

LIVARSKI VESTNIK

66/2019

1

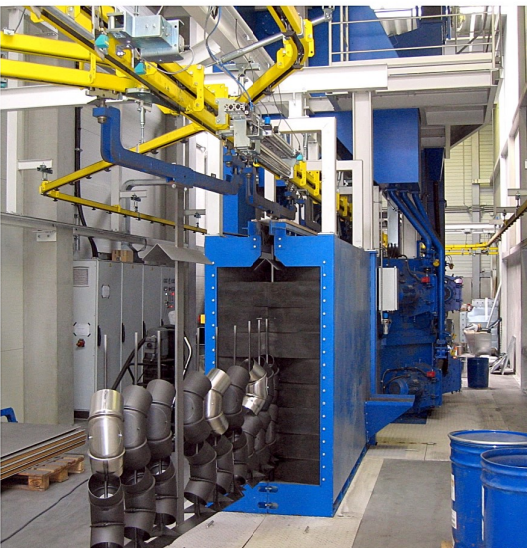


DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY



Living d.o.o.
Goriška cesta 66a
5270 Ajdovščina
Slovenija

T.: +386-5-333-38-10
F.: +386-5-333-30-71
info@living.si
www.living.si



LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

Društvo livarjev Slovenije
Lepi pot 6, P.P. 424, SI-1001 Ljubljana
Tel.: + 386 1 252 24 88
Fax: + 386 1 426 99 34
E-mail: 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-Blažić

Uredniški odbor / Editorial board:

prof. dr. Alojz Križman, Univerza v Mariboru
prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani
doc. dr. Gorazd Lojen, Univerza v Mariboru
prof. dr. Andreas Bührig-Polaczek, Giesserei
Institut RWTH Aachen
prof. dr. Peter Schumacher, Montanuniversität
Leoben
prof. dr. Reinhard Döpp, TU Clausthal
prof. dr. Jerzy Józef Sobczak, Foundry
Research Institute, Krakow
prof. dr. Jaromir Roučka, Institut Brno
prof. dr. Branko Bauer, Univerza v Zagrebu
dr. Milan Lampič, Fritz Winter, Stadtallendorf

Prevod v angleški jezik /

Translation into English:

Marvelingua, Aljaž Seničar s.p.

Lektorji / Lectors:

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

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

Naklada / Circulation:

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

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: marec 2019



LIVING d.o.o.
Goriška cesta 66A
5270 Ajdovščina

Direktor: Aleksander FERJANČIČ

T: +386 5 33 33 810
F: +386 5 33 33 071
E: info@living.si
<http://www.living.si>

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

R. Dojka, J. Jezierski, J. Campbell: Izdelava kakovostnih ulitkov / The Production of Quality Castings	2
D. Molnar, A. Kiss, C. Majoros, D. Halapi: Izračun in simulacija predhodnega polnjenja pri tlačnem litju / Calculation and Simulation of Pre-filling at High Pressure Die Casting	12
P. Mrvar, S. Kastelic, A. Križman, M. Terčelj, M. Petrič, D. Mitrović: Nova siva litina za transport staljenih Al-zlitin / New Cast Iron Alloy for a Transport of Molten Al-Alloys	25
B. Horvat, V. Ducman, A. Sešek Pavlin: Odpadni livarski pesek kot prekurzor v procesu alkalijske aktivacije / Waste Foundry Sand as Precursor in Alkali Activation Process	37

AKTUALNO / CURRENT

Seje organov Društva livarjev Slovenije	57
Pregled svetovne livarske proizvodnje v letu 2017	62
Strokovno posvetovanje »Tehnologija litja v konstrukciji motorjev«	64
19. dan tlačnega litja	65
Koledar livarskih prireditvev 2019	66
Portorož 2019	67

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

Izdelava kakovostnih ulitkov

The Production of Quality Castings

Izvleček

V livarski industriji je postopek litja tekočih kovin že tradicionalno turbulenten ter povezan s prehajanjem površinskega oksidnega filma na kovini v talino, kar posledično ustvarja obsežne razpokam podobne nepravilnosti (ang. bifilm – dvojni film) in veliko število zračnih mehurčkov.

Bifilm poslabša mehanske lastnosti, še posebej v povezavi z raztezkom in utrujenostjo, hkrati pa lahko poveže nasprotni strani in povzroči uhajanje tekočin skozi stene. Bifilmi predstavljajo najresnejše napake, vendar so tako tanki, da jih rentgensko slikanje ne zazna. Na splošno pa so manj škodljive napake, tj. zračni mehurčki, jasno vidni, zaradi česar se taki ulitki pogosto zavrnejo.

Prenos kovin brez bifilmov ali zračnih mehurčkov v forme je zato ključna zahteva za izdelavo visoko kakovostnih ulitkov. Opisani bodo tehnike gravitacijskega litja, vključno s kontaktnim litjem, ter ključni vidiki zasnove gravitacijskih polnilnih sistemov. Novi vidiki uporabe filtrov iz keramične pene, npr. za preusmerjanje zračnih mehurčkov, ter prispevek končnih lovilcev spina na koncu razdelilnih kanalov z vidika zračnih mehurčkov in hladne kovine predstavljajo dragocene nove lastnosti.

Nove tehnike se že uporabljajo in preizkušajo za litje zlitin Al, Ni ter za jekla. Na splošno se stopnje izmeta znatno znižajo, včasih se celo povsem odpravijo, posledično pa se bistveno znižajo stroški.

Ključne besede: ulitki, kakovost, napake, mehurčki, bifilmi

Abstract

Traditionally in the casting industry, the pouring of liquid metal has been turbulent, entraining the surface oxide film of the metal into the melt, and so generating large populations of crack-like defects (known as bifilms) and large populations of air bubbles.

The bifilms reduce mechanical properties, particularly elongation and fatigue, but can also bridge wall-to-wall, producing through-wall leakage of fluids. The bifilms are the most serious defects but are sufficiently thin to be largely invisible by X-ray, but the generally less-damaging features, the bubbles, are clearly visible and can often scrap the casting.

Transfer of metals without bifilms or bubbles into moulds is therefore an essential requirement for high quality casting. The gravity pouring techniques including contact pouring, and the fundamental aspects of the Naturally Pressurised filling system design will be described. The new uses for ceramic foam filters as bubble diverting features, and the contribution of terminal spin traps at the end of runners for bubbles and cold metal are valuable new features.

The new techniques are already in production and being proven in Al alloys, Ni alloys and steels. In general, scrap levels are greatly reduced, sometimes to zero, and costs are reduced.

Key words: castings, quality, defects, bubbles, bifilms

Uvod

Trenutne livarske tehnike navidezno podpirajo željo po zmanjšanju turbulence, vendar pa na splošno ni znano, koliko daleč so dobri nameni od realnosti.

Pravzaprav se kakovost kovine, ki se prenese v formo prek polnilnega sistema zelo majhnih ulitkov (težkih manj kot 1 kg), verjetno ne zmanjša v veliki meri, saj kovina ne potuje prehitro, tako da ne pride do velike škode.

Pri velikih ulitkih in ingotih pa tekoča kovina utрпи resne poškodbe. Na primer pri ulitem ingotu se pogosto zgodi, da kanale polnilnega sistema napolni do 70 ali 80 odstotkov zraka, ki se zmeša v kovino. Zato zelo pogosto prihaja do reoksidacije jekel, ki včasih premaga prednosti prakse deoksidacije, ki spodbuja zajemanje tekočega kisika na površini jekla. Ko se produkti deoksidacije, ki proizvajajo tekočino, med potekom turbulentnega litja zaradi obsežne reoksidacije do konca izrabijo, se začne tvoriti suha oksidna plast, ki lahko ustvarja bifilme – nepravilnosti v talini, podobne razpokam, ki zelo negativno vplivajo na lastnosti.

Bifilmi nastanejo iz dveh oksidnih plasti; njuni zgornji suhi plasti sta obrnjeni druga proti drugi. Te suhe keramične plasti se ne morejo povezati, zato v tekočini delujejo kot razpoke. Turbulentno ulivanje lahko zapolni tekočino z razpokami. Razpoke so odporne proti zamrzovanju, predvidoma pa vztrajajo tudi po obsežnem plastičnem preoblikovanju, kot so kovanje, valjanje in ekstruzija. To so najpomembnejše in pa verjetno edine značilke, ki pri kovinah povzročajo nastanek razpok. Po ugotovitvah vplivajo na odpornost proti šokom, lahko pa vplivajo tudi na druge značilnosti, kot sta lezenje in invazivna korozija.

Introduction

Current casting techniques are pay lip service to the desirability of reducing turbulence, but it is not generally realised how far the well-meaning intentions depart from reality.

In fact the quality of metal delivered into the mould by the filling systems of very small castings (less than about 1 kg) are probably not seriously compromised because the velocities of the metal are not too high, so that little damage is done.

For large castings and ingots, however, the damage to the liquid metal is serious. For instance for ingot casting it is common for the filling system channels to be loaded with a mix of up to 70 or 80 per cent air in the metal. Thus for steels reoxidation occurs on a massive scale, at times overwhelming the benefits of those deoxidation practices which encourage a liquid oxide on the surface of the steel. After the complete consumption of liquid-producing deoxidation products by massive reoxidation during the course of turbulent pouring, the result is the start of the formation of a solid, dry oxide film, which can create bifilms – the crack-like defects in the melt, which greatly degrade properties.

The bifilms are formed of two oxide films; their original upper dry faces, each facing the other. These dry ceramic surfaces cannot bond and therefore act as cracks in the liquid. Turbulent pouring can fill the liquid with cracks. The cracks survive freezing and appear to survive much plastic working such as forging, rolling and extrusion. They appear to be the most important, and possibly the only, crack-initiating features in metals. They are found to control fatigue resistance, and may control other properties such as creep and invasive corrosion.

Ozadje poskusa

Ta študija zasleduje koncept popolne zapolnitve polnilnega sistema za ulitke, lastnosti, kot je zagotovitev ustrezno zasnovane in izdelane livne čaše s postopno prirezano obliko ali kontaktno litje, pojasnjene v nadaljevanju. Predvidena je tudi zagotovitev ustrezno oblikovanih kanalov s koničnimi čelnimi dovodnimi kanali in drugimi značilnostmi, ki jih zahteva zasnova polnilnega sistema pod »naravnim tlakom«. Namen te zasnove je čim bolj napolniti kanale polnilnega sistema za izločitev čim večje količine zraka (edina izjema je prikazana na Sliki 7, ki je vključena za primerjavo).

Izdelane so bile računalniške simulacije [2] s pomočjo komercialno dostopnega paketa programske opreme (MagmaSoft), ki so zajemale jeklo z osnovno sestavo 0,3 C, lito pri temperaturi 1.570 °C. Kljub temu pa obstaja majhen dvom, da bi bile simulacije izjemno podobne, če bi bile izvedene s tekočo aluminijevo zlitino, lito pri običajni temperaturi litja, npr. 730 °C.

Preprečevanje zajemanja zraka

Slika 1 prikazuje, kako neposredno litje z vrha jasno negativno vpliva na turbulenco in ujetje zraka. Vendar pa je za zmanjšanje obsega te težave pogosto izbrana možnost spodnjega dovodnega kanala, kajti stožčasto oblikovana livna čaša deluje kot zračna črpalka, ki začne koncentrirati zrak v pretok na začetku polnilnega sistema. Preprosta alternativa kontaktnega litja je popolna in hkrati tudi cenovno ugodna rešitev. Kontaktno litje se zlahka uporabi pri drugih vrstah ulitkov, kot je litje v pesek, vendar pa je pri ulitkih z obliko nekoliko zahtevnejša alternativa livne čaše s postopno prirezano obliko včasih boljša

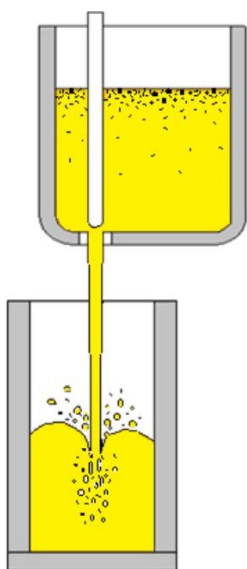
Experimental Background

In this study, the concepts of the complete filling of a filling system for castings is pursued, assuming such features as the provision of a properly designed and manufactured offset step pouring basin, or contact pouring as explained below. Also assumed is the provision of properly moulded channels featuring a tapered down-sprue and other features required by the 'naturally pressurised' design of filling system. This design is targeted to maximise the filling of the filling system channels so as to exclude air so far as possible (the only exception is that shown in Figure 7 which is included for comparison).

The computer simulations [2] have been carried out using a commercial software package (MagmaSoft) assuming a 0.3C steel poured at 1570 °C. There is little doubt, however, that the simulations would have been extremely similar if carried out assuming liquid aluminium alloy poured at a common pouring temperature such as 730 °C.

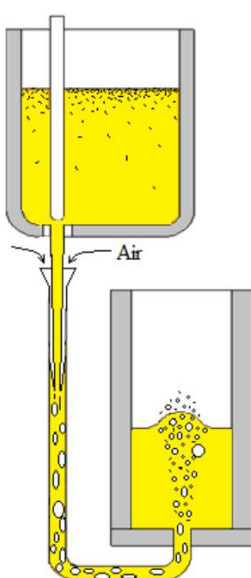
Avoiding Air Entrainment

Figure 1 shows how direct top pouring of moulds is clearly bad for turbulence and air entrainment. However, the bottom-gated option is often chosen to reduce this problem, but with poor results, because of the action of the conical basin as an air pump, concentrating air into the flow right at the start of the filling system. The easy alternative of contact pouring is a complete solution and at lower cost. Contact pouring is easily applicable to other casting types such as shaped sand castings, but for shaped castings the rather more difficult alternative of an offset stepped pouring basin is sometimes preferable, and equally



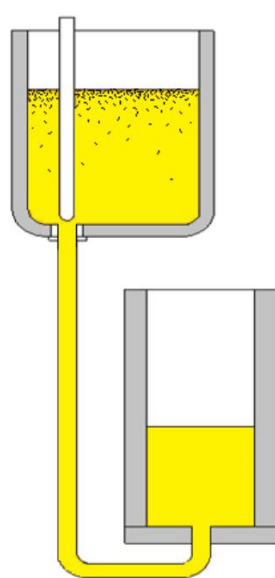
Sl. 1. Litje z vrha

Fig 1. Top Pour



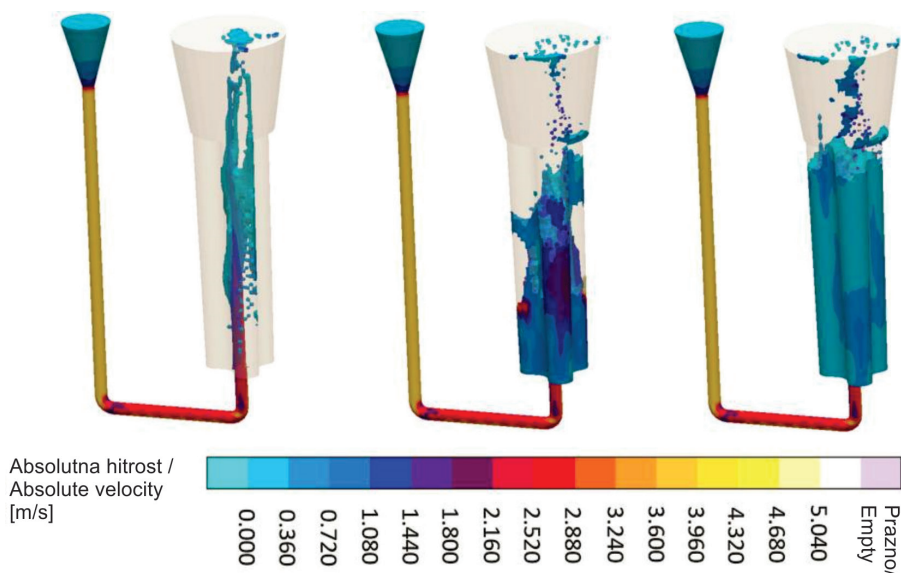
Sl. 2. Spodnji dovodni kanal

Fig 2. Bottom Gate



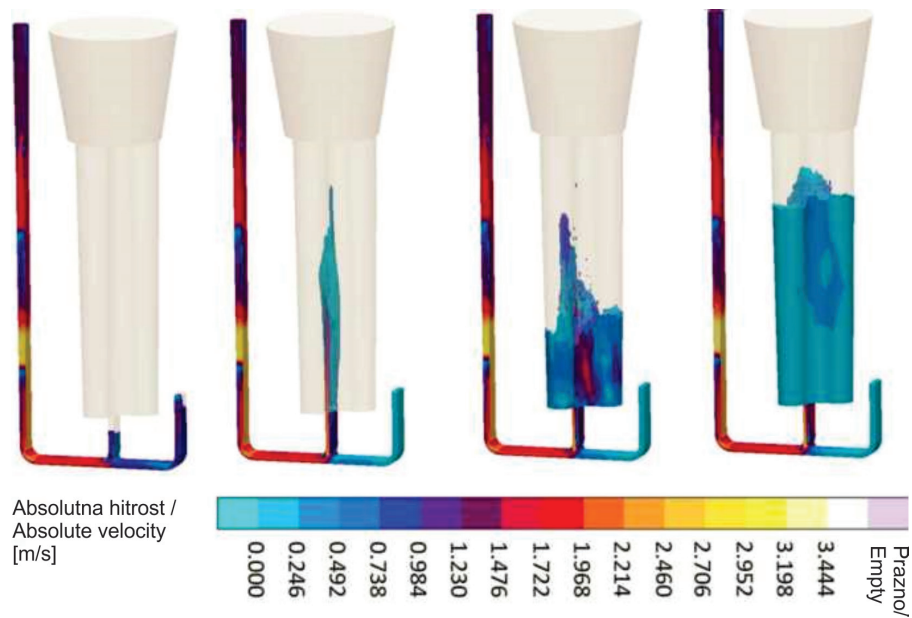
Sl. 3. Kontaktno litje

Fig 3. Contact Pour

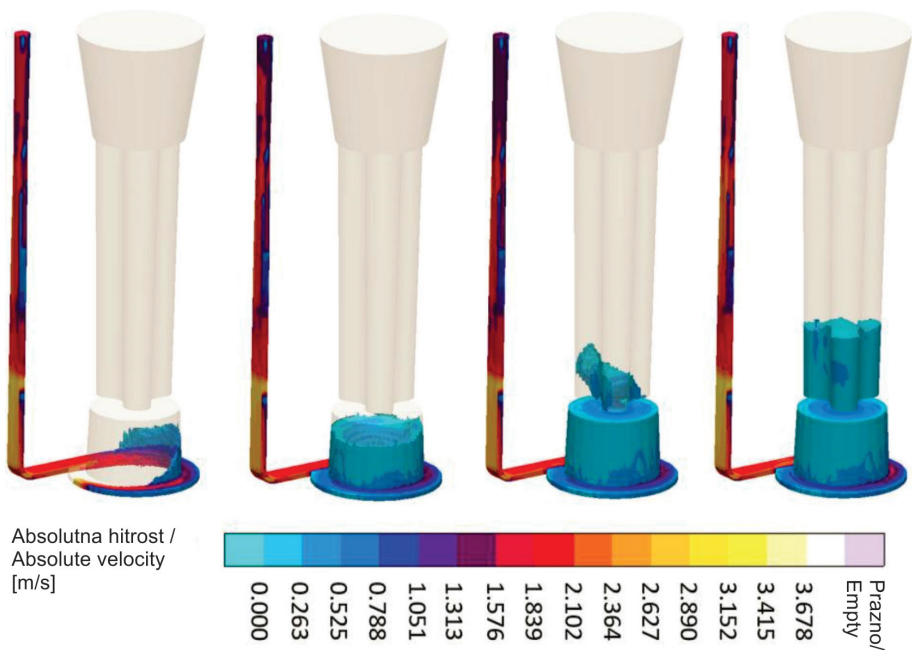


Sl. 4. Ulivni sistem brez nadzora nad hitrostjo pretoka skozi dovodni lijak. (Dodatne gromozanske škode zaradi vstopa velike količine zraka skozi stožčasto oblikovano livno čašo ni bilo mogoče vključiti v simulacijo, zato tukaj ni vidna.)

Fig. 4. A filling system with no control over the velocity through the ingate. (The additional massive damage contributed by the huge entrainment of air by the conical basin unfortunately cannot be simulated, and is therefore not seen here.)



SI. 5. Prikaz, da preprost preliv zanemarljivo učinkuje na način polnjenja
Fig. 5. Illustration that a simple flow off contributes negligible benefit to the mode of filling



SI. 6.
Fig. 6.

izbira in enako učinkovita pri preprečevanju vstopa zraka v sistem.

Čeprav je vstop zraka sedaj preprečen ob vstopu v polnilni sistem, nadaljnje izboljšave prinašajo pomembne prednosti tudi za preostali del sistema. Na primer, čeprav je splošni način polnjenja pri kontaktnem litju odličen, bi preprosta zasnova, prikazana na Sliki 3, trpela zaradi začetnega čiščenja in brizganja v kalup zaradi pomanjkanja kakršnega koli nadzora nad hitrostjo v dovodnem lijaku. Ta učinek je zelo jasno razviden iz simulacije, prikazane na Sliki 4. Nizka viskoznost kovin, ki je podobna viskoznosti vode (je namreč samo do petkrat bolj viskozna v primerjavi s sirupom pri npr. 10.000 enotah), pomeni, da se v kanalih polnilnega sistema izgubi majhna količina energije in tako talina zlahka doseže celotno višino kalupa. Med njenim poznejšim padcem zaradi težnosti se ustvari več turbulenc, zaradi česar vstopi še več zraka in oksidov.

Posledično zahteva proizvodnja ulitkov z minimalno škodo zaradi turbulenc nadzor obeh, torej tako (i) odprave mehurčkov kot (ii) hitrosti vstopa v kalup. Skozi leta se je izkazalo, da je obe od teh zahtev zelo težko izpolniti. Opisanih je nekaj poizkusov za izpolnitev ene ali obeh zahtev, kar je na koncu privedlo do popolne rešitve z uporabo relativno preproste in cenovno ugodne zasnove, ki je tukaj opisana prvič.

Pogosta je uporaba neke vrste »preliva«, ki naj bi preprečil vstop že kmalu poškodovane in hladne kovine v kalup. En primer v obliki razširjenega vodnega kanala je prikazan na Sliki 5. Jasno je, da sorazmerno majhna prostornina velikost skorajda ne vpliva na način polnjenja kalupa.

Način polnjenja, v okviru katerega je raziskana fama »vrtinčastega dovodnega kanala« za zmanjšanje hitrosti, je prikazan na Sliki 6. V tem posebnem primeru se

effective at keeping air out of the entrance to the system.

However, although the entrainment of air is now avoided at the entrance to the filling system, the remainder of the system still significantly benefits from further refinement. For instance although the general filling mode in contact pouring is excellent, the simple design shown in Fig 3 would suffer from some initial jetting; fountaining into the mould because of the lack of any control over the ingate velocity. This effect is very clear in the simulation shown in Figure 4. The low viscosity of metals, similar to that of water (being only a factor up to 5 more viscous, compared to syrup at perhaps 10,000 units) means that little energy is lost around the filling system channels, so that the melt easily jets the complete height of the mould. During its subsequent fall under gravity, more turbulence is created, entraining yet more air and oxides.

Clearly therefore, the production of castings with minimal damage from turbulence requires both, the control of both (i) the elimination of bubbles and (ii) the speed of entry into the mould. Both of these requirements has proved elusive over the years. Some of the attempts to meet one or both requirements are described, leading ultimately to a complete solution using a relatively simple and low cost design described for the first time.

The provision of some kind of 'flow off', intended to divert the early damaged and cold metal from entering the mould has been common. One example in the form of a runner extension is shown in Figure 5. It is clear that the relatively small volume of the device has almost zero effect on the filling mode of the mould.

A filling mode in which the reputation of the 'vortex gate' for the reduction of velocity has been explored is illustrated in Figure 6.

zdi, da ima dolivni kanal precej manjšo površino, kot je potrebno za izkoriščanje koristne racionirane površine območja »območje dolivnega kanala7« »območja kanala«, ki bi seveda povzročilo večje zmanjšanje navpične hitrosti pri vstopanju v kalup. Vendar pa kakršno koli zmanjšanje ne bi bistveno vplivalo na rotacijsko hitrost, tako da visoka preostala rotacijska hitrost, kot potrjuje Slika 6, očitno ni v veliko pomoč pri znižanju splošne hitrosti. Seveda pa pri tem mehurčki, ki vstopajo v vrtnčasti valj, ne bi izšli; s centrifugiranjem bi se prenesli v središče vrtnca in nato v kalup (čeprav simulacija te težave ne obravnava).

Vrtnčni element

Na Sliki 7 je prikazana potencialno zanimiva zasnova polnilnega sistema. Filter je bil pokončno nasajen na kanal na stiku kanala/dolivnega kanala za preobrat mehurčkov v spinsko past na koncu kanala.

Spinska past odlično zadržuje mehurčke. Ti se s centrifugalno silo prenesejo v središče spinske pasti, od koder ne morejo vstopiti nazaj v kanal. (Dobro je znano, da se bodo številne pasti pravokotne oblike napolnile s kovino in mehurčki, vendar pa velika količina te neželene mešanice nato zapusti past in se vrne nazaj v kanal, od koder se znova dvigne v prvi dovodni lijak, ki ji pride na pot.)

Spinska past (»spinner«) ima še več prednosti: za razliko od številnih pravokotnih pasti, pri katerih pride talina najprej v stik z najbolj oddaljeno steno in nato napolni votlino pasti z močno turbulenco, se spinska past polni postopoma, pri čemer se kovina postopoma spiralno pomika po stenah pasti. Ta postopni način polnjenja je bolj »občuten« v zadnjem koncu dolivnega kanala, saj postopoma raste protitlak, kar povečuje tlak v filtru za zaščito dolivnega

In this particular example, the gate appears to have a rather smaller area than is needed to benefit from a useful area ration 'area of gate'/'area of runner', which would have naturally led to a greater reduction of vertical speed into the mould. However, the rotational velocity would not have benefited significantly from any reduction, so that, as confirmed in Figure 6, the high residual rotational velocity is clearly not greatly helpful for overall velocity reduction. In addition, of course, bubbles arriving into the vortex cylinder would not have escaped; they would have been but centrifuged into the centre of the vortex and carried into the mould (although this problem is not addressed by the simulation).

The Spin Trap

Figure 7 shows a potentially interesting filling system design. A filter has been sited flush on the runner at the runner/gate junction to divert bubbles into the spin trap at the end of the runner.

The spin trap works excellently to retain bubbles. These are centrifuged into the centre of the spinner, from where they cannot escape back into the runner. (It is well known that many traps of rectangular form fill with metal and bubbles, but much of this unwanted mixture is then reversed out of the trap and back into the runner, where it is carried by a back-wave up and into the first ingate it meets.)

The spin trap (the 'spinner') has a further major advantage: in contrast to many rectangular traps in which the melt impacts the far wall and then fills the trap cavity with violent turbulence, the spinner fills progressively, the metal gradually spiralling up the walls of the trap. This progressive filling mode is 'felt' further back at the gate as a progressively increasing

kanala, in sicer od ničle navzgor počasi napreduje do vdora v filter in začne nato polniti dolivni kanal, prisoten pa je samo nežen in stalno naraščajoč tlak, ki spodbuja pretok.

Ko se spinska past končno napolni, je dolivni kanal nato pod vplivom polnega polnilnega tlaka iz čelnega dovodnega kanala, tako da se hitrost pretoka skozi dolivni kanal nenadoma zveča. Na tej točki lahko pride do brizganja, ki pa se mu je mogoče izogniti, če je spinska past zadosti velika, da lahko zagotovi, da je dno kalupa dovolj napolnjeno, da preprečuje brizganje.

Trenutno ni smernic za optimalno načrtovanje prostornine, premera in višine spinske pasti, vendar pa so te ključne informacije predvidene za prihodnje raziskave. Do takrat je treba v delo vključiti predvidevanja: mogoče je vsaj eno ali dve sekundi pretoka treba preusmeriti ali pa je prostornina odvisna od nekajkratnika prostornine polnilnega sistema pred spinsko pastjo.

Zanimivo je, da je na Sliki 7 prikazan polnilni sistem, sestavljen iz predhodno oblikovanih ognjevdržnih cevi za lažje ulivanje (vsi ostali polnilni sistemi, obravnavani v tem prispevku, so bili oblikovani z litjem v pesek kot polnilni sistem pod naravnim tlakom). »Odtočne« cevi se slabo polnijo, tako da sistem ne deluje dobro, kot je očitno iz sunkovitega vdora kovine v kalup v prvih nekaj sekundah polnjenja, kot je prikazano na Sliki 7. Seveda bi kovina utrpela dodatne poškodbe, saj stalni območni kanali niso popolnoma napolnjeni; pri tem nikoli ni mogoče uspešno odstraniti vsega zraka.

Na Sliki 8 je prikazana skorajda enaka postavitev, vendar pa je bila ta lita v pesek pod naravnim tlakom, zato je zrak čim bolj izključen iz sistema zaradi nežnega pritiskanja sten polnilnih kanalov na kovino. To se očitno dobro obnese. Očitno je, da

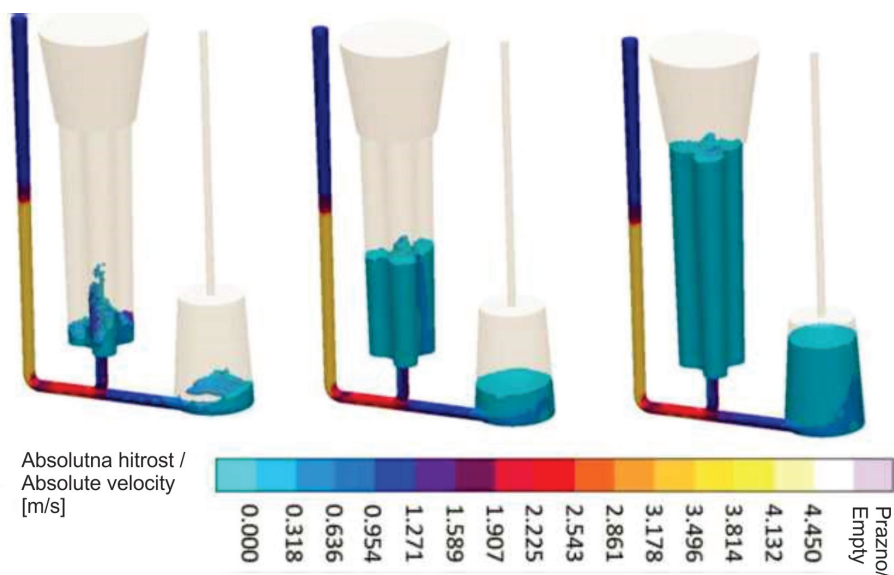
back pressure, increasing the pressure on the filter protecting the gate, from zero, gradually rising to penetrate the filter, and subsequently to fill the gate and casting while only experiencing a gentle and steadily rising pressure to drive the flow.

When the spinner finally fills, the gate is then subjected to the full head pressure from the sprue, so that the velocity through the gate suddenly increases. At this point jetting may occur, but can be avoided if the spinner were sufficiently large to ensure that the base of the mould was filled to a sufficient depth to suppress jetting.

At this time guidelines for the optimum design of the volume, diameter and height of the spinner are not known. Future work is planned for this critical information. In the meantime, it is necessary to employ our best guesses: perhaps at least 1 or 2 seconds of flow requires to be diverted, or perhaps the volume is dictated by some multiple of the volume of the filling system prior to the spinner.

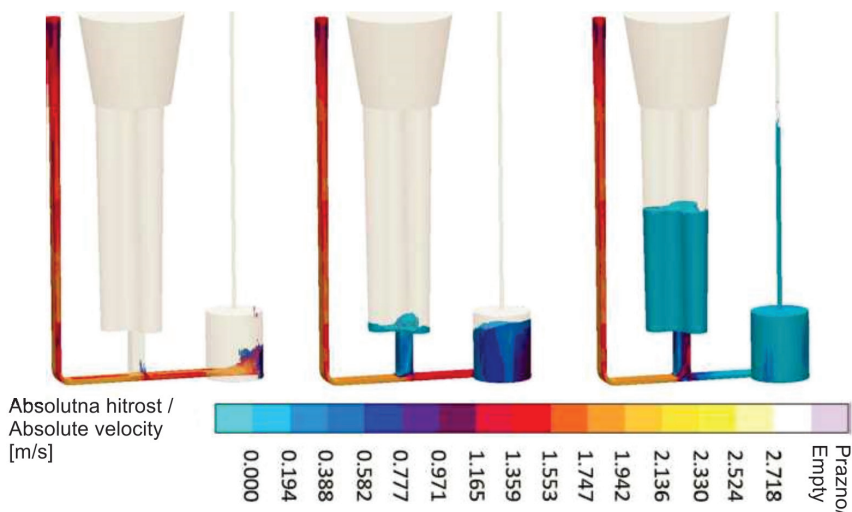
Interestingly, Figure 7 depicts a filling system which has been assembled from pre-formed refractory tubes to facilitate moulding (all other filling systems in this paper have been formed by moulding in sand as a naturally pressurised filling system.) The 'drainpipe' tubes fill poorly so that the system does not work well, as is evident from the jump of metal into the mould during the first few seconds of filling as seen in Figure 7. Furthermore, of course, additional damage would have been suffered by the metal because the constant area channels do not completely fill; they are never successful to exclude air completely.

Figure 8 shows an otherwise identical layout, but which has been moulded in sand, following the naturally pressurised principles, so that air is excluded from the system as far as possible by the metal's



SI. 7. Prikaz uporabe filtra za uravnavanje, ki ščiti vstopa v dolivni kanal skupaj s končno spinsko pastjo. Uporaba »odtočnih« kanalov preprečuje učinkovito delovanje sistema

Fig. 7. Illustrating the use of a flush filter to protect the entrance to the gate, together with a terminal spin trap. The use of 'drainpipe' runners prevents the system from working effectively.



SI. 8. Optimalni polnilni sistem s filtrom za uravnavanje in spinsko pastjo s kanalnim sistemom, litim v pesek pod naravnim tlakom. Pri tem se je mogoče učinkovito izogniti tako mehurčkom kot turbulenci

Fig. 8. An optimum fill system using a flush filter and spinner, with naturally pressurised running system moulded in sand. Both bubbles and turbulence are efficiently avoided

se je dolivni kanal začel počasi polniti pri nizkem podtlaku, ki ga je na začetku omogočila spinska past. Več podrobnosti o praktični uporabi te zasnove bo na voljo v drugi publikaciji [3].

Sklepi

Zdi se, da je optimalna končna zasnova, ki zajema vstop brez zraka, kot je omogočeno npr. pri kontaktnem litju, skupaj s kanali pod naravnim tlakom, filtrom za odstranjevanje mehurčkov, končnimi spinskimi pastmi za zajem neželene poškodovane kovine in zagotovitev postopnega naraščanja tlaka pri polnjenju. Načeloma naj bi jo bilo mogoče uporabiti pri številnih vrst ulitkov. Po pričakovanjih bo vse pogostejša uporaba tehnik, osnovanih na temeljnih načelih, močno vplivala na kakovost litih izdelkov.

gentle pressurisation of the walls of the filling channels. Clearly it works well. The gate is seen to start filling at a low velocity under the low back pressure initially provided by the spinner. Fuller details of the practical use of this design will be published elsewhere [3].

Conclusions

The final design, incorporating an air-excluded entrance, as provided for instance by contact pour, together with naturally pressurised channels, flush filter to divert bubbles, and terminal spinners to accept unwanted damaged metal and provide a gradually increased filling pressure, appears to be an optimum system. It should be capable of application to a wide range of castings. The increased use of these techniques based on fundamental principles is expected to have a major impact on the quality of cast products.

Viri / References

1. J. Campbell; »Complete Casting Handbook« 2. izdaja 2015. Elsevier, Oxford, UK.
2. R. Dojka, J. Jezierski, in J. Campbell; »Optimized Gating System for Steel Castings« Journal of Materials Engineering and Performance; objavljeno na spletu dne 5. julija 2018.
3. J. Campbell; »Mini Casting Handbook« Revidirana 2. izdaja 2018 ali 2019. Aspect Design Limited, Malvern, Združeno kraljestvo.

Računanje in simulacija predpolnjenja pri tlačnem litju

Calculation and Simulation of Pre-filling at High Pressure Die Casting

Izvleček

Tlačno litje je proizvodni proces za izdelavo natančno izoblikovanih, dobro razmejenih kovinskih delov z gladko ali teksturirano površino. To je mogoče doseči z brizganjem tekoče kovine pri visoki hitrosti in visokim tlakom v jeklene forme, primerne za ponovno uporabo. V primerjavi z drugimi procesi litja imata tako tlak kot hitrost pri tlačnem litju najvišje vrednosti. Visoka hitrost pomeni zelo turbulentno stanje pretoka. Proces pogosto opisujemo kot najkrajšo razdaljo med surovino in končnim izdelkom.

Predhodno polnjenje je procesna tehnika, ki je posledica pomembnega zavlačevanja začetka hitrega litja prek položaja »kovine v dovodnem kanalu«. Določiti ga je mogoče kot odstotkovno vrednost napolnjenosti lunke ali kot razdaljo prek položaja kovine v dovodnem kanalu.

Ključne besede: HPDC, predhodno polnjenje, simulacija

Abstract

Die casting is a manufacturing process for producing accurately dimensioned, sharply defined, smooth or textured surface metal parts. It is accomplished by injecting liquid metal at fast velocity and under high pressure into reusable steel dies. Compared to other casting processes, die casting is at the top end of both velocity and pressure. The high velocity translates into a very turbulent flow condition. The process is often described as the shortest distance between raw material and the finished product.

Pre-fill is a process technique that is the result of significantly delaying the start of fast shot beyond the "metal at the gate" position. It can be stated as a percentage of cavity fill or as a distance beyond metal at the gate.

Key words: HPDC, pre-filling, simulation

Opis procesa

Pri visokotlačnem litju se tekoča kovina napolni v livna komora glede na stiskalno razmerje komore. Čas polnjenja kovine vpliva na čas cikla, produktivnost in dobičkonosnost. Cilj polnjenja je odstranitev zraka iz lunke prek livne komore, tako da se bat pomakne naprej z nadzorovano

Process description

In high pressure die casting the liquid melt is charged into the shot sleeve according to the chamber fill ratio. The time of metal charging affects cycle time, productivity and profitability. The target of charging is the air displacement from the chamber through the casting cavity, so the piston moves forward

počasno hitrostjo, talina pa se nabere v prednjem delu lunkerja. Med premikanjem bata se ustvarjajo valovi v talini, ki se premika vzdolž tulca, posledično pa se zrak umika. Prva faza je končana, ko talina zapolni celotni prostor livne komore, ki sproži preklpitev. Ta preklpitev začne drugo fazo, ko se bat hitro premika in lunker polni tako dolgo, dokler se bat nenadoma ne zaustavi in zadene v tekočo talino. V tem trenutku se kinetična energija pretvori v tlačno in torni toplotno energijo. V tretji fazi visoki tlak med postopkom strjevanja stisne ujete zračne mehurčke in krčne lunkerce.

Tehnologija predhodnega polnjenja

Poenostavljeni model visokotlačnega litja je predstavljen na Sliki 1.

Pri klasičnem visokotlačnem litju talina v prvi fazi nikoli ne vstopi v lunker, kajti presek dovodnega kanala je navadno majhen in ker bi se zaradi prevajanja visoke toplote litega materiala talina strdila v dovodnem kanalu.

Pri ulitkih z velikimi preseki je dovodni kanal mnogo večji in uporabiti je mogoče postopek predhodnega polnjenja, kar pomeni, da se del lunkerja zapolni v prvi fazi pri nizki hitrosti bata.

Predhodno polnjenje je poseben postopek, pri katerem točka preklopa ni

with a controlled slow velocity and the melt accumulates on the frontal face of it. During the movement of the piston waves are developing in the melt and moving along the sleeve, displacing air. The first phase is over when the melt fills the whole shot sleeve cavity, which indicates a switching sign. This switching sign starts the second phase when the movement of the piston is fast and the cavity filling totally until the piston abruptly stops and hits the liquid melt. At this moment, the kinetic energy transforms into pressure energy and frictional thermal energy. In the third phase the entrapped air bubbles and the shrinkage cavities are compressed with a high pressure during solidification.

Pre-fill technology

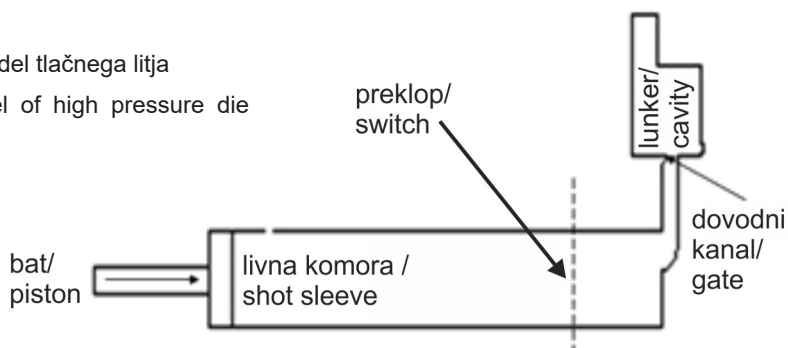
The simplified model of high pressure die casting can be seen in Fig. 1.

In the common high pressure die casting process the melt never enters the cavity in the first phase, because the cross section of the gate is usually small and by the high heat conduction of the die material the melt would solidify in the gate.

In case of castings with heavy sections, the dimension of the gate is much bigger and pre-filling can be applied, which means

Sl. 1. Poenostavljeni model tlačnega litja

Fig. 1. Simplified model of high pressure die casting



odvisna od stiskalnega razmerja komore, ki ga določa livna komora. Faze procesa je treba ponovno predelati, dolžino prve in druge faze ter točke preklopa pa je treba izračunati z drugo metodo. Zato je mogoče proces visokotlačnega litja razdeliti na naslednje faze: 1. faza: predhodno polnjenje; 2. faza: polnjenje lunke; 3. faza: strjevanje.

Cilj predhodnega polnjenja je čim večja omejitev količine prisotnega zraka v lunke. Nizka hitrost bata vpliva na nizko hitrost dovodnega kanala z mnogo nižjo kinetično energijo. Če je vsota vrednosti notranjega trenja in trenja na stenah večja od kinetične energije, talina, ki se premika naprej, izloči zrak iz območja dovodnega kanala. Če je hitrost bata med postopkom predhodnega polnjenja prenizka, se lahko talina strdi v dovodnem kanalu, če je hitrost previsoka, torne sile ne morejo delovati s kinetično energijo, pri čemer talina udari v nasprotno steno in pride do ujetja zraka. [1–2]

V nadaljevanju je predstavljenih nekaj značilnosti za lažji razvoj postopka predhodnega polnjenja:

- čas je ključnega pomena: če je na voljo veliko vstopnih mest v dovodni kanal, je bistvenega pomena, da začne kovina vstopati v livno votlino istočasno. V kanalu mora biti vzpostavljen zadosten tlak, da prepreči zastajanje zaradi težnosti;
- orodja z enim lunke: z vidika razvoja procesa je zaželen samo en lunke;
- spodnji dovodni kanal: pri uporabi postopka predhodnega polnjenja je zeleno litje, pri katerem poteka polnjenje z dna. To zmanjša turbulence in povzroči izstop zraka na vrhu lunke;
- ponovljiva dolžina livnega ostanka: ker dolžina livnega ostanka vpliva na dejansko kovino, ko je ta v dovodnem

that a part of the cavity is filled during the first phase with a low piston velocity.

Pre-filling is a special matter, where the switching point is not controlled by the chamber fill ratio of the shot sleeve. The phases of the process must be redefined, and the lengths of the first and second phases plus the position of the switching point calculated with a different method. Thus the high pressure die casting process can be divided as follows: 1st phase: pre-filling; 2nd phase: cavity filling; 3rd phase: solidification.

The target of pre-filling is the minimization of air entrapments in the cavity. The slow speed of the piston effects slow gate velocity with much lower kinetic energy. If the sum values of internal friction and wall friction together are higher than the kinetic energy, the forward moving melt expels the air from the gate area. If the piston velocity is too slow during pre-filling, the melt can solidify in the gate, if it is too fast, the friction forces cannot negotiate the kinetic energy and the melt splashes to the opposite wall and entraps air. [1-2]

Following are some of the characteristics that make it easier to develop a pre-fill process.

- Timing is everything: if there are multiple gate entries then it is almost essential that metal begins to enter the die cavity at the same time. The runner must be pressurized enough to prevent stalling due to gravity.
- Single cavity tools: from a process development perspective, it is desirable to have only one cavity to deal with it.
- Bottom filling gate: when applying pre-fill it is desirable to have a bottom filling casting. It reduces turbulence and expels air at the top of the cavity.
- Repeatable biscuit length: since biscuit length affects the actual metal at the gate position it is greatly beneficial to

kanalu, je zelo dobro, če je livni ostanek ponovljiv. Vse, kar bo spremenilo odstotek predhodnega polnjenja, bo negativno vplivalo na ponovljivost kakovosti ulitka;

- ulitki z debelejšimi stenami: ulitki z debelejšimi preseki sten bodo na splošno bolj odporni proti zapoznelemu hitremu brizganju. Nasprotno se dogaja pri ulitkih z relativno tankimi stenami, kajti te se morda pri postopku predhodnega polnjenja ne bodo do konca napolnile;
- prostornina ulitka: zdi se, da večji kot je ulitek, večji je učinek predhodnega polnjenja. [3]

Zasnova poskusa

Ulitek, ki je predmet poskusa, je izdelan iz aluminijeve zlitine EN AC-46000, njegove mere so $250 \times 350 \times 285$ mm s povprečno debelino stene 4,5 mm. Geometrija litja in položaji preklapov so predstavljeni na Sl. 2. A: preklop v dovodnem kanalu; B: preklop pri obrobku; C: preklop po obrobku.

Poskuse je mogoče razdeliti v naslednje faze:

- I. določitev tehnoloških parametrov z uporabo formul za klasično visokotlačno litje brez upoštevanja postopka predhodnega polnjenja;
- II. določitev tehnoloških parametrov z livarskimi preskušnji za določitev optimalne vrednosti za parametre;
- III. določitev tehnoloških parametrov z uporabo spremenjenih formul za postopek predhodnega polnjenja.

Pri prvih poskusih so bili tehnološki parametri določeni z uporabo formul za klasično visokotlačno litje brez upoštevanja postopka predhodnega polnjenja. Izračuni so bili izdelani s programsko opremo

have a repeatable biscuit. Anything that changes the percentage of pre-fill will have a negative effect on the repeatability of the casting quality.

- Thicker walled castings: castings that have heavier wall sections will generally have more tolerance to a delayed fast shot. Conversely if the casting has some relatively thin features these may not form completely when attempting pre-fill.
- Volume of the casting: it seems that the larger the casting, the more likely it is to benefit from pre-filling. [3]

Design of experiments

The examined casting is made of EN AC-46000, overall dimensions are $250 \times 350 \times 285$ mm and the average wall thickness is 4,5 mm. Geometry of the casting and the positions of the switching points can be seen in Fig. 2. A: Switching at the gate; B: Switching at the fin; C: Switching after the fin.

The experiments can be divided as follows:

- I. Determination of the technological parameters using formulas for common high pressure die casting, without taking into account the pre-filling.
- II. Determination of the technological parameters with foundry tests, searching for the optimum value of parameters.
- III. Determination of the technological parameters using modified formulas for pre-filling.

In our first experiments technological parameters were determined using formulas for common high pressure die casting, without taking into account the pre-filling. The calculations were carried out using the ForCasts software [4]. A test production ran

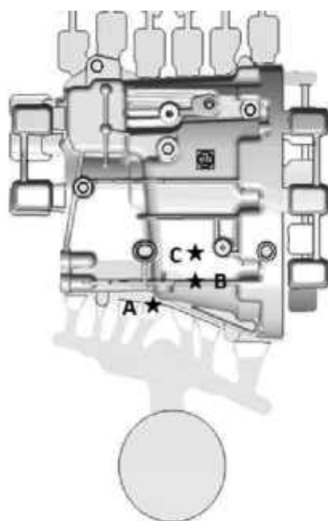
ForCasts [4]. Poskusna proizvodna serija s temi parametri in vsi ulitki so bili preverjeni z rentgenskimi žarki. Odstotek odpadkov je bil visok, nepravilnosti so navadno povzročili ujeti zrak in krčenje. Ker v drugi fazi ni bilo mogoče doseči želene hitrosti bata z livnim strojem OMS-2350 in je pomnoževalni tlak dosegel najvišjo možno vrednost, je treba količino ujetega zraka zmanjšati v največji možni meri.

Pri livarskih poskusih je bil vsak posamezni tehnološki parameter posebej preučen. Za določitev optimalne vrednosti parametra je bila pripravljena zasnova poskusa, ki je prikazana v Preglednici 1.

Izračun predhodnega polnjenja s spremenjenimi formulami

Na podlagi rezultatov, pridobljenih s poskusi in testno proizvodnjo, je jasno, da je treba količino ujetega zraka v livni votlini zmanjšati. To je mogoče doseči z uporabo tehnologije predhodnega polnjenja. V tem primeru je treba formule za klasično visokotlačno litje spremeniti in določiti nove opredelitve. Vnesena količina kovine v drugi fazi je prikazana na Sliki 3.

with these parameters and all castings were X-ray tested. The scrap ratio was high, air entrapments and shrinkage were the usual defects. Because the desired second phase piston velocity was not possible to reach by the OMS-2350 casting machine and the multiplication pressure reached the maximum value, the amount of the entrapped air must be minimized.



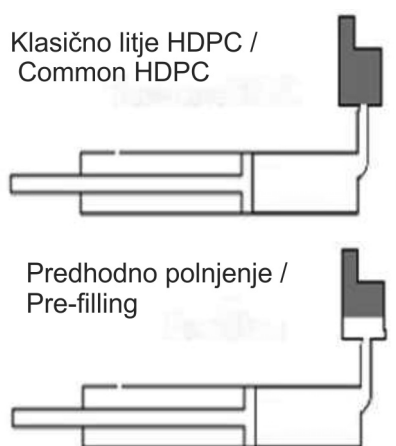
Sl. 2. Geometrija litja in položaji preklapov

Fig. 2. Casting geometry and the positions of the switching points

Poskus / Experiment	Parameter / Parameter	Št. ponovitev / Nr. of iterations	Najboljša vrednost / Best value
1	Temperatura / Temperature	1	720 °C
2	Položaj preklopa / Switching position	6	715 mm
3	Tlak med strjevanjem / Pressure during solidification	5	490 bar
4	Čas zakasnitve stiska-izvlečenja / Time of squeeze-pin delay	6	7,5 s
5	Nizka hitrost bata / Slow piston velocity	5	0,35 m/s
6	Visoka hitrost bata / Fast piston velocity	3	3,4 m/s

Preglednica 1. Zasnova preizkusa

Table 1. Design of Experiment



Sl. 3. Vnesena količina kovine v drugi fazi

Fig. 3. Inserted metal in the second phase

Prostornina predhodno polnjene kovine je količina kovine, ki vstopi v lunker pred drugo fazo.

Prostornino predhodnega polnjenja je mogoče izračunati na naslednji način:

$$V_{pre} = a \cdot A_c,$$

pri čemer:

$$a = L_{sp} - (b + c),$$

$$b = l_c \cdot (1 - F_g),$$

$$c = \frac{V_{gs}}{A_c}.$$

Podrobna formula za izračun predhodnega polnjenja je opisana z enačbo 1:

$$V_{pre} = \left\{ L_{sp} - \left[L_c \cdot (1 - F_g) + \frac{V_{gs}}{A_c} \right] \right\} \cdot A_c, \quad (\text{En. 1})$$

Pri čemer je:

V_{pre} prostornina predhodno polnjene kovine, cm^3

L_{sp} položaj točke preklopa

L_c aktivna dolžina komore, mm

F_g stiskalno razmerje komore, %

V_{gs} prostornina sistema dovodnega kanala, m^3

A_c presečni prerez komore, m^2

In the foundry tests several technological parameters were examined one by one. To find the optimal value of a parameter, a design of experiment was determined, which can be seen in Table 1.

Calculation of pre-filling with modified formulas

As a result of the experiments and the test production, it is clear that the amount of the entrapped air in the casting cavity must be decreased. This decrement can be reached by using pre-fill technology. In this case the formulas for common high pressure die casting must be modified and new definitions determined. The inserted metal quantity in the second phase can be seen in Fig. 3.

The volume of pre-filled metal is the amount of metal, which has entered the cavity before the second phase.

The volume of pre-filling can be calculated as follows:

$$V_{pre} = a \cdot A_c,$$

where:

$$a = L_{sp} - (b + c),$$

$$b = l_c \cdot (1 - F_g),$$

$$c = \frac{V_{gs}}{A_c}.$$

The detailed formula for the calculation of pre-filling is described by Eq.1.:

$$V_{pre} = \left\{ L_{sp} - \left[L_c \cdot (1 - F_g) + \frac{V_{gs}}{A_c} \right] \right\} \cdot A_c, \quad (\text{Eq. 1})$$

Where,

V_{pre} volume of pre-filled metal, cm^3

L_{sp} position of the switching point, mm

L_c active length of the chamber, mm

F_g chamber fill ratio, %

V_{gs} volume of the gating system, m^3

A_c cross section of the chamber, m^2

- (a) Opisuje premik bata med postopkom predhodnega polnjenja.
- (b) Opisuje določitev točke preklopa s klasično metodo izračuna. To je enako skupni dolžini premika bata, potrebni za napolnitev livne komore.
- (c) Opisuje premik bata, potreben za napolnitev sistema dovodnega kanala. To je dejansko razmerje med prostornino sistema dovodnega kanala in presečnim prerezom komore. Pri čemer sta tako prostornina sistema dovodnega kanala kot presečni prerez komore geometrična parametra, v primeru obstoječe forme teh parametrov ni mogoče spreminjati.
- (a) Describes the piston displacement during pre-filling.
- (b) Describes the determination of the switching point by the common calculation method. This is equal to the total length of the piston displacement which is needed to fill the shot sleeve.
- (c) Describes the piston displacement, which is needed to fill the gating system. This is actually the ratio between the volume of the gating system and the cross section of the chamber. Whereas both, the volume of the gating system and the cross section of the chamber are geometrical parameters, in case of existing die these parameters cannot be modified.

V enačbi 1 je aktivna dolžina komore omejena spremenljivka, vendar pa je točko preklopa mogoče izbrati, čeprav tudi ta parameter ni zajet v klasični metodi

In Eq. 1. the active length of the chamber is a limited variable, but the position of the switching point is free to choose although

	Klasični izračun / Common calculation	Izračun predhodnega polnjenja / Pre-filling calculation
Položaj točke preklopa / Position of the switching point	$L_{sp} = L_c - F_g$	$L_{sp} = \frac{V_{pre}}{A_c} + L_c \cdot (1 - F_g) + \frac{V_{gs}}{A_c}$
Prostorninski pretok / Volumetric flow	$Q = \frac{V_{casting}}{t_{pouring}}$	$Q = \frac{V_{casting} - V_{pre}}{t_{pouring}}$
Dolžina druge faze / Length of the second phase	$L_2 = \frac{V_{casting+over}}{A_c}$	$L_2 = \frac{V_{casting} - V_{pre} + V_{over}}{A_c}$

Preglednica 2. Izračun klasičnega postopka in izračun predhodnega polnjenja

Table 2. Common and pre-filling calculation

Pri čemer:

$t_{pouring}$ čas ulivanja, s
 $V_{casting}$ prostornina ulitka, m³
 V_{over} prostornina prelivov, m³
 $V_{casting+over}$ prostornina ulitka in prelivov, m³

Where,

$t_{pouring}$ pouring time, s
 $V_{casting}$ volume of the casting, m³
 V_{over} volume of the overflows, m³
 $V_{casting+over}$ volume of casting and overflows, m³

izračuna. V preglednici 2 je prikazana primerjava med klasičnim izračunom in izračunom predhodnega polnjenja.

Če stranka določi zahtevano prostornino pri predhodnem polnjenju (V_{pre}), je vse ostale tehnološke parametre mogoče izračunati na podlagi podane enačbe.

Primerjava metod izračuna

Primerjavo klasične in spremenjene metode izračuna je mogoče izvesti z uporabo istih začetnih parametrov, pri čemer je edini podatek, ki je drugačen, položaj točke preklopa. Če pri klasični metodi izračuna položaj točke preklopa ni upoštevan, rezultati niso odvisni od tega parametra (vodoravne črtkane linije v grafu).

Začetni parametri za primerjavo so podani glede na livni stroj OMS-2350: premer bata: 140 mm, aktivna dolžina komore: 880 mm in 990 mm. Primerjava rezultatov s 25-odstotnim deležem predhodnega polnjenja je prikazana na Sl. 4.

Na Sliki 4 je jasno prikazano, da so rezultati klasične metode izračuna konstante (črtkane črte), rezultate spremenjene metode izračuna pa lahko opišemo kot linearne črte (neprekinjene črte). Rezultate je mogoče razčleniti na naslednji način:

- če je položaj točke preklopa v dovodnem kanalu, obe metodi izračuna dasta isto vrednost;
- če je položaj točke preklopa za dovodnim kanalom, je del kovine že prisoten v lunkerju pred preklopom, zato so pri spremenjenem izračunu vse vrednosti parametrov nižje.

Pri uporabi spremenjene metode izračuna sta količina pretoka kovine in hitrost skozi dovodni kanal manjši, kar pomeni manjšo abrazivno obrabo forme. Če je določena hitrost bata nižja, ima bat

even this parameter is not considered in the common calculation method. In Table 2. the comparison of the common calculation and the pre-filling calculation can be seen.

If the customer determines the required volume of pre-filling (V_{pre}) all the other technological parameters can be calculated based on the given equation.

Comparison of Calculation Methods

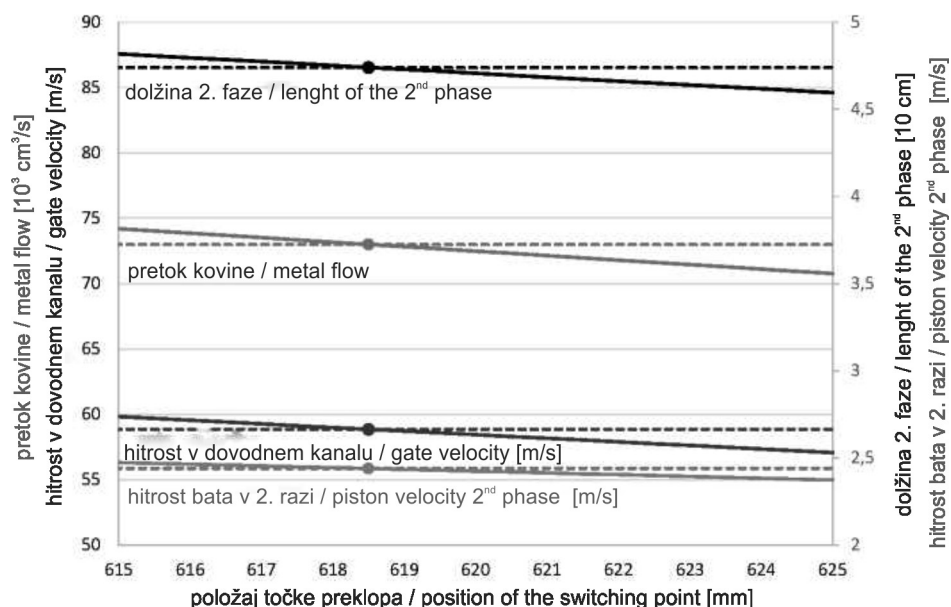
The comparison of the common and the modified calculation methods can be done by using the same initial parameters where the only distinct factor is the position of the switching point. If the common calculation method is considered the position of the switching point is not taking into account, thus the results are independent from this parameter (horizontal broken-lines in the diagram).

The initial parameters of the comparison were based on an OMS-2350 casting machine: 140 mm piston diameter, 880 mm and 990 mm active chamber lengths. The comparison of the results using 25% pre-filling can be seen in Fig. 4.

In Fig. 4. it is clear that the results of the common calculation method are constant values (broken-lines), while the results of the modified calculation method can be described as linear lines (full lines). The results can be detailed as follows.

- If the position of the switching point is at the gate, the two calculation methods give the same value.
- If the position of the switching point is behind the gate, a given part of the metal is already in the cavity before the switching sign, thus with the modified calculation all values of the parameters are lower.

If the modified calculation method is used, the amount of the metal flow and the



Sl. 4. Primerjava rezultatov klasične in spremenjene metode izračuna

Fig. 4. Result comparison of the common- and the modified calculation methods

manjši vpliv na tekočo talino. Če je po drugi strani hitrost pretoka kovine nižja, to lahko negativno vpliva na kakovost površine ulitka.

gate velocity is lower, which means lower abrasive wear of the die. If the determined piston velocity is lower, the piston impact on the liquid melt is smaller. On the other hand, if the velocity of the metal flow is lower the surface quality of the casting can be worse.

Vrednotenje s simulacijo

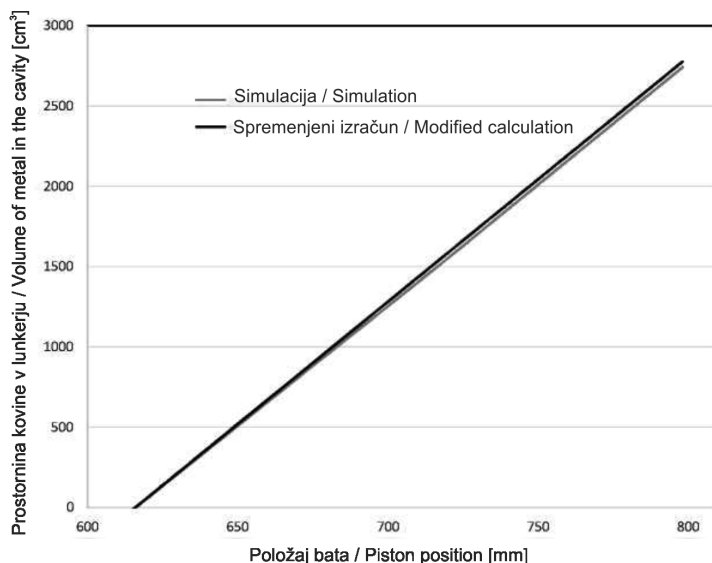
Spremenjena metoda izračuna je bila ocenjena s pomočjo komercialno dostopne opreme za simulacijo NovaFlow&Solid CV. [5–6] Pri poskusih s simulacijo so bili določeni naslednji začetni parametri:

- zlitina: EN AC-46000
- livna temperatura: 720 °C
- material forme: jeklo Uddeholm Orvar Supreme
- temperatura forme: 180 °C
- hitrost v 1. fazi: 0,35 m/s
- hitrost v 2. fazi: 3,4 m/s
- vrednost predhodnega polnjenja: 25 %

Validation via Simulation

The modified calculation method was validated using the commercial NovaFlow&Solid CV simulation software. [5-6] In the simulation experiments the following initial parameters were defined:

- Alloy: EN AC-46000
- Pouring temperature: 720°C
- Material of the die: Uddeholm orvar supreme steel
- Temperature of the die: 180°C
- 1st phase velocity: 0.35 m/s



Sli. 5. Primerjava rezultatov z izračunanimi in simuliranimi vrednostmi

Fig. 5. The comparison of the calculated and the simulated values

Primerjava rezultatov z izračunanimi in simuliranimi vrednostmi je prikazana na Sliki 5.

Korelacijski koeficient med izračunanimi in simuliranimi vrednostmi znaša: $R^2 = 0,9998$. Obe krivulji se razlikujeta ($\Delta_{\max}$: 1,4 %) šele po točki preklopa, saj prostorninsko krčenje taline pri spremenjenem izračunu ni upoštevano. Pred točko preklopa pride talina v stik samo z majhno površino forme, tako da je izračunana prostornina kovine v lunke enaka. Po točki preklopa se kontaktna površina med talino in formo zveča, talina se skrči (prostornina je manjša) in to zmanjšanje prostornine ni izračunano v spremenjeni metodi izračuna.

Pri poskusih simulacije so bili preučevani trije različni položaji predhodnega polnjenja (A, B, C – oglej si Slike 2). Učinki položaja točke preklopa so bili preučeni glede na:

- čas polnjenja;
- delež trdne faze ob koncu polnjenja;
- količino ujetega zraka v sistemu dovodnega kanala.

- 2nd phase velocity: 3.4 m/s
- Value of pre-filling: 25%

The comparison of the calculated and the simulated values can be seen in Fig. 5.

The correlation coefficient between the calculated and the simulated values is: $R^2=0.9998$. The two curves only differ to each other ($\Delta_{\max}$: 1,4%) after the switching point, because in the modified calculation the volumetric contraction of the melt is not observed. Before the switching point the melt only contacts the die with a small surface, thus the calculated volume of metal in the cavity is equal. After the switching point the contact surface between the melt and the die becomes higher, the melt shrinks (the volume is smaller) and this volumetric contraction is not calculated in the modified calculation method.

In the simulation experiments three different pre-filling positions were observed (A,B,C see Fig. 2.). The effects of the switching point position were examined on the:

- filling time,
- solid phase ration at the end of the

Povzetek

Delež tekoče faze ob koncu polnjenja pri vsaki od različic predhodnega polnjenja je predstavljeno na Sl. 6. Obseg deleža tekoče faze: 85–99 %.

Na Sliki 6 svetla barva predstavlja tekočo fazo, temna barva pa trdno fazo.

Čas polnjenja (t_{fill} , s) in delež trdne faze (%) sta navedena pod sliko.

Na Sliki 7 je količina ujetega zraka v sistemu dovodnega kanala, prikazana v dvodimenzionalnem izseku sistema dovodnega kanala. Opredelev dvodimenzionalnega izseka je prikazana na levi strani.

Na Sl. 6 je mogoče videti, da je pri poznejšem preklopu obseg trdne faze na koncu polnjenja večji. Več kovine kot vstopi pri nizki hitrosti bata (1. faza), daljši je čas polnjenja. Na podlagi opazovanja vsake simulacije je mogoče zapisati naslednje:

- če je točka preklopa na dovodnem kanalu (predhodno polnjenje A), se

filling,

- amount of the entrapped air in the gating system.

Summary

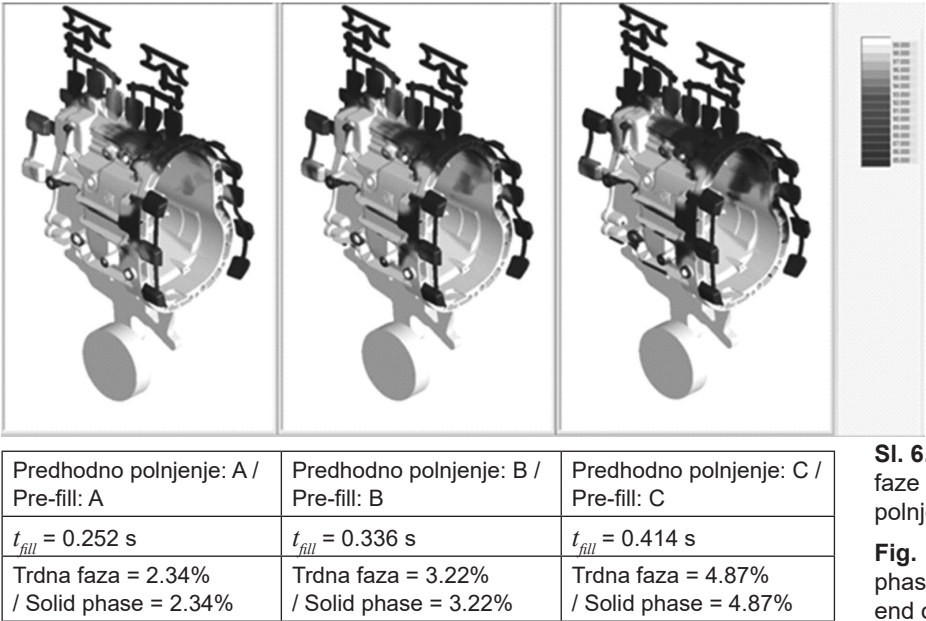
The liquid phase ratio at the end of the filling of each pre-filling variations can be seen in Fig. 6. The scale is the liquid phase ratio: 85-99%.

In Fig. 6. the light colour represents the liquid phase and the dark colour represents the solid phase.

Filling time (t_{fill} , s) and the solid phase ratio (%) are highlighted under the figure.

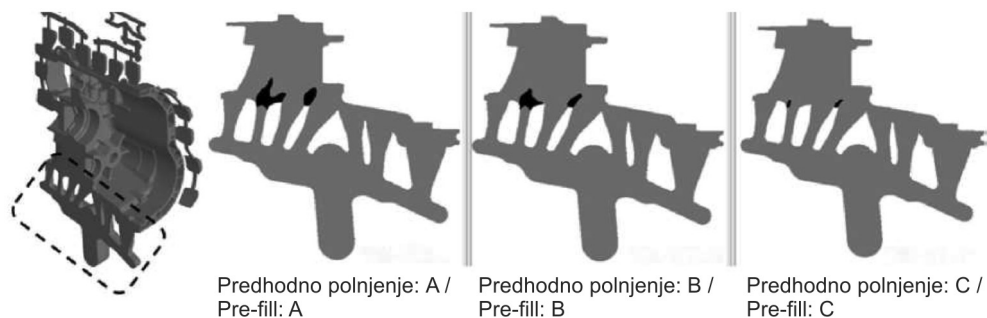
In Fig. 7. the amount of the entrapped air (black) can be seen in the 2D cut of the gating system. The definition of the 2D cut can be seen on the left side.

In Fig. 6. one can see that if the switching occurs later the amount of the solid phase at the end of the filling is higher. The more metal inserted with a low piston



Sl. 6. Delež trdne faze ob koncu polnjenja

Fig. 6. Liquid phase ratio at the end of the filling



Sl. 7. Ujeti zrak v sistemu dovodnega kanala, dvodimenzionalni izsek

Fig. 7. Entrapped air in the gating system, 2D cut

predhodno polnjenje ne izvede in bat pospeši na hitrost 2. faze med vstopanjem taline v dovodni kanal. Lunker se hitro polni, tako da je talina zgolj kratek čas v stiku s formo in ne izgubi veliko toplote, strjevanje se pri tem začne samo na prednjem delu polnjenja. V tem primeru je količina ujetega zraka v območju sistema dovodnega kanala največja;

- če je točka preklopa po dovodnem kanalu (predhodno polnjenje B), se del lunke napolni pri nizki hitrosti bata. Talina je dlje v stiku s formo, izgubi več toplote, zato je strjena faza med polnjenjem večja, vendar pa ne tako velika, da bi to ogrožalo kakovost ulitka. Količina ujetega zraka v območju sistema dovodnega kanala je nižja;
- če je točka preklopa daleč naprej od dovodnega kanala (predhodno polnjenje C), se precejšnji del lunke napolni pri nizki hitrosti bata. Talina dolgo ostane v stiku s formo, izgubi veliko toplote in zato je kakovost strjenega deleža mnogo višja.

Količina ujetega zraka je v primerjavi s predhodnim polnjenjem A in B nizka. Temu je tako zato, ker se talina pri predhodnem polnjenju premika počasi in nima visoke

velocity (1st phase) the filling time is longer. Observing each simulation the following statements can be made.

- If the switching point is at the gate (pre-fill A) no pre-filling occurs, the piston accelerates to the 2nd phase velocity while the melt enters the gate. Cavity filling is fast thus the melt contacts the die surface only for a short time and it doesn't lose much heat, solidification occurs only at the filling front. In this case the amount of the entrapped air in the area of the gating system is the highest.
- If the switching point is after the gate (pre-fill B) a part of the cavity is filled with a low piston velocity. The melt contacts the die surface for a longer time, loses much more heat, thus the amount of the solidified phase during filling is higher but not as much that it would endanger the quality of the casting part. The amount of the entrapped air in the area of the gating system is lower.
- If the switching point is far after the gate (pre-fill C) a considerable part of the cavity is filled with a low piston velocity. The melt stays in the cavity for a longer time, loses a bigger amount of heat and the quantity of the solidified ratio is much higher.

kinetične energije. Zato in tudi zaradi trenja na stenah forme talina ostane v območju dovodnega kanala in odriva zrak, ki lunker zapusti skozi prezračevalni sistem.

Pri ulitkih z velikimi preseki je dovodni kanal mnogo večji in mogoče je uporabiti postopek predhodnega polnjenja, kar pomeni, da se del lunkerja zapolni v prvi fazi pri nizki hitrosti bata. Nizka hitrost bata vpliva na nizko hitrost dovodnega kanala z mnogo nižjo kinetično energijo, kar privede do minimalne količine ujetega zraka.

Spremenjena metoda izračuna je prirejena tako, da omogoča izračun pravih tehnoloških parametrov pri predhodnem polnjenju. Primerjava rezultatov klasične in spremenjene metode izračuna je bila izvedena, spremenjeni izračun pa je bil preverjen s simulacijo.

Opisani članek je del projekta EFOP-3.6.1-16-2016-00011 »Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation« v okviru programa Szechenyi 2020. Izvedbo tega projekta je podprla Evropska unija s sofinanciranjem Evropskega socialnega sklada.

The amount of the entrapped air is low, compared to pre-fill A and B. This is because during pre-filling the melt moves with a low velocity, and it doesn't have as big kinetic energy. Because of this and because of the wall friction of the die, the melt stays in the area of the gate and displaces the air which leaves the cavity through the venting system.

In case of castings with heavy sections, the dimensions of the gate are much bigger, thus pre-filling can be applied, which means that a part of the cavity is filled during the first phase with a low piston velocity. The low speed of the piston effects low gate velocity with much lower kinetic energy and this results in the minimization of air entrapments.

A modified calculation method is worked out to be able to calculate correct technological parameters when using pre-filling. The comparison of the common calculation method and the modified calculation method was implemented and the modified calculation was validated with simulation.

The described article was carried out as part of the EFOP-3.6.1-16-2016-00011 "Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation" project implemented in the framework of the Szechenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

Viri / References

1. Matti Sirvio et al.: Complete Simulation of High Pressure Die Casting Process, VTT Industrial Systems, Finland (2015)
2. Bill Andresen: Die Casting Engineering, Marcel Dekker, New York (2005)
3. Robert P. McClintic: Pre-Fill a Hot Topic, Die Casting Engineer (2015/1)
4. Forcasts Software Manual, Arbeitsgemeinschaft Metallguss GmbH, Aalen (2012)
5. Jesper Hattel: Fundamentals of Numerical Modelling of Casting Processes, Polyteknisk, Lyngby (2005)
6. NovaFlow&Solid User Guide, Novacast Systems AB, Ronneby (2016)

Nova siva litina za transport staljenih Al-zlitin

New Cast Iron Alloy for a Transport of Molten Al-Alloys

Izvleček

V tej študiji smo razvili, izdelali in preskusili nov material z analizo želene obrabne trdnosti, večje toplotne prevodnosti in bistvenim znižanjem stroška enote glede na obstoječe in pogosto uporabljane materiale (vroče obdelana orodna jekla) za brizgalni tulec pri procesu visokotlačnega litja.

Preiskovana litoželezna zlitina je bila preizkušena in podvržena realnim proizvodnim pogojem, poznejša ocena obrabe je bila opravljena na kritičnih površinah pod vplivom triboloških lastnosti.

Skupni proizvodni strošek za tulec, proizveden iz novega naprednega materiala skupaj z drugačnim pristopim k proizvodnji, je obsegal eno tretjino predhodno obstoječega in najpogosteje uporabljanega postopka.

Ključne besede: litoželezna zlitina, odporna proti visokim temperaturam, določitev lastnosti, mikrogradba

ABSTRACT

In this study, we have developed, manufactured and tested new material, perusing preferred wear resistance, superior heat conductivity and notable decreasing the cost of the unit towards existing widely used materials (hot working tool steels) for shot sleeve at HPDC process.

Investigated cast iron alloy was tested and submitted to a real production conditions, subsequently wear evaluation was performed on the critical tribologically effected surfaces.

Total production cost of the sleeve manufactured with a new advanced material, together with a different production approach has been reduced to only one third of an existing, most widely used one.

Key words: High temperature resistant cast iron alloy, characterization, microstructure

1 Uvod

Ker ulitki iz zlitine na osnovi Al glede na prostornino in število proizvedenih enot močno vodijo pred ostalimi ulitki iz neželeznih zlitin, poteka zelo intenzivno raziskovanje, usmerjeno v sisteme visokotlačnega litja aluminija, ki pa ga je

1 Introduction

Since Al based alloys castings are by volume and produced units leading significantly towards other nonferrous alloy castings, intense research efforts are focused towards Al HPDC systems and that is achievable mainly by the use of cold chambered HPDC machines.

mogoče izvajati predvsem z uporabo strojev za visokotlačno litje s hladnimi komorami.

Pri strojih za tlačno litje s hladnimi komorami vse od njihove uvedbe ni bilo pomembnejših prebojev v smislu oblike in delovanja. Omejitve omenjenega sistema in obstoječega materiala za livne komore (vroče kovano orodno jeklo, predvsem tipa H13) v proizvodnji litja na osnovi Al.

1.1 Novi material z izboljšanimi lastnostmi

V 70. letih prejšnjega stoletja so bile raziskovalne dejavnosti usmerjene v razvoj materiala, ki lahko prenese še višje temperature, do katerih večinoma prihaja v motorjih z notranjim zgorevanjem, izpušnih kolektorjih itn. Rezultat teh raziskovanj je danes zelo znana družina zlitin na osnovi SiMo in železa. Tip zlitina na osnovi SiMo je nodularna zlitina s feritno matrico in karbidno mrežo. Silicij (Si) zveča premensko temperaturo, pri kateri se avstenit pretvori v ferit in grafit, Mo delno združi in strdi medcelične regije s tvorjenjem karbidov, medtem ko med postopkom premene v trdnem stanju delci Mo precipitirajo okrog kristalnih meja³.

Za izboljšanje zlitine Si v smislu toplotne prevodnosti in lastnosti mehanskega stiskanja je namen tega dela razvoj zlitine z vermikularnim grafitom (Slika 1). Stiskalne sile, ki delujejo na livno komoro, so posledica širjenja livne komore, ko ta doseže delovno temperaturo, pri čemer orodje v enem delu in bat preprečujeta širjenje tulca. Strjeni grafit kot grafit v zlitini tipa SiMo bi moral blagodejno vplivati, saj bo med postopkom visokotlačnega litja deloval kot mazivo ter tako izboljšal stopnjo obrabe površine med livno komoro in batom. Po drugi strani bo prisotnost grafita izboljšala težave, vezane

Cold chambered machine has not met any significant design and functional revolutions since its introduction. Limitations of the mentioned system and existing shot sleeve material (hot forged tool steels, mainly H13 type) in Al based casting production.

1.1 New Material with Improved Properties

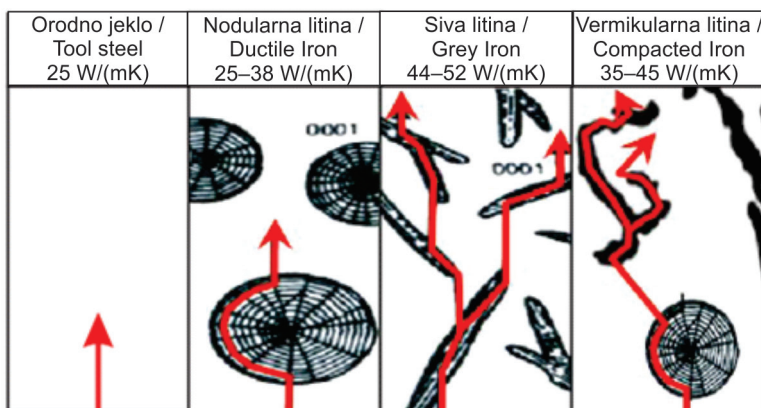
During the 70s of the past century, research activities were focused at developing a material which can withstand the even higher temperatures, mainly obtained in the combustion engines, exhaust manifolds etc. Mentioned work resulted in a nowadays well-known SiMo family of iron based alloys. SiMo type of alloy is a ductile iron with a ferrite matrix and carbide network. Silicon (Si) increases the transformation temperature where austenite transforms to ferrite and graphite, Mo partly segregates and solidifies in intercellular regions, promoting carbides while during the solid-state transformation Mo particles precipitate around grain boundaries³.

To improve the SiMo alloy in terms of thermal conductivity and compression mechanical properties, the aim in this work was to develop alloy with vermicular type of the graphite (Fig. 1). Compression forces which acts on shot sleeve are the result of shot sleeve expanding after it reaches working temperature, where the tool in one part and plunger preventing the sleeve expansion. Carbon solidified as graphite in SiMo type alloy should be a beneficial, since it will act as a solid lubricant during the HPDC operation and will thus improve wear on the surface Shot sleeve-plunger. On the other hand, presence of graphite is going to improve issues related with dissolving Fe,

Sestava / Composition	Trdota / Hardness	Raztezek / Elongation	Uporaba / Applications
4-5 % Si	240 BHN max.	5 – 18 %	Toplotna odpornost do temperature 750 °C / Heat resistance up to 750 °C.
4 - 5 % Si, 0.5 – 2 % Mo	200 – 260 BHN	5 – 15 %	Toplotna odpornost do temperature 880 °C. Visoka temperaturna odpornost. / Heat resistance up to 880 °C. High temperature resistance.
4 - 6 % Si do / up to 2 % Mo	240 – 320 BHN	Up to 5 %	Toplotna odpornost do temperature 950 °C. Zelo visoka temperaturna odpornost. / Heat resistance up to 950 °C. Very high temperature resistance.
4 - 6 % Si, 2 % Mo, V, Ni do / up to 2 % Cr	> 300 BHN	Zelo krhko / Very brittle	Dobra toplotna odpornost. Odpornost proti obrabi pri visoki temperaturi. / Good heat resistance. High temperature wear resistance.

Preglednica 1. Razne sestave zlitine SiMo in njihove mehanske lastnosti glede na uporabo⁴

Table 1. Various compositions of Si-Mo alloy and its mechanical properties versus application⁴



Sl. 1. Toplotna prevodnost grafita vzporedno z osnovno ravnino je večja kot pri pravokotni postavitvi. Nižja toplotna prevodnost je pri matrici izželezne kovine (Hasse, 1996).

Fig. 1. The thermal conductivity of graphite parallel to basal plane is higher than perpendicular. Lower thermal conductivity has a steel metal matrix (Hasse, 1996)

na topljenje Fe vsaj pri frakciji površine, kjer je grafit v stiku s staljenim Al.

V spodnji Preglednici so prikazane različne toplotne prevodnosti med različnimi metalografskimi sestavnimi elementi pri sobni in višji temperaturi. Ferit pri temperaturi 500 °C izgubi prednost toplotne prevodnosti glede na perlit, ta pa ohrani prednost tudi pri višjih temperaturah. Ker je naša uporaba omejena na temperaturo 500 °C, se zdi, da je ferit, obogaten s Se, ciljna

at least in a surface fraction where graphite is in contact with molten Al.

In the table below, thermal conductivities between different metallographic constituents during room and elevated temperatures can be observed. At 500°C ferrite loses advantage in terms of thermal conductivity towards ferrite and takes over even at higher temperatures. Since our application is limited to 500°C, ferrite saturated with Si seems like a target

Metalografski sestavni del / Metallographic constituent	Toplotna prevodnost / Thermal Conductivity, W m ⁻¹ °C ⁻¹		
	0 – 100 °C	500 °C	1000 °C
Ferit / Ferrite	71 – 80	42	29
Pearlit / Pearlite	50	44	40
Cementit / Cementite	7 – 8	-	-
Grafit / Graphite	-	-	-
Vzporedno z osnovno ravnino / Parallel to basal plane	293 - 419	84 – 126	42 – 63
Pravokotno na osnovno ravnino / Perpendicular to basal plane	84	-	-

Preglednica 2. Toplotna prevodnost glavnih metalografskih faz železovih litin pri sobni temperaturi (Stefanescu, 2003)

Table 2. Thermal conductivity of main metallographic phases in cast irons at room temperature (Stefanescu, 2003)

sestavina za novo zlitino. Grafit znova igra vključno vlogo, ki je grafično opazna tudi na predhodni Sliki 1.

constituent for a new alloy. Graphite again plays the key role, which can schematically be seen also in a previous picture 1.

1.2 Toplotnokemična zaščita površine livne komore

Površina livnih komor je bila toplotnokemično zaščitena s postopkom plinskega nitridiranja in strjevanja. Ta postopek je bil izrecno razvit za livne komore, ponaša se z večjo difuzijsko plastjo, rezultat katere pa je večja odpornost proti obrabi, torni obrabi, ki povzroča zajedanje, utrujenosti, torni obrabi, ki povzroča nastanek kraterjev, in prijetanju. Po drugi strani je količina bele plasti omejena v čim večji možni meri, da se prepreči prenašanje trdih in krhkih materialov s površine zaradi močne abrazije in obrabe, do katerih prihaja med delom, naprej v livno votlino. Proces nitridiranja se izvaja pri temperaturi 510 °C in traja 30 ur.

Uporabljene metode za določitev lastnosti materialov so bile optična mikroskopija (Olympus BX61, vrstični elektronski mikroskop SEM), energijsko disperzivna rentgenska spektroskopija (EDS-Jeol 5610), toplotna kapaciteta, toplotna prevodnost, trganje, preskušanje trdote, toplotna analiza STA, kompresijska

1.2 Thermochemical Surface Protection of Shoots Sleeve

Shot sleeve was thermochemical surface protected with gas nitriding hardening process. This process was developed particularly for shot sleeves and is resulting with greater diffusion layer, which promotes high resistance to wear, scuffing, fatigue, galling and seizure. On the other hand, amount of white layer is taken to minimum in order to prevent hard and brittle material to be dispatched from the surface due to intensive abrasion and wear during the working operation and taken further to a casting cavity. Nitriding process is performed of temperature 510°C for prolonged time of 30 hours.

Applied methods for characterization of materials were Optical microscopy-Olympus BX61, scanning electron microscope SEM/energy dispersive X-ray spectroscopy/EDS-Jeol 5610, heat capacity, heat conductivity, tensile testing, hardness testing, STA thermal analysis, Compression toughness, Optical temperature measurement-FLIR, Rotating Disk-heat transfer.

trdnost, optično merjenje temperature (FLIR), prenos toplote z rotirajočimi koloti.

2 Ocena in določitev lastnosti novega materiala

2.1 Določitev lastnosti mikrostrukture

Kemijska analiza nove, izboljšane vermikularne zlitine SiMo je bila opravljena z optično spektrometrijo, inducirana z iskrenjem, na belem strjenem vzorcu, rezultati so prikazani v Preglednici 1.

Iz Slike 3 je razvidno, da je mikrostruktura oz. sestavine analizirane zlitine predstavljajo v glavnem vermikularni grafit in kovinsko matrico, ki je v večini ferit. Zaradi visoke vsebnosti Si, počasnega

2 Evaluation and Characterization of a New Material

2.1 Characterization of Microstructure

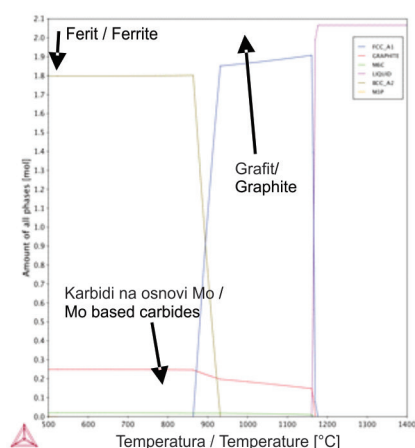
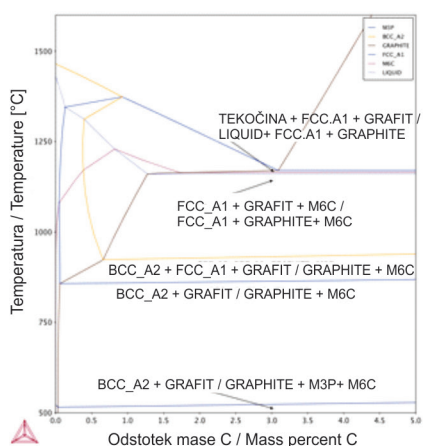
Chemical analysis of the new, improved vermicular SiMo alloy was performed on optical spark spectroscopy on a white solidified sample token, results show in a Table 1.

As we can observe from Figure 3 that microstructure, ingredients of analyzed alloy consist with mainly vermicular graphite and metal matrix, which is mainly ferrite. Almost no perlite is present due to high Si content, slow cooling rates during the casting process and heat treatment. Strength of the alloy comes from near 1 area. % carbides incurred from metastable eutectic.

C	Si	Mn	S	Cr	Cu	P	Mg
3,02	4,62	0,293	0,005	0,176	0,055	0,014	0,023
Ni	Mo	V	Ti	Sn	Al	Bi	Fe
0,024	0,529	0,007	0,01	0,019	0,02	0,001	90,9

Preglednica 1. Kemijska sestava novega, izboljšanega materiala

Table 1. Chemical composition of a new, improved material



SI. 2. Termodinamični izračun, sestava iz Preglednice 1

Fig. 2. Thermodynamical calculation, composition from Table1

ohlajanja med postopkom litja in toplotne obdelave perlita skorajda ni. Trdnost zlitine izvira iz bližine območja 1. % karbidov, nastalih iz metastabilne evtektike.

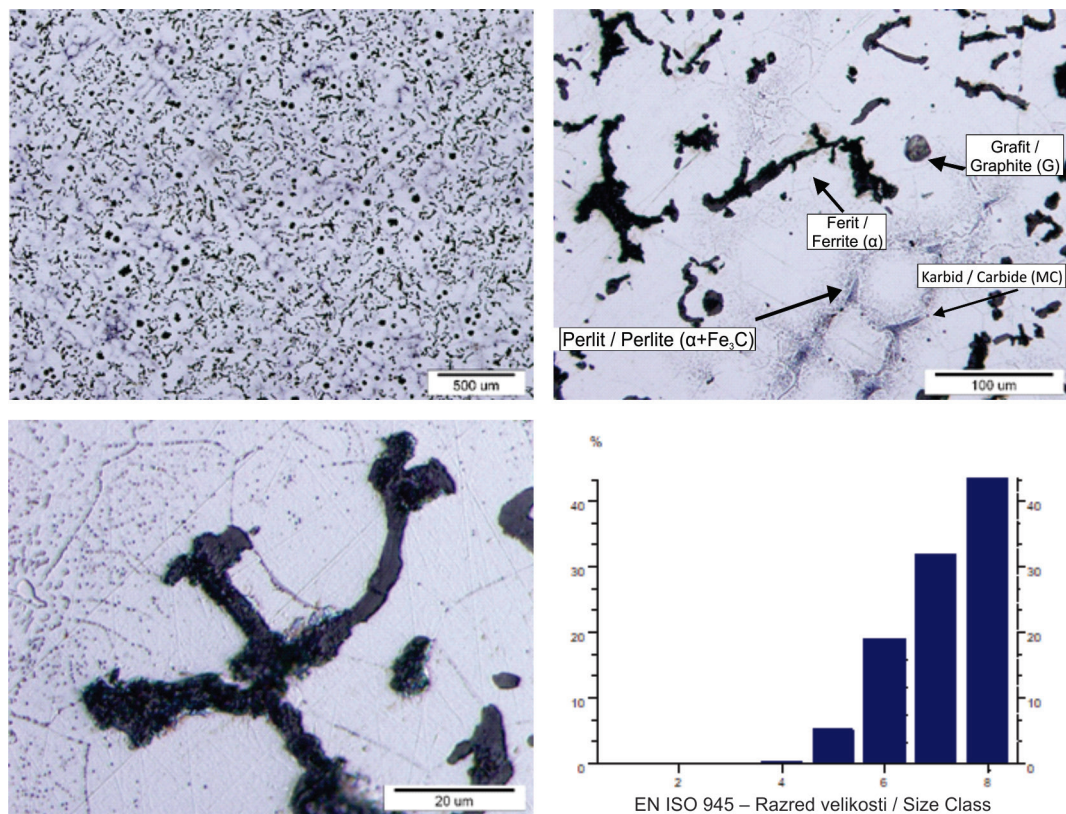
Pri tipu zlitin SiMo se v kompleksni karbidi radi tvorijo tako v medceličnih prostorih kot vzdolž kristalnih meja. Visoka vsebnost Si in Mo izboljšuje dimenzijsko stabilnost železovih litin z zagotovitvijo skeleta karbidov, ki se razširi po kovinski matrici.

Na podlagi izračunov termodinamičnega ravnovesja (Sl. 2) izračunane sestavine mikrostrukture sovpadajo z optičnimi mikrofotografiji (Sl. 3).

SiMo type of alloys are prone to form complex carbides in the intercellular areas and as well along the grain boundaries. High Si and Mo content improves the dimensional stability of casted irons by providing a skeleton of carbides dispersed through a metal matrix.

From equilibrium thermodynamic calculations from fig. 2, calculated microstructure ingredients coincide with optical micrographs on fig. 3.

With the help of corresponding software analyses on optical microscope, graphite surface fraction area was determined to be 11,3 area.%. This information is important



Sl. 3. Svetlobni posnetek vermikularnega železa HiSi in razvrstitev, pridobljena s paketom programske opreme.

Fig. 3. Optical macrographs of HiSi vermicular iron and classification obtained by software package.

S pomočjo programske opreme za analiziranje z optičnim mikroskopom je bilo ugotovljeno, da območje frakcije površine grafita zaseda 11,3 % območja. Ta podatek je pomemben, ker ga je mogoče neposredno povezati s stopnjo razprševanja Fe v zlitini Al.

Vse sestavine mikrostrukture so bile opazovane in pozneje analizirane s spektroskopijo EDS za določitev kemijske sestave. Rezultati so predstavljeni na Slikah 4 in 5.

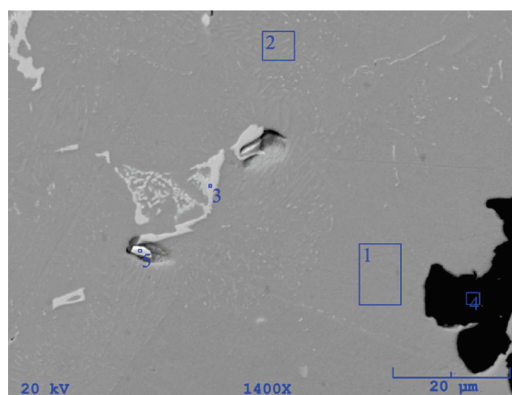
since it can be directly correlated to decreases dissolving of Fe in Al alloy.

All microstructure ingredients were observed and later analyzed with EDS in order to determine chemical compositions. Results are presented in Fig. 4-5.

El. / Eit.	Linija / Line	Intenzivnost / Intensity (c/s)	Napaka / Error 2-sig	Atomsk. / Atomic %	Območje / Conc	1
Si	Ka	139,44	2,640	8,463	4,435 wt. %	
Cr	Ka	11,90	0,771	0,282	0,274 wt. %	
Mn	Ka	5,12	0,506	0,209	0,214 wt. %	
Fe	Ka	1.782,77	9,441	90,757	94,560 wt. %	
Mo	La	10,38	0,721	0,289	0,518 wt. %	
Skupaj / Total				100,000	100,000 wt. %	
kV		20,0				
Kot menjave / Take of Angle		35,0°				
Pretečeni dej. čas. / Elapsed Livetime		80,0				

El. / Eit.	Linija / Line	Intenzivnost / Intensity (c/s)	Napaka / Error 2-sig	Atomsk. / Atomic %	Območje / Conc	3
Si	Ka	230,26	3,393	14,031	6,116 wt. %	
V	Ka	9,74	0,698	0,466	0,368 wt. %	
Cr	Ka	36,04	1,342	1,778	1,435 wt. %	
Mn	Ka	9,96	0,706	0,566	0,483 wt. %	
Fe	Ka	819,13	6,400	51,794	44,893 wt. %	
Mo	La	919,88	6,782	31,365	46,705 wt. %	
Skupaj / Total				100,000	100,000 wt. %	
kV		20,0				
Kot menjave / Take of Angle		35,0°				
Pretečeni dej. čas. / Elapsed Livetime		80,0				

El. / Eit.	Linija / Line	Intenzivnost / Intensity (c/s)	Napaka / Error 2-sig	Atomsk. / Atomic %	Območje / Conc	5
Al	Ka	11,19	0,748	1,378	0,569 wt. %	
Si	Ka	17,06	0,924	1,757	0,755 wt. %	
Fe	Ka	260,60	3,610	18,439	15,766 wt. %	
Co	Ka	835,95	6,465	69,751	62,937 wt. %	
Sm	La	236,34	3,437	8,675	19,972 wt. %	
Skupaj / Total				100,000	100,000 wt. %	
kV		20,0				
Kot menjave / Take of Angle		35,0°				
Pretečeni dej. čas. / Elapsed Livetime		80,0				

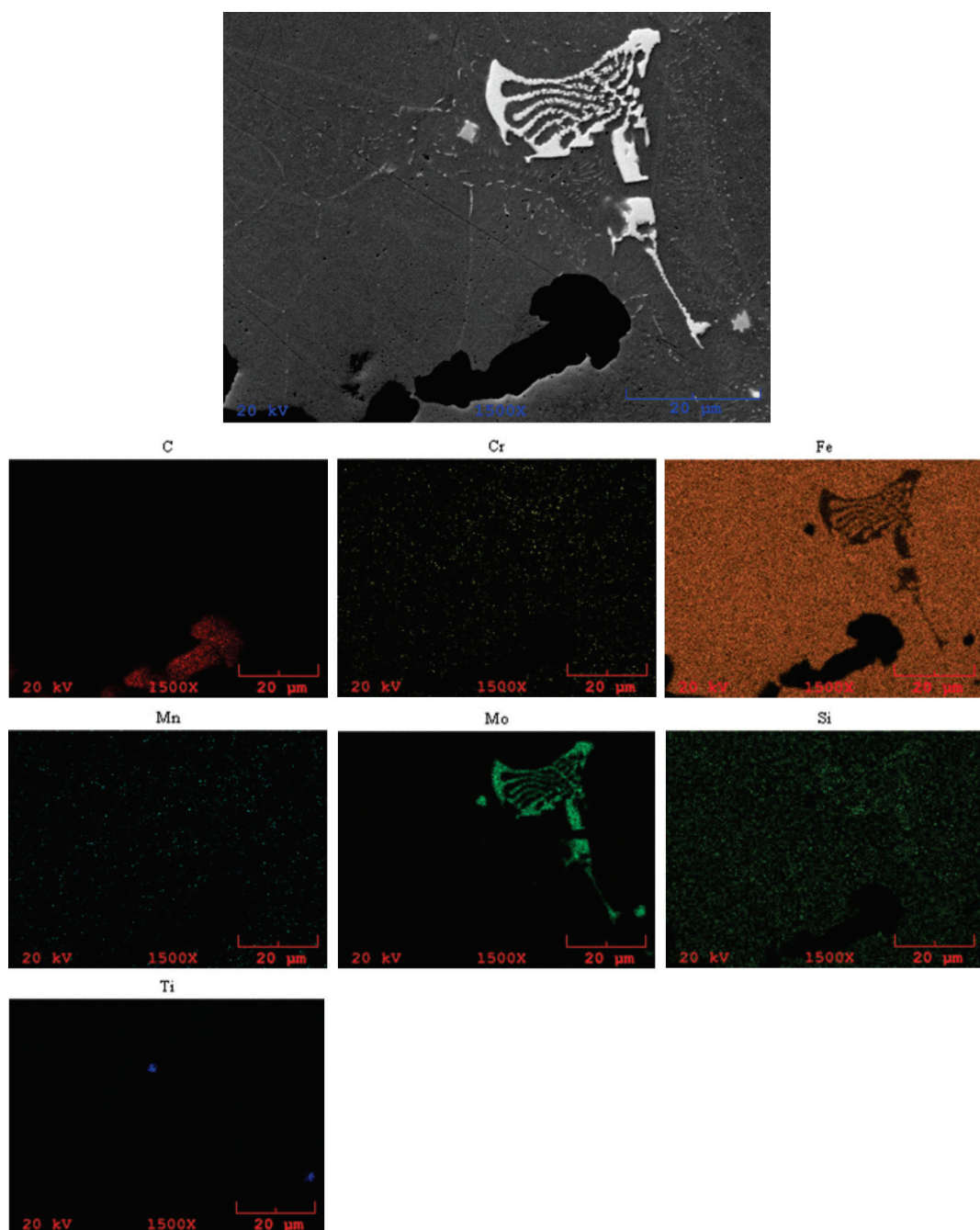


El. / Eit.	Linija / Line	Intenzivnost / Intensity (c/s)	Napaka / Error 2-sig	Atomsk. / Atomic %	Območje / Conc	2
Si	Ka	123,64	2,486	7,619	3,964 wt. %	
Cr	Ka	26,39	1,149	0,673	0,648 wt. %	
Mn	Ka	9,18	0,677	0,386	0,393 wt. %	
Fe	Ka	1.749,95	9,354	90,599	93,712 wt. %	
Mo	La	25,37	1,126	0,722	1,283 wt. %	
Skupaj / Total				100,000	100,000 wt. %	
kV		20,0				
Kot menjave / Take of Angle		35,0°				
Pretečeni dej. čas. / Elapsed Livetime		80,0				

El. / Eit.	Linija / Line	Intenzivnost / Intensity (c/s)	Napaka / Error 2-sig	Atomsk. / Atomic %	Območje / Conc	4
Ca	Ka	411,43	4,536	98,683	94,155 wt. %	
Fe	Ka	21,77	1,043	1,317	5,845 wt. %	
Skupaj / Total				100,000	100,000 wt. %	
kV		20,0				
Kot menjave / Take of Angle		35,0°				
Pretečeni dej. čas. / Elapsed Livetime		80,0				

SI. 4. Posnetek SEM referenčne strukture – novi material, območja EDX, označeno 1–5

Fig. 4. SEM micrograph of a reference surface - new material, EDX areas marked from 1 – 5.



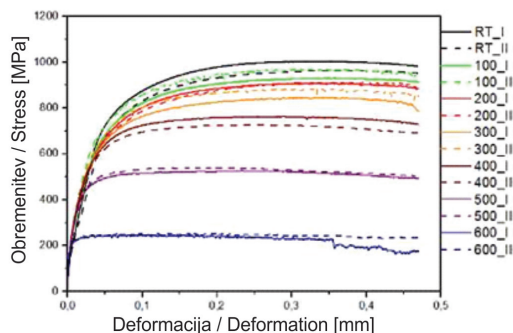
SI. 5. Posnetek SEM referenčne strukture – novi material, mapiranje EDX

Fig. 5. SEM micrograph of a reference surface - new material, EDX mapping

2.2 Mehanske lastnosti

Preskusi napetosti in stiskanja ter meritve trdote so bili opravljeni na razsutem materialu, podatki o meritvah so predstavljeni v Preglednici 2. Ker glavno obremenitev in deformacijsko obremenitev pri livni komori predstavlja stiskanje, je bil opravljen preskus žilavosti za RT in visoke temperature do 600 °C. Rezultati so predstavljeni na Sl. 10, vzorci so bili vzeti iz razsutega materiala od uporabljene livne komore in so imeli obliko valjev.

Iz meritev žilavosti pri stiskanju je mogoče sklepati, da nova zlitina ohranja zadovoljive kompresijske vrednosti do temperature 500 °C. Glede na to, da temperature v livni komori v delovnem okolju ne presežejo 400 °C, naj bi preučevani material zadovoljivo prenašal natezne obremenitve.



Sl. 6. Tlačna trdnost novega materiala od RT do 600 °C v prirastih po 100 °C.

Fig. 6. Compression toughness of new material from RT to 600 °C, with 100 °C step

2.3 Določitev toplotnih lastnosti

Meritve z diferenčno dinamično kalorimetrijo (DSC) so bile opravljene pri hitrosti segrevanja in ohlajanja 10 K/min. Iz

2.2 Mechanical properties

Tensile, compression testing and hardness measurements were measured from the bulk material, data of the measurements is presented in table 2. Since the main stress and strain forces affecting the shot sleeve are compression in nature, compression toughness test was performed for RT and elevated temperatures, ranging to 600 °C. Results are presented in Fig. 10, specimens were machined from bulk material of used shot sleeve and were in a shape of cylindres.

Rm [N/mm ²]	592
Rp _{0.2} [N/mm ²]	466
A [%]	2,8
Trdota / Hardness [HB]	255

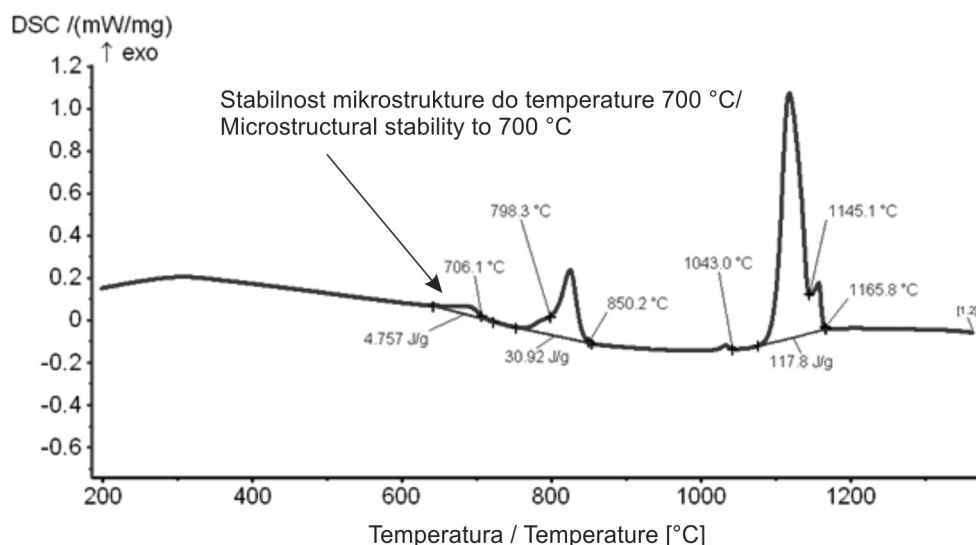
Preglednica 3. Mehanske lastnosti novega materiala

Table 3. Mechanical properties of new material

From compression toughness measurements it can be concluded that new alloy is maintaining satisfactory compression values till 500 °C. Since temperatures in shot sleeve during operational environment does not exceed 400 °C, it is expected that observed material should satisfactory withstand tensile loads.

2.3 Characterization of Thermal Properties

DSC measurement was performed with 10 K/min heating and cooling rate. From a thermograph on fig. 7, we can observe there are no phase and enthalpy changes appearing in a temperature range of shot sleeve working conditions; under 500 °C.



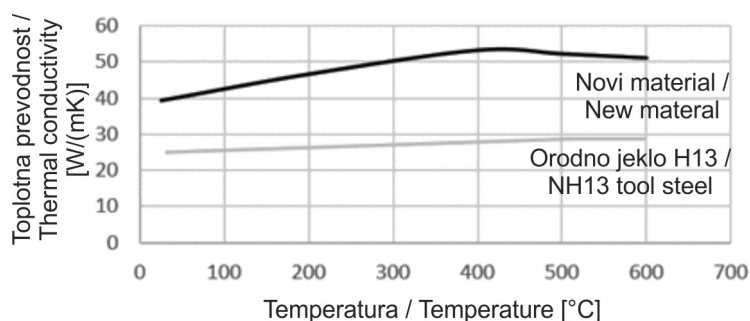
Sl. 7. DSC krivulja s prikazom krivulje ohlajanja, 10 K/min

Fig. 7. DSC thermograph of a cooling curve, 10K/min

termografa na Sliki 7 je razvidno, da se pri delovni temperaturi livne komore do 500 °C ne pojavijo fazne in entalpične spremembe.

Toplotne meritve so bile opravljene na podlagi metode TPS, rezultati na podlagi različnih temperatur za novi materialu in kovano jeklo H13 ter rezultati na podlagi uporabljenih livnih komor in novega materiala so predstavljeni v Sliki 12. Očitno

Thermal measurements were performed with hot disc method, results for various temperatures for new material and H13 forged steel and results from used shoot sleeve new material are presented in Fig. 12. It is obvious that new material has superior thermal conductivity properties at RT and elevated temperature. Increase is measured to be 2/3 higher in working



Sl. 8. Meritve toplotne prevodnosti; novi, izboljšani material v primerjavi z jeklom H13.

Fig. 8. Thermal conductivity measurements; new improved material-H13 steel

je, da ima novi material boljše lastnosti prevajanja toplote pri RT in višji temperaturi. Izmerjena razlika pri delavni temperaturi je za 2/3 višja pri novem materialu glede na orodno jeklo H13.

2.4 Nitridirana plast novega, izboljšanega materiala

Toplotno-kemični proces nitridiranja je bil izveden na livni komori, izdelanem iz novega materiala, saj je to standardni postopek pri livnih komorah.

Nitridirana plast je enakomerno razporejena po celotni površini ulitka, difuzijska dolžina pa sega v material pribl. 120 μm globoko. Nekaj μm bele plasti je tudi vidnih, plast pa je zaradi že omenjenih razlogov omejena na minimum.

Mikrotrdnost, povprečna vrednost treh meritev nitridirane plasti znaša 854,3 HV_{0.5}.

Koristi nitridirane plasti na novi zlitini niso očitne in ločeni prispevek bo obravnaval preskuse z izpostavljanjem nitridiranega in neobdelanega novega materiala visokim temperaturam in visokofrekvenčni toplotni utrujenosti.

temperature ranges towards H13 tool steel material.

2.4 Nitrided Layer of a New Improved Material

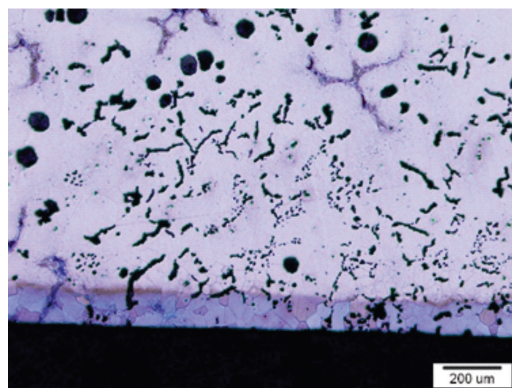
Thermochemical nitriding processes was applied on shot sleeve produced with new material since this is a standard procedure for shot sleeves. The nitrided layer is evenly distributed through all casting surface and diffusion length is extending to approx. 120 μm deep into the material. Several μm white layer is also visible and was limited to minimum due to already mentioned reasons.

Micro hardness, average of three measurements of the nitrided layer was 854.3HV_{0.5}.

Benefices of nitride layer on new alloy are not clear and will be discussed on a separated paper, where nitrided and raw new material is going to be submitted to high temperature, high thermal frequency fatigue testing.

Sl. 9: Površina nove livne komore po nitridiranju

Fig. 9. Surface of the new shot sleeve, nitrided



3 Sklepi

Nov in napreden kompozitni litoželezni material je bil razvit in opredeljen z namenom poskusa nadomestitve kovanega orodnega jekla H13 vsaj v primerih, ko je potrebna manjša proizvodna količina.

Inovativen pristop k proizvodnji livne komore za zmanjšanje skupnih proizvodnih stroškov v čim večji možni meri in zvečanje izkoristka materialov smo dosegli s pomočjo proizvodne tehnologije ulitkov. Nadalje, smiselno je premisliti o uporabi litja v avtomatizirane livne stroje z uporabo jeder za zagotovitev votlin.

Livna komora, izdelan z drugim proizvodnim procesom in lit iz novorazvitih materialov, je bil preizkušen v proizvodnji z 20.000 cikli, pri čemer je bila določena tribološka obraba pri stiku. Novi materiali kažejo nižjo stopnjo topljenja Fe v topljenem Al pri visokih temperaturah (zaradi površinskega območja grafita), boljše lastnosti prevajanja toplote, enakomernejšo porazdelitev toplote in posledično manj elastičnih deformacij z zadovoljivimi mehanskimi lastnostmi glede na obstoječa kovana orodna jekla.

4 Vliri / References

- [1] Primož Mrvar, Passive and active chambers for die casting with cold- chamber machines, Portorož 2012
- [3] Lena Magnusson Aberg, Cathrine Hartung, Solidification of SiMo Nodular Cast Iron for High Temperature Applications,
- [4] Hans Roedter, 4–6 % Silicon ductile iron for high temperature service, 102, Sorelmetal Technical Services.

3 Conslusions

New, advanced composite cast iron material has been developed and further characterized in order to try to replace a forged tool steel H13, at least where lower production quantities are needed.

Innovative approach to produce shot sleeve in order to minimize total production costs and increase material yield was taken by use of casting production technology. Further on, casting in automatic moulding machines with a use of cores to ensure cavities are worth considering.

Shot sleeve produced with alternative production process and casted with newly developed material was tested in a production at 20.000 cycles and tribological wear at contact was characterized. New material exhibits lower dissolution of Fe in molten Al at high temperatures (due to graphite surface area), superior thermal conductivity properties, more homogeneous thermal distribution and thus less elastic deformation with satisfactory mechanical properties towards existing forged tool steels.

Odpadni livarski pesek kot prekurzor v procesu alkalijske aktivacije

Waste Foundry Sand as Precursor in Alkali Activation Process

Izvleček

Cilj članka je predstaviti uporabnost odpadnega livarskega peska v procesu alkalne aktivacije za uporabo v gradbeništvu. S tem nizkocenovnim postopkom bi nadgradili odpadek v krožnem gospodarstvu, mu zvišali vrednost ter zmanjšali težave odlaganja odpadnega livarskega peska tako za naravo kot za industrijo.

Prekurzorji, ki so obetavni za proizvodnjo alkalijsko-aktiviranih materialov, vsebujejo amorfen SiO_2 ter Al_2O_3 , zato smo določili kemijsko in mineraloško sestavo livarskega peska, skladiščenega na Termitu, ter mu določili vsebnost Si in Al v kristalni ter amorfni fazi. Analizirali smo tudi obliko, velikost ter površino delcev v nepredelanem praškastem stanju.

Prizme alkalijsko aktiviranega livarskega peska smo po negi, razkalupljenju in sušenju testirali glede na tlačno in upogibno trdnost.

Ključne besede: alkalijska aktivacija, livarski pesek, SEM, XRF, XRD, mehanska trdnost

Abstract

Aim of the article is to present the usefulness of waste foundry sand in the process of alkali activation in the building industry. With this low-price process, waste would be upgraded in circular economy, its value increased, and the problem of disposal of waste foundry sand would be lowered for the industry and nature.

Precursor, that are promising for manufacture of alkali activated materials, contain amorphous SiO_2 and Al_2O_3 . Therefore we determined chemical and mineralogical composition of foundry sand stored in Termit's landfills and determined amounts of Si and Al in crystal and amorphous phase. Shape, size and surface of unprocessed waste foundry sand were also analyzed.

After curing, demolding and drying of alkali activated prisms from waste foundry sand, compressive and bending strength were tested.

Key words: alkali activation, foundry sand, SEM, XRF, XRD, mechanical strength

Uvod

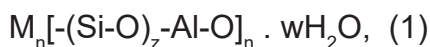
Alkalijska aktivacija odpadnih materialov predstavlja obetavno okolju prijazno ter tehnično sprejemljivo alternativo keramiki, malti in cementu, saj pri postopku

Introduction

Alkali activation of waste materials represents promising environment-friendly and technically acceptable alternative to ceramics, mortar and concrete, because at

ne potrebujemo naravnih surovin za prekursorje. Prav tako sinteza poteka pri znatno nižjih temperaturah (glede na literaturo do 85 °C [1]). Za postopek lahko uporabimo različne odpadne materiale, kot so elektrofiltirski pepel, žlindra ter žganaglina, in tako s postopkom alkalijske aktivacije ne proizvedemo dodatnih odpadkov, hkrati pa tudi znižamo ogljični odtis v primerjavi z obstoječimi komercialnimi izdelki [2], kar vse poceni postopek izdelave ter spremeni odpadek v perspektiven, naravi sprejemljiv material.

Pri postopku alkalijske aktivacije odpadnih materialov je potrebno uporabiti alkalijski aktivator, kot so npr. NaOH, KOH, K- ali Na-silikati, ki aktivirajo amorfno snov v prekursorju, raztopijo v alkaliji manj obstojne kristale ter pomagajo pri tvorbi večinoma amorfne aluminosilikatne mreže predstavljene v (1), [1]:



kjer M predstavlja alkalijski ion, n red polikondenzacije, z, n in w celo število. Mreža je sestavljena iz tetraedrov SiO_4 in AlO_4 , povezanih s kisikovimi mostovi. V tetraedru je Al^{3+} v koordinacijskem številu 4, zato je potrebno kompenzirati negativni naboj s pozitivnimi ioni prve in druge skupine periodnega sistema, tj. navadno se pri sintezi dodaja najcenejši Na^+ v silikatu oz. hidroksidu [3].

Lastnosti alkalno aktiviranega materiala (AAM) so odvisne od:

- vrste dodanega kationa,
- razmerja prekursor-alkalijsko-alkalijsko steklo,
- temperature med alkalijsko aktivacijo,
- časa na povišani temperaturi med sintezo, oz.
- hitrosti in postopka sušenja [1], [4], [5], [6].

its production no raw materials are needed for precursors, as well the synthesis takes places at much lower temperatures (according to the literature up to 85 °C [1]). For precursors different waste materials can be used like fly-ash, slag, metakaolin, and in this way no additional waste is produced, and at the same time carbon footprint is lowered in comparison to existing comerial products [2], which lowers the production cost and transforms waste into a promising material that is acceptable for nature.

Alkali activator is needed for alkali activation of waste material. Activators usually used are: NaOH, KOH, K- or Na-silicates, which activate amorphous part of precursor, dissolve less stable material in alkalis, and help forming mainly amorphous alumina-silicate matrix presented in formula (1), [1]:



where M represents alkali ion, n order of poly-condensation, z, n and w whole number. Matrix is built of tetrahedrons SiO_4 and AlO_4 that are combined by oxygen bridges. In tetrahedrons is Al^{3+} in coordination number 4, therefore the negative charge has to be compensated with positive ions of 1st and 2nd group of periodic system. Usually the cheapest Na^+ in silicates and/or in hydroxide is used in the synthesis [3].

Properties of alkali activated material (AAM) depend on:

- type of added cation,
- ratio precursor-alkali-alkali glass,
- temperature during alkali activation,
- time on elevated temperature during synthesis,
- drying speed and drying procedure [1], [4], [5], [6].

Alkali activated materials are classified as polymers that already get final shape at following curing conditions:

- room temperature or elevated

Alkalijsko aktivirane materiale uvrščamo med polimere, ki dobijo končno obliko že pri sledečih pogojih nege:

- sobna temperatura oz. povišana do 30 °C za nekaj ur,
- povišana temperatura od 50 °C pa do 80 °C za nekaj minut,
- z obsevanjem z mikrovalovi za nekaj sekund [1].

V gradbeništvu predstavlja glavno merilo kakovosti materiala tlačna trdnost, ki:

- raste s staranjem alkalijsko aktiviranega materiala [6],
- je odvisna od temperature nege, tj. do določene povišane temperature znatno raste vse do platoja, kjer se rast upočasni [7] oz. trdnost zmanjšuje [8],
- je odvisna od časa nege, tj. od 2 do 5 ur v času termalne aktivacije, medtem ko postane rast tlačne trdnosti po 48 urah na povišani temperaturi zanemarljiva [4], [9].

Pričujoč članek je osredotočen na predstavitev odpadnega livarskega pesak kot enega izmed potencialnih vhodnih materialov za alkalijsko aktivacijo za namene gradbeništv. Zato smo opravili kemijsko in mineraloško analizo v Termitu pridobljenega materiala, namenjenega vgradnji v odkope kremenčevega peska, ter ga ovrednotili na podlagi rezultatov njegove mehanske trdnosti po alkalijski aktivaciji pri različnih pogojih.

1 Eksperimentalno delo

V Termitu, d.o.o., smo za namene raziskav na laboratorijski ravni odvzeli zadostno količino odpadnega livarskega peska (2 kg) iz njihovih odprtih odlagališč. Vzorec je bil odvzet na način, da bo reprezentativen za celoten kup odpadka na odlagališču.

temperature up to 30 °C for several hours,

- elevated temperature from 50 °C to 80 °C for few minutes,
- radiation with microwaves for few seconds [1].

Compressive strength is the main materials' property in the building industry. Compressive strength:

- grows with aging of alkali activated material [6],
- depends on curing temperature, i.e. it noticeably grows up to plateau, where growing slows down [7] or compressive strength even starts to decrease [8],
- depends on curing time, i.e. from 2 to 5 hours while thermal activation takes place, while growth of compressive strength after 48 hours on elevated temperature becomes negligible [4], [9].

The following article is focused on presenting waste foundry sand as one of the potentially useful precursors for alkali activation in the building industry. Therefore chemical and mineralogical analysis was performed of material collected in Termit used as filling material for excavated quartz sand mines. After alkali activation performed at different conditions the material was evaluated according to the compressive strength values.

1 Experimental

In Termit, d.o.o., enough sample of waste foundry sand (2 kg) was collected from Termit's open landfills for the research on laboratory level. Sample was taken in manners to be representative for the whole pile stored in the landfill.

1.1 Analiza odpadnega livarskega peska

Za namene rentgenske fluorescence (XRF) in rentgenske praškovne difrakcije (XRD) smo vzorec sušili v sušilniku na 70 °C 24 h, nato pa še na 105 °C v IR sušilniku do konstantne mase, da smo popolnoma odstranili vodo iz vzorca, ki smo ga nato pomleli in presejali pod 90 µm.

XRD analizo smo izvedli v območju 4° do 70° s korakom 0.0263° s pomočjo naprave Empyrean PANalytical X-Ray Diffractometer. Velikost kristalitov v odpadku smo določali s pomočjo Scherrerjeve enačbe [10], oceno amorfnosti faze ter mineralov pa z Rietveldovo fazno analizo [11] z zunanjim standardom (čisti kristal Al_2O_3) s programom X'Pert Highscore plus 4.1.

XRF analizo smo izvedli s programom OXAS na staljenih diskah, ki smo jih pripravili z mešanjem prahu Fluxana (FX-X50-2, litijev tetraborat 50 %/litijev metaborat 50 %). Podatke smo okarakterizirali s programom UniQuant 5.

XRD in XRF rezultate smo pretvorili v masne deleže po posameznih elementih v kristalni fazi in v celotnem vzorcu in določili količino amorfnega Si, Al ter količine elementov 1. in 2. skupine periodnega sistema.

Za vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM; Jeol JSM-5500LV z volframovo katodno žičko za izvor elektronov), energijsko disperzijsko rentgensko spektroskopijo (EDXS; Oxford Instruments, Link Pentafet) pri nizkem in visokem vakuumu, ter za Brunauer-Emmett-Teller (BET; Micromeritics, ASAP 2020, Surface Area and Porosity Analyzer) analizo smo vzorec le posušili. Iz SEM mikrografov smo določili povprečne velikosti delcev, njihove oblike ter površino, iz BET analize pa specifično površino odpadnega materiala.

1.1. Analysis of waste foundry sand

For the purpose of X-Ray fluorescence (XRF) and X-Ray powder diffraction (XRD) sample was dried on 70 °C 24 h, after that sample was additionally dried on 105 °C in IR drier until constant mass was reached to have all water removed from the sample. The sample was milled afterwards and sieved under 90 µm.

The XRD analysis was performed in range from 4° to 70° in step 0.0263° with Empyrean PANalytical X-Ray Diffractometer. The crystallite size in the waste material was determined by means of the Scherrer formula [10], estimation of amount of amorphous phase and minerals with Rietveld refinement [11] with external standard (pure crystal of Al_2O_3) with program X'Pert Highscore plus 4.1.

The XRF analysis was performed with the program OXAS on melted discs, which were prepared with a mixture of Fluxana powder (FX-X50-2, lithium tetraborate 50 % / lithium metaborate 50 %). Data were characterised with program UniQuant 5.

Both the XRD and the XRF results were converted into mass percentages for elements found in the whole material and in the crystal phase, from which the amounts of amorphous Si, Al and elements of 1st and 2nd group of periodic system were determined.

For scanning electron microscopy (SEM; Jeol JSM-5500LV with tungsten cathode wire for source of electrons), energy dispersion X-Ray spectroscopy (EDXS; Oxford Instruments, Link Pentafet) at low and high vacuum, and for Brunauer-Emmett-Teller (BET; Micromeritics, ASAP 2020, Surface Area and Porosity Analyzer) the analysis sample was only dried. From the SEM micrographs average particle sizes, their shapes and surface were determined;

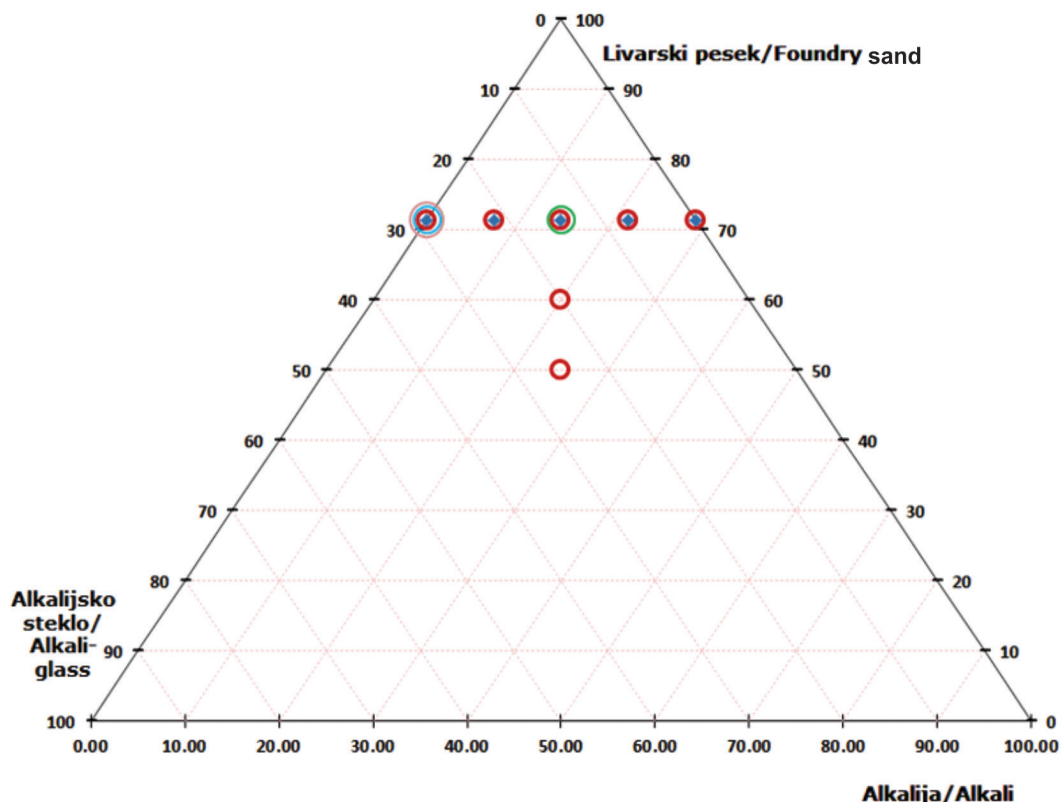
1.2 Priprava alkalno aktiviranega materiala

Posušenemu vzorcu smo dodali NaOH (Donau Chemie Ätznatron Schuppen, EINECS 215-785-5), KOH (Fluka, Honeywell, Cat. 30603), Na-steklo (Geosil, 344/7, Woelner), oz. K-steklo (Woelner, Betol K5020T) v različnih razmerjih. Testirali smo izdaten dodatek vode, kot tudi različne molarnosti obeh baz. Izvedeni eksperimentni so prikazani na **Sliki 1**.

with BET analysis specific surface of waste foundry sand was measured.

1.2 Preparation of alkali activated material

To the dried sample NaOH (Donau Chemie Ätznatron Schuppen, EINECS 215-785-5) or KOH (Fluka, Honeywell, Cat. 30603), Na-glass (Geosil, 344/7, Woelner) or K-glass (Woelner, Betol K5020T) was added in different ratios. An extra addition of water



Sl. 1. Trikotni graf alkalijsko aktivirane sinteze z odpadnim livarskim peskom. Legenda: rdeč krog: 10M NaOH; modri deltoid: 10 M NaOH; zelen krog: (6, 8, 10, 12, 14) M NaOH in KOH; svetlo moder krog: dodatek enake količine vode kot je Na-stekla; vijoličen krog: Na-steklo zamenjano s K-steklom.

Fig. 1. Triangular graph of alkali activated synthesis of waste foundry sand. Legend: red circle: 10M NaOH; blue deltoid: 10 M NaOH; green circle: (6, 8, 10, 12, 14) M NaOH and KOH; light blue circle: addition of the same amount of water as Na-glass; purple circle: Na-glass is replaced by K-glass.

Sam postopek priprave je zahteval mešanje tekoče faze do bistrosti mešanice in šele nato vlitje v suh prekursor ob konstantnem mešanju. Zmes suhe snovi in tekoče faze smo mešali 1 minuto.

Alkalijsko aktivirane (AA) mešanice smo vlili v kalupe velikosti (80x20x20) mm³, ter jih negovali na sobni temperaturi oz. na 70 °C 24 h. Nato smo jih razkalupili ter sušili na sobni temperaturi oz. pospešeno v sušilniku ter volumetrično z mikrovalovi v mikrovalovki (Gorenje, MO 17 DW).

1.3 Analiza alkalno aktiviranega materiala

Alkalijsko aktivirane vzorce smo okarakterizirali z XRD (velikost kristalitov s pomočjo Scherrerjeve enačbe, da smo ocenili dogajanje med sintezo tj. rast [12] in razstapljanje kristalitov v alkalnem mediju s primerjavo rezultatov pred in po sintezi), SEM, EDXS, poroznost alkalijsko aktiviranega materiala pa s porozimetrijjo z živim srebrom (MIP).

Tlačno in upogibno trdnost smo določali s pomočjo naprave ToniTechnik ToniNORM 3 mesece po sintezi.

2 Rezultati in razprava

2.1 Analiza odpadnega livarskega peska

Z XRF analizo smo določili okside in njihove količine v prekursorju. Rezultati, kjer je masni delež ($m_{\%_XRF}$) oksida blizu oz. več kot 0,1 %, so predstavljeni v **Preglednici 1**. V isti tabeli so predstavljeni tudi rezultati XRD meritve, tj. minerali in njihovi masni deleži določeni ($m_{\%_XRD}$) z Rietveldovo fazno analizo.

was tested as well as different molarities of both alkalis. Performed experiments are shown in Figure 1.

Preparation of alkali activated material demanded mixing of liquid phase until mixture was clear. Thereafter liquid mixture was poured into dry precursor while constant stirring. Mixture of dry and liquid phase was stirred for one minute.

Alkali activated (AA) mixture was poured into molds of size (80x20x20) mm³, cured on room temperature and on 70 °C for 24 h, demolded and dried on room temperature, or in drier or with microwaves in microwave (Gorenje, MO 17 DW).

1.3 Analysis of Alkali Activated Material

Alkali activated samples were characterized by XRD (size of crystallites with help of the Scherrer equation to determine the activity during the synthesis, i.e. growth [12] and dissolution of crystallites in alkali media by comparing the results before and after synthesis), SEM, EDXS, porosity of alkali activated material with mercury intrusion porosimetry (MIP).

Copressive and bending strength were measured with apparatus ToniTechnik ToniNORM 3 months after synthesis.

2 Results and Discussion

2.1. Analysis of Waste Foundry Sand

With XRF analysis oxides and their amounts were determined. Results where mass percentage ($m_{\%_XRF}$) of oxide is near or more than 0,1 %, are presented on v **Tabel 1**. In the same table also XRD results are presented, i.e. minerals and their mass percentages determined ($m_{\%_XRD}$) by Rietveld refinement.

Oksid / Oxide	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	
m _{% XRF} [%]	0,801	0,811	8,19	83,10	0,262	1,25	0,815	2,29	
Mineral / Mineral				kremen / quartz		kalcit / calcite			amorfn / amorphous
m _{% XRD} [%]				65,9		0,8			38,2
Amorfn / Amorphous	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	
m _% [%]	0,594	0,489	4,34	8,08	0,217	0,573	0,489	1,60	

Preglednica 1. Masni delež (m_{% XRF}) oksidov določen z XRF in masni delež (m_{% XRD}) mineralov ter amorfn snovi določen z XRD. Amorfn snov razčlenjena glede na elemente (m_%) je razlika med XRF in XRD rezultati na elementarni ravni.

Table 1. Mass percentage (m_{% XRF}) of oxides determined with XRF and mass percentage (m_{% XRD}) of minerals and amorphous phase determined with XRD. The amount of amorphous phase is broken down into elements (m_%), which is the difference between XRF and XRD results for elements.

V odpadku je bil od mineralov prisoten SiO₂ kot kremen ter CaO kot kalcit, kar pomeni, da so vsi ostali z XRF detektirani elementi v amorfn fazi, ki predstavlja približno 40 % celotne snovi. Masni delež elemenov v amorfn snovi, ki je pomembna za alkalijsko aktivirano sintezo, smo preračunali iz razlike med XRF in XRD (**Tabela 1**). Množinsko razmerje amorfnih elementov Al:Si:Na v prekurzorju je 1:1,80:0,16, ki bi za alkalijsko aktiviran elektrofitrski pepel naj bilo 1:1,9:1 za doseganje najvišje tlačne trdnosti glede na literaturo [13], kar uvrsti livarski pesek med potencialne prekurzorje za sintezo AAM pri dodatku zadostne količine Na,Si in tekoče faze.

In waste material SiO₂ was present as quartz and, CaO as calcite, which means that all other elements detected with XRF were in amorphous phase, which represents almost 40 % of the whole material. The mass percentage within the amorphous phase, which is important for alkali activated synthesis, was calculated from the difference between XRF and XRD (**Table 1**). Molar ratio between amorphous elements Al:Si:Na in precursor is 1:1,80:0,16, which should for alkali activated fly-ash be 1:1,9:1 to gain highest compressive strength according to the literature [13], which places waste foundry sand among potential precursors for synthesis of AAM when enough of Na,Si and liquid phase is added.

2.2 Določitev izhodiščnega razmerja za alkalno aktivacijo

Glede na literaturno [13] optimalno razmerje Al:Si:Na (1:1,9:1) za doseg najvišje trdnosti smo določili potrebno količino dodatkov z Na⁺, kjer smo upoštevali, da vsi amorfn

2.2. Determination of Baseline Ratio for Alkali Activation

According to the literature's [13] optimal ratio of Al:Si:Na (1:1,9:1) to gain the highest value of compressive strength amount of additives with Na⁺ was determined, where all amorphous elements from 1st group were

elementi 1. skupine stopajo v kompenzacijo naboja:

- prekursor:Na-steklo:NaOH_(s)=5:1:0;
- prekursor:Na-steklo:NaOH_(s)=5:0:0,25 oz.
- prekursor:Na-steklo:10M NaOH_(aq)=5:0:0,5.

V reakcijo tvorbe mreže ni nujno, da vstopi ves Al in vsi amorfni elementi 1. skupine, vsebovani v prekursorju. Vsak Al, ki pa vstopi v reakcijo tvorbe aluminosilikatne mreže, pa potrebuje kompenzacijo naboja z elementom iz 1. skupine, oz. 2 Al, ki sta blizu, si lahko kompenzirata negativni naboj z elementom iz 2. skupine, ne glede na vir. Ker ne moremo zagotoviti, da bo vsak Al, četudi ne vstopi ves v tvorbo mreže, imel ob sebi kompenzacijski element, če jih dodamo minimalno potrebno, je bilo naše izhodiščno razmerje prekursor:Na-steklo:10M NaOH_(aq)=5:1:1 ob predpostavki, da je viskoznost take mešanice dovolj majhna, da onemogočamo mehaniko kontinuuma na veliki skali, ter sledimo tlačni trdnosti, nastanku kristalov in eflorescenci. Razmerje tekoče alkalne faze in prekursorja smo ohranjali konstantno.

Glede na literaturo [13] bi bilo potrebno prekursorju dodati tudi Si v razmerju prekursor:Na-steklo:NaOH_(s)=5:0,2:0, če se seveda kremen niti deloma ne razstaplja v alkalnem mediju, čemur smo sledili v 3.3.4.

2.3 Analiza alkalijsko aktiviranega materiala

Alkalno aktiviran livarski pesek se pri alkalni aktivaciji ni penil, kar ustreza podatkom iz literature za elektrofiltrski pepel [13] glede na množinsko razmerje Al:Si, ki je večje kot 1:1,4 ne glede na dodatke (noben dodatek ni vseboval Al).

taken into account for compensation of the charge:

- precursor:Na-glass:NaOH_(s)=5:1:0;
- precursor:Na-glass:NaOH_(s)=5:0:0,25 or
- precursor:Na-glass:10M NaOH_(aq)=5:0:0,5.

It is not necessary that all amorphous Al and the elements from the 1st group in the precursor participate in the formation of aluminosilicate matrix. But every Al that steps into reaction of the matrix formation needs compensation of its charge with element from 1st group, or 2 Al, that are close in the matrix, can compensate negative charge with element from the 2nd group, regardless to its source. Because it is impossible to provide that every Al, even if whole Al does not enter into matrix formation reaction, will have near the charge compensation element, if minimal needed amount is added, the starting ratio precursor:Na-glass:10M NaOH_(aq)=5:1:1 where the assumption was that viscosity of such mixture is low enough to avoid mechanics of continuum on large scale, following compressive strength, crystal formation and efflorescence. Ratio liquid alkali phase and precursor was kept constant.

According to the literature [13] addition of Si to the precursor is needed in ration precursor:Na-glass:NaOH_(s)=5:0,2:0, if quartz does not dissolve in alkali media, which was followed in 3.3.4.

2.3 Analysis of Alkali Activated Material

Alkali activated foundry sand did not foam during alkali activation, which corresponds data from literature for fly-ash [13] according to the molar mass Al:Si which is bigger than 1:1,4 regardless of additives (no additive contained Al).

2.3.1 Alkalijsko aktiviran material – tlačna trdnost

Rezultati tlačne trdnosti, v gradbeni industriji ene izmed najpomembnejših lastnosti, so predstavljeni v **Preglednici 2**, skupaj z upogibno trdnostjo.

Iz meritev predstavljenih v Tabela 2 lahko zaključimo, da:

2.3.1 Alkali Activated Material – Compressive Strength

Results of compressive strength, which is in building industry one of the most important properties, are presented on **Tabel 2**, along with bending strength.

From measurements presented on Tabel 2 it can be concluded that:

Razmerje l.pesek:alkalija:a. steklo:voda / Ratio f.sand:alkali:a.glass:water	Alkalija / Alkali	Alkalijsko steklo / Alkali glass	Nega / Curing	Sušenje / Drying	Upogibna trdnost / Bending strength [N/mm]	Tlačna trdnost / Compressive strength [N/mm]
5:1:1:0	6 M NaOH	Na-steklo / Na-glass	70 °C 24 h	RC	4,1	17,6
	8 M NaOH		RC		4,1	15,4
	10 M NaOH				/	/
					4,1	10,5
			110 °C 24 h	1,9	12,9	
			microwave 2,33 min	0,02	12,4	
			12 M NaOH	RC	2,7	21,8
	14 M NaOH		3		21,4	
	6 M KOH		2,3		13,8	
	8 M KOH		2,5		18,8	
	10 M KOH		2,9		19,5	
	12 M KOH		1,6		18,9	
	14 M KOH		2,8		19,4	
	5:2:0:0		2,6		5,2	
5:1,5:0,5:0	1,7		9			
5:0,5:1,5:0	4,5		18,6			
5:2:0:0	2,5		6,9			
5:1,5:0,5:0	4,1		13,1			
5:0,5:1,5:0	3,9		18			
3:1:1:0	3,9		10,5			
2:1:1:0	/		/			
5:0:2:0	/ 		K-steklo / K-glass		6,6	27,7
Na-steklo / Na-glass		2,7	13,2			
5:0:2:2			0,1		1,5	

Preglednica 2. Mehanske lastnosti alkalijsko aktiviranega odpadnega livarskega peska. Sobni pogoji so označeni z RC.

Table 2. Mechanical properties of alkali activated waste foundry sand. Room conditions are labelled with RC

- preveč tekoče faze (ko je viskoznost merljiva) drastično zmanjša upogibno in tlačno trdnost;
- manj kot je tekoče faze (vode), višja je trdnost, tako v primeru NaOH, kot KOH;
- upogibne in tlačne trdnosti pri uporabi več oz. do iste količine NaOH in KOH, kot smo dodali Na-vodnega stekla, so višje pri dodatku KOH;
- upogibne in tlačne trdnosti ob dodatku večje količine Na-stekla, kot pa je alkalije, so neodvisne od dodane alkalije (NaOH oz. KOH);
- najvišja dosežena tako upogibna kot tlačna trdnost je v primeru, ko uporabimo le Na-vodno steklo brez dodatka alkalije (upogibna trdnost 6,6 MPa in tlačna trdnost 27,7 MPa);
- odvisnost upogibne in tlačne trdnosti od molarnosti alkalije je manj očitna, tj. za kompenzacijo negativnega naboja v mreži potrebujemo le toliko Na, kolikor Al vstopa v tvorbo mreže, sicer se odvečni Na porabi pri nastanku kristalov v mreži, ali pa povzroča efflorescenco (glej **3.3.4** in **3.3.5**). Potrebna pa je ustrezna porazdelitev Na po mešanici, da je Na dovolj blizu Al, ki vstopi v reakcijo tvorbe mreže. Prav tako je potrebno imeti dovolj tekoče faze, da se omogoči lokalna difuzija Na do Al, ne pa tudi difuzija na veliki skali, ki bi omogočila porušitev enakomerne porazdelitve snovi v odpadnem materialu z mehaniko kontinuov. Zelo pomembna je enakomerna porazdelitev snovi pred sintezo po celotnem volumnu;
- z uporabo Na-stekla dobimo dvakratne vrednosti upogibne in tlačne trdnosti v primerjavi z uporabo K-stekla;
- nega ob alkalni aktivaciji na temperaturi 70 °C je dala pozitivne rezultate glede na nego pri le sobnih pogojih;
- tlačna trdnost se merljivo poveča pri sušenju na povišani temperaturi (110
- too much liquid phase (when viscosity is measurable) drastically lowers bending and compressive strength;
- if there is less liquid phase (water), than strength is higher, both in the case of NaOH, as well as KOH;
- when more or same amount of NaOH and KOH comparing to the amount of Na-glass is added, bending and compressive strength are higher in case of KOH addition;
- bending and compressive strength, when bigger amount of Na-glass is added than alkali, do not depend on the added alkali (NaOH or KOH);
- maximal gained bending and compressive strength is reached when Na-glass without addition of alkali is used (bending strength is 6,6 MPa, compressive strength 27,7 MPa);
- dependence of bending and compressive strength on molarity of alkali is less obvious, i.e. for compensation of negative charge in the matrix it is needed only as much Na as Al that enters into reaction of formation of matrix, otherwise excessive Na is used for crystal growth in the matrix, or it causes efflorescence (look 3.3.4 in 3.3.5). However, an appropriate distribution of Na in the mixture is needed, so that Na is in the proximity of Al, that enters into matrix formation. It is also necessary to have enough liquid phase to allow local diffusion of Na to Al, but not also the diffusion on large scale that would result in collapse of the uniform distribution of ingredients in the waste foundry sand with mechanics of continuum. Uniform distribution of all ingredients throughout the volume before synthesis is very important;
- AAM prepared with Na-glass has bending and compressive strengths 2-times higher comparing to AAM

°C), kot tudi pri sušenju z mikrovalovi, a hkrati se upogibna trdnost zelo poslabša glede na alkalijsko aktiviran material, sušen pri sobnih pogojih.

Sušenje na sobnih pogojih poteka počasneje v primerjavi s površinskim sušenjem na 110 °C (24 h), še počasneje pa v primerjavi z volumetričnim sušenjem z mikrovalovi (2,33 min), saj je bilo potrebnih nekaj tednov do enako velikega skrčka kot v primeru sušenja z mikrovalovi. S hitrostjo sušenja se napake v strukturi večajo, saj povečujemo pritisk znotraj strukture z dvigom temperature in prisilimo vodo k utiranju novih poti iz alkalijsko aktiviranega materiala. Posledica razpok je zmanjšanje upogibne trdnosti na 50 % pri sušenju na 110 °C oz. na 5 ‰ pri volumetrinem sušenju.

2.3.2 XRD rezultati pred in po sintezi

XRD rezultati odpadnega livarskega peska ter alkalijsko aktiviranega materiala, pripravljenega z različnimi dodatki, so predstavljeni v **Preglednici 3**. Sledili smo razstapljanju in rasti kristalitov s pomočjo Scherrerjeve enačbe, ki je v programu X'Pert Highscore uporabna le za kristalite do velikosti 150 nm, kot tudi masnemu deležu mineralov in amorfnosti snovi z Rietveldovo fazno analizo.

Odpadni livarski pesek vsebuje 65 % kremenca, kalcit v sledovih, amorfnosti snovi več kot 30 %. Med alkalijsko aktivacijo se kristaliti kremenca raztapljajo, tj. velikost kristalitov se je zmanjšala z 130 nm na 110 nm, tj. masa kremenca, ki je postala dostopna za tvorbo mreže, se je zmanjšala za 20 % do 40 %.

Z alkalijsko aktivacijo se tvori amorfnost aluminosilikatna mreža, kot posledica odvečnega Na in/ali K pa pride do nukleacije in kristalizacije. Kadar je bilo za alkalijsko aktivacijo za tekočo fazo

preparirano s K-steklom;

- curing on 70 °C gave positive results with regard to curing on room temperature;
- compressive strength increases measurably when drying on elevated temperature (110 °C), as well as when drying with microwaves. At the same time bending strength decreases drastically with respect to AAM dried at room conditions.

Drying at room conditions is slower compared to surface drying at 110 °C (24 h), and even more slowly compared to volumetric drying with microwaves (2,33 min), because it took several weeks to get the same shrinkage as when AAM was dried with microwaves. With the drying rate defects in the structure get bigger as pressure in the structure is increased due to the elevated temperature with which water is forced to find path out from alkali activated material. Result of the cracks is lowering of the bending strength by 50 % when drying at 110 °C, and to 5 ‰ at volumetric drying.

2.3.2 XRD Results Before and After synthesis

XRD results of waste foundry sand and alkali activated material prepared with various additives are presented on **Tabel 3**. Dissolution of crystals as well as crystal growth were followed with Scherrer equation, that can be used in X'Pert Highscore only for crystallites smaller than 150 nm. Also mass percentage of minerals and amorphous phase was followed with Rietveld Refinement.

Waste foundry sand contains 65 % of quartz, calcite in traces, amorphous phase more than 30 %. During alkali activation quartz crystals dissolve, i.e. size of crystallites decreases from 130 nm to 110 nm, i.e. mass of quartz, that became

Mineral / Mineral	Kremen / Quartz	Kalcit / Calcite	Termonatrit / Thermonatrite	Kalicinit / Kalicinite	Trona	Sodalit / Sodalite	Amorfno / Amorphous
Kemijska formula / Chemical formula	SiO ₂	CaCO ₃	Na ₂ CO ₃ · H ₂ O	CHKO ₃	C ₂ H ₃ Na ₃ O ₈	Al ₈ Na ₈ O ₂₄ Si ₆	/
Mohsova lestvica trdnosti [M] / Mohs hardness scale [M]	7	3	1-1,5	1-2	2,5	5,5-6	
Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	130	x					
Masni delež [%] / Mass percentage [%]	65,9	0,8					33,2
Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	110	x	60				
Masni delež [%] / Mass percentage [%]	36,4	0,3	11,4				51,9
Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	100	x			40		
Masni delež [%] / Mass percentage [%]	40,3	0,4			4,4		54,9
Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	140	x			45		
Masni delež [%] / Mass percentage [%]	40,6	0,1			4,5		54,8
Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	120	x	x		x		
Masni delež [%] / Mass percentage [%]	37,5	0,4	1,0		1,9		59,2

P : 10M NaOH : K-steklo/glass = 5 : 0 : 2	Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	110	x			x			
	Masni delež [%] / Mass percentage [%]	39,3	0,4			1,1			59,2
P : 10M NaOH : Na-steklo/glass : H ₂ O = 5 : 0 : 2 : 2	Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	110	x				x		
	Masni delež [%] / Mass percentage [%]	37,7	0,4				1,0		60,9
P : 10M NaOH : Na-steklo/glass = 5 : 2 : 0	Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	120	x				45	x	
	Masni delež [%] / Mass percentage [%]	40,4	0,1				6,9	1,3	51,3
P : 10M KOH : Na-steklo/glass = 5 : 2 : 0	Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	120	x			25			
	Masni delež [%] / Mass percentage [%]	38,4	0,5			3,4			57,6
P : 10M KOH : Na-steklo/glass = 5 : 1 : 1	Velikost kristalitov [nm] / Size of crystallites [nm]	100	x				40		
	Masni delež [%] / Mass percentage [%]	36,8	0,2				4,7		58,3

Preglednica 3. Minerali prisotni v odpadnem livarskem pesku ter v alkaljsko aktiviranemu materialu, negovanem na 70 °C 24 h in sušenem pri sobnih pogojih, če ni napisano drugače. Velikosti kristalitov so dobljene s Scherrerjevo enačbo, masne deleže kristalov in amorfnosti pa z Rietveldovo fazno analizo. x označuje kristalite večje od 150 nm.

Table 3. Minerals present in waste foundry sand and alkalai activated material cured at 70 °C 24 h and dried at room conditions, if not stated otherwise. Crystallite sizes are obtained with Scherrer formula, mass percentage of crystals and amorphous phase with Rietvel refinement. x stands for crystallites bigger from 150 nm.

uporabljeno le alkalijsko steklo, so bili kristaliti večji (preveliki za določevanje s Scherrerjevo enačbo), hkrati pa je bil masni delež novo nastalih mineralov manjši, kot v primeru dodatka alkalije oz. v primeru le uporabe alkalije. To pomeni, da v primeru alkalijskega stekla rastejo posamezni kristaliti, sama nukleacija pa je otežena, v primeru 10 M alkalije, kjer je pri isti masi alkalijskega stekla več Na oz. K, pa je nukleacija prevladujoča, zato zmanjka snovi za rast kristalitov.

Pri uporabi NaOH z oz. brez Na-stekla je ~10 % manj amorfne snovi, kar je posledica največjega prebitka Na v vhodni tekoči fazi med vsemi eksperimenti. Odvečen Na zraste v minerale, ki pa so po Mohsovi lestvici trdnosti mehki in zato ne pripomorejo k trdnosti alkalijsko aktiviranega materiala.

Pri sušenju alkalijsko aktiviranega materiala na 110 °C se je velikost kristalitov kremena zmanjšala z 110 nm na 100 nm, tj. masa posameznega kristalita se je zmanjšala za skoraj 25 %, a masni delež vsega kremena se je pa povečal za 4 %, kar pomeni, da se je večina Si za tvorbo dodatnega kremena črpala predvsem iz aluminosilikatne mreže, deloma pa tudi iz površine kremena iz prekursorja. Kalcita je bilo pred in po sušenju na 110 °C enako, medtem ko se je termonatrit razgradil v amorfno snov oz. v po Mohsovi skali bolj trd kristal trona, kar je povečalo tlačno trdnost iz 10,5 MPa na 12,9 MPa.

Z volumetričnim sušenjem ravno tako povečamo masni delež vsega kremena v alkalijsko aktiviranem materialu za 4 %, a z razliko od sušenja na 100 °C kristaliti kremena zrastejo z 110 nm na 140 nm, kar je povečanje volumna posameznega kristalita kremena za več kot 100 %. To pomeni, da se je Si za tvorbo novega kremena oz. za rast obstoječega kremena črpal le iz aluminosilikatne mreže. Ker se kristalna modifikacija kremena ni

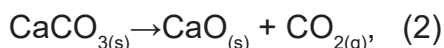
available for matrix formation, lowered from 20 % to 40 %.

With alkali activation amorphous aluminosilicate matrix is formed, due to abundant Na and/or K nucleation and crystallization occur. When only alkali glass was used for the liquid phase, crystallites were bigger (too big to be able to determine their size with Scherrer equation), at the same time mass percentage of newly formed minerals was lower than when alkali was added or when only alkali was used. This means that when alkali glass is used, individual crystallites grow while nucleation is hindered, in case of 10 M alkali, where at the same mass as the alkali glass there is more Na/K, nucleation is dominant, therefore there is no material left for crystal growth.

When NaOH with or without Na-glass is used, there is ca. 10 % less amorphous material, which is the consequence of largest amount of abundant Na in liquid phase among all experiments. Excessive Na grows into minerals that are on Mohs hardness scale soft and therefore do not contribute to the strength of the alkali activated material.

When drying alkali activated material at 110 °C, the size of quartz crystallites decreases from 110 nm to 100 nm, i.e. mass of individual crystallite lowered for almost 25 %, but mass percentage of whole quartz increased for 4 %. This means that the majority of Si used for quartz formation is from Aluminosilicate matrix, partially also from surface of quartz in the precursor. Amount of calcite was same before and after drying on 110 °C, while termonatire transformed into amorphous substance, or into crystal trona that has a higher hardness according to Mohs hardness scale, which increased compressive strength from 10,5 MPa to 12,9 MPa.

spremenila, je pritisk znotraj strukture med obsevanjem z mikrovalovi, glede na fazni diagram kristalnega SiO_2 na Slika 1 v [14] in temperaturo, ki se jo dosega z mikrovalovi (čez 1000°C) [15], med 2 in 3 GPa. Struktura sicer prenese ta pritisk, a glede na zmanjšano upogibno trdnost, s poškodbami. Masni odstotek kalcita se je po mikrovalovnem sušenju zmanjšal zaradi visoke temperature med volumetričnim sušenjem, katere posledica je kaclinacija (2), ki poteka že pri 750°C [16]:



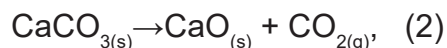
Enako kot pri površinskem se je tudi pri volumetričnem sušenju termonatrit deloma razgradil v amorfno snov in deloma v kristal trona. Tako kot so kristaliti kremena v primeru sušenja z mikrovalovi večji, tako so tudi kristaliti trone večji, a le za 5 nm. Tlačna trdnost po volumetričnem sušenju je 12,5 MPa, kar je bolje kot pri sušenju pri sobnih pogojih zaradi nastanka po Mohsovi skali trših kristalov in primerljivo s površinskim sušenjem.

2.3.3 SEM ter EDXS analiza pred in po sintezi

Povprečne vrednosti delcev v odpadnem livarskem pesku, ki so predstavljene v **Preglednici 4**, smo določili pri različnih povečavah elektronskega vrstičnega mikroskopa. Velikostni razpon je od pod $1,5\ \mu\text{m}$ pa čez $300\ \mu\text{m}$. Specifična površina dobljena z BET analizo posušenega, a sicer neobdelanega odpadnega livarskega peska, je $15,9734\ \text{m}^2/\text{g}$.

Odpadni livarski pesek je predstavljen na **Sliki 2** pri 35-kratni in 600-kratni povečavi. Delci so naključnih oblik z zaobljenimi robovi. Beli delčki, vidni na SEM slikah, predstavljajo elementarno Fe, kar smo potrdili z EDXS analizo, ki je

By means of volumetric drying mass percentage of quartz was also increased in alkali activated material for 4 %, but unlike drying at 100°C , quartz crystallites grow from 110 nm to 140 nm, which increased individual quartz crystallite volume for more than 100 %. This means that Si used in formation of new quartz or growth of existing quartz came only from an aluminosilicate matrix. Because crystal modification of quartz did not change, there is pressure inside the structure during radiation with microwaves, according to both, the phase diagram of crystalline SiO_2 on Figure 1 in [14], and the temperature reached with microwaves (over 1000°C) [15], between 2 and 3 GPa. structure does survive this pressure, but with a damage according to the lowered bending strength. The mass percentage of calcite was reduced after drying with microwaves due to high temperature during volumetric drying, resulting in calcination (2), which already takes place at 750°C [16]:



As with surface drying, also with volumetric drying termonatrite partially transformed into amorphous phase and partially into crystal trona. Just like the quartz crystals, which are in the case of drying with microwaves bigger, also the trona crystals are bigger, but just for five nm. The compressive strength after volumetric drying is 12,5 MPa, which is better comparing to the drying at room conditions due to the formation of crystals that have higher hardness on Mohs scale, and is comparable to the compressive strength results obtained with surface drying of alkali activated material.

SEM povečava / SEM magnification	Povprečna velikost delcev [μm] / Average particle size [μm]	Največji in najmanjši opaženi delec [μm] / Largest and smallest observed particle [μm]
35x	185	> 300
370x	35	
1700x	3	< 1,5

Preglednica 4. SEM statistika premera velikosti delcev aproksimiranih s sfero v odpadnem livarskem pesku

Table 4. SEM statistics of diameter of waste foundry sand particles' sizes approximated by sphere

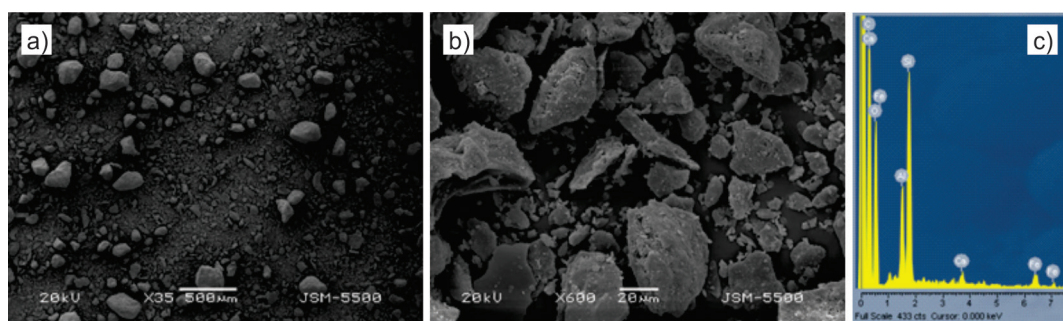
predstavljena na Sliki 2 c. Fe ni nastopalo kot večji samostojni delci, ki bi jih lahko odstranili iz snovi z magneti. Oba elementa, najbolj pomembna pri tvorbi mreže v alkalijsko aktiviranem materialu, Si in Al, sta glede na EDXS prisotna v večjih deležih. Edini element, ki bi lahko kompenziral negativni naboj glede na EDXS, je Ca, ki ga je tudi največ med elementi 1. in 2. skupine glede na XRF, vendar kljub vsemu premalo glede na razpoložljiv Al.

Alkalno aktiviran odpadni livarski pesek je optično izgledal po celotnem volumnu enako, prikazano na SEM sliki na Sliki 3 a, kar pomeni, da je razpršenost različnih snovi v odpadnem livarskem pesku enakomerno

2.3.3 SEM and EDXS Analysis Before and After Synthesis

Average particle values in waste foundry sand, presented in **Table 4**, were determined at different magnitudes of scanning electron microscope. Size range is from under 1,5 μm to over 300 μm. BET specific surface of dried otherwise untreated waste foundry sand is 15,9734 m²/g.

Waste foundry sand is presented in Figure 2 at 35-times and 600-times magnification. Particles are of random shape with rounded edges. White particles visible on SEM micrographs present elemental Fe, which was confirmed by EDXS analysis, which is presented in Figure 2 c. Fe was not in form of large independent particles that could be removed from the material by magnets. Both elements, most crucial for matrix formation in alkali activated material, Si and Al, were according to EDXS present in larger amounts. Only the element detected by EDXS that would be able to compensate the negative charge is Ca, which, according to XRF, is among elements of 1st and 2nd group in the waste foundry sand in largest quantity. However, the whole amount of Ca in the precursor is not enough for available Al.

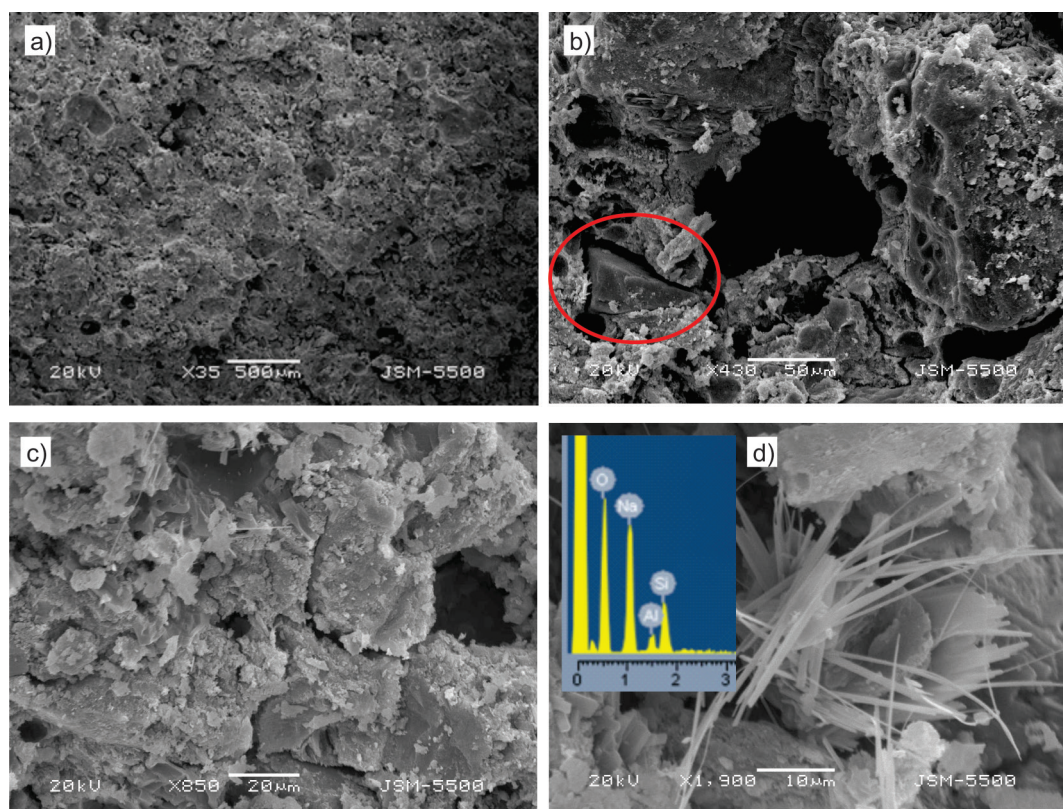


Sl. 2. SEM slika odpadnega livarskega peska pri povečavi a) 35 in b) 600. c) EDXS spekter praškastega vzorca

Fig. 2. SEM micrograph of waste foundry sand at magnification a) 35 and b) 600. C) EDXS spectrum of powder sample

porazdeljena, kot tudi, da je viskoznost pri sintezi bila dovolj velika, da ni omogočala več kot le tvorbe mreže ter lokalnih reakcij. Posledica le-teh so tudi enakomerno porazdeljene pore po celotnem volumnu različnih dimenzij. Nekatere od teh por so se sicer združile, a večina majhnih por je ostala ujetih v mreži, saj je bila očitno viskoznost dovolj visoka in strjevanje med njo dovolj hitro, da so bile migracije mehurčkov močno

Alkali activated waste foundry sand visually looked uniform throughout the whole volume, shown on SEM micrograph in Figure 3 a, which means that distribution of different substances in waste foundry sand is uniform, as well as that viscosity during synthesis was high enough to allow only formation of aluminosilikate matrix and local reactions. The result of local reactions is also pores of different dimensions



Sl. 3. SEM slike alkalijsko aktiviranega odpadnega livarskega peska, pripravljenega v razmerju livarski pesek : 8 M NaOH : Na-steklo : H_2O = 5 : 1 : 1 : 0, negovanega na 70 °C 24 h, ter sušenega pri sobnih pogojih pri povečavi a) 35, b) 430, c) 850 in d) 1900. Vstavljena slika prikazuje EDXS igličastih struktur ter okolico, ki jo zajame detektor.

Fig. 3. SEM micrographs of alkali activated waste foundry sand prepared in ratio foundry sand : 8 M NaOH : Na-glass : H_2O = 5 : 1 : 1 : 0, cured at 70 °C 24 h, dried at room conditions at magnification a) 35, b) 430, c) 850 and d) 1900. The inset represent EDXS needle-like structures with surrounding captured by detector.

ovirane (Slika 3 a). V strukturo je ujet tudi kremen (Slika 3 b v rdečem krogu) iz odpadnega livarskega peska, ki ni zreagirala z alkalijo in je le kot polnilo v alumosilikatni mreži. Alumosilikatna mreža je v obliki 2D kosmičev, če ni bilo dovolj reagentov v okolici, sicer pa je zrasla v 3D strukturo omejeno z okolico (kalup oz. nezreagirani kremen), prikazano na Sliki 3 c.

Igličaste strukture (Slika 3 d), neopažene s prostim očesom, so bile opažene pod SEM po več kot 6 mesecih od sinteze. Glede na EDXS, vstavljen na Sliki 3 d, so igličaste strukture zgrajene predvsem iz Na, tj. so posledica eflorescence soli iz prebitnega Na v sintezi, ki se ni vgradil v alumosilikatno mrežo ali pa bil uporabljen pri rasti novih kristalov med alkalno aktivacijo (novonastali minerali so predstavljeni v Tabeli 3).

3 Sklep

Med alkalijsko aktivacijo se kremen deloma raztaplja in vstopa v tvorbo mreže oz. sodeluje pri nastanku novih mineralov, ki polnijo mrežo. Prebitni Na v alkalno aktivirani sintezi, ki ni bil uporabljen za kompenzacijo negativnega naboja zaradi neustreznega koordinacijskega števila Al v alumosilikatni mreži, se uporabi med reakcijo pri tvorbi novih kristalov, preostanek pa se izloča v obliki soli skozi daljše časovno obdobje.

Najvišjo tlačno in upogibno trdnost, 27,7 MPa in 6,6 MPa, smo dosegli ob uporabi le Na-stekla s prekursorjem, s čimer smo se dovolj dobro približali ustrezni vrednosti dodatka Na za kompenzacijo naboja, hkrati ohranili reakcijo v bolj viskozni mešanici, alkalijsko aktiviran material pa je imel le manjši delež novih mineralov in ~60 % amorfne snovi.

Nega in sušenje po negi vplivata na rezultate tlačne in upogibne trdnosti. V primeru nege in sušenja pri sobnih pogojih,

throughout the whole volume. Some of these pores merged, but majority stayed trapped in the matrix, as viscosity was apparently high enough and solidification during curing fast enough that migration of bubbles was severely hindered (Figure 3 a). Also quartz, which was found in the waste foundry sand, was trapped in the alkali activated structure (Figure 3 b in red circle). Quartz obviously did not react with alkali and was present in aluminosilicate matrix only as filler. Aluminosilicate matrix is in form of 2D flakes, if there were not enough reagents in the surrounding area, otherwise it grew into 3D structure limited with boundary conditions (mold or not reacted quartz), shown in Figure 3 c.

Needle-like structures (Figure 3 d), not visible with naked eye, were observed under SEM after more than 6 months from the synthesis. According to the EDXS (inset in Figure 3 d) there are composed mainly from Na, i.e. they are consequence of the efflorescence of salt from excessive Na in the synthesis, which is not incorporated in the aluminosilicate matrix nor was used in crystal growth during alkali activation (newly grown minerals are presented in Table 3).

3 Conclusion

Quartz partially dissolved during alkali activation and was used either in matrix formation, or in formation of new minerals that are filling the matrix. Excessive Na in alkali activated synthesis, which was not used for compensation of negative charge due to the inadequate coordination number of Al in aluminosilicate matrix, is used during reaction for formation of new crystals, remaining Na goes out from the alkali activated material as salt with efflorescence over a long period of time.

je eksperiment neuspešen, v primeru nege na 70 °C, pa je rezultat trdnosti odvisen še od preostalih parametrov. Sušenje na 100 °C in z mikrovalovi izboljšata tlačno trdnost alkalijsko aktiviranemu odpadnemu livarskemu pesku, a izredno poslabšata upogibno trdnost.

Ugotovili smo, da z ustrezno izbiro vhodnih parametrov lahko predelamo odpadni livarski pesek v alkalijsko aktiviran material perspektiven za nadaljnjo uporabo v gradbeništvu. Za dokončno potrditev bodo potrebne še analize trajnosti tovrstnega materiala.

4 Zahvala

Projekt št. C3330-17-529032 „Raziskovalci-2.0-ZAG-529032“ je odobrila Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport. Naložbo sofinancirata Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj in Republika Slovenija.

Za uporabo XRF gre zahvala Uradu RS za meroslovje (MIRS).

Za pomoč pri delu se zahvaljujemo sodelavcem iz Laboratorija za cemente, malte in keramiko.

5 Viri / Reference

- [1] J. Davidovits, Geopolymers - Inorganic Polymeric New Materials, J. Therm. Anal., 37 (1991) 1633-56
- [2] J. L. Provis, S. J. van Denventer, Alkali Activated Materials, State-of-the-Art Report, Springer, Netherlands 2014
- [3] F. Škvara, Alkali activated material - geopolymer, http://www.geopolymery.eu/aitom/upload/documents/publikace/2007/2007_praha_skvara.pdf, 20. 12. 2017
- [4] J. C. Petermann, A. Saeed, M. I.

Highest compressive and bending strength, 27,7 MPa and 6,6 MPa, was achieved using only Na-glass with precursor, which was good enough approximation to appropriate value of addition of Na for charge compensation, at the same time reaction in more viscose mixture was retained, alkali activated material only had a smaller percentage of new minerals and ~60 % of amorphous phase.

Curing and drying after curing influences the results of compressive and bending strength. When curing and drying were performed at room conditions, the experiment was not successful, but when curing is performed at 70 °C, the strength's value depends also on other parameters. Drying on 100 °C and with microwaves improve compressive strength of alkali activated waste foundry sand, but at the same time drastically decreases the value of bending strength.

It was found, that with appropriate choice of input parameters waste foundry sand can be processed into alkali activated material promising for further use in building industry. For final approval, analysis of durability tests of alkali activated waste foundry sand have to be performed.

4 Acknowledgement

Project No. C3330-17-529032 "Raziskovalci-2.0-ZAG-529032" was granted by Ministry of Education, Science and Sport of Republic of Slovenia. The investment is co-financed by the Republic of Slovenia, Ministry of Education, Science and Sport and the European Regional Development Fund.

The Metrology Institute of the Republic of Slovenia is acknowledged for the use of XRF. Contribution of coworkers of Laboratorz of Cements, Mortar and Ceramics is greatly acknowledged.

- Hammons, Alkali activated geopolymers: a literature review, Air force research laboratory, materials and manufacturing directorate, 2010
- [5] S. Cho, Geopolymer composites and their application in stress wave mitigation, dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2015
- [6] P. Duxson, A. Fernández-Jiménez, J. L. Provis, G. C. Lukey, A. Palomo, J. Van Deventer, Geopolymer Technology: The Current State of the Art, *J. Mater. Sci.*, 42 (2007) 2917-33, doi: 10.1007/s10853-006-0637-z
- [7] B. V. Rangan, Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, Research Report GC4, Curtin University of Technology, Perth, Australia, 2008
- [8] D. M. J. Sumajouw, D. Hardjito, S. E. Wallah, B. V. Rangan, Fly ash-based geopolymer concrete: study of slender reinforced columns, *J. Mater. Sci.*, 42 (2007) 3124, doi: 10.1007/s10853-006-0523-8
- [9] D. Khale, R. Chaudhary, Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review, *J. Mater. Sci.*, 42 (2007) 729, doi: 10.1007/s10853-006-0401-4
- [10] B. Ingham, M. F. Toney, X-ray diffraction for characterizing metallic films, *Structure, Processing and Properties*, (2014) 3-38, doi: 10.1533/9780857096296.1.3
- [11] H. M. Rietveld, A profile refinement method for nuclear and magnetic structures, *Journal of Applied Crystallography*, 2 (1969), 65-71, doi: 10.1107/s0021889869006558
- [12] B. Horvat, A. Rečnik, G. Dražič, The growth of anatase bipyramidal crystals during hydrothermal synthesis, *Journal of Crystal Growth*, 347 (2012) 19-24, doi: 10.1016/j.jcrysgro.2012.03.027
- [13] Peter Duxson, John L. Provis, Grant C. Lukey, Seth W. Mallicoat, Waltraud M. Kriven, Jannie S. J. van Deventer, Understanding the relationship between geopolymer composition microstructure and mechanical properties, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 269 (2005) 47-58, doi: 10.1016/j.colsurfa.2005.06.060
- [14] A. C. Akhavan, The Silica Group, Overview of Silica Polymorphs, http://www.quartzpage.de/gen_mod.html, last accessed: 07. 12. 2018
- [15] K. H. Brosnan, G. L. Mesing, D. K. Agrawal, Microwave Sintering of Alumina at 2.45 GHz, *Journal of the American Ceramics Society*, 86 (2003) 1307-1312, doi: 10.1111/j.1151-2916.2003.tb03467.x
- [16] C. Rodriguez-Navarro, E. Ruiz-Agudo, A. Luque, A. B. Rodriguez-Navarro, M. Ortega-Huerta, Thermal decomposition of calcite: Mechanisms of formation and textural evolution of CaO nanocrystals, *American Mineralogist*, 94 (2009) 578-593, doi: 10.2138/am.2009.3021

AKTUALNO / CURRENT**Seje organov Društva livarjev Slovenije**

Letošnji letni Občni zbor Društva livarjev Slovenije, v nadaljevanju Društvo, je potekal v podjetju Hidria d.o.o., v obratu Livarne v Kopru. Pred Občnim zborom sta kot običajno v tem času potekala na isti lokaciji še Nadzorni in Izvršni odbor Društva.

Pred sejo Občnega zbora je predstavnik gostitelja, vodja livarne, Martin Hladnik pozdravil vse prispele delegate in s PowerPoint projekcijo predstavil vse proizvodne programe podjetja s poudarkom na livarskem delu proizvodnje. Po tej predstavitvi so se vsi delegati lahko udeležili ogleda livarskih obratov.

Osrednji točki dnevnega reda na vseh organih Društva sta bili:

- Poročilo predsednice o delu in finančnem poslovanju Društva v letu 2018, s stališčem Nadzornega odbora,
- Program dela Društva za leto 2019.

Vsi delegati Občnega zbora so s sklicem prejeli oba osrednja gradiva v pisni obliki.

Program dela Društva za leto 2018, je bil v precejšnjem obsegu realiziran. Odstopanja od načrta so evidentna pri programu načrtovanih seminarjev, in sicer zaradi premajhne najavljene udeležbe za seminar na temo spremljanja kakovosti livarskih peskov, ki je bil predviden v ÖGI-Avstrijskem livarskem inštitutu v Leobnu, je le-ta bil odpovedan. Prav tako smo v februarju opustili organizacijo do tedaj tradicionalnega seminarja s tematiko okoljevarstvene problematike za livarne, saj je Služba za okolje z Gospodarske zbornice Slovenije ocenila, da v letu 2018 ni bilo na tem področju veliko novega in se jim ni zdelo smiselno, da bi cel delovni dan namenili zadevam, ki smo jih leto poprej že obravnavali. S strani nekaterih članic je še pred iztekom tega programskega obdobja prišla pobuda, da bi letos pozornost posvetili področju varovanja in varstva delavcev na delovnem mestu. To pobudo smo upoštevali in je zato ta tema uvrščena v program dela Društva za leto 2019.

V delu programa sodelovanja Društva z drugimi sorodnimi organizacijami je bila odpovedana prireditve IFF v Amsterdamu. To udeležbo smo nadomestili na dogodku WFO, World Foundry Summit, v Rimu.

Skladno s programskimi usmeritvami za leto 2018 smo zadnji mesec programskega obdobja zaposlili v pisarni Društva preko študentskega servisa še enega študenta za štiri ure na dan, predvsem zaradi priprav na WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019.

Seminarji, ki so bili izvedeni skladno s programom za leto 2018 so naslednji:

A/ Seminarji za neželezne livarne

1. **Enodnevni seminar za tlačne livarne »Jet cooling in mazanje tlačnih orodij«,** Seminar je bil organiziran dne 15.3. 2018 na Gospodarski zbornici Slovenije. Izvajalci seminarja so bila podjetja: Lethiguel SAS, predstavništvo iz Nemčije, Baraldi srl iz Italije in Olma d.o.o., Slovenija. Seminarja se je udeležilo 29 slušateljev, ki so strokovno raven in organizacijo seminarja zelo dobro ocenili.

2. Tridnevni seminar najvišje zahtevnostne stopnje za strokovnjake visoko tlačnega litja

Seminar je potekal v času od 7. do 9.11.2018 na lokaciji podjetja Bühler, Üzwil v Švici. Seminarja se je udeležila skupina desetih strokovnjakov iz največjih slovenskih livarn, ki so strokovno raven le-tega zelo visoko ocenili.

3. Dvodnevni seminar za tlačne livarne »HPDC 2 - advanced (hands-on)«,

Seminar je potekal v času od 14. do 15.11.2018 v ÖGI-Avstrijskem livarskem inštitutu v Leobnu. Seminarja se je po propozicijah inštituta, lahko udeležila skupina samo dvanajstih slušateljev.

B/ Seminarji za železove livarne

1. Enodnevni seminar na temo »Gating and Riser Design for Gray Cast and Ductile Iron« (Načrtovanje ulivnega in napajalnega sistema pri sivi in nodularni litini).

Izvajalec tega seminarja je bil dr. Konrad Weiss iz podjetja RWP GmbH iz Nemčije. Seminar je potekal v Portorožu, dne 12.9.2018 udeležilo pa se je 21 slušateljev. Seminar je bil dobro ocenjen s strani slušateljev, s tem, da bi se ta ocena po mnenju slušateljev lahko izboljšala, če bi bilo predstavljeno še večje število praktičnih primerov.

2. Dvodnevni seminar na temo »Formanje in materiali za peščena jedra« (tematik vezana na praktično preizkušanje livarskih peskov).

Ta seminar je bil predviden in že dogovorjen z ÖGI - Avstrijskim livarskim inštitutom v Leobnu za oktober 2018, ni pa bil izpeljan, ker nam v tistem času ni uspelo pridobiti zadostnega števila udeležencev iz livarn in tudi s strani dobaviteljev livarskih peskov.

Finančno poslovanje je v letu 2018 potekalo v skladu z načrtovano projekcijo prihodkov in odhodkov. Na razpisih za dotacije za izdaje Livarskega vestnika, za del članarine WFO-Svetovne livarske organizacije in za stroške udeležbe na generalni skupščini WFO v Krakovu, smo bili uspešni. Ker se je blagajna države v lanskem letu polnila bolje kot leto poprej, smo po sprejetih sklepih ažurno prejeli tudi vsa nakazila iz tega naslova.



Seja Izvršnega odbora Društva



Seja Nadzornega odbora
Društva

Društvo je v letu 2018 ustvarilo prihodke v višini 118 127,14 EUR, kar je sicer manj kot v letu 2017, ko smo imeli večjo udeležbo na livarski razstavi v Portorožu in po strukturi razstavljalcev več sponzorjev. Skladno s prihodki so se gibal tudi stroški, katere smo uspešno obvladovali, navkljub dodatnim stroškovnim obremenitvam, ki smo jih imeli s pričetimi pripravami na naš letošnji osrednji livarski dogodek WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019.

Delež članskih prispevkov članov Društva v ustvarjenih prihodkih je še vedno relativno nizek (22%), kar pomeni, da je 78% finančnih sredstev bilo pridobljeno iz drugih finančnih virov.

Finančni izidi oziroma razlika med prihodki in stroški znaša -320,35 EUR. Glede na vrsto dodatnih stroškovnih obremenitev, ki so nastale iz naslova že omenjenih priprav na veliki livarski dogodek v letošnjem letu v Portorožu in dejstva, da je le-te v celoti pokrilo Društvo, brez finančnih obremenitev članov Društva, so s takim poslovnim izidom lahko zadovoljni, predvsem člani kot tudi vodstvo Društva.

Nadzorni odbor Društva je po pregledu finančnega poslovanja za leto 2018 ugotovil, da je finančno poslovanje Društva v letu 2018 bilo vodeno v skladu z veljavnimi računovodskimi standardi za društva. Poraba sredstev je potekala v skladu s programom Društva sprejetim na Občnem zboru Društva, dne 28.2.2019.

Občni zbor je sprejel program dela Društva za leto 2019 (programsko obdobje šteje od februarja 2019 do februarja 2020). V programu so zajete naslednje programske točke:

- izdaja štirih rednih številk livarske revije Livarski vestnik,
- izvedba osrednjega livarskega dogodka WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019, pri čemer se bo vodstvo trudilo tako, kot že v fazi priprav v lanskem letu, da člani Društva ne bodo dodatno obremenjeni (višina članskih prispevkov, vključno z minimalnim članskim prispevkom, ostane na istem nivoju kot v lanskem letu),
- izmenjava Livarskega vestnika z vrsto svetovnih livarskih revij,
- sodelovanje s sorodnimi livarskimi združenji v Nemčiji, Avstriji, na Hrvaškem in v Srbiji,
- priprava statističnih podatkov o livarski proizvodnji v letu 2018,
- izpolnjevanje pogojev za delovanje Društva v javnem interesu in na tej podlagi sodelovanje oziroma priprava za razpise ARRS za Livarski vestnik, članarina WFO in

sodelovanje Društva v organih svetovnih organizacij,

- organizacija seminarjev po predlogu komisij za izbor seminarskih tem.
V nadaljevanju predstavljamo sprejet program seminarjev za leto 2019:

1. Za železove livarne

Komisija za izbor seminarskih tem za železove livarne je na podlagi zbranih pobud in predlogov članov Društva in pridobljenih programov možnih izvajalcev predlagala naslednja dva seminarja:

1.1 Enodnevni seminar na temo »Formanje in materiali za peščena jedra« (tematika vezana za preizkušanje livarskih peskov). Komisija je ocenila, da bi ta seminar, ki je že bil na programu lansko leto in ni bil izpeljan, lahko uvrstili v program v določeni modificirani obliki. ÖGI Leoben bi predlagali organizacijo seminarja v Sloveniji (predvidoma Gospodarska zbornica Slovenije), ki bi vključeval samo teoretični del brez praktičnega dela. Znotraj te seminarske teme pa je komisija opredelila obravnavo naslednjih vsebin:

- a) Formarske peščene mešanice s poudarkom na bentonitih (tehnologija priprave, sestavine, dodatki, lastnosti peščene mešanice, tehnologija izdelave form),
- b) Livarske napake; prepoznavanje, pravila definicij le-teh, načini odprave, vpliv napak na funkcionalnost izdelkov, skrite napake – po obdelavi, načini odkrivanja le-teh, poimenovanje in pristopi k odpravi le-teh,
- c) Obravnava furanskih peskov z vidika možnosti zamenjave le-teh zaradi ekoloških razlogov.

Po pogojih ÖGI Leoben je število udeležencev na tem seminarju omejeno na največ 12 slušateljev.

1.2 Enodnevni seminar na temo »Heat treatment Ferrous– The base to achieve mechanical Properties« (Toplotna obdelava kot osnova za doseganje mehanskih lastnosti). Izvajalec seminarja bo dr. Konrad Weiss iz podjetja RWP GmbH, iz Nemčije. V programu seminarja so naslednji vsebinski sklopi:

- a) Heat treatment for ferrous alloys (background basics)
- b) Providing/building TTT diagram
- c) Local heat treatment (background)
- d) Examples: mining parts

Število udeležencev za seminar ni omejeno.



Seja Občnega zbora Društva

2. Za neželezne livarne

Komisija za izbor seminarskih tem za neželezne livarne je na podlagi zbranih pobud in predlogov članov Društva in pridobljenih programov možnih izvajalcev, predlagala naslednje tri seminarje:

2.1 Enodnevni jesenski seminar HPDC 2 (nadaljevalni) brez praktičnega dela v Sloveniji z izvajalcem ÖGI Leoben, Avstrija. Komisija priporoča, da se pri izboru udeležencev upošteva njihova trenutna stopnja v znanju in izkušnjah v tej tehnologiji. Po pogojih ÖGI Leoben je število udeležencev na tem seminarju omejeno na največ 12 slušateljev.

2.2 Enodnevni seminar pod naslovom »Heat treatment Non ferrous - the base to achieve mechanical Properties« (Toplotna obdelava kot osnova za doseganje mehanskih lastnosti).

Izvajalec seminarja bo dr. Konrad Weiss iz podjetja RWP GmbH, iz Nemčije. V programu seminarja so naslednji vsebinski sklopi:

- a) Heat treatment for non ferrous alloys (background basics)
- b) Providing/building TTT diagram
- c) Local heat treatment (background)
- d) Al-piston heat treatment
- e) Examples: automotive parts

Število udeležencev za seminar ni omejeno.

2.3 Komisija predlaga nadaljevanje sodelovanja s podjetjem Bühler, Švica, za isto strukturo kadrov kot na lanskem seminarju (najbolj usposobljeni in izkušeni kadri). Predlaga se tridnevni seminar z organizacijo skupnega prevoza (minibus v Üzwil, Švica).

To pot bi seminar bil namenjen za konstrukterje in razvojne tehnologe. Tematsko pa bi želeli poglobiti predvsem znanja po naslednjih temah:

1. Dimenzioniranje ulivnega sistema (dolžina, prečni prerezi, hitrost in temperatura),
 2. Ogrevanje / hlajenje orodij HPDC v luči novih prihodnjih naprednih tehnologij,
 3. Nadzor temperature HPDC orodij med postopkom litja (npr. Pri uporabi kontrolne termo kamere ali različnih senzorjev)
 4. Izbira najprimernejšega livnega materiala s posebnimi lastnostmi za tlačno litje z vidika drugih procesov v procesu finalizacije ulitka (npr. Toplotna obdelava (pred in po strojni obdelavi), zlitine s povečanimi mehanskimi lastnostmi brez toplotne obdelave. Primerne zlitine za nadaljnjo površinski obdelavo (anodizacija, premazi,...)
- Skupina je omejena na 10 slušateljev po pogojih Bühler AG.

3.3 V aprilu mesecu bomo za vse člane Društva organizirali seminar pod naslovom **»Varnost in varovanje zdravja delavcev«**, kjer bomo predvsem preverili in poglobili znanja o aktualni zakonodaji in novostih, zlasti o Pravilniku o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu-Uradni list RS št. 78/2018. V programu bo nadalje Promocija zdravja na delovnem mestu z vidika preventive in na koncu še dobre prakse projektov »Zdravi na kvadrat«.

Pripravila:
Mag. Mirjam Jan-Blažič

Pregled svetovne livarske proizvodnje v letu 2017

Letošnji pregled svetovne livarske proizvodnje za leto 2017, ki ga tradicionalno pripravlja vsako leto ameriška livarska revija Modern Casting, pokaže, da se je svetovna livarska proizvodnja povečala na več kot 109,8 milijona ton, kar je 5,3% več kot v letu 2016.

Skoraj 110 milijonov ton zlitin, proizvedenih v letu 2017, predstavlja povečanje proizvodnje za 5,5 milijona ton. Taka stopnja rasti prihaja po dveh letih manj kot pol odstotne rasti.

Individualne države										
Država	Siva litina	Nodularna litina	Temprana litina	Jeklo litina	Baker	Aluminij	Magnezij	Cink	Druge neželezne	Skupno
Avstrija	42.900	102.900	A	10.800	-	148.287	-	-	-	304.887
Belorusija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	258.900
Belgija	26.900	8.400	A	7.300	-	799	-	-	-	43.399
Bosna in Hercegovina*	17.500	9.100	-	1.350	-	10.500	-	-	-	38.450
Braziliija	1.261.107	517.222	-	186.616	20.811	223.359	5.458	1.154	-	2.215.727
Bolgarija	30.300	9.200	A	10.400	292	5.540	-	42	-	55.774
Kanada	330.841**	-	-	90.091**	14.237**	211.374 B	-	-	-	646.543
Kitajska	21.150.000	13.750.000	600.000	5.550.000	800.000	7.300.000 C	-	-	250.000	49.400.000
Hrvaška*	31.100	11.800	-	50	221	25.174	-	25	15	68.385
Češka Republika	176.000	55.000	A	64.000	20.000	101.000	-	1.000	-	417.000
Danska	27.500	56.100	A	-	1.292	3.014	-	-	100	88.006
Egipt	175.000	-	-	10.000	8.000	7.000	-	-	-	200.000
Finska	19.500	36.300	A	6.200	3.247	2.548	-	101	-	67.896
Francija	574.100	696.300	A	60.400	17.877	346.899	-	24.719	2.501	1.722.796
Nemčija	2.421.400	1.587.700	A	175.800	79.192	1.137.096	18.190	62.188	4	5.481.570
Madžarska	24.600	54.500	A	3.100	1.799	124.229	327	1.717	-	210.272
Indija	8.442.300	1.227.200	50.000	1.030.200	-	1.305.400	-	-	-	12.055.100
Italija	775.800	425.100	A	54.100	71.007	856.381	8.001	72.007	700	2.243.096
Japonska	2.281.000	1.403.612	42.000	161.900	75.401	1.489.700 D	-	-	-	5.453.613
Koreja	1.019.800	686.500	2.000	159.800	25.700	629.400	-	-	13.000	2.536.200
Mehika	892.188	526.897	-	373.965	217.200	817.911	-	81.300	-	2.909.461
Norveška	8.300	21.100	A	-	-	8.883	-	-	-	38.283
Pakistan	163.000	24.730	-	45.550	15.544	17.600	-	-	-	266.420
Poljska	480.000	160.000	A	50.000	6.100	330.000	-	7.500	2.900	1.036.500
Portugalska	41.500	97.200	A	5.900	16.800	35.000	-	2.250	-	198.650
Romunija	20.000	3.500	-	7.000	4.500	70.000	7.000	500	250	112.750
Rusija	2.637.500 E	-	-	862.500	-	725.000 F	-	-	-	4.225.000
Srbija	26.300	3.100	-	18.150	3.100	10.120	1	30	-	60.801
Slovenija	75.100	38.600	A	30.200	842	51.209	-	-	-	195.951
Južna Afrika	140.000	157.000	-	93.500	14.000	38.000	-	500	-	433.000
Španija	365.700	698.100	A	64.900	15.096	141.810	-	8.941	850	1.295.397
Švedska	159.400	55.600	A	21.750	8.312	46.138	1.138	9.274	-	301.612
Švica	36.500	22.800	A	1.100	2.021	13.373	-	1.209	-	77.003
Tajvan	605.081	208.293	-	66.193	30.826	368.286	-	-	-	1.278.679
Turčija	720.000	825.000	A	170.000	25.000	380.000	-	35.000	-	2.155.000
Ukrajina**	400.000	120.000	30.000	580.000	60.000	280.000	15.000	25.000	50.000	1.560.000
Velika Britanija	138.000	196.000	A	44.700	8.500	136.200	2.640	7.350	-	533.390
ZDA	3.327.027	2.633.294	40.034	1.264.026	209.369	1.679.072	138.890	325.062	51.292	9.668.066
SKUPNA SVETOVNA PROIZVODNJA	49.043.244	26.428.148	764.034	11.281.541	1.776.282	19.076.302	196.645	666.869	371.612	109.863.577
*podatki iz 2016 E vse železno litje **podatki iz 2015 A vključuje temprano litino B vir: Aluminium Association C vključuje magnezij D vključuje celotno tlačno livarstvo F vse neželezovo litje										

Število livarn po državah

Država	Siva litina	Jeklo litina	Neželezne	Skupno 2017
Avstrija	20	3	33	56
Belorusija	-	-	-	135
Belgija	-	-	6	6
Bosna in Hercegovina*	5	2	4	11
Brazilijska	452	153	565	1.170
Bolgarija	-	-	18	18
Kanada**	-	-	-	175
Kitajska*	14.000	4.000	8.000	26.000
Hrvaška*	26	5	-	31
Češka Republika	-	-	37	37
Danska	8	-	7	15
Finska	11	7	14	32
Francija	-	-	-	380
Nemčija	192	45	337	574
Madžarska	27	7	86	120
Indija	-	-	-	4.600
Italija	139	37	862	1.038
Japonska**	-	-	-	1.612
Koreja	550	-	100	650
Mehika	-	-	-	800
Norveška	5	-	6	11
Pakistan	1.595	60	185	1.840
Poljska	180	35	240	455
Portugalska	23	8	57	88
Romunija	-	-	-	100
Rusija*	-	-	-	1.140
Srbija*	11	8	17	36
Slovenija	-	-	45	45
Južna Afrika	38	43	86	167
Španija	46	29	52	127
Švedska	26	12	61	99
Švica	15	2	39	56
Tajvan	-	-	-	-
Turčija	441	105	386	932
Ukrajina	-	-	-	-
Velika Britanija*	270	280	290	840
ZDA	617	341	977	1.935
SKUPNO	18.697	5.182	12.510	45.331

*podatki iz 2016 **podatki iz 2015

Od 33 držav, ki so posredovale podatke za zadnji dve leti, jih je kar 25 poročalo o povečanju letne proizvodnje v primerjavi med letoma 2017 in 2016. Poljska je povečala svojo proizvodnjo za 22,1%, pri čemer je presežek dosegla na področju zlitin. Med desetimi največjimi državami proizvajalkami je Rusija, ki je v letu 2017 dosegla najvišjo rast skupne proizvodnje za 8,3%.

Kitajska je s povečanjem proizvodnje za dva milijona ton dosegla skupno 49,4 milijona ton. Medtem pa so v ZDA dosegli skupno 4% povečanje tonaže, v Indiji pa izstopa proizvodnja sive litine s 6,2% povečanjem.

Skupna proizvodnja železovih litin se je povečala, pri čemer je največje doseženo 6% povečanje pri proizvodnji sivega železa, proizvodnja nodularne litine pa je dosegla 3,8 % povečanje. Proizvodnja jekla beleži povečanje v višini 6%, proizvodnja aluminija pa 6,7%.

Podatki, ki so navedeni v popisu svetovne livarske proizvodnje, so posredovani s strani vsakega nacionalnega livarskega združenja ali podobnih predstavništev, kot tudi s strani the World Foundry Organization in CAEF-Evropsko livarsko združenje

Članek s podatki smo povzeli iz livarske revije ameriškega društva livarjev, MODERN CASTING, december 2018.

Uredila: Mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

VDI

Strokovno posvetovanje »Tehnologija litja v konstrukciji motorjev«

V času od 29. do 30. januarja letos je potekalo že 10. VDI – strokovno posvetovanje pod naslovom **»Gießtechnik im Motorenbau 2019«**. Gre za strokovno srečanje vrste strokovnjakov, pretežno iz industrije (cca. 400 udeležencev), zato vsakokrat ponuja kombinacijo vrste zanimivih in pomembnih informacij. Posvetovanje je na visoki strokovni ravni in pri tem vključuje veliko praktičnih primerov. V ospredju so predvsem inovacije in trendi na trgu, zato udeležbo na tem srečanju priporočamo vsem podjetjem, ki so dobavitelji za avtomobilsko industrijo. Lite komponente v konstrukciji motorjev namreč ostajajo osrednje področje inovacij. Udeležba je posebno primerna za vodstva odgovorna za tehnična vprašanja, kot tudi vrhovna vodstva podjetij. To posvetovanje je skozi leta postalo najpomembnejši forum za livarne in proizvajalcev motorjev v nemško govorečih državah. Letos je tudi prvič vzporedno potekala konferenca za strokovnjake iz industrije

velikih in gospodarskih vozil. V nadaljevanju tega strokovnega srečanja je potekalo še eno posvetovanje na temo **»Simulacije v livarstvu«**. En dan pred uradnim pričetkom 10. VDI – tj. 29.1.2019, so bili možni ogledi livarn in sicer: Livarna avtomobilskega velikana VOLKSWAGEN AG v Braunschweigu, NEMAK Wernigerode GmbH v Wernigerode, TRIMET Automotive Holding v Harzgerode in KSM Castings Group GmbH, Wernigerode.

Spremembe, ki prihajajo in se že dogajajo v smeri E-mobilnosti in **»Downsizing«** koncepta, postajajo veliki izziv, za klasične livarne delov za motorje in komponent. Potrebno bo upoštevati in se prilagoditi zahtevam po novih materialih za litje, postopkih izdelave orodij in jeder, po novih partnerskih odnosih in po konceptih zagotavljanja kakovosti.

Predsednica Društva, mag. M. Jan-Blažić, prof. dr. R. Bähr – predsednik Organizacijskega odbora posvetovanja in mag. A. Bieler-Brockmann – generalna sekretarka



V kontekstu te vsebine se odpirajo predvsem naslednja vprašanja:

- Kakšna je prihodnost motorja z notranjim izgorevanjem?
- Kakšni tehnični potenciali so še na voljo?
- Kakšni gospodarski prispevek ima danes sedanja tehnologija litja v konstrukciji motorjev pri osebnih avtomobilih, kmetijskih in gradbenih strojih, strojih za posebne namene, ladje, železniškem programu, kot tudi pri gospodarskih vozilih?
- Kakšne spremembe prinaša vse večja elektrifikacija in kaj to pomeni za razvoj in proizvodnjo v interakciji s proizvajalci opreme in drugimi dobavitelji za livarsko industrijo ter znanostjo?

Eno od sporočil, ki se je poudarjeno omenjalo na tem srečanju, je bilo tudi to, da se bodo livarne za preskok v novo obdobje morale kar hitro odločati za precejšen obseg novih naložb, ker bo od tega prilagajanja in potrebnega prestrukturiranja odvisen njihov bodoči obstoj.

AKTUALNO / CURRENT



19. dan tlačnega litja

Dne 26.februarja 2019 so Nemško združenje tlačnih livarn(VUU), Zvezno združenjem nemških livarske industrije (BDG) in podjetje Oskar Frech (slednji kot generalni pokrovitelj dogodka) organizirali 19. Dan tlačnega litja v Schorndorfu, rojstnem kraju R. Daimlerja, s programom predavanj in razstavo. Na slednji so sodelovali dobavitelji za livarsko industrijo



Barbara-Künkelin-Halle

in izobraževalne ustanove ter inštituti. Prireditve je potekala v Barbara-Künkeln-Halle. Na predvečer dogodka je bil organiziran livarski večer v Emilie F. paviljonu podjetja Oskar Frech GmbH + Co. KG v Plüderhausnu (cca. 7 km od Schorndorfa).

V programu predavanj so bili predstavljeni gospodarski in tehnološki izzivi ter priložnosti proizvajalcev in odjemalcev v livarski branži. Šlo je za zanimiv informativni forum livarskih strokovnjakov, ki je omogočil izmenjavo idej ter ohranjanje in vzpostavljanje novih stikov.

V programu konference so bile obravnavane vrste različnih tem:

- Aluminij kot trajnostni material za tlačno litje
- Nove poti v tehnologiji tlačnih orodij
- Ali so električna vozila pred prebojem?
- Večja učinkovitost pri tlačnem litju zaradi digitalne transformacije
- Analiza potenciala zlitine za tlačno litje AlSi9Cu3 (Fe) na podlagi študije primerov
- Vpliv premazov na lepljivost strukturnih komponent pri vlivanju
- Nanoprevleka - inovativna korozijska zaščita Zn-tlačnih ulitkov
- Proizvodnja aditivov za tlačno litje
- 4 izzivi pri litju aluminija
- Preoblikovanje mobilnosti, digitalizacija in strojništvo

To priložnost udeležbe na konferenci smo izkoristili za predstavitev in vročanje vabil za naš letošnji osrednji livarski dogodek v Portorožu.

Poročala: Mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

Koledar livarskih prireditev 2019

Datum dogodka	Ime dogodka	Lokacija
11.-12.04. 2019	63. Österreichische Gießerei Tagung	Schladming, Avstrija
27.-30.04. 2019	CastExpo	Atlanta, USA
07.-10.05. 2019	33. Control Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung	Stuttgart, Nemčija
08.-09.05. 2019	Aalener Gießerei-Kolloquium	Aalen, Nemčija
14.-15.05. 2019	DFO-Tagung: "Oberflächenvorbehandlung und Korrosionsschutz im Multimaterial-Leichtbau"	Münster, Nemčija
15.-16.05. 2019	Stainless 2019	Brno, Češka
21.-24.05. 2019	Moulding Expo 2019	Stuttgart, Nemčija
05.-07.06. 2019	MME SEE 2019	Beograd, Srbija
25.-29.06. 2019	GIFA, NEWCAST, METEC, THERMPROCESS	Düsseldorf, Nemčija
18.-20.09. 2019	WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož 2019	Portorož, Slovenija
26.-27.09. 2019	Metallurgie-Kolloquium 2019	Clausthal-Zellerfeld, Nemčija



The WORLD
FOUNDRY ORGANIZATION
TECHNICAL FORUM
and
59th IFC PORTOROŽ 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

THERM PROCESS



The Bright World of Metals

25-29 JUNIJ
DÜSSELDORF
NEMČIJA **2019**

THERM PROCESS

12TH INTERNATIONAL TRADE FAIR
AND SYMPOSIUM FOR
THERMO PROCESS TECHNOLOGY

Ni
worldwide

Nove rešitve na področju materialov s pomočjo toplotne obdelave

Sejem THERMPROCESS in simpozij pokrivata vse poslovne vidike industrijskih naprav za toplotno obdelavo – z novostmi in inovacijami na področju industrijskih peči, naprav za proizvodnjo toplote in termo-procesnih tehnik.

Platforma za prenos know-how-a

Predavanja o zadnjih razvojnih dosežkih iz sveta znanosti, raziskav in industrije odlično dopolnjujejo sejem.

**Dobrodošli
v Düsseldorfu!**



eco Metals
EFFICIENT PROCESS SOLUTIONS

_FOGi

thermprocess-online.com
tbwom.com

Svet sejmov d.o.o.
Ulica Rozke Usenik 10_1210 Ljubljana – Šentvid
Tel: 01 513-1480 _info@sejem.si
www.sejem.si



Messe
Düsseldorf

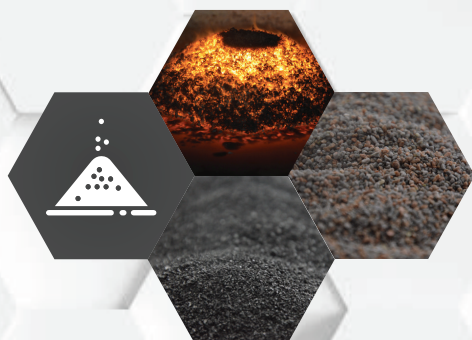
PRODUCTS FOR FOUNDRIES AND STEELWORKS



**COATINGS FOR
FOUNDRIES**



**THERMOINSULATION
MATERIALS FOR
STEELWORKS AND
FOUNDRIES**



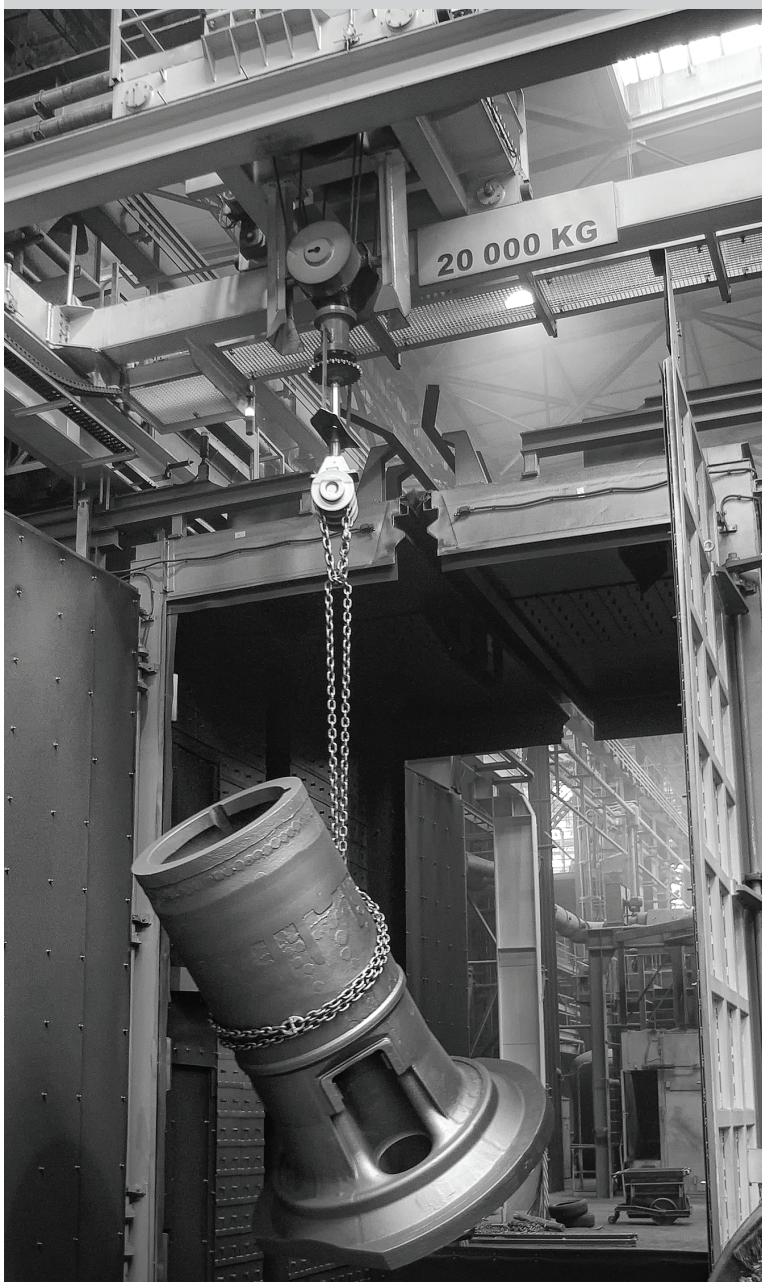
OTHER PRODUCTS
*ferro alloys, inoculants,
nodulators, recarburisers*



REPRESENTATIVES
*Magma, Tribo - Chemie,
Henschke*

 **exoterm-it**

exoterm@exoterm.si



STEM d.o.o.

Vipavska cesta 67
5000 Nova Gorica
Slovenija

tel.: +386 5 33 52 100

fax: +386 5 30 01 558

e-mail: info@stem.si

www.stem.si



2017



Zlata odličnost

©Soliditet

STEM d.o.o.

Matična št.: 5306779
Bisnode d.o.o., 2.2.2018

PESKALNA TEHNIKA



TERMIT



Družba TERMIT je rudarsko podjetje
za pridobivanje kremenovih peskov

NAŠ PROGRAM:

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

www.termit.si