, zlasti v zvezi z načrti mobilnosti in medinstitucionalnim sodelovanjem, pa tudi z integriranimi programi izobraževanja, usposabljanja in izvajanja raziskav.

Na nizu srečanj ministrov za šolstvo, ki jih je organizirala Evropska komisija (Lizbona – 2000, Stockholm – 2001, Barcelona – 2002, Berlin – 2003), se je značaj Bolonjske deklaracije postopoma spreminjal in prešel z ukrepov izrecno prostovoljne narave na nabor obvezujočih zavez, ki jih morajo univerze upoštevati. Najpomembnejše zadeve pri teh zavezah so:

- vseživljenjsko učenje;
- študij za doktorsko izobrazbo kot tretji študijski cikel;
- sodelovanje na področju akreditacij in zagotavljanja kakovosti;
- evropski izobraževalni prostor in evropski raziskovalni prostor kot dva

and scientific) - also through adoption of a Diploma Supplement;

- adopting a two-cycle system of the studies - a bachelor (taking minimum three years of learning) and a master/doctor (excluding law, medicine and psychology);
- adopting a European Credit Transfer System (ECTS) - as a means to promote mobility. Credits of this type might be also gained outside the higher educational system (e.g. during industrial training);
- promotion and supporting the mobility of students, teachers and administrative personnel, allowing for different periods in the context of teaching, training and research;
- promotion of European cooperation with regard to quality assurance;
- promotion of the indispensable European dimension of higher education, specially as regards the plans of mobility and interinstitutional cooperation, as well as the integrated programmes of teaching, training and research.

At the successive meetings of the ministers of education, arranged by the European Commission (Lisbon-2000, Stockholm- 2001, Barcelona-2002, Berlin-2003), the character of the Bologna Declaration was gradually changing, passing from actions of strictly voluntary nature to a set of obligatory commitments which the universities should obey. The most important of these commitments are as follows:

- lifelong learning
- studies for doctor's degree as a third cycle of the studies
- cooperation in the field of accreditation and quality assurance
- European Education Area and European Research Area as two main pillars of

glavna stebra družbe, ki je osnovana na znanju;

- stalno spremljanje bolonjskega procesa.

V nadaljevanju so kratke informacije v zvezi s Fakulteto za livarski inženiring Univerze AGH za znanost in tehnologijo v Krakovu, Poljska, ter zgoščen opis njenih dejavnosti na področju izobraževanja inženirjev za razvijanje raziskav in sodelovanja z industrijsko panogo. Fakulteta za livarski inženiring je ena izmed 16 fakultet Univerze AGH za znanost in tehnologijo.

Začetki Fakultete za livarski inženiring segajo v študijsko leto 1951/52, ko so se trije oddelki ločili od Fakultete za metalurgijo, da bi zagotavljali študij s področij livarske tehnologije in livarske mehanizacije.

Trenutni dekan fakultete je prof. Rafal Danko, poddekani pa so: prof. Marcin Górny, prof. Halina Krawiec in prof. Barbara Kalandyk.

Didaktično katedro Fakultete za livarski inženiring sestavlja 21 rednih in izrednih profesorjev, 31 doktorjev, 3 magistre inženirstva, ki so zaposleni v štirih znanstvenih in didaktičnih oddelkih:

- Oddelek za inženiring livarskih procesov,
- Oddelek za livarske zlitine in kompozite,
- Oddelek za litje materialov, tehnologije litja in litje zlitin iz neželeznih kovin,
- Oddelek za kemijo in korozijo kovin.

V nadaljevanju je navedenih nekaj tematik, ki jih fakulteta razvija v okviru znanstvenih in raziskovalnih dejavnosti:

- virtualizacija tehnoloških procesov v livarskem inženiringu Modeliranje kristalizacije in dovajanje ulitkov ter eksperimentalno preizkušanje procesov strjevanja in kristalizacije skupaj z računalniško simulacijo;

the knowledge-based society

- constant monitoring of the Bologna Process

Below you will find a short information concerning the Faculty of Foundry Engineering AGH-UST in Krakow, Poland and a concise characteristic of its activity in the field of educating engineers for developing research and cooperating with industry. The Foundry Engineering Faculty is one of 16 Faculties of the AGH-UST.

The origins of the Faculty of Foundry Engineering date back to the academic year 1951/52, when three departments were separated from the Faculty of Metallurgy to offer courses in the fields of foundry technology and foundry mechanization.

Presently the Dean of the faculty is Professor Rafal Danko, while Deputy Deans are Professors: Marcin Górny, Halina Krawiec and Barbara Kalandyk.

The didactic cadre of the Foundry Engineering Faculty consists of 21 Professors and Assistant Professors, 31 PhD holders and three M.Eng. employees in four main scientific and didactic Departments:

- Department of Foundry Processes Engineering
- Department of Foundry Alloys and Composites
- Department of Moulding Materials, Mould Technology and Casting of Non Ferrous Alloys
- Department of Chemistry and Corrosion of Metals

Some topics being developed in the faculty within the scientific and research activity are listed below:

- Virtualisation of technological processes in foundry engineering. Modelling of crystallization and feeding of castings as well as experimental tests of the solidification and crystallization processes joined with the computer

- optimizacija tehnologije proizvodnje in ulivanja zlitin Oblikovanje livnih struktur, preverjanje tehnoloških procesov taljenja;
- preiskovanje kovinskih kompozitov in metode njihove proizvodnje;
- preiskovanje mehanizmov vezivnih mas z glinenimi vezivi, pa tudi na osnovi snov, ki se strjujejo zaradi kemičnih procesov;
- upravljanje livarskega peska in tehnologije litja ulitkov v povezavi z varovanjem okolja;
- tvorba trdnosti pri zgradbi ulitka in instrumenti;
- pojav korozije in zaščita ulitkov pred korozijo;
- zgradba livnega stroja, mehanizacija in avtomatizacija livarn.

Zgoraj navedene tematike pokrivajo področja, ki zadevajo sodelovanje z industrijskimi podjetji, kar je mogoče realizirati z različnimi projekti, pogodbami itn.

Fakulteta ima vse akademske pravice do izobraževanja študentov na vseh ravneh izobraževanja ter podeljevanja akademskih naslov in diplom. Fakulteta svojim študentom omogoča različne vrste študijev in specializacij. Študijski program je prilagojen trenutnim potrebam sodobnega nacionalnega gospodarstva. Izobražujemo inženirje in magistre znanstvenih ved na naslednjih področjih specializacije v livarstvu: litje različnih zlitin, načrtovanje livnih strojev in njihovega delovanja, mehanizacija, avtomatizacija in načrtovanje livarskih delavnic, precizijsko in dekoracijsko litje, varovanje okolja, uporaba računalnikov pri livarski tehnologiji.

Fakulteta izobražuje študente v vseh vrstah študijev: rednih, izrednih in podiplomskih. Od študijskega leta

simulation.

- Optimisation of the technology of production and casting of alloys. Formation of casting structures, control of technological processes of melting.
- Investigations of metal composites and methods of their production.
- Investigations of mechanisms of binding masses with clay binders as well as on the basis of chemically hardened resins.
- Moulding sands management and casting mould technology in relation to environment protection.
- Strength formation of casting structures and instrumentation.
- Corrosion phenomena and protection of casting against corrosion.
- Casting machine structure, mechanisation and automation of casting houses.

The subject area - listed above - constitutes the topic range concerning the cooperation with industrial enterprises, which can be realised within the frames of various projects, contracts etc.

The faculty has full academic rights to educate students at all levels of education and to confer all academic titles and degrees. It offers to its students various types of studies and different specialisations. The study programs are adapted to the current needs of the modern national economy. We educate engineers and masters of science in the following foundry fields of specialisation: casting of various alloys, designing of foundry machines and their operation, mechanisation, automation and designing of foundry shops, precision casting and decorative casting, environment protection, application of computers in foundry technology.

The faculty educates students at all types of studies: full time, extramural and

2007/2008 naprej fakulteta izvaja tristopenjski izobraževalni sistem:

1. stopnja: (6–7 semestrov) – študentom omogoča, da svoje izobraževanje zaključijo z inženirsko diplomom;
2. stopnja: (3–4 semestri) – študentje z zaključkom te stopnje izobraževanja pridobijo magistrsko izobrazbo;
3. stopnja: (doktorski študij) – to izobraževanje doktoranda pripravi na samostojno izvajanje raziskav in didaktičnega dela ter se zaključi z doktoratom.

V svoji skoraj 55-letni dejavnosti je fakulteta izobrazila več kot 1.160 inženirjev, več kot 2.670 magistrov, 186 doktorjev in 33 izrednih profesorjev.

Specializacije, ki jih izvaja Fakulteta za livarski inženiring Univerze AGH za znanost in tehnologijo

Ti študiji študente pripravijo na delo ne glede na področje v livarski industriji. Študijski program študentom v celoti omogoči obvladovanje osnov in splošnih tehničnih tematik, jim poda temelje informacijske znanosti in računalniških aplikacij, tehnično znanje in osnovne informacije o upravljanju in varovanju okolja. Študent ima prav tako priložnost, da svoje znanje širi prek samostojne izbire dodatnih predmetov, pa tudi s tematiko svojega diplomskega dela, vse skladno z lastnimi interesi in trenutnimi zahtevami trga zaposlovanja.

- Litje železa
- Litje jekla
- Litje neželeznih kovin
- Tehnologija formanja
- Mehanizacija in avtomatizacija livarn
- Livarski stroji in oprema
- Uporaba računalnikov v livarnah

post-graduate. From the academic year 2007/2008 it is introducing the three-level educational system:

- 1st level: (6-7 semesters) - this permits the students to complete their education with engineer's diploma,
- 2nd level (3-4 semesters) - the completion of this course gives the student a MSc diploma,
- 3rd level – doctoral studies –this course prepares the student to do research and didactic work on his own and ends with the doctor's degree.

During our, almost 55 years lasting activity, the faculty promoted the staff of over 1160 engineers, over 2670 masters of science, 186 PhDs and 33 assistant professors.

Specialisations offered by the Faculty of Foundry Engineering at the University of Science and Technology.

These studies prepare students for working within the whole area of casting technology. The study programs give the student a full opportunity to master the basic and general technical subjects, the fundamentals of information science and computer applications, the technical knowledge and basic information on management and environmental protection. The student also has the opportunity to enlarge his knowledge through an individual choice of additional subjects as well as the subject of his diploma, all in accordance with his personal interests and current demands of the employment market.

- Iron casting
- Steel casting
- Casting of non-ferrous metals
- Moulding technology
- Mechanisation and automatisisation of foundries

Specializacija: varovanje okolja v livarnah

Študentje so pripravljeni na iskanje rešitev za težave, vezane na varovanje naravnega okolja v posebnih pogojih, ki veljajo v neodvisnih livarnah, livarskih delavnicah znotraj metalurških tovarn in drugih podjetjih kovinsko obdelovalne industrije. Diplomanti te smeri se lahko zaposlujejo v administrativnih in nadzornih službah, katerih glavna naloga je varovanje okolja. To so pretežno podjetja, ki delujejo v metalurški in livarski industriji.

Specializacija: precizijsko in dekoracijsko litje

Študij študente pripravi na delo v hitro razvijajoči stroki precizijskega litja zapletenih delov strojev in opreme ter na izdelavo dekoracijskih ulitkov (nekaj primerov je prikazanih spodaj). S to tehniko so izdelani bodisi originalni ulitki bodisi replike modelov (spominske plošče, spomeniki, svečniki, zvonovi, okrasni elementi). Diplomanti s tovrstno specializacijo pridobijo tudi splošno inženirsko izobrazbo o celotnem področju livarske prakse.

Specializacija: virtualizacija livarskih tehnologij

Ta študij diplomantom omogoči, da pridobijo znanje s področja livarskih tehnologij in trendov v razvoju, računalniško podprtega inženiringa pri livarstvu, o sodobnih sistemih upravljanja podjetij z osnovami informacijske znanosti in uporabne matematike.

Fakulteta ponuja tudi doktorske študije s področja teorije in prakse livarskih procesov. Poleg tega lahko tehnično-inženirski kader, zaposlen v livarnah, študira v podiplomskih programih in usposabljanjih za zaposodabljanje svojega znanja in izboljševanje spretnosti na izbranih področjih livarske prakse.

- Foundry machines and equipment
- Application of computers in foundries

Specialisation: Environmental Protection in Foundries

Students are prepared to undertake the solution of problems related to protection of the natural environment under the specific conditions of independent foundries, in-plant foundry shops operating in metallurgical plants, and other enterprises of the metal processing industry. Graduates from this specialisation can be employed in administration and control offices whose main task is the environment protection. These are mainly the enterprises of the metallurgical and foundry industry.

Specialisation: Precision and Decorative Casting

The studies prepare students for work in the intensively developing field of precision casting of intricate parts of machines and equipment and to make decorative castings (some examples are shown below). By means of this technique either castings from original designs or replicas of models are made, (commemorative plaques, monuments, candelabra, bells, decorative elements). Graduates from this specialisation also obtain a general engineering education within the whole area of foundry practice.

Specialisation: Virtualisation of Foundry Technologies

These studies enable graduates to obtain knowledge in the scope of foundry technologies and recent development tendencies, in computer-aided engineering foundry work, in modern systems of enterprise management, with fundamentals of information science and applied mathematics.

Ob koncu predstavitve naj vam še zaupam, da je edina fakulteta na Poljskem, ki študentom zagotavlja celovito izobrazbo na področju znanosti livarstva, naša Fakulteta za livarski inženiring Univerze AGH za znanost in tehnologijo v Krakovu. Na lestvici univerz s specializacijo na področju livarstva o tem, kateri diplomanti najlažje najdejo delo (so najbolj »zaposljivi«), prvo mesto zaseda prav naša Univerza AGH za znanost in tehnologijo ter njena Fakulteta za livarski inženiring. Sodelujemo z 79 % vseh livarn na Poljskem. Sledijo Šlezijška tehnična univerza v Gliwicah – pribl. 40 %, Tehnološka univerza v Varšavi – 20 %, Tehnična univerza v Lodzu – 18 % in Tehnološka univerza v Wroclavu – 10 %.

Upam, da sem s to kratko predstavitvijo prikazal dejavnosti Oddelka za livarski inženiring Univerze AGH v Krakovu. Na podrobnejša vprašanja o naših didaktičnih in znanstvenih dejavnostih, pa tudi naši ponudbi za izvajanje raziskav za industrijo, vam bomo z veseljem odgovorili med vašim obiskom naše fakultete.

Povzetek

V tem orisu zgodovine metalurških znanosti na Akademiji za rudarstvo in metalurgijo lahko vidimo, kako naslednje generacije prevzemajo vodstvo na področju izobrazbe. Metalurška znanost je plod generacij profesorjev, ki so se izobraževali in svoje znanstvene nazive (pogosto v tujih državah) pridobili še pred prvo svetovno vojno. Rezultate njihovega dela so v 30. letih prejšnjega stoletja in v zgodnjem povojnem obdobju presegli tisti, ki so se izobraževali med vojno, ko se je Poljska že osamosvojila. Skupina teh znanstvenikov se je v 50. in 60. letih prejšnjega stoletja nenehno širila, kajti počasi so se jim pridruževali mladi diplomanti, ki so svoje izobraževanje

The faculty also offers doctoral studies in the field of theory and practice of foundry processes. Additionally, the technical-engineering staff employed in foundries can study at the post-graduate studies and training courses to update their knowledge and improve their skills in the selected fields of foundry practice.

At the end of my presentation it is worth to remind that the only faculty in Poland, which offers the full education in foundry science to the students, is our Faculty of Foundry Engineering at the University of Science and Technology in Krakow. In the ranking of the universities with the foundry specialisation, whose graduates can find an employment most easily (are the most „employable“), the first place occupies our University of Science and Technology and its Faculty of Foundry Engineering. We cooperate with 79% of all foundry plants in Poland. Next are the Silesian University of Technology in Gliwice - about 40%, Warsaw University of Technology - 20%, Technical University of Lodz - 18%, and Wrocław University of Technology - 10%.

I hope that this short presentation has shown the activity of the Department of Foundry Engineering, AGH Krakow. If you have any more detailed questions concerning our didactic and scientific activity as well as our investigation offer for the industry, we would gladly answer them during – planned for today - your visit in our faculty.

Summary

In this outline of the history of the metallurgical sciences at the Academy of Mining and Metallurgy one can see how the successive generations were taking leadership in the education. Its beginnings the metallurgical science owes to the generation of professors, who had been

začeli v prvih letih po vojni. Nadaljnji razvoj v metalurški znanosti, ki ga je bilo moč opaziti, ko sta se Fakulteta za livarski inženiring in Fakulteta za neželezne kovine ločili od matične Fakultete za metalurgijo, je bil rezultat truda več generacij visoko izobraženih raziskovalnih delavcev, mnogi od njih so bili rojeni v povojnem obdobju.

Znanstvene zamisli in številni patenti raziskovalnih delavcev so se kmalu začeli praktično uporabljati v industriji, številne pomembne objave tako na domačih tleh kot v tujini so bile ključne za osebne poklicne poti mnogih mladih raziskovalcev. Mnogi diplomanti Fakultete za metalurgijo AGH so bili tako v preteklosti kot so tudi sedaj na pomembnih in odgovornih mestih v državni upravi, delujejo v vodstvenih kadrih in izvršnih odborih industrijskih podjetij, pa tudi v središčih, odgovornih za razvoj državnega gospodarstva, na univerzah ter v centrih za raziskave in razvoj tako doma kot na tujem.

educated and obtained their scientific degrees (often in foreign countries) still before the First World War. An output of their work was taken over in the thirties and in an early post-war period by those, who were educated during an inter-war period, in Poland already independent. The group of those scientists was in the fifties and sixties steadily growing as the younger graduates who started their education in the first years after the War were gradually joining them. Further development in metallurgical sciences, which was seen after the Faculties of Foundry Engineering and of Non-Ferrous Metals, had separated from the parent Faculty of Metallurgy, was an outcome of the work of several generations of the research workers fully educated and quite often also born in a post-war period.

The scientific ideas and numerous patents obtained by the research workers were soon finding their practical application in industry, and numerous valuable publications at home and abroad were the key to personal professional careers of many young research workers. Many among the graduates from the AGH Metallurgical Faculties have occupied and are still holding important and responsible posts in state administration, in managerial staff and executive boards of industrial enterprises, and in centres responsible for the development of national economy, at universities and in the R&D centres at home and abroad.

Viri / Literature

1. J. Dańko, M. Holtzer, *Metalurgija* 45 (2006), 333–340.
2. 45th Census of World Casting Production. *Modern Casting* 12 (2011), 16–19.
3. Odbor evropske zveze livarn CAEF (informacijska gradiva).
4. J.J. Sobczak, E. Balcer, A. Kryczek, *Przegląd Odlewnictwa* 1–2 (2012), 10–14
5. 44th-50th Census of World Casting Production. *Modern Casting* 12 (2009–2015).

Načrtovanje orodja in procesa tlačnega litja s pomočjo FEM analize

HPDC Tool and Process Design Using FEM Analysis

Izvleček

Danes je uporaba numeričnih simulacij pri načrtovanju proizvodov standardna pot pri večini podjetij. V livarstvu načrtovanje tehnologije litja temelji pretežno na uporabi posebnih numeričnih programov. V članku bo predstavljen razvoj tehnologije litja za kompleksen ulitek. Z uporabo numerične simulacije so bili testirani številni ulivni sistemi, cilj testiranja pa je bilo optimiziranja polnitve livne votline in ulivanja ulitka s sprejemljivimi livarskimi napakami. Simulacija zajema tudi analizo napetosti in deformacij v orodju ter ulitku z upoštevanjem hladilno grelnega sistema v orodju. Z uporabo numeričnih simulacij je celotna tehnologija lahko optimizirana do take mere, da začetek proizvodnje poteka brez večjih težav. Celotna analiza nam lahko napove zaplete, ki lahko nastanejo v celotnem obdobju izdelave ulitka.

Ključne besede: tlačno litje, razvoj tehnologije litja, FEM analiza, ProCAST

Abstract

Using numerical simulations in product development is today a standard way for most of the companies. Especially on the field of foundry the casting technology development for a part is based on the numerical simulations. In this article will be presented technology development for a casting. Using numerical simulations several gating systems were tested to achieve best possible melt flow and casting with acceptable casting defect. The simulation includes analysis of stresses and deformations in the casting and in the tool considering toll heating and cooling system. With numerical simulations complete casting process can be optimized to minimize problems when the production starts. Also, we can predict the problems that can be critical during the production lifetime.

Key words: HPDC, casting process design, FEM analysis, ProCAST

Uvod

Za nekatere livarne je uporaba numeričnih simulacij vsakodnevna praksa. Livarne namreč hitro ugotovijo, da uporaba numeričnih simulacij ni samo prednost pred konkurenco, ampak obvezen tehnološki korak za izdelavo kakovostnih izdelkov po sprejemljivi ceni. Razvoj programskih paketov mora slediti potrebam livarn in zagotoviti podporo ter računanje vseh

Introduction

Using numerical simulations for some foundries is a fact in these days. Some foundries that are just starting to use numerical simulations realize that the benefits from using numerical simulations is not a competitor's advantage but it is a must to produce quality parts for a reasonable price. To cover all foundry technologies software producers must be in constant

livarskih tehnologij. Večina programskih paketov pokriva več ali manj vse livarske tehnologije, posamezni paketi pa lahko omogočajo samo točno določeno livarsko tehnologijo. Programski paketi za reševanje temeljijo na različnih numeričnih metodah: Metoda končnih diferenc, Metoda končnih elementov, Metoda končnih volumnov in podobno [1, 2]. Poleg osnovnega izračuna livarskih napak, kot so plinska in krčilna poroznost, analiza toka taline, prikaz temperaturnega polja v ulitku in kokili oziroma formi, lahko izračunamo deformacijo ulitka in izračunamo nastale napetosti. Iz rezultatov lahko predvidimo lokacijo napake, zaostale napetosti, velikost in amplitude deformacije ter napovemo mikrostrukture in mehanske lastnosti.

Za najbolj optimalne rezultate uporabe numeričnega izračuna je potrebno numerične simulacije vključiti že na začetku izdelave ali celo že pri samem dizajniranju ulitka. V prvi simulaciji se izračuna samo strjevanje ulitka in ugotovi najbolj kritična mesta. Nato sledi izdelava ulivno napajalnega sistema ter dizajniranje hladilno grelnega sistema v primeru tehnologije tlačnega litja. Ko so livarske napake v sprejemljivih tolerancah, sledi optimizacija hladilno grelnega sistema. Z ustrezno optimizacijo hladilno grelnega sistema lahko vplivamo na življenjsko dobo orodja.

Eksperiment

S pomočjo uporabe ProCAST-a (programski paket za numerične izračune livarskih procesov) je bila definirana livarska tehnologija za litje diska na Sliki 1. Uporabljena je bila zlitina AlSi9Cu3. Temperatura taline v zadrževalni peči je bila 680 °C. Neto masa ulitka je bila 2,3 kg. Gravura orodja je bila izdelana iz orodnega jekla za delo v vročem H11. Geometrija

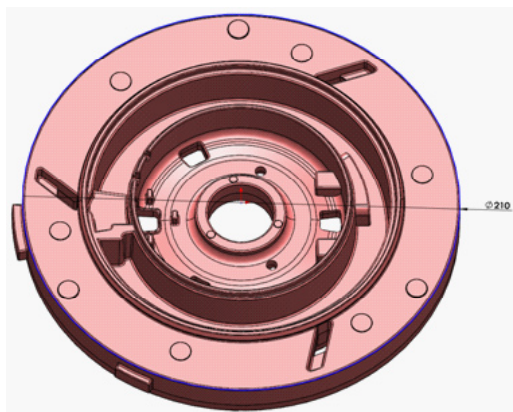
development and cover all new features to stay in touch with industry demands. Most software covers all the foundry technologies and some of the special foundry technology variants. Software solutions are based on several different methods from Finite Differences method, Finite Element Method, Control Volume Method, etc. [1, 2]. In addition to the basic results like gas and shrinkage porosity, flow analysis, temperature field in the casting and in the die software are able to predict deformations and residual stresses. Simulation software helps to address defect detection, residual stresses, part distortion, microstructure and mechanical properties prediction.

For the appropriate use of numerical simulations in casting technology development, they must be included from start of the designing. In the very first simulation only the solidification of the casting without gating system must be calculated to find where the castings defect will be most problematic. After this, the gating system is designed with cooling and/or heating system planned, in case High Pressure Die Casting (HPDC) technology will be used. When casting defects are in acceptable limits, optimization of heating and cooling system is done to get deformation of the casting in desirable limits. With optimization of heating and cooling system in the die, we can have an influence on the tool fatigue.

Experimental

Using ProCAST - numerical simulation software for foundry processes, we made the development of foundry process for a disc, which is presented on Figure 1. Casting is made of AlSi9Cu3 aluminum alloy. Pouring temperature of the melt from the holding furnace was 680 °C. Casting weight is 2,3 kg neto. The die was made from H11 hot

orodja je prikazana na Sliki 2. Na Sliki 3 lahko vidimo hladilno grelni sistem orodja. Hladilni kanali so izdelani z vrtnjem, tako da sistem kanalov in čepov tvori zanko za kroženje medija. Medij v hladilnem sistemu orodja je olje, v razbijalcu pa voda.



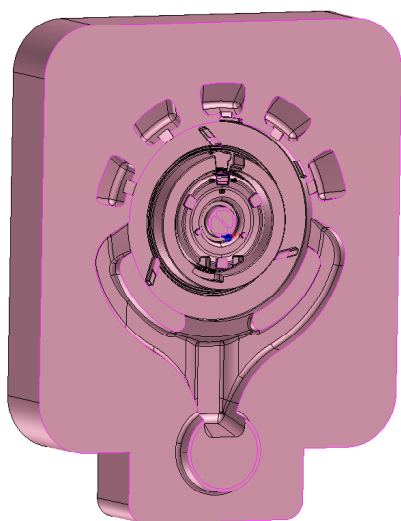
Slika 1. CAD model diska

Figure 1. CAD geometry of a disc

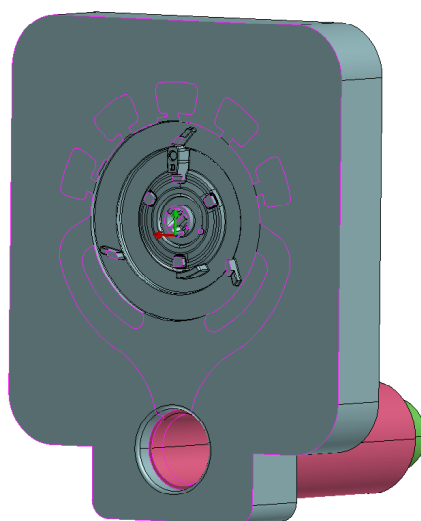
work tool steel. The geometry of the die is presented on Figure 2. In Figure 3 the heating and cooling system can be seen. The heating and cooling system is made with drilling of the holes to make a closed loop for cooling media circulation. Cooling media in the die is oil, in the distributor cooling media is water.

Based on CAD geometry FEM mesh is generated and process parameters needed for HPDC technology are defined in preprocess advisor. Most important parameters used are presented in Table 1. Thermodynamic data of casted alloy and used steel for die was chosen from software's standard database.

Using these data for calculation, the results of numerical calculation were in compliance with measured when casting was casted in production. For accurate results of numerical simulation complete process was simulated. First calculation of steady temperature state in the die is calculated.



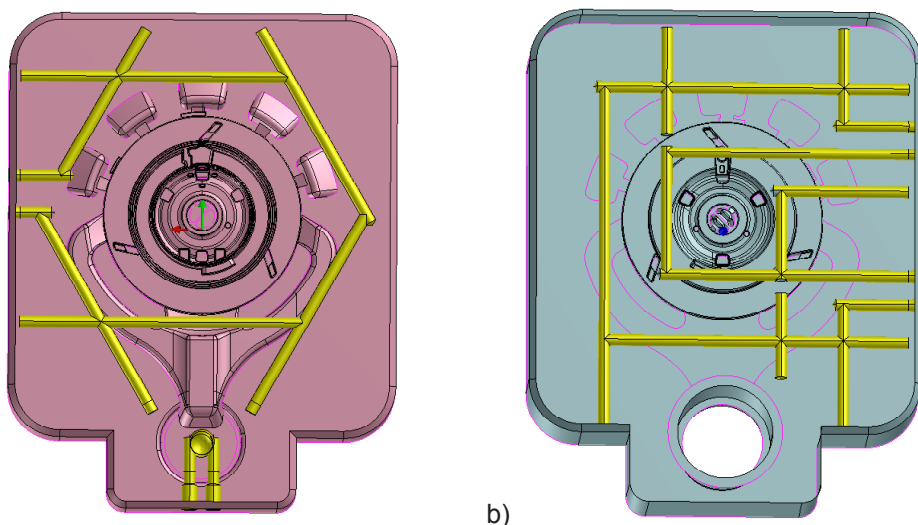
a)



b)

Slika 2. CAD model orodja; a) gibljiva stran orodja, b) stabilna stran orodja

Figure 2. CAD geometry of the tool; a) movable side of the die, b) fixed side of the die



Slika 3. Hladilni kanali v orodju; a) gibljiva stran orodja, b) stabilna stran orodja

Figure 3. Cooling channels in the die; a) movable side of the die, b) fixed side of the die

Tabela 1. Uporabljeni parametri litja

Table 1. Casting parameters for numerical simulation

	Parameter	vrednost / value	enota / units
1	temperatura litja / Casting temperature	680	°C
2	temperatura hladilnega medija - olje / Cooling media - oil	200	°C
3	temperatura hladilnega medija – voda / Cooling media - water	25	°C
4	prestopnostni koeficient: hladilni sistem - olje / Heat transfer coefficient: cooling system-oil	2000	W/m ²
5	prestopnostni koeficient: hladilni sistem - voda / Heat transfer coefficient: cooling system-water	2200	W/m ²
6	prestopnostni koeficient: orodje – ulitek (talina) / Heat transfer coefficient: die – casting (not solidified)	1500	W/m ²
7	prestopnostni koeficient: orodje – ulitek (strjeno) / Heat transfer coefficient: die – casting (solidified)	1250	W/m ²

Na podlagi CAD geometrije se izdelava mreža končnih elementov. Za simulacijo je potrebno definirati in vnesti procesne ter robne pogoje za tlačno litje. Najbolj pomembni podatki so predstavljeni v Tabeli 1. Lastnosti ulivane zlitine in uporabljenega jekla so izbrane iz standardne podatkovne baze programa.

Steady temperature state calculation in the die is important for accurate result of filling and solidification because the temperature in the die is not homogenous. Big influence on the steady state temperature has heating and cooling system parameters – cooling media and temperature – used parameters are presented in Table 1. Using steady state

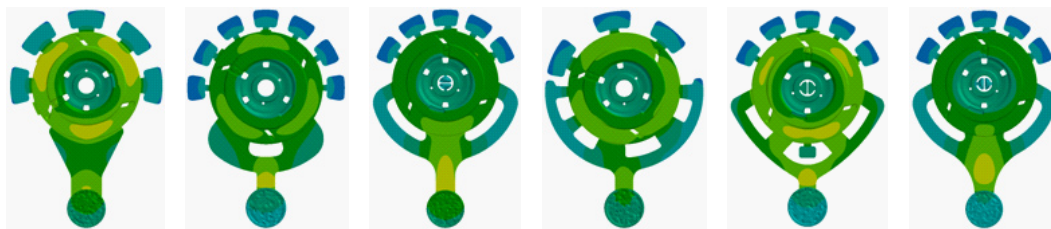
Uporabljeni podatki za numerični izračun v Tabeli 1 so bili potrjeni in izmerjeni pri litju v proizvodnji. Za natančne rezultate numerične simulacije je bil izračunan celotni proces litja. Najprej se je izračunalo stacionarno temperaturno polje v orodju. Izračun stacionarnega temperaturnega stanja v orodju pomembno vpliva na točnost numeričnega izračuna litja in strjevanja, saj tako upoštevamo bolj realne robne pogoje oziroma upoštevamo realno nehomogeno temperaturo v orodju. Največji vpliv na temperaturno polje orodja pri numeričnem izračunu doprinesejo parametri za hladilno grelni sistem v orodju – temperature in hladilni medij. Parametri so predstavljeni v Tabeli 1. Rezultati stacionarnega temperaturnega polja so bili nato uporabljeni za izračun polnjenja in strjevanje ulitka.

temperature field filling and solidification calculation was done. In HPDC casting process it is important to calculate also the filling of the casting chamber and complete process of piston movement. During this phase melt cools down and if piston movement is not optimized additional air can be entrapped. Optimal piston movement for this casting is presented in Table 2. The table presents piston velocity depended with piston position in the casting chamber. With all these parameters taking into account, the calculated filling and solidification of the casting is more accurate. Several different gating systems were simulated. Different gating system are presented in Figure 4. The stress analysis was also calculated to see stresses in the die.

Tabela 2. Hitrost bata v odvisnosti od lokacije bata v livni komori

Table 2. Piston velocity depending on piston position in casting chamber

Lokacija bata glede na začetno lokacijo [mm] / Piston position from start [mm]	Hitrost bata [m/s] / Piston velocity [m/s]	Komentar / Comment
0	0,5	prva faza / 1 st phase
165	0,5	druga faza, strel / 2 nd phase, shot
175	2,3	druga faza, strel / 2 nd phase, shot
350	2,3	tretja faza / 3 rd phase, high pressure
380	0	tretja faza / 3 rd phase, high pressure



Slika 4. Različni ulivni sistemi, ki so bili izračunani za polnjenje ulitka – zadnja verzija je bila uporabljena za končno izdelavo orodja

Figure 4. Different gating system tested for filling of the casting – last version was used for production

Pri tehnologiji tlačnega litja je pomembno, da se pri izračunu upošteva tudi polnjenje livne komore in celoten proces strela – premikanje bata. V tej fazi temperatura taline pade, hitrosti premikanja bata pa morajo biti optimizirane, da ne pride do dodatnega ujetega zraka v talini. Optimizirani parametri premikanja bata za litje diska so predstavljeni v Tabeli 2. Tabela prikazuje hitrost premikanja bata v odvisnosti od lokacije bata v livni komori. Z upoštevanjem vseh teh optimiziranih parametrov je izračun polnjenja in strjevanja ulitka bolj natančen. Izračunanih je bilo več verzij polnjenja in strjevanja glede na različne možne ulivne sisteme. Ulivni sistemi, ki so bili uporabljeni za računanje, so predstavljeni na Sliki 4. Za najbolj optimalen ulivno napajalni sistem je bil na koncu narejen tudi izračun napetosti v orodju.

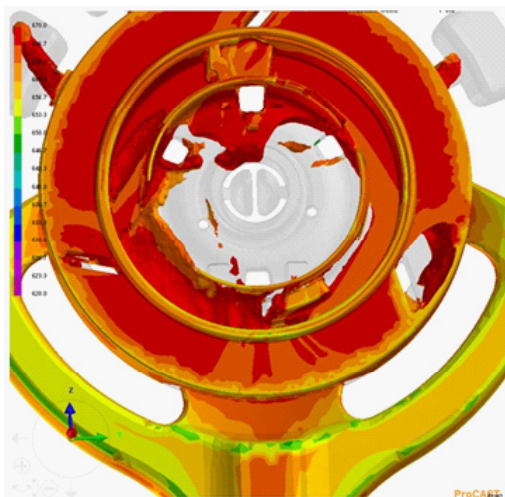
Rezultati

Analiza izračuna numerične simulacije polnjenja in strjevanja ter uporaba parametrov iz izračuna v realnem procesu izdelave ulitka pokaže veliko stopnjo ujemanja napak med izračunom in realnim ulitkom. Sekvenca polnjenja s temperaturnim poljem je prikazana na sliki 5. Lokacija preliva v sredini ulitka omogoča, da ujeti zrak lahko zapusti livno votlino. Numerični izračun predvideva nekaj poroznosti v ulitku, ki je prikazana na Sliki 6a. Rentgenski posnetek izdelanega ulitka poroznosti ne zazna – Slika 6b.

Izračunano stacionarno temperaturno polje v orodju po 15 ciklih je prikazano na Sliki 7. Na Sliki 7a je prikazana stabilna stran orodja, Slika 7b pa kaže gibljivi del orodja. Stacionarno temperaturno polje je doseženo po 15 ciklih. Sprememba temperature v prvih petnajstih ciklih za nekaj točk na stabilni gravuri je prikazana

Results

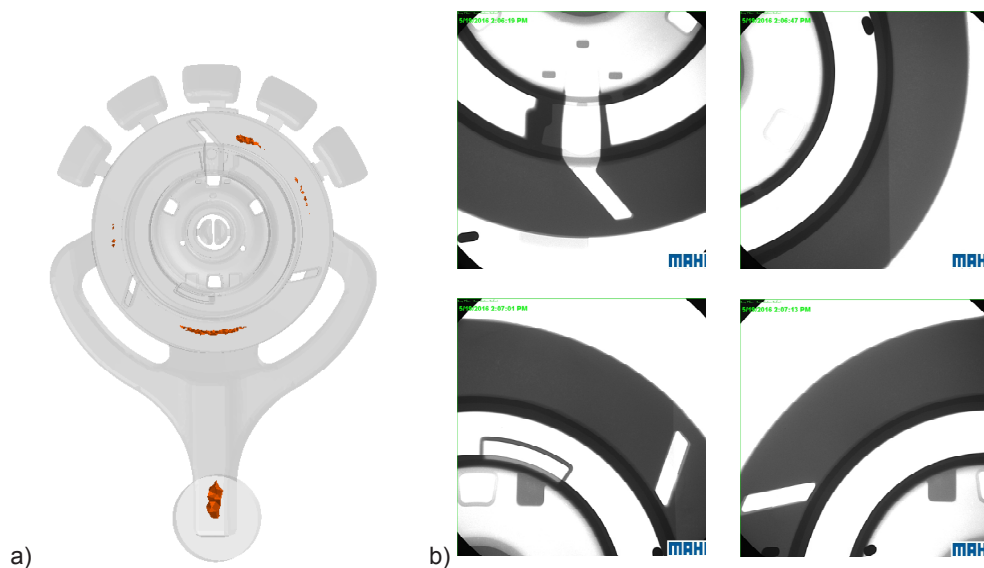
Calculated results of filling and solidification of the casting using parameters from the production are in coloration with real casted casting. The sequence of filling with temperature filed is presented in Figure 5. The construction of overflow in the center enables the entrapped air to escape from the casting cavity. Calculation predicted small porosity in some parts of the disk and is presented in Figure 6a, but when x-ray of a casting was done, no porosity was found in the casting. X-ray figures of a casting is in Figure 6b.



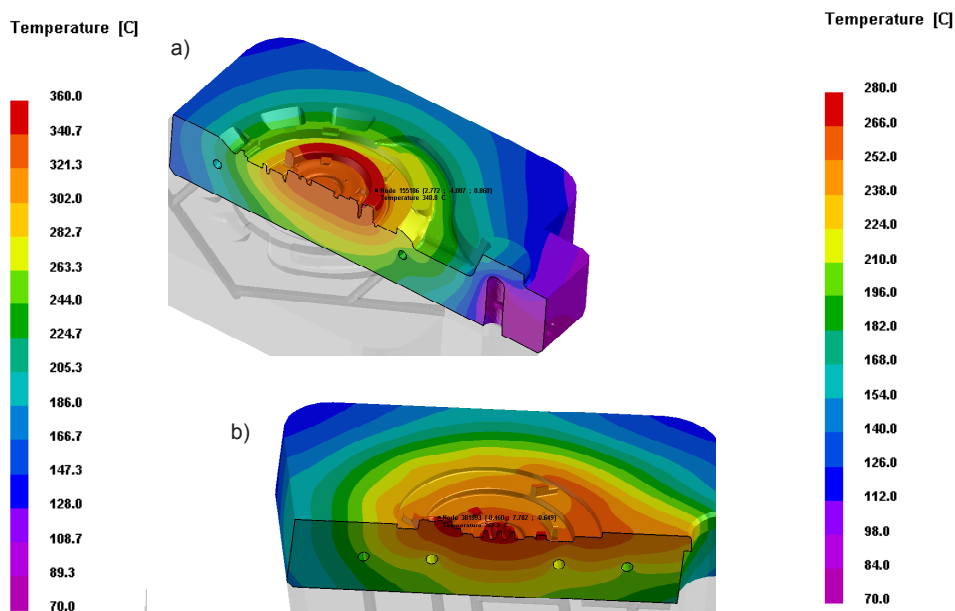
Slika 5. Sekvenca polnjenja s temperaturnim poljem taline

Figure 5. Sequence of the filling and temperature of the melt during filling

The calculated steady state temperature field after 15 cycles is presented in Figure 7. Figure 7a shows stable part of the die and Figure 7b presents the moving part of the die. The steady state temperature is reached after 15 cycles. The temperature change for first 15 cycles in some selected points



Slika 6. a) izračunana mesta možnega nastanka poroznosti; b) rentgenska slika ulitka
Figure 6. a) calculated possibility of porosity; b) x-ray photos of the casting

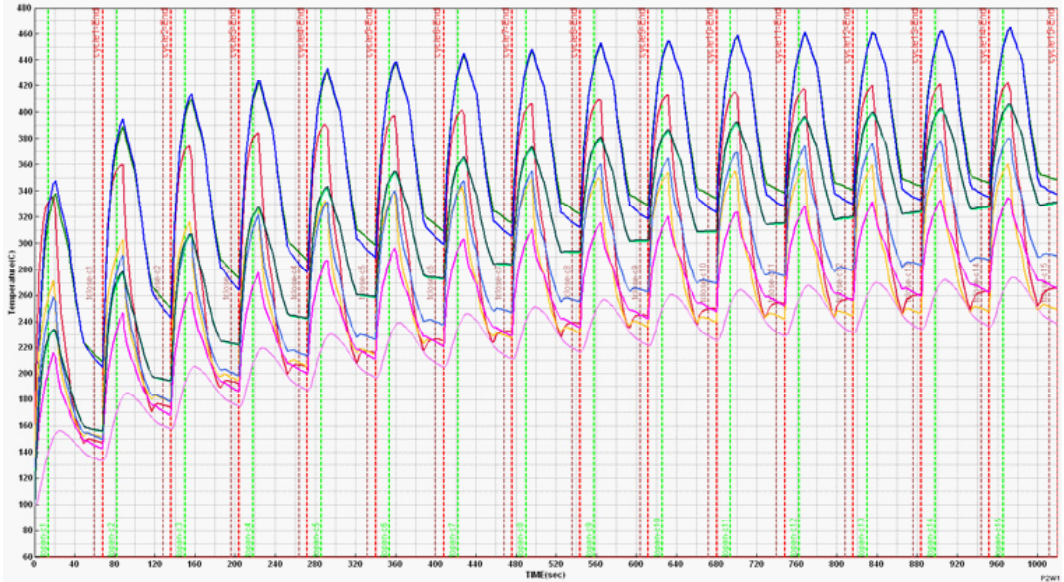


Slika 7. Izračunano stacionarno temperaturno polje; a) gibljiva stran orodja, b) stabilna stran orodja

Figure 7. Calculated steady state temperature field; a) movable part of the die, b) fixed side of the die

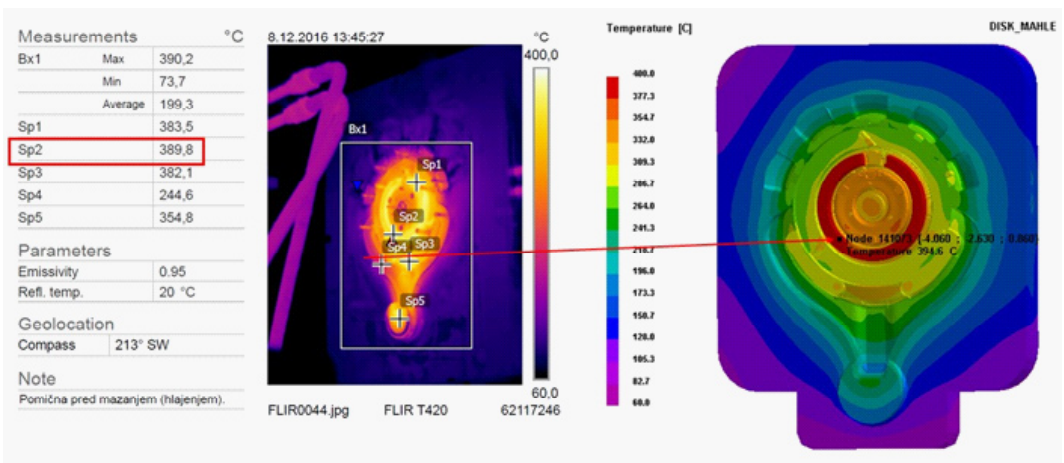
na grafu na Sliki 8. Temperaturno polje, fotografirano s termo kamero takoj po izmetu ulitka iz orodja na gibljivi strani, in izračunano temperaturno polje v istem času

on a stable part of the die are presented in Figure 8. Temperature field made with thermo camera right after the casting is ejected on a movable side of the die and



Slika 8. Temperatura izbranih točk za prvih petnajst ciklov na gibljivem delu orodja

Figure 8. Temperature at some points for first 15 cycles on the movable side of the die

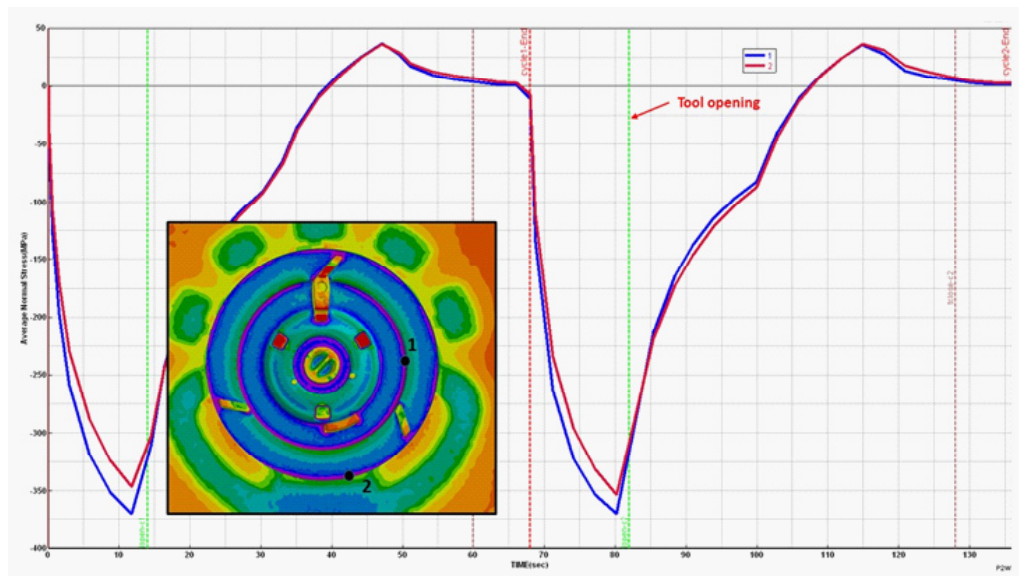


Slika 9. Izmerjeno in izračunano temperaturno polje na gibljivem delu orodja po izmetu ulitka

Figure 9. Measured and calculated temperature field on the movable side of the die after casting ejection

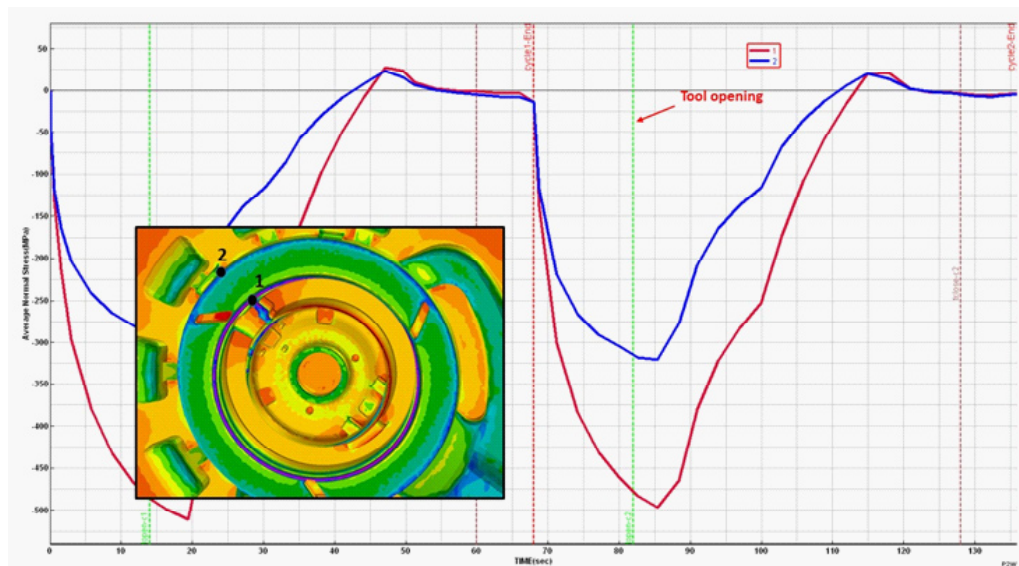
kaže zelo dobro ujemanje. Primerjava obeh temperaturnih polj je prikazana na Sliki 9.

temperature field calculated with simulation at the same moment has good matching.



Slika 10. Izračunane napetosti na označenih točkah na stabilnem delu orodja

Figure 10. Calculated stresses at marked points on the stabile part of the die



Slika 11. Izračunane napetosti na označenih točkah na gibljivem delu orodja

Figure 11. Calculated stresses at marked points on the movable part of the die

Rezultati izračunanih napetosti v orodju med delovnim ciklom so prikazani na Slikah 10 in 11. Izračunane vrednosti so pod 500 MPa. Izračunane vrednosti ne presegajo kritičnih vrednosti, ki bi pomembno vplivale na življenjsko dobo orodja.

Zaključki

Vključevanje numeričnih izračunov v prvih fazah načrtovanja livarske tehnologije za posamezni ulitek ima lahko pomembne vplive na stroške izdelave ulitka. Ko je uporaba numeričnih izračunov na visoki ravni in je analiza rezultatov izvedena kakovostno, se stroški izdelave ulitka lahko zmanjšajo.

V predstavljenem primeru je bil numerični izračun in optimizacija uporabljena od začetka procesa skozi celoten proces – polnjenje livne komore in optimizacija premika bata imata pomemben vpliv na kakovostne rezultate izračuna. Parametri za litje so optimizirani z numeričnim izračunom do te mere, da je potrebno te optimizirane parametre na stroju v proizvodnji samo še končno preveriti in na fino nastaviti - in izdelava kakovostnih ulitkov se začne.

The calculated and measured temperature field is presented in Figure 9.

Results of stress analysis in the die are presented in Figure 10 and 11. The calculated values on critical areas are below 500 MPa. These values are not critical for the tool lifetime.

Conclusions

Including numerical simulations in early stage of product development can have big influence on products costs during his lifetime. When development is on a high level of using advance numerical simulations and proper analysis of the results from start of the development process production, costs can be lowered.

In this case the development of the casting process using numerical simulation from the start – filling of the casting chamber and optimization of the piston movement has a big advantage. The casting parameters are optimized with simulation and, when these parameters are transferred to the production, the foundrymen only have to do the fine tuning of the parameters and then the production of quality castings can start.

Reference

- [1] A. Mahmutović, S. Kastelic, M. Petrič, P. Mrvar, High pressure die casting optimization using numerical simulation, Abstracts proceedings. Ljubljana: Društvo livarjev Slovenije, 2016, str. 76-77.
- [2] I. Vasková, D. Fecko*, L. Eperješi, Comparison of simulation programs Magmasoft and NovaFlow & Solid in terms of results accuracy, Archives of foundry engineering Volume 11, Special 54 Issue 1/2011, 51 - 54.

Vpliv toplotne prevodnosti različnih materialov orodij na strjevanje zlitine AlSi9Cu3

The Influence of Thermal Conductivity for Different Mould Materials on Solidification of AlSi9Cu3 Alloy

Izvleček

Življenjska doba orodij za tlačno litje je vse bolj pomembna. Orodna jekla za delo v vročem imajo najboljše razmerje med ceno in življenjsko dobo uporabe, zato jih uporabljamo za izdelavo orodij za tlačno litje. Vse večji pomen se daje toplotni prevodnosti in njenemu vplivu na strjevanje ulitkov. Povečana toplotna prevodnost skrajša cikel litja in hkrati podaljša življenjsko dobo orodij. Odločili smo se za simulacijo visoko tlačnega litja aluminijeve zlitine AlSi9Cu3. Simulacije smo izvajali s programskim orodjem ProCAST, geometrijo ulitkov in ulivni sistem pa smo oblikovali v programskem orodju SOLIDWORKS. Predvsem nas je zanimal vpliv različne toplotne prevodnosti trajnih form na strjevanje in ohlajanje ulitka. Namen raziskave je bil narediti izračune livarskih procesov enakih ulitkov, kjer smo spreminjali materiale, iz katerih so bile trajne forme izdelane, le-te so imele različne toplotne prevodnosti, gostote in ostale materialne lastnosti. Uporabili smo naslednje materiale za orodja: orodna jekla za delo v vročem – H-13, Dievar, HTCS-130, DAC-MAGIC in W350, maraging jeklo – MARVAL18 in pa zlitine s povečanimi toplotnimi prevodnostmi – CuAg12, Alper52 in Ni75Al. Slednje tri zlitine smo izbrali predvsem z namenom teoretičnega preučevanja vpliva povišane toplotne prevodnosti na strjevanje, cene takšnih orodij bi namreč najverjetneje bile previsoke v primerjavi z orodji, ki se največ uporabljajo v industriji. Rezultati so pokazali, da toplotna prevodnost vpliva na strjevanje, kar je razvidno tudi iz temperaturnih gradientov orodij in pa hitrosti ohlajevanja posameznega ulitka.

Ključne besede: Tlačno litje, orodna jekla za delo v vročem, toplotna prevodnost, aluminijeve livarske zlitine.

Abstract

The lifetime of pressure die casting moulds is progressively more important. Steels have the best price / lifetime ratio and are often used for production of die-casting moulds. Thermal conductivity and its effect on the solidification of castings are also increasingly important. Increased thermal conductivity shortens casting cycles and at the same time extends the lifespan of moulds. We decided to simulate high-pressure die casting of aluminium alloy 226 (AlSi9Cu3). The simulation was carried out in ProCAST software tool, the casting geometry and the casting system were created in the SOLIDWORKS software tool. In particular, we were interested in how different values of thermal conductivity of permanent moulds (dies) influence solidification and cooling of the cast. Therefore, the purpose was to make simulations of the same castings where we changed the permanent mould materials, which had different thermal conductivity, density and other material properties. We used the following materials for moulds: hot work tool steels – H-13, Dievar, HTCS-130, DAC-MAGIC and W350, maraging steel – MARVAL18 and alloys with increased thermal conductivity –

CuAg12, Alper52 and Ni75Al. The last three alloys were chosen primarily for theoretical study of the influence of increased thermal conductivity on the solidification, namely, the prices of such moulds would most likely be too high in comparison with the moulds that are most frequently used in the industry. The results showed that the thermal conductivity affects the solidification, which is also evident from the temperature gradients of the moulds and the cooling speed of the individual cast.

Key words: High-pressure die casting, hot work tool steels, thermal conductivity, Al-foundry alloy

1 Uvod

Ulitki so izdelki ene od ustanovnih industrij izdelovanja kovinskih izdelkov – livarstva. Izdelani so v enem koraku iz tekoče kovine oziroma taline brez vmesnih mehanskih operacij, kot sta na primer valjanje in kovanje. Oblikovani ulitki se torej razlikujejo od ingotov in drugih litih oblik, ki so samo vmesna faza svoje metalurške poti do končnega izdelka [1].

Zlitine Al–Si se lahko ulivajo z vsemi poznanimi tehnikami litja v enkratne in trajne forme. Aluminijevim zlitinam, ki se ulivajo tlačno, sta dodana še legirna elementa Fe in Mn, ker tvorita specifične faze, ki preprečujejo lepljenje ulitkov na stene orodja [5, 7, 8]. Poznano je, da aluminijeve zlitine topijo železo, to pa lahko pri strjevanju zlitine privede do nastanka faze železovega aluminida. Raztapljanja ni možno popolnoma preprečiti, zato je v zlitinah za tlačno litje dopustna višja vsebnost železa, kot v istih zlitinah za npr. gravitacijsko litje v enkratne peščene forme. Po drugi strani pa prevelika vsebnost železa v Al-zlitinah vodi do prevelikega izločanja železovega aluminida v obliki grobih igličastih vključkov, kar povzroča krhkost ulivane zlitine. Aluminijeva zlitina z vsebnostjo Si od 8 do 9 mas.% in Cu 3 mas.%, ter Al–Si zlitine s podevtektsko sestavo od 6 do 12 mas.% Si se najpogosteje uporabljajo v livarski industriji [1-5, 7, 8].

1 Introduction

Castings are the products of one of the founding industries for the production of metal products - foundry. They are made in one-step from a liquid metal, without intermediate mechanical operations, such as rolling and forging. Castings therefore differ from ingots and other cast shapes, which are only the intermediate phase of their metallurgical path to the finished product [1].

Al-Si alloys can be cast with all known casting techniques. The alloying elements such as Fe and Mn are added to the die cast aluminium alloys, because they form specific phases that prevent the casting to stick on the mould walls [5, 7, 8]. It is known that aluminium alloys dissolve iron, which can during the solidification of the alloy lead to the formation of the phase of iron aluminide. Dissolution cannot be completely prevented; therefore, in the alloys for high-pressure die casting, higher iron content is allowed than in the same alloys, for example for gravity casting in sand moulds. On the other hand, the excessive iron content in Al alloys leads to excessive precipitation of iron aluminides in the shape of coarse needle-like inclusions, which results in the brittleness of the cast alloy. Aluminium alloy with a Si content of 8 to 9 wt. % and Cu 3 wt. %, as well as Al-Si alloys with a subeutectic composition of 6 to 12 wt. % of Si are most

Zlitina z oznako AlSi9Cu3 je aluminijeva zlitina, s kemijsko sestavo podano v tabeli 1 (kemijsko sestavo smo dobili iz podatkovne baze programskega orodja ProCAST). Uporablja se predvsem za dele motorja v avtomobilski industriji (kolenasta gred, obročke ležajev, glava cilindra, itd.), elektroniko, rudarstvo, itd. Poznana je po zelo dobri livnosti in obdelovalnosti. Primarno strjevanje zlitine AlSi9Cu3 se začne pri temperaturi 562–564 °C (odvisno od kemijske sestave) s kristalizacijo primarnih zmesnih kristalov α_{Al} , pri evtektski temperaturi 562 °C, se preostala talina prične strjevati po evtektski reakciji z izločanjem evtektika ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$). Strjevanje se zaključi pri evtektski temperaturi 473 °C, ki je obenem tudi solidus temperatura (TS), katere produkt je heterogeni zlog ($\alpha_{Al} + Al_2Cu-\Theta$) [5, 6].

Običajno so trajne forme za litje zlitin izdelane iz kovinskih materialov. V kovinskih formah je namreč odvod toplote mnogo večji in tudi hitrejši, kot recimo pri enkratnih peščenih formah, zato imajo ulitki drobnozrnato mikrostrukturo, kar pa pomeni boljše mehanske lastnosti in večjo odpornost proti koroziji in eroziji. Hkrati pa je tudi površina ulitkov bolj kakovostna, merska odstopanja pa so manjša [5, 9]. Pri procesu tlačnega litja se sprosti toplota, ki vpliva tako na orodje, kot tudi na ulitek. Vpliv se najbolj odraža v obliki poškodb, le-te pa so posledica toplotnih sprememb med enim ciklom litja. Sam cikel litja poteka tako, da v zaprto orodje priteče talina, s temperaturo okrog 700° C, s tem pa temperatura orodja

commonly used in the foundry industry [1-5, 7, 8].

AlSi9Cu3 alloy is an aluminium alloy with the chemical composition given in Table 1 (the chemical composition was obtained from the ProCAST software database). It is mainly used for engine parts in the automotive industry (crankshaft, bearings, cylinder heads, etc.), electronics, mining, etc. It is well known for a very good casting properties and machinability. The primary solidification of the AlSi9Cu3 alloy begins at a temperature of 562-564 °C (depending on the chemical composition) by crystallization of the α_{Al} primary crystals at a 562 °C eutectic temperature, the residual melt begins to solidify by eutectic reaction by precipitation of the eutectic ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$). The solidification is finished at an eutectic temperature of 473 °C, which is at the same time a solidus temperature (T_s) of which the product is a heterogeneous stacking ($\alpha_{Al} + Al_2Cu-\Theta$) [5, 6].

Typically, permanent moulds for casting alloys are made of metallic materials. Namely, in metallic moulds, the heat exchange is much greater and faster than, for example, in sand moulds; therefore, castings have a fine-grained microstructure, which means better mechanical properties and greater resistance to corrosion and erosion. At the same time, the surface of the castings has higher quality and the measurement deviations are smaller [5, 9]. In the process of high-pressure die casting, the heat is released which affects both, the mould and the cast. The impact is

Tabela 1. Kemijska sestava zlitine AlSi9Cu3

Table 1. Chemical composition of AlSi9Cu3 alloy

	Kemijski elementi so podani v mas.%. / Chemical elements are given in wt. %.										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
Min	8,0		2,0	0,1	0,1						
Max	11,0	1,0	3,5	0,5	0,5	0,1	0,3	1,2	0,2	0,1	0,15

narase na maksimalno temperaturo. V nadaljevanju temperatura pade, zaradi delovanja hladilnega sistema orodja, nato se orodje odpre, kar pomeni, da okoliški zrak še dodatno ohladi orodje. Običajno se do tega koraka, orodje ohladi na 350 °C, nato orodje še premažejo s hladilno-ločilnim sredstvom, kar spet pomeni temperaturni šok za orodje in zaradi tega temperatura pade na okrog 220 °C. Nato se orodje spet zapre in cikel se ponovi, kar pomeni da je orodje pri tlačnem litju izpostavljeno cikličnim toplotnim nihanjem [5, 10].

K poškodbam orodja pa ciklično toplotno nihanje zelo pripomore, takšne poškodbe se kažejo predvsem kot razpoke v orodju. Le-te po navadi nastanejo na delih orodja, ki so toplotno najbolj obremenjeni. Zaradi cikličnega toplotnega nihanja takšne spremembe povzročijo izmenjavo temperature v tankih slojih na površini orodja, kar vodi do nastanka napetosti v orodju in posledično do nastanka razpok. Z zmanjšanjem temperaturnega oziroma toplotnega nihanja orodja lahko podaljšamo življenjsko dobo orodja. Hkrati pa lahko življenjsko dobo orodja podaljšamo tudi z zmanjšanjem napetosti med samim delovanjem oziroma obratovanjem orodja, s pravilno toplotno obdelavo orodja ter hkrati tudi s pravilno izbiro jekla, s površinskimi prevlekami, pravilnim predgrevanjem orodja, optimizacijo parametrov litja, itn. [11].

Čas strjevanja ulitka in ohlajevalna hitrost sta dva zelo pomembna parametra, ki vplivata na kakovost ulitka. Končna mikrostruktura ulitka je namreč poleg kemijske sestave zlitine odvisna od teh dveh parametrov. Posledica tega, kakšno končno mikrostrukturo dobimo, pa so končne mehanske lastnosti ulitka. Daljši kot so časi strjevanja, večja kristalna zrna bomo dobili in mehanske lastnosti končnega ulitka bodo nižje [12, 13].

most reflected in damage on moulds, which are results of the thermal changes during one casting cycle. The casting cycle itself is carried out in such a way that a melt of approximately 700 °C flows into a closed mould, thereby increasing the temperature of the mould to a maximum temperature. In the following, the temperature decreases due to the operation of the cooling system of the mould, then it opens, which means that the ambient air further cools the mould. Usually until this step, the mould is cooled to 350 °C, then the mould is further coated with a refrigerant-separating agent, which again represents a temperature shock for the mould, and therefore the temperature drops to around 220 °C. Later on, the mould is closed again and the cycle repeats, which means that the mould is exposed to cyclic heat fluctuations at the high-pressure die casting [5, 10].

However, cyclical heat oscillation contributes to the formation of defects on the mould, and such defects are mainly shown as cracks in the mould. They are usually formed on parts of the mould that are the heat-stressed ones. Due to cyclic heat fluctuations, such changes cause temperature changes in thin layers on the surface of the mould, which leads to the formation of stresses in the mould and consequently to the formation of cracks. By reducing the temperature or heat fluctuations of the mould, it can extend the lifetime of the mould. At the same time, the life span of the mould can be extended by reducing the stresses during the operation itself by using the mould, with the proper heat treatment and at the same time using the correct selection of steel, surface coatings, proper preheating of the mould, optimization of casting parameters, etc. [11].

The solidification time and the cooling rate are two very important parameters that influence the quality of the cast. In

Zato smo se odločili, da bomo s pomočjo simulacij preučili vpliv toplotne prevodnosti različnih materialov orodij na strjevanje zlitine AlSi9Cu3. Večja toplotna prevodnost pomeni manjše temperaturne šoke za orodje, ker je odvod toplote večji.

2 Eksperimentalno delo

Za trajne forme, ki smo jih uporabljali v simulaciji, smo izbrali nekaj orodnih jekel za delo v vročem, ki se pogosto uporabljajo v industriji. Jeklo MARVAL18 pa je maraging (angl. martensite aging) jeklo. Kemijska

addition to the chemical composition of the alloy, the final microstructure of the casting depends on these two parameters. The consequence of final microstructure are the final mechanical properties of the cast. The longer the solidification times are the larger grains will be obtained, and the mechanical properties of the final casting will be lower [12, 13].

Therefore, we decided to use the simulations to study the influence of the thermal conductivity of various mould materials on the solidification of the alloy AlSi9Cu3. Namely, higher thermal conductivity means a reduced amount of

Tabela 2. Kemijska sestava preiskovanih jekel, podatki so podani mas.% [14-20].

Table 2. Chemical composition of investigated steels in wt. %. [14-20].

	H-13	Dievar	HTCS-130	DAC-MAGIC	W350	MARVAL18
C	0,39	0,35	0,31	0,36	0,38	0,03
Si	1,0	0,2	0,17	0,33	0,2	-
Mn	0,4	0,5	0,16	0,66	0,55	-
Cr	5,3	5,0	0,08	5,20	5,00	-
Mo	1,3	2,3	3,1	2,68	1,75	5,0
V	0,9	0,6	0,003	0,64	0,55	-
W	-	-	1,85	0,01	-	-
Ni	-	-	0,08	0,05	0,04	18,0
Cu	-	-	0,1	0,04	-	-
Co	-	-	-	-	-	8,0
Ti	-	-	-	-	-	0,5
Fe	Ostanek / Bal.	Ostanek / Bal.	Ostanek / Bal.	Ostanek / Bal.	Ostanek / Bal.	Ostanek / Bal.

Tabela 3. Toplotna prevodnost preiskovanih jekel [14-20]

Table 3. Thermal conductivity of investigated steels [14-20].

Toplotna prevodnost [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] / Thermal conductivity [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]						
Temperaturno območje / Temperature range	H-13	Dievar	HTCS-130	DAC-MAGIC	W350	MARVAL18
20 °C	25,0	37,0	60,4	25,7	28,9	27,0
200 °C	29,0	39,0	56,4	30,9	30,9	28,0
400 °C	30,0	32,0	48,5	34,8	30,7	27,4
600 °C	31,0	31,0	34,0	35,8	29,7	22,9

sestava jekel je podana v tabeli 2, vse vsebnosti legirnih elementov so podane v masnih odstotkih. Toplotna prevodnost vseh uporabljenih jekel pa je podana v tabeli 3. Podane so vse lastnosti, ki so jih podali proizvajalci. Uporabili smo šest jekel petih različnih proizvajalcev in sicer: Uddeholm (Böhler-Uddeholm H-13 in Dievar), Rovalma (HTCS-130), HITACHI (DAC-MAGIC), Böhler (W350) in Aubert&Duval (MARVAL18).

Za primerjavo rezultatov in sam vpliv toplotne prevodnosti na strjevanje ulitkov smo uporabili tudi materiale, ki imajo znatno večjo toplotno prevodnost od orodnih jekel za delo v vročem. Toplotne prevodnosti materialov, ki so bili uporabljeni v simulaciji, so predstavljene v tabeli 5. Uporabili pa smo naslednje materiale: bakrovi zlitini (CuAg12 in Allper52) in nikljevo zlitino Ni75Al. Kemijska sestava za posamezno preiskovano zlitino je podana v tabeli 4. Namen uporabe teh materialov je bil raziskati vpliv toplotne prevodnosti na temperaturne gradiente v samem orodju in ulitku. Namreč orodja iz takšnih materialov niso ekonomična, saj bi stala preveč v primerjavi s tistimi iz orodnih jekel za delo v vročem. Imajo pa povišano toplotno prevodnost v primerjavi z orodnim jeklom (tabela 5). Podatki v tabelah 4 in 5 so bili vzeti iz podatkovne baze programskega orodja ProCAST.

Geometrijo ulivnega sistema in samih ulitkov smo izrisali v programskem orodju SOLIDWORKS. Programsko okolje je zasnovano tako, da lahko izrišemo načrte tako v 2D, kot tudi v 3D tehniki in ima hkrati tudi veliko opcij, s pomočjo katerih lahko spreminjamo veliko parametrov. Uporabljamo ga lahko samo v operacijskem sistemu Microsoft Windows [21]. Geometrija, ki je bila izrisana, je predstavljena na spodnji sliki (Slika 1). V tabeli 6 imamo predstavljene dimenzije za vsak posamezen ulitek, oznake

temperature shocks for the mould, since the heat exchange is larger.

2 Experimental

For permanent moulds, which we used in the simulation, we selected some hot work hot steels, which are often used in industry. The MARVAL18 steel is maraging (martensite aging) steel. The chemical composition of the steels is given in Table 2; all the alloying elements are given in weight percent. The thermal conductivity of all used steels is given in Table 3. All the properties given by the manufacturers are presented. We used six steels of five different manufacturers: Uddeholm (Böhler-Uddeholm H-13 and Dievar), Rovalma (HTCS-130), HITACHI (DAC-MAGIC), Böhler (W350) and Aubert & Duval (MARVAL18).

To compare the results and influence of thermal conductivity on the solidification of castings, we also used materials that have significantly higher thermal conductivity than hot work tool steels. The thermal conductivity of the materials used in the simulation is presented in Table 5. The following materials were used: copper alloys (CuAg12 and Allper52) and nickel alloy Ni75Al. The chemical composition for each investigated alloy is given in Table 4. The purpose of the use of these materials was to investigate the influence of thermal conductivity on the temperature gradients in the mould itself and the casting. The moulds from such materials are not economical, since they would cost too much money in comparison to the moulds from hot work tool steels. However, they have higher thermal conductivity compared to tool steel (Table 5). The data in Tables 4 and 5 were taken from the ProCAST software database.

The geometry of the casting system and the castings itself was drawn in the

Tabela 4. Kemijska sestava preiskovanih bakrovih in nikljevih zlitin, podatki so podani v mas. %.

Table 4. Chemical composition for copper and nickel alloys in wt. %

	CuAg12	Allper52	Ni75Al
Cu	88	97.3	-
Ag	12	-	-
Ni	-	1.1	75
Al	-	-	25
Co	-	1.1	-
Be	-	0.5	-

Tabela 5. Toplotne prevodnosti uporabljenih materialov

Table 5. Thermal conductivity of copper and nickel alloys

Toplotna prevodnost [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] / Thermal conductivity [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]			
Temperaturno območje / Temperature range	CuAg12	Allper52	Ni75Al
20 °C	413	235	70
200 °C	391	233	71
400 °C	374	232	69
600 °C	361	231	65

posameznega ulitka so predstavljene na Sliki 3.

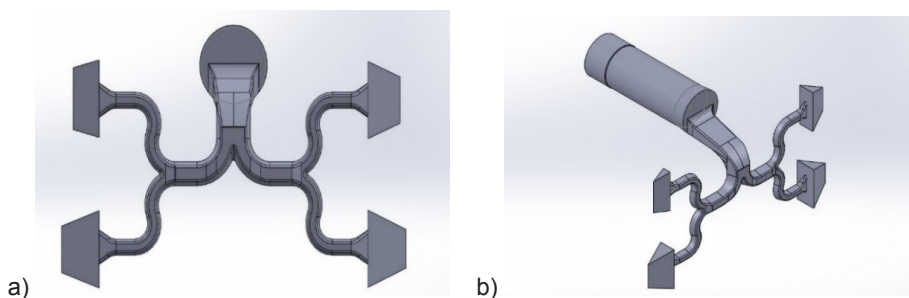
Tabela 6. Dimenzije in volumen za vsak posamezen ulitek

Table 6. Dimensions and volume for each casting

Oznaka ulitka / Casting number	a [mm]	b [mm]	V [mm^3]
1	100	50	102219
2	80	40	66002
3	80	40	66002
4	50	20	20387

SOLIDWORKS software. The software environment is designed to draw sketches both in 2D and 3D technology, and it also has many options that can help you to change a lot of parameters. It can be run only in Microsoft Windows [21]. The geometry that was drawn is presented in the figure below (Figure 1). Table 6 shows the dimensions for each individual cast, the marks of each cast are shown in Figure 3.

The calculation of foundry processes was carried out in the ProCAST software using the finite element method.



Slika 1. Prikazana je geometrija ulivnega sistema, ter ulitkov (a), kot tudi komora in bat (b)

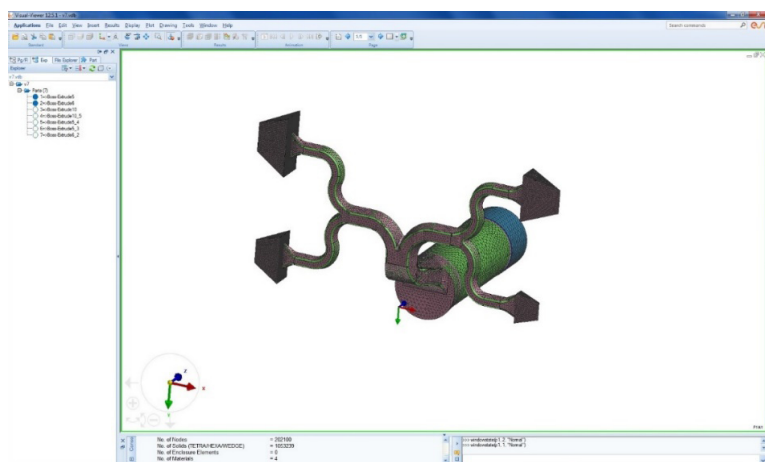
Figure 1. The geometry of the casting system and castings (a), as well as the chamber, and the piston (b) are shown

Sam izračun livarskih procesov je potekal v programskem orodju ProCAST po metodi končnih elementov. Najprej smo uvozili geometrijo iz SOLIDWORKS-a, nato pa smo zamrežili ulivni sistem, ulitke in orodje. V nadaljevanju smo nastavili livne parametre, in sicer je bila temperatura litja 720 °C, temperatura orodja in bata je bila 200 °C, lastnosti zlitine AlSi9Cu3 (solidus temperatura je bila 508 °C, likvidus temperatura je bila 588 °C, fizikalne, kemijske in mehanske lastnosti), lastnosti orodja (za vsak material posebej fizikalne, kemijske in mehanske lastnosti), pomike bata, itn. Po nastavitvi vseh parametrov smo pognali simulacijo. Med simulacijo so bili vsi parametri litja enaki za vse materiale, spreminjali smo le materialne lastnosti orodja. Na sliki 2 imamo predstavljen grafični vmesnik programskega orodja ProCAST, z geometrijo ulitkov in ulivnega sistema.

V nadaljevanju bodo predstavljeni rezultati simulacij litja in strjevanja zlitine AlSi9Cu3. Za lažje razumevanje ohlajevalnih krivulj za posamezen ulitek je na sliki 3 predstavljen sistem označevanja

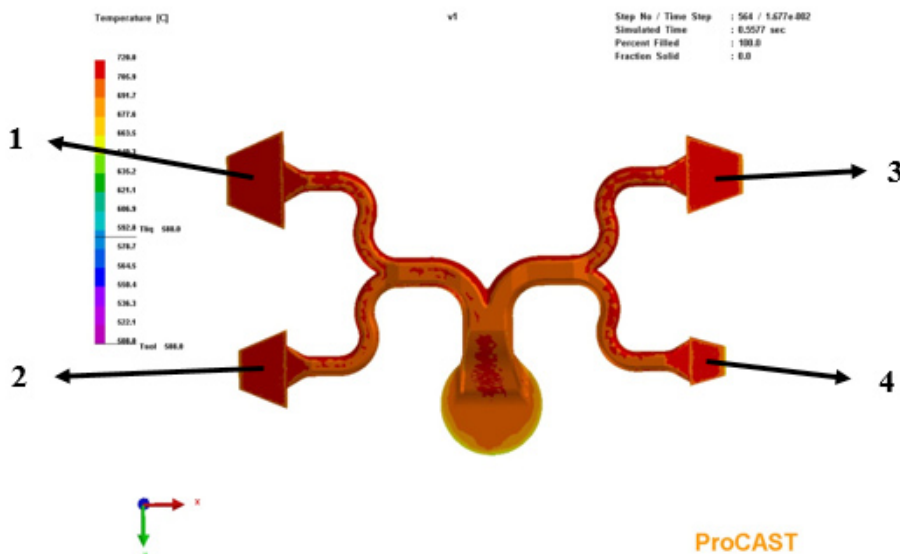
First, we imported the geometry from SOLIDWORKS, and then we mesh the casting system, castings and mould. In the next step we set casting parameters such as: the temperature of the casting being 720 °C, the temperature of the mould and the piston was 200 °C, the properties of AlSi9Cu3 alloy (the solidus temperature was 508 °C, the liquid temperature was 588 °C, the physical, chemical and mechanical properties), properties of the mould (for each material, especially physical, chemical and mechanical properties), piston movements, etc. After setting all the parameters, we run the simulation. During the simulation, all casting parameters were the same for all materials, only the material properties of the mould were changed. Figure 2 shows the graphical interface of ProCAST software, with the geometry of castings and casting systems.

The results of the simulation of casting and solidification of the alloy AlSi9Cu3 will be presented below. In order to simplify the understanding of the cooling curves for a single casting, marking of the individual



Slika 2. Grafični vmesnik programskega orodja ProCAST, z geometrijo ulitkov in ulivnega sistema

Fig. 2. Graphical interface of ProCAST software, with casting and casting geometry



Slika 3. Prikaz označevanja posameznega ulitka

Fig. 3. Marking of the individual castings.

posameznih ulitkov, ki smo ga uporabili. Največje dimenzije in hkrati tudi volumen ima ulitek 1, sledita ulitka 2 in 3, ter na koncu ulitek 4. Ulitka 2 in 3 imata enake volumne, a različno pozicijo v orodju (slika 3). Rezultati so razdeljeni glede na posamezen material orodja, ki smo ga uporabili pri simulaciji. Materialne lastnosti orodja oziroma materiala, iz katerega je izdelano orodje, so namreč tiste, ki vplivajo na hitrost ohlajevanja, strjevanja in krajše čase ciklov pri samem tlačnem litju.

3 Rezultati in diskusija

Zaradi večjega števila rezultatov, smo na tem mestu naredili primerjavo rezultatov za posamezen material. V spodnji tabeli (Tabela 7) imamo prikazano toplotno prevodnost za posamezen material orodja pri 400 °C in pa tudi čase strjevanja za vse

castings is presented in Figure 3. The largest dimension and volume has the casting 1, followed by castings 2 and 3, and at the end cast 4. Castings 2 and 3 have the same volumes, but different position in the mould (Figure 3). The results are divided according to the individual mould material used in the simulation. The material properties of the mould respectively the material from which the mould is made are those that influence the cooling speed, solidification and shorter cycles during the high-pressure die casting.

3 Results and Discussion

Due to the higher number of results, we made a comparison of the results for each mould material. In the table below (Table 7), we have shown the thermal conductivity of used mould materials at 400 °C, as well

ulitke. Kot je razvidno iz rezultatov, nam povišana toplotna prevodnost skrajša čas strjevanja. Zvišanje toplotne prevodnosti za $18,52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (H-13 in HTCS-130) nam skrajša čas strjevanja za 1 s. To se sicer ne sliši veliko, a pri 50.000 ali pa 100.000 kosih oziroma ciklih je to veliko. Če primerjamo še čase strjevanja, kjer je bilo orodje iz jekla HTCS-130 in zlitino Ni75Al, kjer je razlika v toplotni prevodnosti $20,5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, se nam čas strjevanja skrajša za 2,2 s. Kar je v primerjavi z orodnimi jekli veliko. To pa že nakazuje na to, da nam povišana toplotna prevodnost skrajša cikle litja in pa tudi hkrati podaljša življenjsko dobo orodij, kot smo tudi predvideli. Če primerjamo rezultate časov strjevanja ulitkov za orodna jekla, recimo za jeklo HTCS-130 z zlitino CuAg12, ki ima največjo toplotno prevodnost od preiskovanih materialov, opazimo, da je razlika v času strjevanja 9 s. To pa je že ogromna razlika. Potrebno pa je upoštevati še dejstvo, da je toplotna prevodnost zlitine

as the solidification times for all castings. As shown in the results, increased thermal conductivity shortens the solidification time. Increasing the thermal conductivity for $18,52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (H-13 and HTCS-130) reduces the solidification time by 1 s. This does not sound a lot, but at 50,000 or even 100,000 cycles, this is a lot. If we compare the solidification times where the mould material was HTCS-130 and Ni75Al, the difference in thermal conductivity is $20.5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, the solidification time is reduced by 2.2 s. In comparison to the hot work tool steels, this is a big difference. This already indicates that increased thermal conductivity shortens casting cycles and at the same time extends the life span of moulds, as we anticipated. If, however, we compare the results of the casting solidification times for tool steels, for example HTCS-130 with CuSg12 alloy, which has the highest thermal conductivity from examined materials, we can notice that the difference in the solidification time

Tabela 7. Primerjava toplotnih prevodnosti in časov strjevanja ulitkov za posamezen material

Table 7. Comparison of thermal conductivity and solidification time for each mould material

Material orodja / Mould materials	Toplotna prevodnost materiala pri 400 °C [W m ⁻¹ K ⁻¹] / Thermal conductivity of material at 400 °C [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Čas strjevanja ulitka 1 [s] / Solidification time of 1 st casting [s]	Čas strjevanja ulitka 2 [s] / Solidification time of 2 nd casting 2 [s]	Čas strjevanja ulitka 3 [s] / Solidification time of 3 rd casting [s]	Čas strjevanja ulitka 4 [s] / Solidification time of 4 th casting [s]
H-13	30.0	37.5	28.8	31.0	16.0
Dievar	32.0	37.4	28.5	30.7	15.3
HTCS-130	48.5	36.5	27.9	30.0	15.4
DAC-MAGIC	34.8	36.9	28.4	30.5	15.5
W350	30.7	44.0	33.1	35.8	17.7
Marval18	27.4	39.2	29.8	32.0	16.1
CuAg12	374.0	27.5	21.7	23.3	12.7
Allper52	232.0	29.7	23.0	24.7	13.1
Ni75Al	69.0	34.3	26.8	28.9	14.8

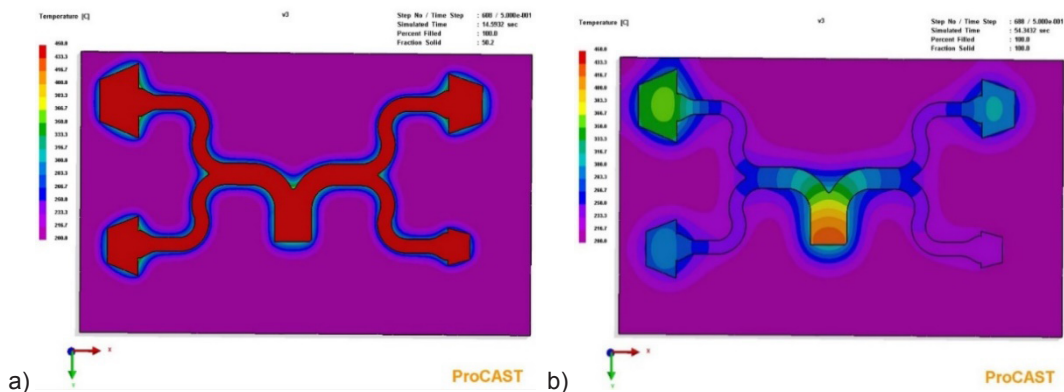
CuAg12 7,7 krat večja, kot jo ima orodno jeklo za delo v vročem HTCS-130.

Za primerjavo smo dodali še nekaj temperaturnih gradientov za posamezna orodja, kjer je tudi opazna razlika med različnimi orodji, ki imajo različne toplotne prevodnosti. Barvna temperaturna skala

is 9 s. This is already enormous difference, but it is necessary to take into account the fact that the thermal conductivity of CuAg12 is 7.7 times higher than in case of HTCS-130.

For comparison, we added some temperature gradients for individual

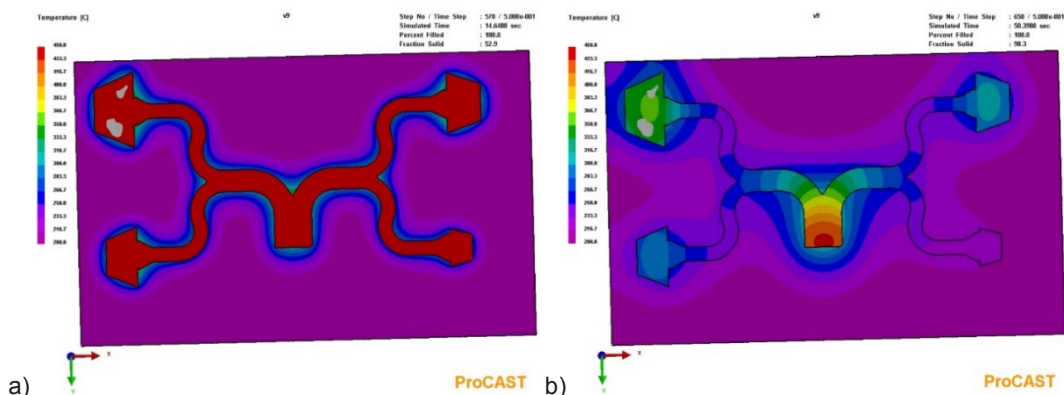
HTCS-130 – $48,52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$



Slika 4. Temperaturni gradient orodja iz jekla HTCS-130 (a) pri 50 % trdne faze in (b) pri 100 % trdne faze

Figure 4. The temperature gradient of the mould made of HTCS-130 steel (a) at 50 % of the solid phase and (b) at 1

Ni75Al – $69 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$



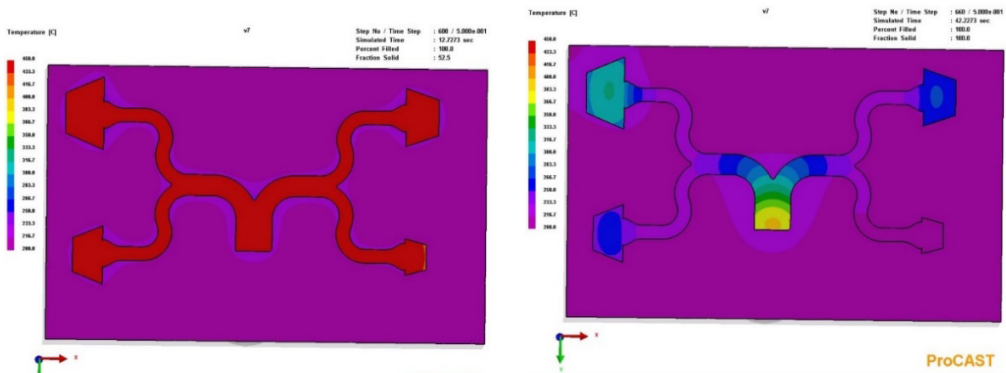
Slika 5. Temperaturni gradient orodja iz zlitine Ni75Al (a) pri 50 % trdne faze in (b) pri 100 % trdne faze

Figure 5. The temperature gradient of the mould made of Ni75Al alloy (a) at 50 % of the solid phase and (b) at 100 % of the solid phase

na levi strani rezultatov temperaturnih gradientov orodij (slike 4-6) je od 400 °C do 200 °C, medtem ko je na sliki 7 temperaturna skala orodja od 250 °C do 100 °C. Na sliki 8 imamo primerjavo hitrosti ohlajevanja za

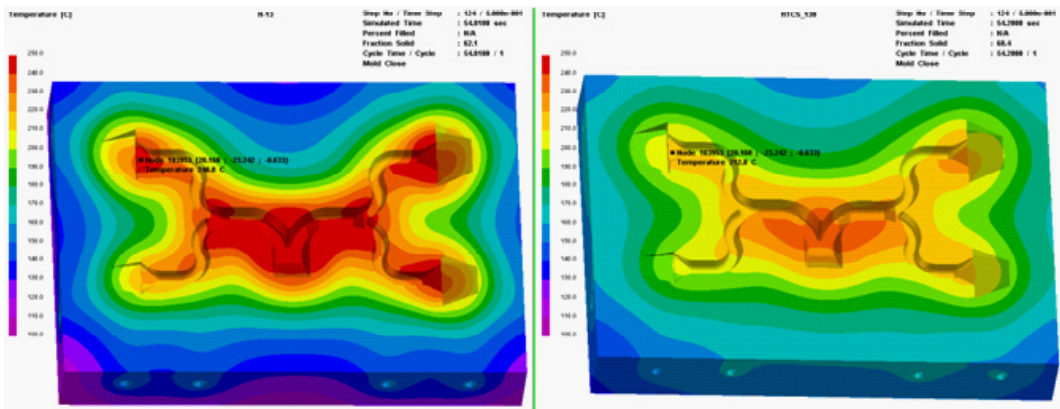
moulds, where there is also a noticeable difference between different moulds with different thermal conductivity. The colour temperature scale on the left side of the temperature gradients of the moulds

CuAg12 – 374 W m⁻¹ K⁻¹



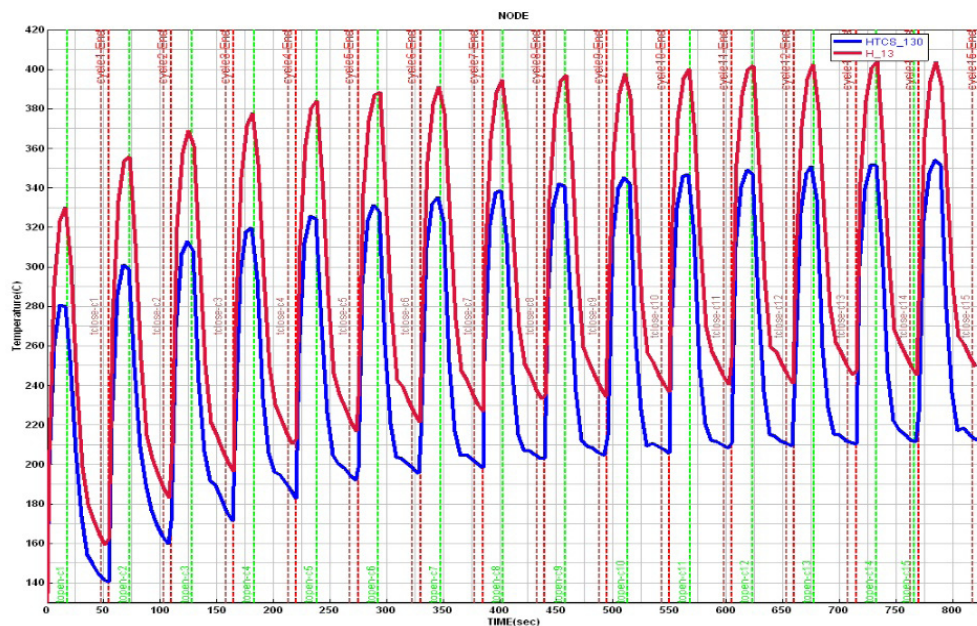
a) **Slika 6.** Temperaturni gradient orodja iz zlitine CuAg12 (a) pri 50 % trdne faze in (b) pri 100 % trdne faze

Figure 6. The temperature gradient of the mould made of CuAg12 alloy (a) at 50 % of the solid phase and (b) at 100 % of the solid phase.



a) **Slika 7:** Primerjava temperaturnega gradienta po 15 ciklih (a) orodje iz jekla H-13 in (b) orodje iz jekla HTCS-130

Figure 7. Comparison of the temperature gradient after 15 cycles for the moulds made of hot work tool steels (a) H-13 and (b) HTCS-130



Slika 8. Primerjava hitrosti ohlajevanja za 15 ciklov litja, rdeča krivulja predstavlja hitrost ohlajevanja orodja iz jekla H-13 in modra orodje iz jekla HTCS-130

Figure 8. Comparison of the cooling rate of mould for 15 casting cycles, the red curve represents the mould made of H-13 steel and the blue curve mould made of HTCS-130 steel.

15 ciklov litja med orodnima jekloma H-13 in HTCS-130.

4 Sklepi

Rezultati izračunov livarskih procesov so pokazali, da je izmed preiskovanih orodnih jekel za delo v vročem najboljše jeklo HTCS-130. To je bilo pričakovano, saj ima jeklo HTCS-130 največjo toplotno prevodnost izmed vseh preiskovanih orodnih jekel za delo v vročem. Ostala orodna jekla imajo podobne toplotne prevodnosti, to se kaže tudi v rezultatih simulacij (čas strjevanja, temperaturni gradient, itn.), razen jekla W350, ki je imelo najdaljše čase strjevanja posameznih ulitkov, čeprav je toplotna prevodnost podobna toplotni prevodnosti

(Figures 4-6) ranges from 400 °C to 200 °C. Whereas, in Figure 7, the temperature scale is between 250 °C and 100 °C. In Figure 8, we have a comparison of the cooling rate for 15 casting cycles between the H-13 and HTCS-130 hot work tool steels.

4 Conclusions

The results of casting processes calculations have shown that among investigated hot work tool steels HTCS-130 is the best. This was expected because the HTCS-130 steel has the highest thermal conductivity of all analysed hot work tool steels. Other tool steels have similar thermal conductivity, this is also reflected in the results of the simulations (solidification time, temperature

ostalih preiskovanih orodnih jekel za delo v vročem.

Če primerjamo rezultate orodnih jekel z rezultati preiskovanih zlitin, ki so imele nekajkrat večjo toplotno prevodnost, opazimo, da so časi strjevanja pri uporabi orodnih jekel daljši. Zlitina Ni75Al, ki ima toplotno prevodnost $69 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (pri 400°C), ima čas strjevanja za ulitek 1 za 7 s krajši, kot je to pri ulitku, kjer je orodje iz orodnega jekla HTCS-130, ki ima toplotno prevodnost $48,52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (pri 400°C). Razlike so še večje, če primerjamo orodna jekla z zlitinama Allper52 in CuAg12, kot je razvidno tudi iz rezultatov (tabela 7).

S pomočjo simulacij smo potrdili, da toplotna prevodnost vpliva na čas strjevanja. Pri orodnih jeklih za delo v vročem ni bilo opaziti bistvenih razlik, odstopalo je le jeklo W350, kjer so ulitki imeli najdaljše čase strjevanja. Najboljše pa je bilo jeklo HTCS-130, kjer so ulitki imeli najkrajše čase strjevanja. Ugotovili smo tudi, da bi bil pri povečanju toplotne prevodnosti za $20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ cikel ulivanja 7 s krajši. To pa je ugodno s stališča povečanja produktivnosti proizvodnje, hkrati bi s tem podaljšali tudi življenjsko dobo orodja in povečali mehanske lastnosti ulitkov.

5 Zahvala

Delo je bilo izvedeno v okviru programa MARTINA (Materiali in tehnologije za nove aplikacije), ki je financiran s strani Evropskega sklada za regionalni razvoj in Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije.

gradient, etc.). Except for the W350 steel, which had the longest solidification times of all individual castings, although the thermal conductivity is similar to the thermal conductivity of other hot work tool steels.

If we compare the results of the tool steels with the results of the investigated alloys, which had several times higher thermal conductivity, we observed that the solidification times in the usage of tool steels are longer. A Ni75Al alloy having a thermal conductivity of $69 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (at 400°C) has a solidification time of the cast 1 for 7 s shorter than in example, where the mould is made of HTCS-130 steel which has a thermal conductivity of $48.52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (at 400°C). The differences are even greater when comparing hot work tool steels with alloys Allper52 and CuAg12, as can be seen from the results (Table 7).

Using the simulations, we confirmed that the thermal conductivity affects the solidification time. There was no significant difference in case of hot work tool steels, only the W350 differed, with the longest solidification times. The best results were achieved in case of HTCS-130 steel, where castings had the shortest solidification times. We also found that if the thermal conductivity were increased by $20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, the casting cycle would be 7 s shorter. This is favourable since thus the productivity of the production increases, while at the same time it would prolong the life span of the mould and increase the mechanical properties of the castings.

5 Acknowledgement

The European Regional Development Fund and Ministry of Education, Science and Sport of Republic of Slovenia financially support this work within program MARTINA (Materials and technologies for new applications).

6 Viri in literatura / References

- [1] BEELEY, P., Foundry Technology 2nd Edition. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2001, 719 str.
- [2] CAMPBELL, J., Complete casting handbook : Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design. Oxford : Waltham : Butterworth-Heinemann, 2015, 1028 str.
- [3] ASM International. Handbook Committee, ASM handbook. Vol. 15, Casting. Materials Park, Ohio : ASM International, 2008, 1238 str.
- [4] TRBIŽAN, M., Livarstvo. Ljubljana : Naravoslovnotehniška fakulteta, Katedra za livarstvo, interna skripta, 1996.
- [5] VAVTAR, L., Postavitev hladilno-grelnega sistema v orodjih za tlačno litje. Ljubljana : Magistrsko delo, 2016, 114 str.
- [6] ASM International. Handbook Committee, ASM Handbook: Volume 3: Alloy Phase Diagrams. 1992, 512 str.
- [7] WINKELMAN, G. B., CHEN, Z. W., STJOHN, D. H., JAHEDI, M. Z., Morphological features of interfacial intermetallics and interfacial reaction rate in Al-11Si-2.5Cu-(0.15/0.60)Fe cast alloy/die steel couples. Journal of Materials Science, 2004, vol. 39, str. 519–528.
- [8] SHABESTARI, S. G., The effect of iron and manganese on the formation of intermetallic compounds in aluminum–silicon alloys. Materials Science and Engineering: A, 2004, vol. 383, str. 289–298.
- [9] STREET, A. C., The diecasting book, Second edition. Portcullis press ltd, Surrey, 1990.
- [10] BONAČIĆ-MANDINIĆ, Z., et al. Ljevački priručnik. Zagreb : Savet ljevača Hrvatske, 1985, 1258 str.
- [11] KLOBČAR, D., TUŠEK, J., PLETERSKI, M., KOSEC, L., Muhič, M., Analiza toplotnih razpok na orodjih za tlačno litje aluminija. Materiali in tehnologije, 2008, vol. 42, št. 5, str. 203-210.
- [12] PETRIČ, M., MEDVED, J., MRVAR, P., Vpliv udrobnjevanja, modificiranja in ohlajevalne hitrosti na mikrostrukturo zlitine AlSi10Mg. RMZ–Material and Geoenvironment, 2006, vol. 53, št. 3, str. 385-401.
- [13] PETRIČ, M., MEDVED, J., MRVAR, P., Effect of grain refinement, modification and cooling rate on the microstructure of alloy 239 and 226. Giessereiforschung, ISSN 0046-5933, 2008, vol.60, no. 2, str. 26-37.
- [14] Rovalma – The Steel innovator - HTCS®-130DC – The New Quality Standard for Die Casting Applications (citirano 10.5.2018) Dostopno na naslovu: <http://rovalma.com/wp-content/uploads/2017/06/HTCS%C2%AE-130-DC.pdf>.
- [15] KASCHNITZ, E., HOFER, P., FUNK, W., Thermophysical Properties of a Hot-Work Tool-Steel with High Thermal Conductivity. International Journal of Thermophysics, 2013, vol. 34, str. 843 – 850.
- [16] Hot work tool steel – Böhler W350 ISOBLOC® – Böhler (citirano 10.5.2018) Dostopno na naslovu: <https://www.boehler-edelstahl.com/media/productdb/downloads/W350DE.pdf>.
- [17] Uddeholm Dievar®, Edition 9, 9.6.2015 (citirano 10.5.2018) Dostopno na naslovu: <http://www.bucorp.com/media/dievar-datasheet.pdf>.

- [18] Bohler-Uddeholm H13 Tool Steel (citirano 10.5.2018) Dostopno na naslovu: http://www.bucorp.com/media/H13_data_sheet_09032013.pdf.
- [19] YSS Die Steels For Die Casting – DAC Series (citirano 10.5.2018) Dostopno na naslovu: https://www.hitachi-metals.co.jp/e/products/auto/ml/pdf/dac_b.pdf.
- [20] Aubert&Duval – Steel – MARVAL18, X2NiCoMo18-8-5 (citirano 10.5.2018) Dostopno na naslovu: https://www.aubertduval.com/wp-media/uploads/sites/2/pdf/gb_MARVAL18.pdf.
- [21] TRAN, P., SOLIDWORKS 2016 Advanced Techniques. Mission : SDC Publications, 2016, 726 str.

AKTUALNO / CURRENT

Koledar livarskih prireditev 2019

Datum dogodka	Ime dogodka	Lokacija
29.-30.01. 2019	10. VDI-Fachtagung »Gießereitechnik« im Motorenbau 2019	Magdeburg, Nemčija
26.02. 2019	19. Druckgusstag	Schorndorf, Nemčija
14.-15.03. 2019	45. Aachener Gießerei-Kolloquium	Aachen, Nemčija
11.-12.04. 2019	63. Österreichische Gießerei Tagung	Schladming, Avstrija
27.-30.04. 2019	CastExpo	Atlanta, USA
21.-24.05. 2019	Moulding Expo	Stuttgart, Nemčija
25.-29.06. 2019	GIFA, NEWCAST, METEC, THERMPROCESS	Düsseldorf, Nemčija
18.-20.09. 2019	WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019	Portorož, Slovenija

*V koledarju livarskih prireditev, ki smo ga objavili v 3. letošnji številki Livarskega vestnika, je prišlo do neljube napake pri letnici vseh prireditev, ki se bodo izvajale v letu 2019. Za napako se iskreno opravičujemo.

AKTUALNO / CURRENT



73. WFC - Svetovni livarski kongres

23. septembra letos je v Krakovu na Poljskem potekal 73. svetovni livarski kongres. Glede na odločitev izpred let, ki je bila izvedena s strani Svetovne livarske organizacije (WFO), je bilo za izvedbo tega kongresa zadolženo Poljsko društvo livarjev (STOP). Kongres je bil izveden pod častnim pokroviteljstvom poljskega predsednika Andrzeja Duda in častnim odborom, ki so ga sestavljala Ministrstvo za visoko šolstvo, vodstvo Malopolske regije, župan mesta Krakov, rektor AGH Univerze znanosti in tehnologij, predsednik Poljskega združenja inženirskih društev FSNT-NOT in predsednik Svetovne livarske organizacije.

Uradna otvoritev kongresa je potekala v ICE kongresnem centru, kjer so bili sodelujoči pozdravljeni s strani predsednika Poljskega livarskega društva Tadeusza Franaszeka, namestnika župana Krakova Tadeusza Trzmiela, rektorja Univerze znanosti in tehnologij Tadeusza Slomka in predsednika Svetovne livarske organizacije Marka Fenyesa. V dveh dneh se je v osmih dvoranah odvilo kar 43 znanstvenih in tehničnih sekcij ter se odvilo več različnih sestankov organiziranih s strani Svetovne livarske organizacije. Na kongresu je bilo 930 udeležencev iz 43 držav, od tega je bilo okoli 100 mladih obiskovalcev, doktorskih študentov, mladih raziskovalcev in zaposlenih v industriji. 56% vseh udeležencev je prihajalo iz industrijskega okolja. Prijavljenih je bilo 383 povzetkov prispevkov, od tega je bilo v vseh sekcijah predstavljenih 202 znanstvenih in tehničnih prispevkov ter 181 posterjev.

26. in 27. septembra je bil udeležencem omogočen ogled mednarodnega sejma METAL v Kielcach in organiziranih je bilo 7 tehničnih ogledov livarn in inštitutov.



Predsednik
Poljskega društva
livarjev,
T. Franaszek



Pogled na
dvorano
ob otvoritvi
dogodka

Svetovni livarski kongres se je zaključil z livarskim večernim srečanjem v stari mestni četrti Kazimierz, kjer je glavni tajnik Svetovne livarske organizacije Andrew Turner podelil nagrade za najboljše znanstvene in tehnične prispevke.

Poročal: dr. Mitja Petrič

AKTUALNO / CURRENT**Generalna skupščina WFO**

Generalna skupščina WFO– svetovne livarske organizacije (v nadaljevanju Skupščina) je potekala letos 26.09.2018 v sejamskem mestu Kielce na Poljskem. Skupščine sem se udeležila kot delegatka Društva livarjev Slovenije. Na dnevnem redu skupščine so bila naslednje teme:

- Poročilo o delu WFO
- Poročilo o delu delovnih skupin
- Pregled poročil članic posameznih nacionalnih združenj o doseženi livarski proizvodnji v letu 2017
- Bilanca za leto 2017 s poročilom o izpolnjevanjem finančnih obveznosti članic
- Finančni načrt WFO za leto 2019
- Predlog strateškega načrta WFO za obdobje 2018-2020
- Bodoče prireditve WFO

V tem poročilu bi se predvsem osredotočila na Strateški načrt WFO za obdobje 2018-2020. V strateškem načrtu ugotavljamo, da je v obdobju 90-ih let obstoja WFO prišlo do korenitih tehnoloških sprememb in tudi sprememb v geografskih centrih livarske industrije. V današnjih globalnih svetovnih razmerah obstajajo velike potrebe po pravočasnih in kvalitetnih tehničnih in komercialnih informacijah. Te informacije potrebujejo nacionalna livarska združenja in njeni člani, kot tudi vsi tisti, ki se ukvarjajo z livarstvom (livarne, akademski krogi ...). WFO je priznано središče strateškega znanja, ki je namenjeno razvijanju in izboljševanju livarske proizvodnje z najnovejšimi tehničnimi in trajnostnimi dosežki. WFO trenutno predstavlja 90% svetovne livarske proizvodnje, zato le-to lahko smatramo kot referenčno točko svetovne livarske industrije. Z vključitvijo 30-ih članic – to so nacionalna združenja livarjev ali livarske industrije – WFO ustvarja mrežo tehničnega znanja in virov, ki so pomembna orodja za vsako livarsko združenje in livarne po celem svetu. Predstavlja asociacijo, ki združuje skupne potrebe vseh članic na globalni ravni in svojim članicam omogoča:

- aktivno udeležbo v WFO,
- dostop do tehničnega znanja zbranega v WFO ali prisotni mreži WFO,
- dostop do določenih statističnih podatkov in tehničnih informacij o vseh vidikih svetovnega livarstva, letnih poročil, primerjalnih analiz,
- možnost razvijanja ali sodelovanja v tehničnih delovnih skupinah z uveljavljenimi strokovnjaki s celega sveta,
- s podporo in sodelovanje WFO možnost prevzemanja organizacije svetovnega livarskega kongresa ali tehničnega foruma,
- priložnost za mreženje in stike s podjetji in strokovnjaki ter raziskovalci,
- znižanje kotizacije dogodke.

Povzetek strategije lahko strnemo v naslednje ugotovitve:

1. Vizija: biti referenčna točka za globalno livarsko industrijo
2. Poslanstvo: ohranjati mednarodni standard znanja in usposobljenosti za livarsko industrijo, ki ponuja globalne organizacijske povezave do vrhunskih ciljev zagotavljanje trajnostnega razvoja livarske industrije
3. Strateški cilji:
 - S1 Povečanje mednarodnih storitev in dejavnosti za zagotovitev globalnega svetovnega livarstva
 - S2 Izboljšanje prispevkov, ki jih prejemajo združenja članic
 - S3 Zagotavljanje globalne prepoznavnosti in standard znanja



Predsednica
M. Jan-Blažič
na Generalni
skupščini



Pogled na zasedanje
Generalne skupščine

Za dosego predlaganih strateških ciljev je bil oblikovan ciljni akcijski načrt, ob upoštevanju naslednjih korakov:

- A1 Posodabljanje trenutnih WFO storitev in dejavnosti
- A2 Dvigniti status globalne livarske industrije
- A3 Pomoč pri ustvarjanju bolj trajnostne industrije
- A4 Izboljšanje globalnega sodelovanja med zainteresiranimi stranmi
- A5 Razvoj učinkovite komunikacijske strategije
- A6 Stopnjevanje vloge WFO kot nosilca informacij in znanja

V WFO se bo intenziviralo delo v naslednjih delovnih skupinah:

1. Varstvo okolja in varčevanje z energijo
2. Litje železovih litin
3. Litje neželezovih zlitin
4. Tlačno litje
5. Liti kompoziti
6. Materiali za modele
7. Usposabljanje in poklicni razvoj

Poleg svetovnega kongresa in tehničnega foruma (vsak od teh poteka vsako drugo leto) je predvidena tudi organizacija letne tehnične konference. Vsako leto bo izdelano pisno letno poročilo o stanju livarske industrije po posameznih državah članicah.

Na koncu dnevnega reda vsake Skupščine pa se obravnavajo konkretni dogodki WFO, s poudarkom na tistih, ki se organizirajo v letu ki prihaja. Ker se glavni dogodek WFO-Technical Forum naslednje leto organizira v Sloveniji, smo imeli priložnost, da ga kot eden glavnih nosilcev organizacije, predstavimo delegatom Generalne Skupščine. To priložnost smo izkoristili tako, da smo Slovenijo predstavili kot zanimivo turistično destinacijo in seveda tudi kot kompetentno livarsko državo. V ta namen smo predvajali cca. 3 minutni video, v katerem smo združili obe omenjeni podobi Slovenije, vsi delegati Skupščine, pa so od nas prejeli priložnostni spominek s poudarjenim slovenskim pridihom in ustno povabilo z razlogi in poudarki, zakaj naj bi članice prišle v Slovenijo.

Poročala: mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT



Livarski WFO sumit

WFO- Svetovana livarska organizacija je v skladu s programom za letošnje leto organizirala 1. Livarski samit WFO, ki je potekal 9. novembra letos v Rimu. Prvi tovrstni dogodek WFO se je izkazal kot zelo zanimiv in uspešen. Zbral je kar nekaj uglednih predavateljev, ki so predstavili paleto različnih in po svoje pomembnih globalnih tem. Škoda je, da se nobeden od naših direktorjev članic Društva ni odločil za udeležbo, ker bi v relativno kratkem času poleg možnosti za poslušanje zanimivih predavanj lahko spoznali kar nekaj novih poslovnih ljudi. Na letošnjem poslovnem direktorskem kosilu v Portorožu je to srečanje bilo predstavljeno s strani predsednika WFO Marka Fenyes-a, žal pa lista vabljenih predavateljev še ni bila znana.

Predavanje pod naslovom »WFO globalno poročilo o livarstvu« je uvodoma podal **generalni sekretar WFO Andrew Turner**.

Posebno zanimivo predavanje je bilo predstavljeno s strani **dr. Heinz-Juergen Buechner-ja iz IKB Deutsche Industriebank** pod naslovom: »Livarska industrija 2025 - Novi izzivi zaradi sprememb tržnih pogojev«.

Za tiste iz segmenta neželeznih livarn je posebna poslastica bilo predavanje **podpredsednika Engineering/ R&D firme Eck Industries, Inc. Aluminum Casting Specialists iz ZDA, g. David Weiss-a** pod naslovom »Razširjene zmožnosti pri aluminijških ulitkih«

Predstavnica livarne **Dotson Iron Castings in nekdanja predsednica AFS iz ZDA, ga. Jean Bye** je predstavila predavanje pod naslovom »Reševanje po nesreči - obnova iz ruševin«. Gre za impozantno in hvale vredno opravljeno delo v presenetljivo kratkem času, ki so ga v tem podjetju opravili po uničujočem požaru v livarni, ki se je zgodil 22. septembra lanske leto.

Prof. Paul Theron od firme Granfield Manufacturing iz Velike Britanije je odprl temo »Kibernetska varnost livarn v e-povezanem svetu«

O temi »Energetska prihodnost - kako jo preživeti in uspeti« je govoril **Mike Hogg iz Velike Britanije**.



Od leve proti desni: predsednik WFO, M. Fenyés, predsednica Društva livarjev Slovenije, mag. M. Jan-Blažič, generalni sekretar WFO, A. Turner, upravni sekretar WFO, J.J. González



Pogled na dvorano samita

Temo »Vrednost treninga za višje izvršilno vodstvo« je predstavil **izvršni in poslovni trener firme Aurorra Training and Development Services iz Velike Britanije, g. Chris Cordery**.

Timothy J. DiDonato iz Velike Brfitanije je podal oris 30-letnega razvoja letalske industrije s poudarkom na razvoju kovinskih materialov.

Serhan Yener iz podjetja ARGO Nemčija je z vidika potreb agrara predstavil temo »Kam in kako hitro gremo z livarsko industrijo«.

Veliko večino predstavljenih predavanj v obliki predstavitev v PowerPointu smo že poslali po elektronski pošti vsem direktorjem članic Društva.

Poročala: mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

Seminarja Društva livarjev Slovenije

V sprejetem programu Društva livarjev Slovenije za leto 2018 (v nadaljevanju Društvo), smo v drugi polovici leta predvideli dva seminarja za neželezove livarne in en seminar za železove livarne. V času od 6.-9. novembra, je Društvo organiziralo tridnevni seminar za livarne visoko tlačnega litja, v podjetju Bühler AG v Uzwilu, Švica, ki je potekal pod naslovom »Training Die Casting Basics« in je programsko vključeval obdelavo naslednjih področij:

1. Uvodno obravnavo osnov tehnologije tlačnega litja,
2. »Squeeze pins« tehnologijo tlačnega litja
3. Termično bilanco pri tlačnem litju,
4. Tehnologijo mazanja,
5. Ugotavljanje napak pri litju in njihov vpliv na funkcijo komponent.

Seminar je bil zahtevnejše stopnje, namenjen tistim strokovnjakom iz tlačnih livarn, ki se v tej tehnologiji že srečujejo in rešujejo visoko zahtevne naloge. Skupina slušateljev je štela 10 udeležencev iz naslednjih livarn: Hidria d.o.o., LTH Castings d.o.o., MAHLE Electric Drives Komen d.o.o., Mariborska livarna Maribor d.d., Talum d.d. in Telkom d.o.o. Udeleženci so po končanem seminarju prejeli v izpolnitev poseben evalvacijski vprašalnik s strani izvajalca. Skupni seštevek ocen tega seminarja, ki so jih podali udeleženci, kažejo na visoko stopnjo zadovoljstva.

Naj na koncu omenimo še, da nam je v to skupino uspelo vključiti tudi livarno, ki nima tlačnih strojev proizvajalca Bühler AG.



Udeleženci seminarja v podjetju Bühler AG



Drugi seminar je bil prav tako namenjen livarnam visokotlačnega litja, organizirali pa smo ga v ÖGI-Avstrijskem livarskem inštitut v Leobnu, v času od 13.-15.11.2018. Dvodnevni seminar je potekal pod naslovom »HPDC 2-Advanced (hands-on)«. Gre za ponovljeni in nadaljevalni seminar, ki ga je Društvo organiziralo v ÖGI Leoben lansko leto, vključuje pa teoretični in praktični del. Slednji je potekal v njihovih laboratorijih in poskusni livarni. Na seminarju je lahko sodelovalo 12 slušateljev, ki so bili iz naslednjih livarn: DIFA d.o.o., Hidria d.o.o., LTH Castings d.o.o., MAHLE Electric Drives Komen d.o.o., Mariborska livarna Maribor d.d., Talum d.d. in Telkom d.o.o. Stopnjo zadovoljstva slušateljev



Poskusni obrat tlačne tovarne, ÖGI Leoben

bi lahko ocenili kot zadovoljivo, glavna pripomba pa je bila, da je bilo obravnavano premalo praktičnih primerov.

Predviden in že pripravljen seminar za železove livarne tudi v ÖGI Leoben na temo »Preizkušanje kvalitete livarskih peskov«, pa smo morali odpovedati, ker nismo prejeli zadostnega števila prijav.

Poročala: mag. Mirjam Jan-Blažić

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



*Vodstvo Društva livarjev Slovenije
in uredništvo Livarskega vestnika*

We wish you 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.*



The WORLD
FOUNDRY ORGANIZATION
TECHNICAL FORUM
and
59th IFC PORTOROZ 2019

18-20 September
Portoroz, SLOVENIA



WFO-Technical Forum in / and 59. IFC PORTOROŽ 2019

z livarsko razstavo /
with accompanying foundry exhibition

18.-20. SEPTEMBER 2019

Kontakt / Contact: SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY

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

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

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