

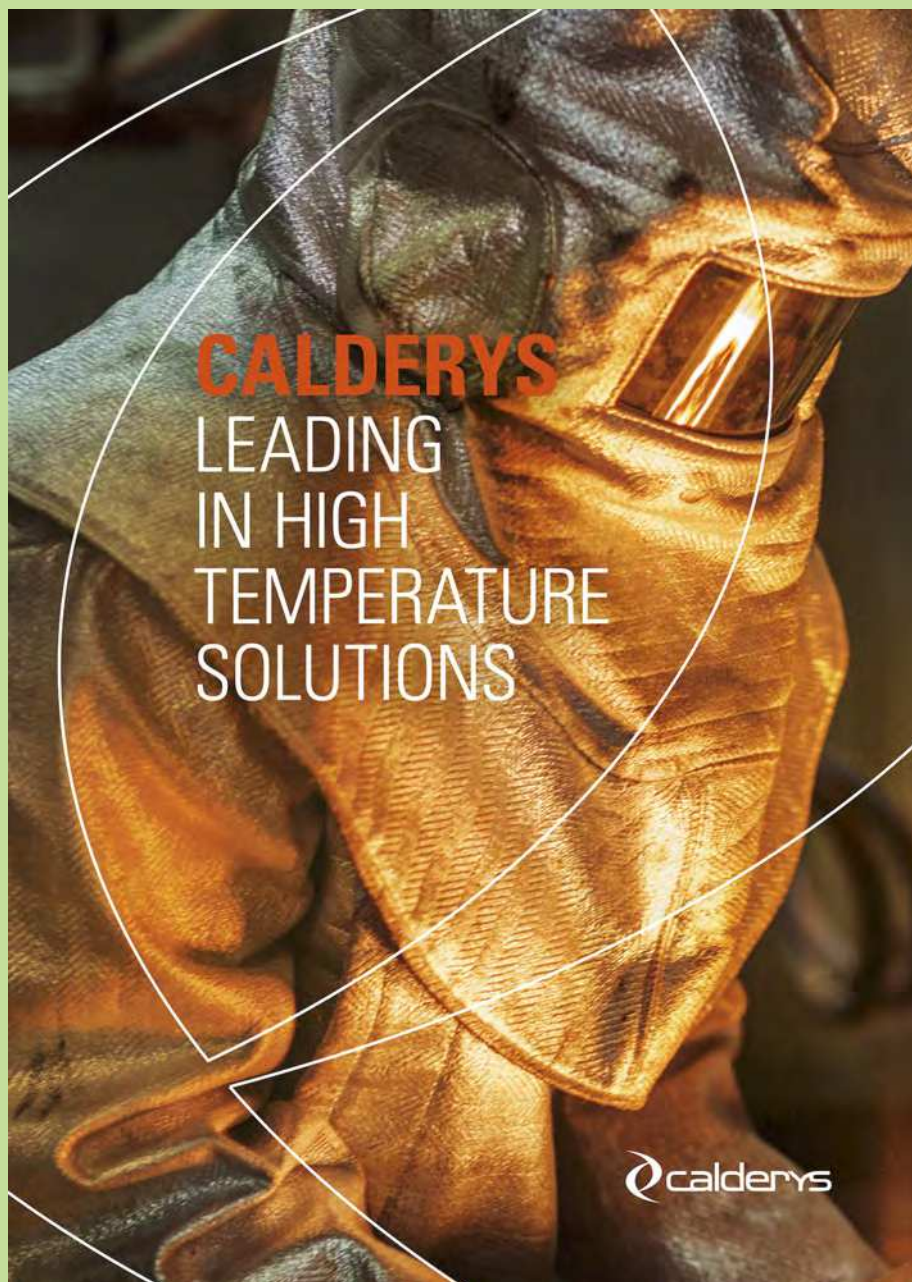
LIVARSKI VESTNIK

70/2023

3



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY



PRODUCTS FOR FOUNDRIES AND STEELWORKS



**COATINGS FOR
FOUNDRIES**



**THERMOINSULATION
MATERIALS FOR
STEELWORKS AND
FOUNDRIES**



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



REPRESENTATIVES
*Magma, Tribo - Chemie,
Henschke*



exoterm@exoterm.si

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

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

Glavni in odgovorni urednik / Chief and responsible editor:

prof. dr. Alojz Križman
E-mail: alozj.krizman@um.si

Tehnično urejanje / Technical editing:

mag. Mirjam Jan-Blažič

Uredniški odbor / Editorial board:

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

Prevod v angleški jezik / Translation into English:

Marvelingua, Aljaž Seničar s.p.

Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:
Yvonne Rosteck, Düsseldorf
Slovenski jezik / Slovene: Marvelingua,
Aljaž Seničar s.p.

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

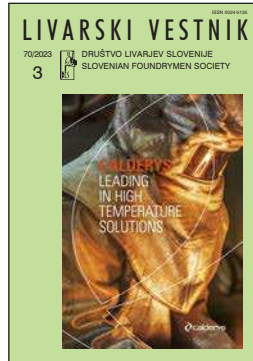
Naklada / Circulation:

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

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: september 2023



Calderys Austria GmbH
IZ-NÖ-Süd, StraÙe 16, Objekt 69/4
AT-2355 Wiener Neudorf, Austria

Director: Christian SPIES

Tel: +43 (0) 2236 677 090 39
Fax: +43 (0) 2236 677 090 80
Email: austria@calderys.com

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

- Edo Meyer, Ashley Stone: Prihodnost lahkih kovinskih delov: postopek MAXImolding®, stroj MAXImolding®, stiskalnica Multi-Shot-Multi-Injectors-Press (TERApress™ majhnih dimenzij) v pametnih digitalnih livarnah / **The Future of Lightweight Metal Parts: The MAXImolding® Process, the MAXImolding® Machine, Multi-Shot-Multi-Injectors-Press (TERApress™ at small size) in Smart Digital Foundries** 122
- L. Lazić, M. Lovrenić-Jugović, M. Borošić: Določanje razmerja kovinskih komponent šarže v kupolki / **Determining the Ratio of the Metal Components of the Charge at the Cupola Furnace** 137
- Suresh Kumar Subbarayalu, Muralidhar Manapuram: Stanje električnih lahkih motornih vozil v Indiji: Raziskava / **Status of Electric Light Motor Vehicles in India: A Study** 145
- K. Delijić, M. Filipović, V. Manojlović: Korozijsko vedenje krogel za mletje iz belega litega železa z visoko vsebnostjo kroma, izdelanih s cepivom Al5Ti1B / **Corrosion Behavior of High-Chromium White Cast Iron Grinding Balls Produced with Al5Ti1B Inoculant** 154

AKTUALNO / CURRENT

- Povzetki predavanj s 65. Avstrijske livarske konference (2. del) 167
- Seminar za železne livarne v izvedbi HA Group 171
- Pregled livarskih prireditev v letu 2023 in 2024 175
- Poročilo s 63. IFC Portorož 2023 (prvi del) / **Report From The 63rd IFC Portorož 2023 (Part One)** 176
- Galerija slik vseh sponzorjev-razstavljalcev na 63. IFC Portorož 2023 181
- Sponsors / Pokrovitelji 186

Prihodnost lahkih kovinskih delov: postopek MAXImolding®, stroj MAXImolding®, stiskalnica Multi-Shot-Multi-Injectors-Press (TERApress™ majhnih dimenzij) v pametnih digitalnih livarnah

The Future of Lightweight Metal Parts: The MAXImolding® Process, the MAXImolding® Machine, Multi-Shot-Multi-Injectors-Press (TERApress™ at small size) in Smart Digital Foundries

1 Postopek brizganja poltrdne lahke kovinske zlitine

Brizganje poltrdne kovine je postopek brizganja, ki vključuje polnjenje forme s kovino v delno staljenem stanju, pri katerem so kroglice trdne snovi homogeno razpršene v talini. Štirje postopki, ki se trenutno uporabljajo za litje poltrdnih kovin, in sicer Thixomolding®, Thixocasting®, Rheocasting® in postopek z napetostno inducirano aktivacijo taline (SIMA), so na začetku zapleteni in izredno zahtevni za vzdrževanje. Postopki tlačnega litja v hladno ali toplo komoro ali vakuumskega tlačnega litja ne izpolnjujejo pričakovanih končnega uporabnika glede kakovosti, enostavnosti, prihranka energije, varnosti, ekonomičnosti in okoljske odgovornosti. Tu nastopi postopek MAXImolding®, ki še dodatno poenostavi in izboljša postopek Thixomolding®. Postopek MAXImolding® deluje na podlagi mehansko obremenjenih drobcev oz. drobcev z želeno metalurško konfiguracijo. Izbrani drobcji se dovajajo v enoto za predpripravo, ki se imenuje izpiralnik. V našem vertikalnem stroju za brizganje se drobcji segrevajo z natančnim nadzorom temperature v argonski atmosferi. Temu postopku pravimo »solid-to-semisolid-

1 Semisolid Light Metal Alloy Injection Molding Process

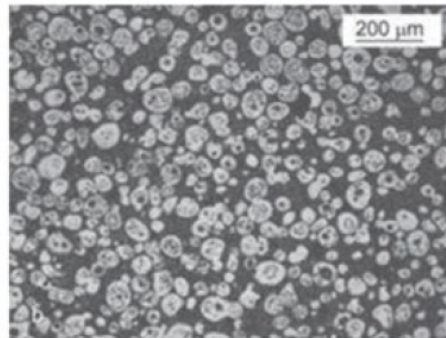
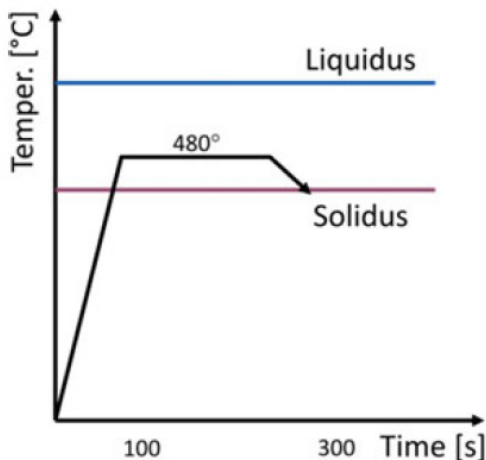
Semisolid metal injection molding is a molding process that involves filling a mold with metal in a partially molten state in which globules of solid are homogeneously dispersed in the liquid. The four currently used semisolid metal casting processes, Thixomolding®, Thixocasting®, Rheocasting®, and stress-induced melt activation (SIMA), are complex to start and very highly maintenance intensive. The processes, cold or hot chamber die-casting or vacuum die-casting, do not fulfill end-user expectations for quality, simplicity, energy savings, safety, economy, and environmental responsibility. This is where the MAXImolding® process comes in and further simplifies and improves the Thixomolding® process. MAXImolding® process involves mechanically stressed chips or chips in preferred metallurgical configurations. The selected chips are fed into a pre-conditioning unit called a scrubber. The chips are heated with precise temperature control under an atmosphere of Argon in our vertical injection molding machine. We call this process "solid-to-semisolid-to-solid" molding because we

to-solid«, saj začnemo s trdnimi drobci, proizvedemo poltrdno kašo in končamo s trdnimi deli kompleksnih geometrij iz forme. Postopek se v celoti izvaja v stroju MAXImolding®. Za preprečevanje oksidacije drobcev uporabljamo zelo majhno količino argona.

Dr. Frank Czerwinski se že desetletja ukvarja z raziskavami na področju poltrdne metalurgije in izboljšavami strojev za brizganje magnezija. Zapisal je, da je mogoče tiksotropno brozgo, talina katere vsebuje okrogle trdne delce, ustvariti v toplotnem masnem reaktorju pod izključno uporabo toplote: Slika 1 prikazuje postopek in mikrostrukturo zlitine. Uvedeni postopek ne predvideva vrtenja vijaka. Za proizvodnjo poltrdne brozge s kroglastimi trdnimi delci v talini striženje drobcev ni potrebno. Potrebno je zgolj natančno upravljanje temperature gravitacijskega dovajanja drobcev z vrha na dno reaktorja. Odprava strižnega vijaka

start with solid chips, produce a semisolid slurry, and end with solid net-shape parts out of the mold. The process is fully enclosed in the MAXImolding® machine. We use a very small amount of Argon to prevent chip oxidation.

Dr. Frank Czerwinski has been working for decades in the research fields of "Semisolid Metallurgy" and improvements of Magnesium Injection Molding Machines. He wrote that the thixotropic slurry containing spherical solid particles in the melt could be obtained in the thermal mass reactor under the sole influence of heat. Figure 1 shows the process and the microstructure of the alloy. The adopted process does not require screw rotation. It is not necessary to shear the chips to produce a semisolid slurry that contains spherical solid particles in the melt. Precise temperature control of chips fed under gravitation from the top to the bottom of the reactor is only what is



Slika 1. Stroj MAXImolding® deluje v poltrdnem temperaturnem območju med 480 in 580 °C za zlitino AZ91. Mikrostruktura zlitine ima kroglaste, nedendritske značilnosti s 50 % trdnih snovi (dr. Frank Czerwinski). Tako se prepreči nastanek napak

Figure 1. MAXImolding® works in the semisolid temperature range between 480 and 580°C for the AZ91 alloy. The microstructure of the alloy has spherical, non-dendritic features with 50% solids (Dr. Frank Czerwinski). This avoids the formation of defects

močno poenostavi postopek. Ustvarjanje tiksotropne suspenzije, ki vsebuje sferične trdne delce v talini, se lahko izvede v reaktorju s toplotno maso pod vplivom samo toplote.

Potrebno je zgolj natančno upravljanje temperature med dovajanjem drobcov z vrha na dno reaktorja.

2 MAXImolding®: vertikalni stroj za brizganje poltrdnih kovinskih zlitin

Srž zamisli se začne z vprašanjem: kako lahko izdelamo hibridni stroj, s katerim bomo z malo energije in materiala, zelo hitro in brez okolju škodljivih emisij plinov izdelovali visoko integrirane dele, ki so skoraj brez napak? Stroj, ki združuje prednosti postopka Thixomolding® ter strojev za visokotlačno litje (HPDC) s toplo in hladno komoro in nima njihovih pomanjkljivosti? Odgovor na to je brizganje poltrdnih (poltekočih) kovin. Gre za postopek brizganja, pri katerem se forma napolni s kovino v delno staljenem stanju.

Prednosti tega postopka so naslednje:

- manjša poraba energije,
- daljša življenjska doba forme,
- brez ustvarjanja tekoče kovine,
- brez rokovanja s tekočo kovino,
- manjše krčenje pri strjevanju,
- manjša dovzetnost za plinske vključke ali napake,
- boljši izkoristek surovin,
- veliko večja varnost.

Stroj MAXImolding® je rezultat naprednega razvoja stroja za brizganje magnezija. Napredek v tehnologiji Thixomolding® z odpravo ekstruderja z vijakom, ki je bil glavna pomanjkljivost tehnologije Thixomolding®, je privedel do razvoja vertikalnega stroja MAXImolding®.

required. Elimination of screws for shearing is a major simplification of the process. The generation of thixotropic slurry that contains spherical solid particles in the melt can be done in the thermal mass reactor under the sole influence of heat.

Precise temperature control of chips fed under gravitation from the top to the bottom of the reactor is only what is required.

2 MAXImolding®: Vertical Semisolid Metal Alloy Injection Molding Machine

The core of the idea starts with the question: How can we build a hybrid machine that can produce high-integrated parts that are nearly defect-free with little energy and material, very quickly, and without environmentally harmful gas emissions? A machine that combines the advantages of Thixomolding® and Hot and Cold Chamber high-pressure die-casting machines (HPDC) and avoids their disadvantages? The answer to this is offered by semisolid (semi-liquid) metal injection molding. A molding process in which a mold is filled with metal in a partially molten state.

The advantages of this procedure are as follows:

- lower energy consumption,
- increased mold life,
- no generation of liquid metal,
- no handling of liquid metal,
- less solidification shrinkage,
- less susceptible to gas inclusions or defects,
- better yield from the raw material,
- and much safer

The MAXImolding® machine is the result of advanced development of the magnesium injection molding machine. Advancing Thixomolding® technology by

Ta postopek zagotavlja številne izboljšave v primerjavi z okolju neprijaznimi stroji za visokotlačno litje (HPDC) s toplo ali hladno komoro, ki porabijo veliko energije. Kolikor nam je znano, se dandanes večina izdelkov iz magnezija izdeluje s tlačnim litjem. Litje magnezija tako zaostaja za tehnološkim stanjem? Mogoče napredkom? Razdvojem? Vendar pa novi stroji za brizganje poltrdnih kovin omogočajo bistveno boljše možnosti obdelave. Na primer novi patentirani stroj ne predvideva talilnega lonca s pregretim taljenim magnezijem med litjem, zaradi katerega je potrebna uporaba zaščitnega plina SF_6 ali R134a (toplogredni plin) in prav tako ne potrebuje energije za ohranjanje staljene kovine v pregretem tekočem stanju. Namesto tega je mogoče uporabiti trdne magnezijeve delce. Uporabijo se drobcici z želenimi metalurškimi lastnostmi in dovajajo v glavni procesor za magnezij, ki (z dodajanjem toplote) pretvori trdni magnezij v poltrdno brozgo, zelo podobno drobljenemu ledu pri temperaturi tik nad 0 °C.

Ta poltrdna struktura deluje pri temperaturah, ki so pogosto za 200 °C nižje od trenutnih temperatur pri predelavi magnezija za tlačno litje, kar omogoča velike prihranke pri energiji. Poltrdna magnezijeva zlitina se nato podobno kot pri postopku injekcijskega brizganja plastičnih mas vbrižga v trajno formo. Postopek MAXImolding® se v celoti izvaja v stroju; gre za postopek oblikovanja delov »solid-to-semisolid-to-solid«, ki se lahko uporablja v običajnih proizvodnih obratih.

Postopek je preprost, zato ga je mogoče uporabljati v vseh regijah sveta, za njegovo izvajanje pa obsežno usposabljanje ni potrebno. Navpična usmeritev stroja MAXImolding® pomaga prihraniti prostor in izboljša pretok materiala. Popolnoma avtomatizirano odstranjevanje delov je

eliminating the extruder with a screw as a major disadvantage of Thixomolding®, resulted in MAXImolding® vertical oriented machine.

This process offers many improvements compared to the environmentally unfriendly, high-energy consumption hot and cold chamber high-pressure die-castings (HPDC) machines. As we understand, most products made from magnesium today are being made by die-casting. The magnesium casting was left behind in the technology curve. However new semisolid metal injection molding machines offer much improved processing capability. For example, the new machine does not require a melting pot of overheated molten magnesium during casting that requires the SF_6 , SO_2 , or R134a cover gas (greenhouse gas pollutant) and does not need the energy to maintain the molten metal in an overheated molten state. Rather, solid magnesium particulates can be used. The chips, with preferred metallurgy, is used and fed into the magnesium main processor that (by adding heat) converts the solid magnesium into a semisolid slush of material, very similar to crushed ice at a temperature just above 0 °C.

This semisolid structure operates at temperatures often 200°C below the current Magnesium die-casting processing temperatures resulting in significant energy advantages. This semisolid magnesium alloy is then injected into a permanent mold, very similar to the plastic injection molding process. The MAXImolding® process is a fully enclosed; "solid-to-semisolid-to-solid", part-shaping process that can be operated in ordinary manufacturing plants.

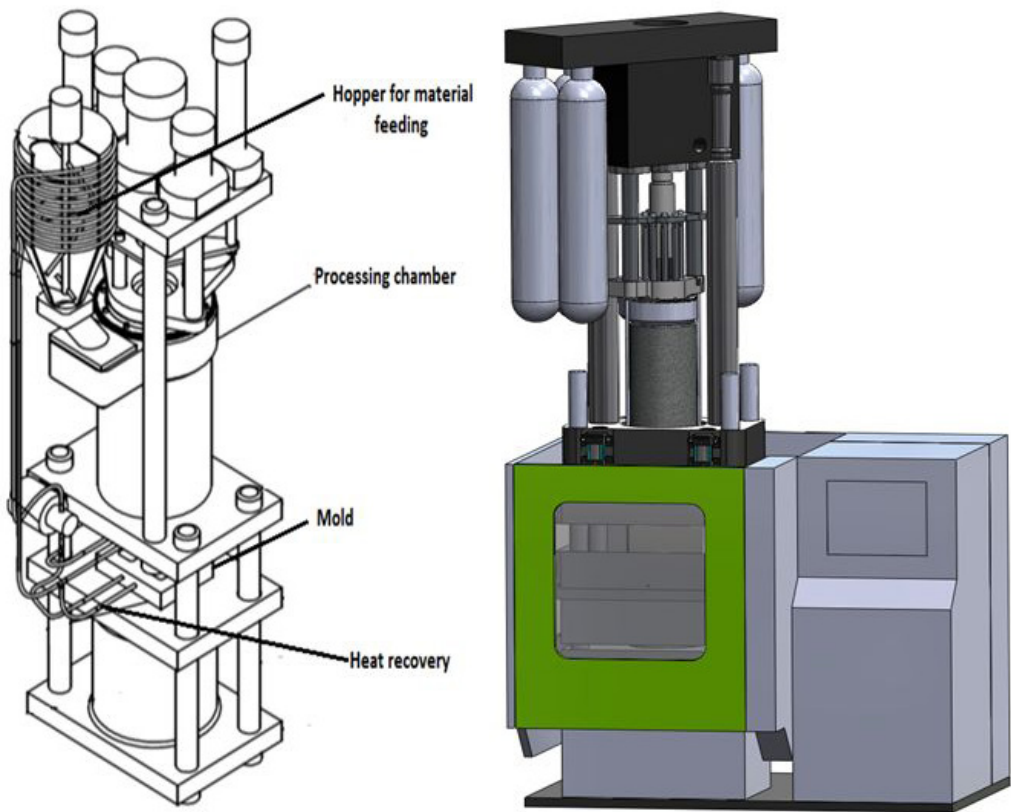
The simplicity of the process makes it easy to operate in any region of the world without the need for extensive training. The MAXImolding® vertical orientation saves floor space and improves material flow. Fully

enostavno vključeno in se izvaja s pomočjo robotskih naprav. Pri strjevanju magnezija v formi se z inovativnim postopkom segrevanja/hlajenja zajeta toplota iz taljenja sprošča za ponovno uporabo.

Stroj MAXImolding® reciklira to toploto taljenja in predhodno ogreje vhodne magnezijeve drobce. Že zaradi prihrankov energije so z deli povezani stroški konkurenčni na trgu v primerjavi s katerim koli drugim danes poznanim postopkom ven. Emisijske kupone, ustvarjene s to tehnologijo, bi bilo mogoče ustrezno tržiti in prodajati kot deleže ogljika na odprtem trgu tistim, ki upravljajo obrate z visoko proizvodnjo CO₂. Da bi optimizirali porabo energije, zmanjšali obseg vzdrževanja in izboljšali kakovost proizvodnje, smo valj in vijak zamenjali z novim reaktorjem v obliki valja z visoko toplotno maso. Simetrično maso valja je veliko lažje nadzorovati z vidika toplote in vzdrževati stabilno temperaturo poltrdne taline. Obdelovalni valj vsebuje osem manjših obdelovalnih komor, v katere z vrha vstopajo drobcí AZ91D, po štiri na levi in desni strani, ter večjo odprtino na sredini valja za vbrizgalni bat. Grelniki so nameščeni okoli valja in se segrevajo od vrha proti dnu, kar zagotavlja enakomerno in natančno segrevanje. Spodnja plošča s formo se odpira navzdol, kar omogoča varen dostop za pobiranje delov. Ko je forma zaprta, je delilna ravnina forme v celoti za trdnimi varovali, zato je ta postopek v primerjavi s strojem za horizontalno vpenjanje veliko varnejši. Odstranjevanje delov se preprosto izvede s katero koli stransko napravo za izmet. Zamenjava ekstruderja z reaktorjem z visoko toplotno maso je omogočila natančen nadzor temperature in posledično učinkovitejši postopek, ki predvideva manj vzdrževanja. Slika 2 spodaj prikazuje shemo stroja MAXImolding®.

automated part removal is easily integrated by simple robotic devices. Magnesium solidification in the mold releases captured heat of fusion via an innovative heating/cooling process for re-use.

MAXImolding® recycles this heat of fusion, by pre-heating the input magnesium chips. The energy savings alone allow the costs of parts to be competitive in the market compared to any other magnesium process known today. Carbon credits generated by this technology could be suitably marketed and sold as carbon shares on the open market to those who need to operate plants with high CO₂ output. To be able to improve on energy, reduce maintenance and improve output quality, we replaced the barrel and screw with a new high thermal mass reactor in the form of a cylinder. Symmetrical cylindrical mass is much easier to control heat and maintain a stable temperature of the semisolid melt. The processing cylinder contains eight smaller processing cavities for AZ91D chips entering from the top, four on each left and right side, and a larger bore in the middle of the cylinder for the injection piston. Heaters are placed around the cylinder and nuzzle from top to bottom for uniform and precise heating. Lower platen with mold opens downwards creating safe part pickup access. When the mold is closed, the parting line of the mold is completely behind solid guards, making this process much safer when compared to the horizontal clamping machine. The removal of parts is simply done by any side entry device. Replacing the extruder with a high thermal mass reactor led to precise temperature control and thus a more efficient and less maintenance-intensive process is accomplished. Figure 2 below shows the schematic of the MAXImolding® machine.



Slika 2. Stroj MAXImolding® z zalogovnikom in enoto za predobdelavo, predelovalno komoro in formo z rekuperacijo toplote

Figure 2. MAXImolding® machine with hopper and pre-processing unit, processing chamber, and mold with heat recovery

3 Magnezij za predelavo v stroju

Začnimo z izvirnim materialom in pripravo v stroju MAXImolding®. Kovinski ostružki, magnezijevi delci velikosti 2x5 mm, ki jih imenujemo tudi drobci, se dovajajo v zalogovnik s predprocesorjem za čiščenje drobcov z levitacijo, napolnjenim z argonom ali katerim koli drugim primernim medijem za čiščenje. Drobci Mg se segrejejo do 200 °C z natančnim nadzorom temperature. Oksidacijo preprečimo z dovajanjem argona. Drobce nato neprekinjeno

3 Magnesium Machine Feedstock

Let us start with the source material, and preparation in the MAXImolding® machine. Metal shavings, the magnesium particles in sizes 2x5 mm, also called chips, feeds to a hopper with a chip levitation scrubber preprocessor flooded with argon or any other suitable cleaning medium. The Mg chips heat up to 200 °C with precise temperature control. The oxidation is prevented by flooding with argon. The chips are then continuously dosed into the vertical

odmerjamo v vertikalni stroj za brizganje in jih od zgoraj navzdol počasi segrevamo v osmih komorah, ki jih ogrevajo posebni uporovni koaksialni grelniki. Toplota, ki se vrača iz forme, se uporabi za predogrevanje začetnega materiala (drobcev). Drobci Mg iz predobdelave se segrejejo na približno 200 °C. Nato poteka segrevanje v argonski atmosferi v termičnem reaktorju v obliki revolverja. Na zunanji steni valja je nameščenih več ogrevalnih območij. V spodnji komori se zbira poltrdna brozga. Viskozna brozga se nato natančno odmeri pod sredinskim vbrizgalnim batom.

Brozgo se v formo vbrizgava pod visokim tlakom 1.000 barov in z visoko hitrostjo do 10 m/s. Za celoten postopek je potrebna homogena navpična pot, dolga samo 1,5 m, kar pomeni, da se celotna livarska linija skrajša na 4,5 m. Tako je postopek lažje obvladljiv. Alternativna surovina so lahko posebej oblikovani drobci z zeleno konfiguracijo zlitine, ki se nato ponovno segrejejo na zeleno temperaturo za oblikovanje in se vbrizgajo v formo v poltrdnem stanju. Poltrdna kovinska zmes (brozga) se proizvede po potrebi in vbrizga neposredno v formo. Ogrevane magnezijeve poti in izklop šobe močno skrajšajo skupni čas cikla in izboljšajo kakovost dela, hkrati pa ohranjajo nizko porabo energije. Na enak način je mogoče obdelati tudi aluminijeve zlitine.

injection molding machine and slowly heated from top to bottom in eight cavities heated by special resistive coaxial heaters. The heat returned from the mold is used to preheat the starting material (chips). The Mg chips coming from the preprocessor are preheated to approx. 200 °C. Further heating happens with argon in the thermal reactor in the form of a revolver. Several heating zones attach to the outside wall of the cylinder. The semisolid slurry collects in a lower chamber. This viscous mass is then precisely metered under the centrally positioned injection piston.

The high melt pressure of 1.000 bar and high speed of up to 10 m/s are used to inject the slurry into a mold. The whole process requires a unified, vertical path of only 1.5 m, which means that the whole foundry line is shrinking to 4,5 m only. This makes the process more manageable. Alternative feedstock could be the specially formulated chips with the preferred alloys configuration, then re-heated to desired forming temperature and injected into the mold while in the semisolid state. The semisolid metal mixture (slurry) is produced on demand and injected directly into the mold. The heated magnesium pathways and nozzle shutoff greatly reduces the total cycle time and improve part quality while keeping energy consumption low. Similarly, the processing of aluminum alloys is possible in the same way.

4 Več strojev, več injektorjev za stroj TERApres™ majhnih dimenzij

Elon Musk iz podjetja Tesla je leta 2021 povedal: »Z našimi ogromnimi stroji za litje poskušamo avtomobile izdelati dobesedno na enak način, kot izdelujemo modelčke avtomobilov.« Leta 2020 je podjetje IDRA Italy tovarni podjetja Tesla (stroj št. 1) v Fremontu v Kaliforniji, ZDA, dobavilo prvi

4 Multi-machines, Multi-injectors for TERApres™ at Small Size

In 2021, Elon Musk from Tesla said, "With our giant casting machines, we are trying to make full-size cars in the same way that toy cars are made". In 2020 IDRA Italy delivered the first OL 5500 CS (5.500 ton-force) Giga press (giant house-sized

giga livni stroj OL 5500 CS (sila 5.500 ton) (ogromen stroj za tlačno litje). Enodelni ulitek avtomobila Model 3 bo nadomestilo približno 70 postopkov stiskanja, iztiskanja in litja. Skupna teža tega giga livnega stroja je bila 410 ton. Švicarsko podjetje Buhler je sledilo s še večjim giga livnim strojem z 9.200 tonami sile stiska. Izdelovati je mogoče vedno večje stroje za izdelavo avtomobilov na način igrač, vendar ni nujno, da so večji stroji hkrati prijaznejši do okolja in energetsko učinkovitejši!

Leta 2017 je avtor (AS) izjavil: »Mogoče bo ulivati dele iz lahke zlitine velikih dimenzij, ki bodo primerni za proizvodnjo avtomobilov polne velikosti, brez uporabe pločevine, stiskanja, varjenja itd.« Kako? Z uporabo sistema MAXImolding® TERApres™ majhnih dimenzij, s kombinacijo strojev za oblikovanje poltrdnih kovinskih zlitin namesto velikanskih strojev za litje, imenovanih giga livni stroji. Veliki strukturni deli, velikost katerih je omejena samo z velikostjo forme, pridejo iz velike forme tako, da je več injektorjev za dovajanje poltrdne taline postavljenih navpično nad zelo veliko formo ali okoli nje.

Poleg samega stroja za tlačno litje potrebuje celotna giga celica za litje za proizvodnjo tekoče taline dodatno opremo, kot so: talilna peč, zadrževalna peč, dozirni sistem, vakuumski sistem, enojna ali dvojna brizgalna enota(-e), robot(-i) za odstranjevanje delov, rentgenski aparat, sistem za kaljenje, stiskalnica za odstranjevanje razdelilnih kanalov in vakuumskih kanalov, drobilnik povratnega materiala, roboti za ravnanje z deli in druga oprema za sekundarne postopke, kot so obrezovanje, ravnanje, strojna obdelava, montaža, čiščenje itd.

»Manj je več« tako postane »več je veliko več, in čim več, tem bolje«. Kdaj je velika celica za litje dovolj velika? Takšni stroji za vbrizgavanje tekoče taline,

“DCM”–Die-casting Machine) for the Tesla factory (machine #1) in Fremont, California. The single-piece casting for Model 3 will replace around 70 stampings, extrusions, and castings. The total weight of this Giga press was 410 tons. Swiss Buhler follows with an even bigger Giga press with 9.200 tons of clamping force. While making bigger and bigger machines to make cars like toys is possible, bigger is not necessarily better for the environment and energy efficiency!

In 2017, the author (AS) said, “It will be possible to cast large size light alloy parts to suit full-size cars production without the usage of metal sheet, stamping, welding, etc.” How? By usage of MAXImolding® TERApres™ at a small size, by combining semisolid metal alloy molding machines instead of giant casting machines called Giga press. The large structural parts, limited in size by mold size only, come out of a large mold by placing the multi semisolid melt delivery injectors, vertically, above or around a very large mold.

Apart from the die-casting machine itself, the complete Giga casting cell for fluidized melt production needs further equipment like: a melting furnace, holding furnace, dosing system, vacuum system, single or twin spraying unit(s), part removal robot(s), x-ray machine, quenching system, trim press for removal of runners and vacuum channels, return material shredder, part handling robots and other equipment for secondary operations like deburring, straightening, machining, assembly, cleaning, etc.

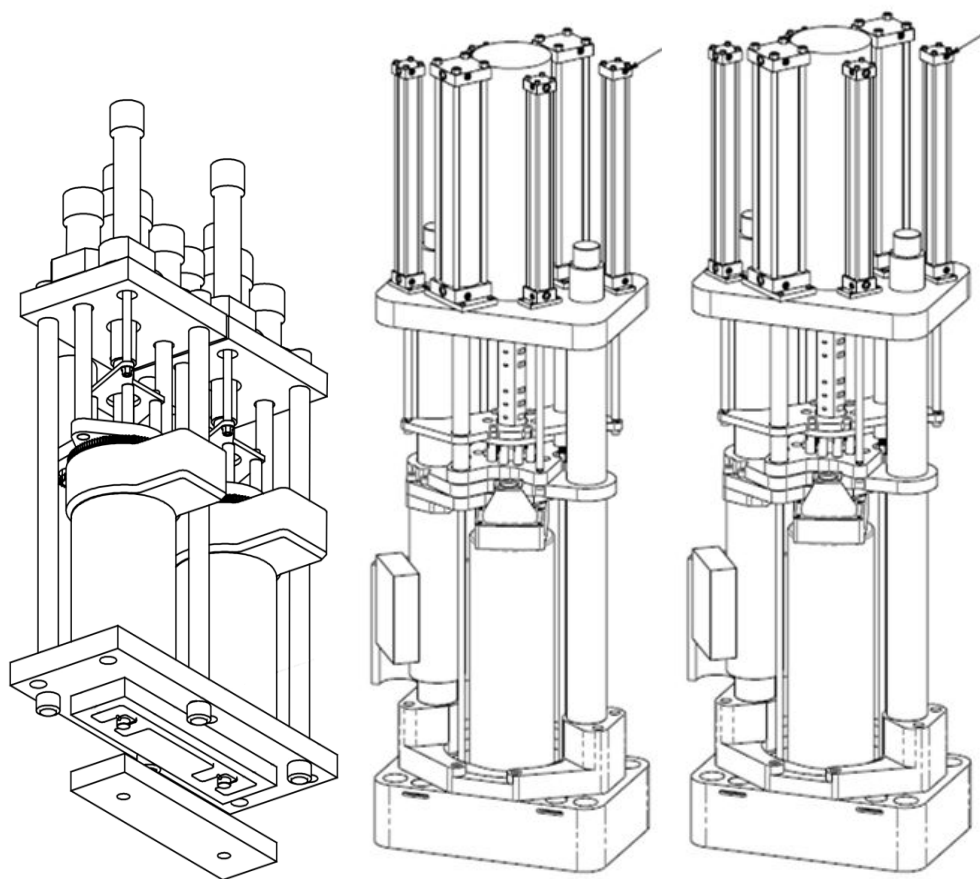
Instead of “less is more” we have here “more is much more, and the bigger, the better”. When is a large casting cell large enough? These machines for the injection of fluidized melt, designed according to the principle “the bigger, the better” are an environmentally unsustainable solution. A Giga press requires large castings and

zasnovani po načelu »čim večji, tem boljši«, so okoljsko netrajnostna rešitev. Za giga livni stroj je treba izdelati velike ulitke in strukturne dele, izdelane iz velikih kosov jekla, ki se obdelujejo na zgolj nekaj razpoložljivih strojih CNC na svetu na oddaljenih lokacijah, kar ima velik vpliv na okolje. Težke dele je treba prepeljati na končno lokacijo, jih sestaviti s posebnimi stroji in na koncu morda okoli giga livnega stroja zgraditi še tovarno.

Za izdelavo zelo velikih strukturnih ulitkov ali izredno velikih površin predlagamo več razširljivih modulov injektorjev (Slika

structural parts made from large steel pieces, machined on only a few available CNC machines in the world in faraway locations, which have a big environmental footprint. You need to transport heavy parts to the final location, assemble them with special machinery, and finally, perhaps even build a factory around the Giga press.

We suggest multiple, scalable, injector modules (see Fig. 3) for semisolid, non-fluidized melt, injecting simultaneously or sequentially to produce very large structural castings or very large surface, thin wall castings. This is a better approach



Slika 3. Več vbrizgalnikov za TERApress™ majhnih dimenzij

Figure 3. Multi-Injectors for TERApress™ at small size

3) za poltrdno, nefluidizirano talino, ki vbrizgavajo sočasno ali zaporedno. Takšen pristop je boljši za litje velikih delov. Na veliko površino kalupa nameravamo namestiti več manjših injektorjev in vbrizgati poltrdno suspenzijo za izdelavo ulitkov velikih delov, kot so bočni paneli ali strehe avtomobilov. Tako je mogoče uliti bistveno boljše dele z veliko boljšimi lastnostmi. Zato izdelujemo več injektorjev za dele z veliko površino iz magnezijevih ali zlitin.

Postopek MAXImolding® manjšim tovarnam omogoča izdelavo katerega koli dela za avtomobil in ohranjanje konkurenčnosti. Poltrdna, nefluidizirana talina je sestavljena iz trdnih drobcev »na zahtevo«, obdelava poltrdne brozge pa v celoti poteka v stroju, ki ne zahteva ločenega pridobivanja in ravnanja s talino. Menimo, da je pristop z giga livnimi stroji pretirano zapleten in okoljsko nevzdržen.

5 Pametna digitalna livarna

Nov postopek, ki temelji na natančnem nadzoru temperature in se izvaja s strojem za oblikovanje poltrdnih kovin MAXImolding® s sistemom za hlajenje forme z vodno meglico in sistemom za električno ogrevanje kalupa, je patentiran in je na voljo za podelitev licenc in komercialno uporabo. Patentiran sistem za nadzor proizvodnje s povratnimi podatki iz rentgenske naprave nam končno omogoča gradnjo popolnoma avtomatiziranega obrata za izdelavo ulitkov za 21. stoletje. Upamo, da nam bo to pomagalo pri izvajanju naprednega postopka tlačnega litja. Model popolnoma avtomatiziranega postopka tlačnega litja/oblikovanja kovin je prikazan na spodnji Sliki 4. Upravljalavec mora zgolj vklopiti stroj in poskrbeti, da je material na voljo in da se del po koncu cikla odstrani. Če vzamemo primer tlačno litega platišča za avtomobil,

to casting big parts. We envision placing multiple smaller injectors over a large surface of the mold and injecting a semisolid slurry to create castings of any large parts, like car side panels or rooftops. This way, it is possible to cast much better parts with better part characteristics. That is why we are building multiple injectors for large surface parts made of Magnesium or Aluminum alloys.

The MAXImolding® process allows smaller, cost-effective factories, to produce any part of the car and stay competitive. Semisolid, non-fluidized melt originates from solid chips "on-demand" and the processing semisolid slurry is fully contained within the machine, which does not require separate generation and handling of the melt. We believe that the Giga press approach is prohibitively complex and environmentally unsustainable.

5 Smart Digital Foundry

A novel „solid-to-semisolid-to-solid“ (from chips to parts) precise temperature control-based process incorporating the MAXImolding® semisolid metal molding machine with mold water mist cooling system and mold electrical heating system has been patented and is available for licensing and commercialization. Additionally, a patented manufacturing control system with data feedback coming from an x-ray machine finally allows us to build a fully automated casting factory for the 21st century. We hope that this will help us move in the direction of an advanced die-casting process. A model of a fully automated die-casting/metal molding process is depicted in Fig. 4 below. The operator is only required to power up the machine and ensure material is available and taken away. For example,

sledi postopek naslednjemu osnovnemu zaporedju:

Upravljalavec mora zagotoviti napajanje stroja za litje/oblikovanje poltrdnih kovin, imenovan MAXImolding®, upoštevati osnovni kontrolni seznam, povezan z dobavo materiala, začetnimi parametri in preverjanjem varnosti, nato pa na zaslonu na dotik pritisniti gumb »3D Wheel Type« in nato še gumb »Start«. Stroj MAXImolding® začne z litjem prvega platišča v formo v skladu s predlaganimi parametri litja, ki jih določi inteligentni sistem v oblaku (ML, AI, NN, SPC itd.), po zaključku pa kolo izstopi iz stroja za litje/oblikovanje in se prepelje do sistema za rentgenski pregled. Popolnoma avtomatiziran sistem za rentgensko pregledovanje določi kakovost platišča. Če je izdelek izpraven, se vse informacije o tem izpravnem kolesu shranijo v zbirki podatkov o izpravnem platišču. Enak postopek lahko uporabimo za nabor podatkov o prvotni proizvodnji (postopku) kot tudi nabor podatkov o oblikovnem 3D-modelu. Če je kolo neizpravno, se informacije shranijo v podatkovno zbirko podatkov o neizpravnem kolesu.

Ob predpostavki, da je platišče neizpravno, bo sistem znanja določil, kateri niz parametrov je treba iterativno prilagoditi za izboljšanje pomanjkljivih lastnosti platišča, v generatorju parametrov pa se bo ustvaril nov niz vhodnih podatkov. Pregled lahko na primer pokaže, da platišče ni v celoti oblikovano, kar pomeni, da je bilo v formo vbrizgano premalo surovine, kar se običajno imenuje delni vbrizg. Sistem znanja ugotovi, da je primerno daljše obdobje vbrizgavanja, in iterativno ukaže generatorju parametrov, naj zakasni zapiranje šobe in vbrizga več materiala. Serijsko se izvede naslednji strojni cikel in se posreduje sistemu za pregledovanje. Več podatkov iz sistema za pregledovanje ustvarja več informacij in omogoča hitrejšo približevanje naboru

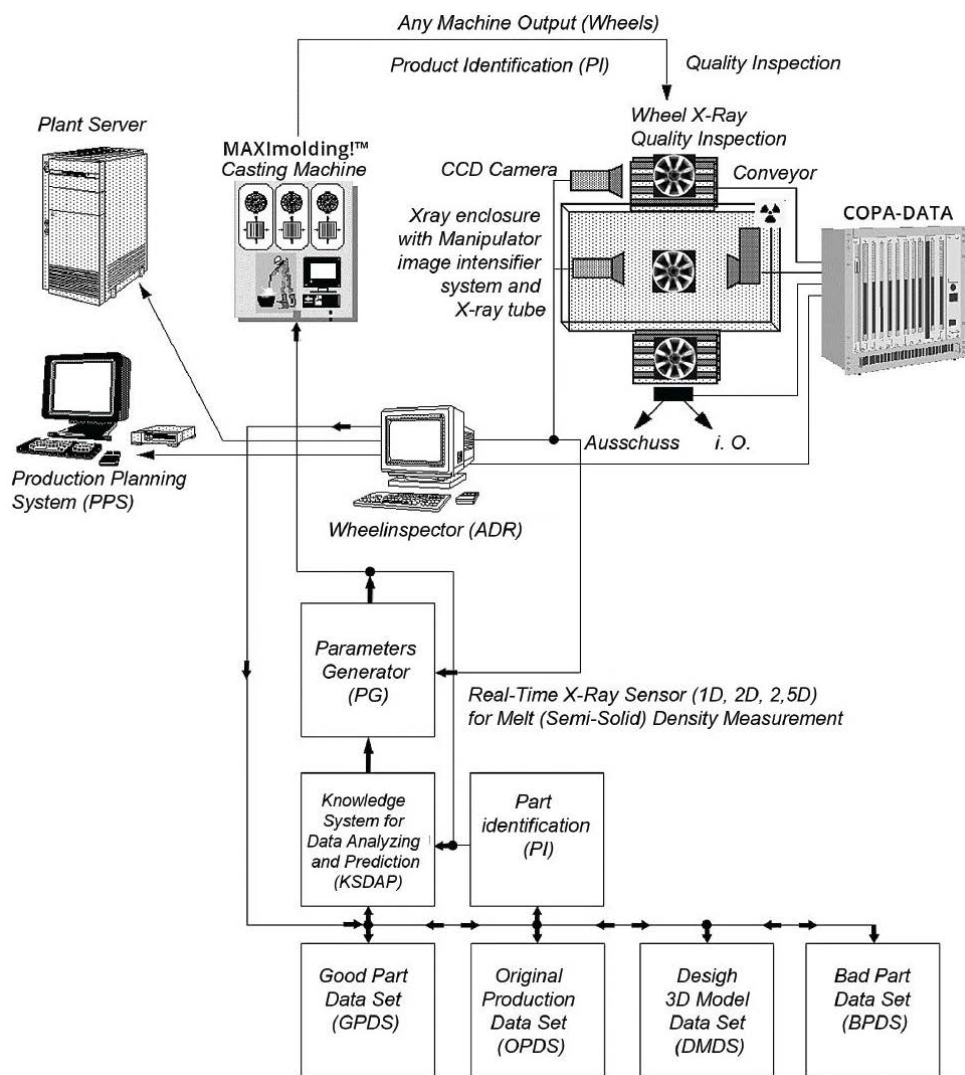
the die-casting wheel for a car would follow a basic sequence like this:

The operator would provide power to the semisolid casting/molding machine called MAXImolding®, follow an initial checklist related to the supply of the material, initial parameters, and safety verification, and then press the „3D Wheel Type“ button on a touch screen, followed by the „Start“ button. The MAXImolding® machine would start casting/molding the first wheel according to the proposed casting parameters by an intelligent, cloud-based system (ML, AI, NN, SPC, etc.), and, upon completion, the wheel would be outputted from the casting/molding machine and transported to the x-ray inspection system. The fully automated X-ray inspection system would determine the quality of the wheel. If the part is good, all information about this good wheel will be stored in a good wheel data set database. The same process would be followed for the original production (process) data set, as well as the design 3D model data set. If the wheel is bad, information will be stored in a bad wheel data set database.

Assuming that the wheel is bad, the knowledge system will determine which set of parameters needs to be adjusted iteratively to improve wheel-deficient characteristics, and a new set of inputs will be generated in the parameter generator. By way of a hypothetical example, the inspection may indicate that the wheel is not completely formed, indicating insufficient feedstock has been injected into the mold, commonly referred to as a short shot. The knowledge system determines a longer injection period is appropriate, and iteratively instructs the parameter generator to delay the closing of the nozzle and inject more material. The next machine cycle is executed, serialized, and passed on to the inspection system. More data from the inspection system generates more information and allows for

parametrov, ki zagotavljajo kakovostna platišča. Ta postopek za proizvodnjo magnezijevih platišč z zapiranjem zanke s podatki iz sistema za pregledovanje in

faster convergence to a set of parameters that yields good quality wheels. This process for producing magnesium wheels by closing the loop with data from an inspection system



Slika 4. Shema pametne livarne platišč iz lahke zlitine, ki se sama uči in obsega stroj MAXImolding® s povratno rentgensko kontrolno zanko, vključno s programsko opremo ADR in sistemom znanja za analiziranje podatkov in napovedovanje parametrov procesa

Figure 4. Schematic of light alloy wheels self-learning smart foundry incorporating MAXImolding® machine with feedback x-ray control loop incl. ADR software and knowledge system for data analysis and prediction of process parameters

pospeševanjem konvergence z naborom podatkov iz izpravnih in neizpravnih koles ter 3D-modelom izvirne zasnove bo omogočil proizvodnjo koles visoke integritete s kar najmanjši izmetom.

Gre za vitko, varno, energetsko učinkovito in okolju prijazno livarno magnezija, ki v ozračje ne izpušča plinov. Vsi stroji za litje/oblikovanje in naprave za rentgensko pregledovanje ter lastni linearni roboti in sistemi strojnega vida, vključeni v ta postopek litja/oblikovanja poltrdnih zlitin, zagotavljajo hitro proizvodnjo izpravnih delov in vzdržujejo stabilen samodejni nadzor procesa v zaprti zanki.

6 Sklepi

Ta novi postopek »solid-to-semisolid-to-solid« v kombinaciji z rentgensko povratno kontrolno zanko in uporabno matematiko (umetna inteligenca, NN, strojno učenje, rudarjenje velepodatkov itd.) ter uporabo samostojnih popolnoma delujočih modulov na podlagi koncepta HyperComMachinery™ podjetja Jacobsen Real-Time X-Ray Machinery Inc. iz Kanade lahko revolucionarno spremeni klasično industrijo tlačnega litja in brizganja kovin. Stroj za brizganje poltrdne magnezijeve kovinske zlitine lahko deluje in ustvari popolnoma avtomatizirano tovarno za litje/oblikovanje. Omogoča hitro proizvodnjo izpravnih delov in vzdržuje stabilen samodejni nadzor procesa v zaprti zanki. Gre za varno, energetsko in snovno učinkovito in okolju prijazno livarno magnezija (sledi še livarna aluminija), ki v ozračje ne izpušča plinov. Vsi stroji za litje/oblikovanje in naprave za rentgensko pregledovanje ter lastni linearni roboti in sistemi strojnega vida, vključeni v ta postopek brizganja poltrdnih zlitin, zagotavljajo hitro proizvodnjo izpravnih delov in vzdržujejo stabilen samodejni

and accelerating convergence with data sets from good wheels and bad wheels as well as a 3D model of the original design will allow the production of high integrity wheels with minimal rejects.

This is a lean, intrinsically safe, energy-efficient, environmentally sound magnesium casting/molding foundry with no emission of gases outside of foundry parameters. All casting/molding machines and x-ray inspection machines, as well as proprietary linear robotics and machine vision systems integrated into this semisolid casting/molding process, will ensure the fast production of good parts, and maintain stable automatic closed loop process control.

6 Conclusion

This new "solid-to-semisolid-to-solid" process, combined with an x-ray feedback control loop and applied mathematics (AI, NN, ML-machine learning, big data mining, etc.) as well as the use of self-contained fully operated modules based on the HyperComMachinery™ concept from Jacobsen Real-Time X-Ray Machinery Inc. Canada, it can revolutionize the classical die-casting and injection metal molding industry. The semisolid magnesium metal alloy injection-molding machine can operate and create a fully automated casting/molding factory. It will ensure the fast production of good parts and maintain a stable automatic closed-loop process control. This is an intrinsically safe, energy and material-efficient, environmentally sound magnesium-molding factory (aluminum foundry follows) with no emission of gases outside of factory parameters. All metal alloy molding machines and x-ray inspection machines, as well as proprietary linear robotics and machine vision systems

nadzor procesa v zaprti zanki ne glede na lokacijo. Zbiranje podatkov o postopkih za enake ali podobne dele po vsem svetu (planetno litje) bo dostopno prek oblaka in vsakdo jih bo lahko uporabil za začetek in izboljšanje postopkov litja magnezija in aluminijevih zlitin.

integrated into this semisolid injection molding process, will ensure the fast production of good parts, and maintain stable automatic closed-loop process control wherever you are on this planet Earth. The collection of process data for the same or similar parts worldwide (planetary molding) will be accessible via the cloud and everybody can use it to start up and improve their processes of magnesium and aluminum metal alloy casting/molding.

Določanje razmerja kovinskih komponent šarže v kupolki

Determining the Ratio of the Metal Components of the Charge at the Cupola Furnace

Povzetek

Talilna peč je najpomembnejša oprema v livarni. Za taljenje litega železa se uporabljajo različne vrste peči. Pri pripravi taline za visoko stopnjo proizvodnje se v obratih za litje železa uporabljajo predvsem kupolke ali električne taliilne peči. Glavne prednosti kupolk v primerjavi z električnimi so: enostavna in gospodarna naprava, manj škodljiva za okolje, manjša občutljivost na nizkokakovostne materiale šarže in onesnaževalce, oksidacijske in redukcijske reakcije med taljenjem v kupolki potekajo znotraj talilne cone in nad njo, kar omogoča uporabo visoko oksidiranega in nizkokakovostnega odpadnega materiala, cenejših zlitin in nekovinskih dodatkov. Ena osnovnih tehnoloških težav pri delovanju kupolke je določitev razmerij med komponentami šarže, ki jo sestavljajo koks, topilo in kovinska šarža, da bi ustvarili talino z želeno kemijsko sestavo. V praksi je masno razmerje kovinske šarže in koksa v določenih vrednostih, prav tako tudi skupna masa topila glede na maso koksa. Izkazalo se je, da je glavna težava določitev sestavin kovinskega dela šarže, ki je običajno sestavljena iz odpadkov iz lastne proizvodnje, jeklenega odpada, kupljene sive litine, nodularne litine, silicijevega mangana, ferosilicija itd. V tem prispevku smo z metodo izbire iz razpoložljivega razpona izračunali deleže kovinskih komponent kovinskega dela šarže za izdelavo taline iz sive litine, standardizirane pod oznako EN-GJL-250:

Gljučne besede: kupolka, šarža, kovina, komponente

Summary

The most important equipment in a foundry is the melting furnace. Various types of furnaces have been used for cast iron melting. In cases of melt preparation for production at high capacities, the primary melting methods used in iron casting plants are cupola furnaces or electric melt furnaces. The main advantages of cupola furnaces compared to electric ones are: simple and economical device, less harmful to the environment, less sensitive to low-quality charge materials and contaminants, oxidation and reduction reactions take place within and above the melt zone during cupola melting, which allows the use of highly oxidized and low-quality scrap material, lower prices of alloys and non-metallic additions. One of the basic technological problems in the work of the cupola furnace is to determine the relationships between the charge components consisting of coke, flux, and metal charge to obtain a melt of a given chemical composition. In practice, the mass ratio of metal charge and coke is in certain mass relations as well as the total mass of flux in relation to the mass of coke. It turns out that the main problem is to determine the components of the metal part of the charge, which usually consists of waste of own production, steel scrap, purchased cast iron, nodular cast iron, silicon manganese, ferrosilicon, etc. In this paper, using the method of selection from the available range, the proportions of metal components of the

metal part of the charge were calculated to produce a gray cast iron melt standardized with the code EN-GJL-250.

Key-words: cupola furnace, charge, metal, components

1 Uvod

Kupolka je visoka jaškasta peč z jeklenim obodom, obloženim z ognjevdržnim materialom, uporablja pa se predvsem za proizvodnjo različnih vrst litega železa in bron za livne postopke. Nadaljuje se proces taljenja v peči, ki je primerna za predelavo grodlja, odpadkov lastne proizvodnje (odrezani konci, zavrnjeni izdelki), dodajajo se železove zlitine za zagotovitev kemijske sestave v primeru primanjkljajev v postopku taljenja [1]. Glavni vir energije za postopek taljenja je metalurški koks. Zaradi enostavnih delovnih postopkov ta vrsta peči pri optimalnih tehnoloških parametrih porabi majhno količino goriva [2]. Razdelki so razporejeni vertikalno, zato so primerni za tri ali štiri stojala [3]. V primerjavi s šaržnimi talilnimi napravami ima ta peč z navpičnim jaškom s protitokom veliko verjetnost dobrega talilnega učinka [4]. Sodobne kupolke so običajno opremljene z gorilniki za obogatitev s kisikom ali s plazemskimi gorilniki. S povečanjem stopnje segrevanja lahko kupolko upravljamo bolj fleksibilno, kar je pogosto potrebno pri proizvodnji ulitkov [5].

Procesni prostor kupolke je sestavljen iz naslednjih con, ki so razporejene navpično: zbiralnik, območje zgorevanja, območje redukcije, območje taljenja in območje predgretja (Slika 1). Staljeni material se zbira v zbiralniku. V zgorevalni ali oksidacijski coni poteka hitro zgorevanje koksa, pri čemer nastajata toplota in CO_2 . Temperatura se giblje med 1550 in 1850 °C. Oksidacija silicija in mangana ustvarja dodatno toploto. Redukcija iz CO_2 v CO poteka v redukcijski coni. Zaradi te

1 Introduction

The cupola furnace is a vertical shaft furnace with a steel shell, lined with refractory material, which is mainly used for the production of various types of cast iron and bronze in casting processes. The melting processes in the furnace continue which is capable of processing pig iron, waste of own production (crop ends, foundry returns), and the addition of ferroalloys to make the chemical compositions in a case where there is a shortfall in the melting processes [1]. Metallurgical coke is the principal energy source for the melting process. Due to the simple operational processes, this type of furnace consumes a low amount of fuel at optimal technological parameters [2]. The sections are arranged in a vertical position to withstand the three or four stands [3]. Compared to batch-type melters, this counterflow vertical shaft furnace has a high likelihood of good melting performance [4]. Modern cupola installations are usually equipped with either oxygen enrichment or plasma torches. By increasing the heating rate, the cupola can be operated more flexibly, which is often necessary in casting production [5].

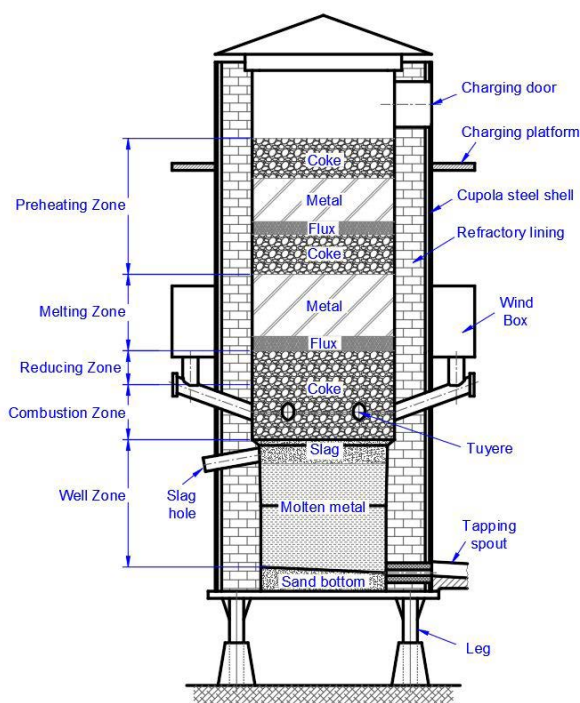
The process space of the cupola furnace consists of the following zones arranged in a vertical position: well zone, combustion zone, reducing zone, melting zone, and preheating zone (Figure 1). The molten material is collected in the well zone. In the combustion or oxidizing zone, rapid combustion of coke takes place generating heat and CO_2 . The temperature varies from 1550 to 1850°C. Oxidation of silicon and manganese generates additional heat.

endotermne reakcije se temperatura v tej coni zniža na približno 1200 °C. Posebnost te cone je, da ustvarjena redukcijska atmosfera šaržo varuje pred oksidacijo. V talilni coni se kovinska šarža začne topiti in še naprej uhaja proti zbiralniku. Pri prehodu skozi redukcijsko cono staljeno železo pobere ogljik, ki tvori Fe_3C . V zbiralniku se topilo prav tako tali in reagira z nečistočami v staljeni kovini; posledično nastaja žlindra, ki plava na površini staljene kovine in jo varuje pred oksidacijo.

Ta prispevek obravnava težavo določanja razmerja med komponentami šarže, da bi ustvarili talino z želeno kemijsko sestavo. V praksi je masno razmerje med šaržo kovin in koksom od 1:10 do 1:8. Apnenec je pogosto topilo. Skupna masa apnenca je običajno enaka 20 % mase koksa [6]. Zato je glavna težava določitev komponent kovinskega dela šarže. Za določanje sestavin kovinskega dela šarže

Reduction of CO_2 to CO occurs in the reduction zone. Due to this endothermic reaction, the temperature in this zone decreases to approximately 1200°C. A special feature of this zone is that the created reducing atmosphere protects the charge from oxidation. In the melting zone, the metal charge starts melting and continues to leak toward the well zone. Passing down through the reduction zone the molten iron picks up carbon forming Fe_3C . In the well zone, the flux also melts and reacts with the impurities of the molten metal forming a slag, which floats on the surface of the molten metal protecting it from oxidation.

This article discusses the problem of determining the relationship between the components of the charge to obtain a melt of a given chemical composition. In practice, the mass ratio of metal charge and coke is in the range of 1:10 to 1:8. Limestone is a common flux. The total mass of limestone is usually 20% of the mass of coke [6]. For that reason, the main problem is to determine the components of the metal part of the charge. When determining the components of the metal part of the charge, three methods are usually used: The analytical method, the graphic method, the so-called Triangle method, and the method of selection from the available range [7]. In this paper, using the latter method, the proportions of metal components of the metal part of the charge were calculated to produce a gray cast iron melt standardized with the code EN-GJL-250.



Slika 1. Shematski prerez kupolke

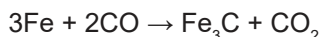
Figure 1. Schematic cross-sectional view of the cupola furnace

se običajno uporabljajo tri metode: analitična metoda, grafična metoda, t. i. metoda trikotnika ena metoda preveč in metoda izbire iz razpoložljivega območja [7]. V tem prispevku smo z uporabo slednje metode izračunali deleže kovinskih komponent kovinskega dela šarže za izdelavo taline iz sive litine, standardizirane pod oznako EN-GJL-250.

2 Izračun kovinskih komponent šarže na 100 kg taline

Kemijska sestava sive litine (EN-GJL-250) je podana v Preglednici 1, vrstica 1, komponente kovinske šarže pa v isti preglednici v naslednjem vrstnem redu: odpadki iz lastne proizvodnje (vrstica 4), kupljena siva litina (vrstica 5), odpadno jeklo (vrstica 6), nodularna litina (vrstica 9), beli grodelj (vrstica 10), silicijev mangan (vrstica 13), ferosilicij (vrstica 14).

Med prehajanjem skozi redukcijsko cono staljeno železo pobere ogljik z naslednjo reakcijo:



Po drugi strani pa potekajo reakcije oksidacije mangana in silicija v območju zgorevanja z reakcijami:



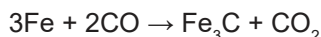
Iz tega razloga se glede na dejanske proizvodne podatke [7] ogljik poveča za 12,5 %, silicij zmanjša za 22,5 % in mangan za 27,5 % v primerjavi z začetnim stanjem šarže. Med postopkom taljenja se količina žvepla poveča za 62,5 %, količina fosforja pa se bistveno ne spremeni, zato sprememba količine fosforja med postopkom taljenja ni upoštevana (Preglednica 2, vrstica 2).

Zahtevana povprečna vsebnost elementa E_{ch} v šarži ob upoštevanju njegove

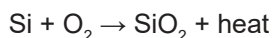
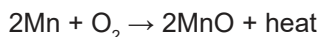
2. Calculation of Charge Metal Components Per 100 kg of the Melt

The chemical composition of the gray cast iron (EN-GJL-250) is given in Table 1, row 1, and the metal charge components in the same table in the following order: Waste of own production (row 4), Purchased gray cast iron scrap (row 5), Steel scrap (row 6), Nodular cast iron (row 9), White pig iron (row 10), Silicomanganese (row 13), and Ferrosilicon (row 14).

While passing down through the reduction zone the molten iron picks up carbon by reaction:



On the other side, the reactions of oxidation of manganese and silicon take place in the combustion zone by reactions:



For this reason, according to actual production data [7], carbon has an increase of 12.5%, silicon has a decrease of 22.5%, and manganese of 27.5% compared to the initial state of the charge. During the melting process, the amount of sulfur has an increase of 62.5%, and phosphorus does not change significantly, so the change in the amount of phosphorus during the melting process is not taken into account (Table 2, row 2).

The required mean content of the element E_{ch} in the charge, taking into account its change in the melting process, is calculated according to the expression:

$$E_{\text{ch}} = E_{\text{m}} \cdot (100 - X) / 100, \% \quad (1),$$

where E_{m} is the content of the element in the molten metal, and X is the amount of increase or decrease of the element during the melting process (in the expression sign - in case of an increase, i.e., sign + in case

Preglednica 1. Kemijska sestava sive litine (EN-GJL-250) in sestavine kovinske šarže**Table 1.** The chemical composition of the gray cast iron (EN-GJL-250) and the components of metal charge

Materiali šarže / Charge materials	Masni delež / Mass fraction % (kg)	Kemijska sestava / Chemical composition									
		C		Si		Mn		P		S	
		%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg
1. Zahtevana sestava taline / Required melt composition	100	3	3	1,8	1,8	0,7	0,7	0,15	0,15	0,1	0,1
2. Povečanje/zmanjšanje mase elementov / Increase / Decrease of the mass of the elements		12,5	0,43	-22,5	-0,41	-27,5	-0,23	0	0	62,5	0,062
3. Potrebna povprečna vsebinska sestava šarže / Required mean content composition of the charge		2,63	2,63	2,21	2,21	0,9	0,9	0,15	0,15	0,04	0,038
4. Odpadki iz lastne proizvodnje / Waste of own production	20	3	0,6	1,8	0,36	0,7	0,14	0,15	0,03	0,1	0,02
5. Kupljena odpadna siva litina / Purchased cast iron scrap	15	3,2	0,48	2	0,3	0,7	0,105	0,2	0,03	0,1	0,02
6. Odpadno jeklo (v skladu z izračunom) / Steel scrap (according to the calculation)	14	0,3	0,042	0,4	0,056	0,7	0,098	0,05	0,01	0,05	0,007
7. Skupni vnos / Total entered	49		1,122		0,716		0,336		0,04		0,047
8. Potreba po vnosu / Need to enter	51		1,503		1,489		0,556		0,11		0,009
9. Nodularna litina, (A) / Nodular cast iron, (A)	21	3,4	0,714	2,2	0,462	0,4	0,084	0,12	0,03	0,02	0,0042
10. Beli grodelj, (B) / White pig iron, (B)	30	3,6	1,08	1	0,3	0,3	0,09	0,08	0,03	0,02	0,006
11. Skupaj / Total	100		2,916		1,478		0,51		0,16		0,058
12. Primanjkljaj/presežek po elementih / Deficit/surplus by elements			0,286		-0,732		-0,379		0,01		0,02
13. Silicijev mangan MnSi ₂₀ / Silicomanganese MnSi ₂₀	0,748	1,5	0,01	20	0,150	65	0,486	0,1	0,0007	0,02	0,0001
14. Ferossilicij FeSi ₂₀ / Ferosilicon FeSi ₂₀	3	1	0,03	20	0,6	1	0,03	0,2	0,006	0,02	0,0006
15. Skupaj / Total	103,748		2,956		2,228		1,026		0,17		0,058
16. Razlika glede na sestavo taline / Difference in relation to the given melt composition	3,748		+0,04		+0,018		+0,126		+0,02		+0,02

spremembe v postopku taljenja se izračuna s formulo:

$$E_{ch} = E_m \cdot (100 - X) / 100, \% \quad (1)$$

kjer je E_m vsebnost elementa v staljeni kovini, X pa je količina povečanja ali zmanjšanja elementa med postopkom taljenja (v

of a decrease). Example of calculating the required carbon content in the charge:

$$C_{ch} = 3 \cdot (100 - 12,5) / 100 = 2,625 \, \%$$

The calculation for Si, Mn and S is performed in an analogous way. The results are shown in Table 1, row 3.

formuli znak – v primeru povečanja in znak + v primeru zmanjšanja). Primer izračuna zahtevane vsebnosti ogljika v šarži:

$$C_{ch} = 3 \cdot (100 - 12,5) / 100 = 2,625 \%$$

Izračun za Si, Mn in S se izvede na enak način. Rezultati so prikazani v Preglednici 1, vrstica 3.

Da bi zagotovili želeno sestavo taline, je treba zmanjšati vsebnost ogljika. To je mogoče doseči z zahtevanim deležem jeklenih odpadkov v šarži. To količino je mogoče določiti na podlagi ravnotežne enačbe ogljika v šarži:

$$C_{ch.st} \cdot m_{st} + (100 - m_{st}) \cdot C_{ch.m} = C_{ch} \cdot 100 \quad (2)$$

kjer so $C_{ch.st}$ vsebnost ogljika v jeklenih odpadkih (%), m_{st} masa jeklenih odpadkov (kg), $C_{ch.m}$ želena vsebnost ogljika v talini (%), C_{ch} predizračun vsebnosti ogljika v šarži (%).

Z vnosom podatkov v enačbo (2) dobimo:

$$0,3_t \cdot m_{st} + (100 - m_{st})_t \cdot 3,0 = 2,625_t \cdot 100 \\ = 13,88 \text{ kg}$$

Za nadaljnji izračun se privzame vrednost 14 kg jeklenega odpadka na 100 kg šarže. Masa ogljika, vnesenega v šaržo z jeklenimi odpadki, se izračuna, kot sledi: $C_{st} = 0,3 \cdot 14/100 = 0,042$ kg. Izračun za Si, Mn in S se izvede na enak način. Rezultati so prikazani v Preglednici 2, vrstica 6.

Običajno se v sestavo kovinske šarže doda 15 % lastnih odpadkov in 15 % kupljene sive litine. Sestava in deleži posameznih komponent so prikazani v Preglednici 1, vrstici 4 in 5. Vsota vseh komponent je prikazana v 7. vrstici. Na podlagi razlike med 3. in 7. vrstico (vrstica 8) dobimo mase posameznih elementov, ki jih dodamo šarži.

Za primer vzemimo livarno, ki ima na razpolago nodularno litino (vrstica 9) in belo litino (vrstica 10). Za določitev njihovega deleža v kovinski šarži glede na zahtevano

In order to obtain the desired melt composition, it is necessary to lower the carbon content. This can be achieved by the required proportion of steel scrap in the charge. This amount can be determined from the carbon balance equation in the charge:

$$C_{ch.st} \cdot m_{st} + (100 - m_{st}) \cdot C_{ch.m} = C_{ch} \cdot 100 \quad (2)$$

where are $C_{ch.st}$ the content of the carbon in steel scrap (%), m_{st} the mass of steel scrap (kg), $C_{ch.m}$ the desired content of carbon in the melt (%), C_{ch} pre-calculate the carbon content in the charge (%).

Entering data into the equation (2) is obtained:

$$0,3_t \cdot m_{st} + (100 - m_{st})_t \cdot 3,0 = 2,625_t \cdot 100 \\ = 13,88 \text{ kg}$$

For further calculation, a value of 14 kg of steel scrap per 100 kg of charge is adopted. The mass of carbon introduced into the charge with steel scrap is calculated as follows: $C_{st} = 0,3 \cdot 14/100 = 0,042$ kg. The calculation for Si, Mn, and S is performed analogously. The results are shown in Table 2, row 6.

Usually, 15% of own waste and 15% of purchased gray cast iron are added to the composition of the metal charge. The composition and proportions of individual components are shown in Table 1, rows 4 and 5. The sum of all components is shown in row 7. The masses of the individual elements to be added to the charge were obtained on the difference between the 3rd and 7th rows (row 8).

Take, for example, the foundry has at its disposal Nodular Cast Iron (row 9) and White Cast Iron (row 10). In order to determine their share in the metal charge concerning the required melt composition, it is necessary to set up a balance equation in which the letter A denotes Nodular Cast Iron and B White Cast Iron. The calculation is

sestavo taline je treba sestaviti ravnotežno enačbo, v kateri je s črko A označena nodularna litina, z B pa bela litina. Izračun se glede na vsebnost silicija izvede, kot sledi:

$$A + B + 49 = 100$$

$$2.2 \cdot A + 1.0 \cdot B = (A + B) \cdot 1.489$$

$$A = 20 \% \quad B = 31 \%$$

V 9. in 10. vrstico je treba vnesti izračunane deleže in izračunati masne deleže posameznih elementov z naslednjo formulo:

$$E_i = E'_i \cdot A / 100 \quad (3)$$

kjer so A masa komponente šarže (kg), E'_i delež elementa i v komponenti šarže.

Potrebno je primerjati povprečno sestavo začetne sestave šarže po elementih (vrstica 3) z izračunanimi vrednostmi (vrstica 11) in rezultate vpisati v vrstico 12. Znak (+) označuje presežek, (-) pa primanjkljaj posameznega elementa. Izkazalo se je, da je treba dodati 0,732 kg silicija in 0,379 kg mangana. Ta primanjkljaj je mogoče nadomestiti s silicijevim manganom $MnSi_{20}$ (65 % Mn, 20 % Si) in ferosilicijem $FeSi_{20}$ (20 % Si, 1,0 % Mn) (vrstici 13 in 14). Izračun potrebne mase silicijevega mangana za nadomestitev primanjkljaja mangana s stopnjo uporabnosti 0,95:

$$m_{MnSi} = 0,462 \cdot 100 / (65 \cdot 0,95) = 0,748 \text{ kg}$$

Masa silicija, dodanega s silicijevim manganom, je:

$$m_{MnSi} = X_{Si} \cdot 100 / (20 \cdot 0,95)$$

$$X_{Si} = m_{MnSi} \cdot 20 \cdot 0,95 / 100 = 0.142 \text{ kg}$$

Primanjkljaj silicija (0,732 - 0,142) = 0,59 kg je mogoče nadomestiti z dodatkom ferosilicija:

$$m_{FeSi} = 0,59 \cdot 100 / (20 \cdot 0,95) = 3,1 \text{ kg}$$

(zaokroženo na vrednost 3,0)

performed according to the silicon content, in the following way:

$$A + B + 49 = 100$$

$$2.2 \cdot A + 1.0 \cdot B = (A + B) \cdot 1.489$$

$$A = 20 \% \quad B = 31 \%$$

It is necessary to enter the calculated proportions in rows 9 and 10 and to calculate the mass fractions of individual elements using the expression:

$$E_i = E'_i \cdot A / 100 \quad (3)$$

where are A mass of charge component (kg), E'_i the proportion of the i -th element in the charge component.

It is necessary to compare the mean composition of the initial composition of the charge by elements (row 3) with the calculated values (row 11), and enter the results in row 12. The sign (+) indicates the surplus, and (-) the deficit of an individual element. It turns out that it is necessary to add 0.732 kg of silicon and 0.379 kg of manganese. This deficit can be compensated by silicon manganese $MnSi_{20}$ (65%Mn, 20% Si) and ferrosilicon $FeSi_{20}$ (20% Si, 1.0%Mn) (rows 13 and 14). Calculation of the required mass of silicon manganese to compensate for the manganese deficit with a degree of usability of 0.95:

$$m_{MnSi} = 0,462 \cdot 100 / (65 \cdot 0,95) = 0,748 \text{ kg}$$

The mass of silicon introduced with silicon manganese is:

$$m_{MnSi} = X_{Si} \cdot 100 / (20 \cdot 0,95)$$

$$X_{Si} = m_{MnSi} \cdot 20 \cdot 0,95 / 100 = 0.142 \text{ kg}$$

Silicon deficit of (0.732 - 0.142) = 0.59 kg can be compensated by adding ferrosilicon:

$$m_{FeSi} = 0,59 \cdot 100 / (20 \cdot 0,95) = 3,1 \text{ kg}$$

(Rounded to the value of 3.0)

Vrstica 16 prikazuje razliko med izračunano sestavo šarže glede na zahtevano sestavo taline. Razlike so praktično zanemarljive. V praksi se v primeru majhnih razlik v količinah C, P in C korekcija sestave komponent šarže ne izvaja.

3 Sklepi

Za izdelavo taline sive litine, standardizirane pod kodo EN-GJL-250, v kupolki, naj bi na podlagi rezultatov izračuna 100 kg kovinske šarže sestavljalo naslednje: odpadki iz lastne proizvodnje 20 kg, kupljena siva litina 15 kg, odpadno jeklo 14 kg, nodularna litina 21 kg, beli grodelj 30 kg, silicijev mangan 0,748 kg, ferosilicij 3 kg. Razlika dodanih 3,748 kg kovinskega dela šarže ne vpliva bistveno na zahtevano sestavo taline.

Predstavljeni primer izračuna sestave kovinskega dela šarže pri taljenju v kupolki se je v praksi izkazal za izredno učinkovitega. Vendar pa je enak način izbire iz razpoložljivega obsega mogoče uporabiti tudi v primeru drugih vrst talilnih peči za proizvodnjo ulitkov ob upoštevanju posebnosti dela vsake od teh peči.

Kot primer izračuna sestave kovinskega dela šarže smo zaradi zahtevnejših procesnih reakcij v primerjavi z drugimi, na primer električnimi pečmi, izbrali kupolko. Očitno je, da je pri ostalih naštetih pečeh izračun šarže manj zahteven.

Row 16 shows the difference between the calculated charge composition with respect to the required melt composition. The differences are practically negligible. In practice, in the case of small differences in the amounts of C, P and C, the correction of the composition of the charge components is not performed.

3 Conclusion

In order to produce the cast iron melt standardized with the code EN-GJL-250 in the cupola furnace, according to the results of the calculation, 100 kg of metal charge should consist of: Waste of own production 20 kg, purchased gray cast iron 15 kg, Steel scrap 14 kg, Nodular cast iron 21 kg, White pig iron 30 kg, Silicomanganese 0.748 kg, Ferrosilicon 3 kg. The difference of the added 3.748 kg of metal part of the charge does not significantly affect the required melt composition.

The presented example of the calculation of the composition of the metal part of the charge for the case of melting in a cupola furnace, proves to be very effective in practice. However, the same method of selection from the available range can be applied in the case of other types of melting furnaces in casting production, taking into account the specifics of the work of each of them.

As an example of the calculation of the composition of the metal part of the charge, the cupola furnace was chosen because of more complex process reactions compared to others, for example, electric furnaces. Clearly, in the other listed furnaces, the charge calculation is less demanding.

Viri / References

- [1] Edward, K. "Cupola Furnace - A Practical Treatise on the Construction and Management of Foundry Cupolas". Philadelphia, PA: Baird, 2008, str. 95–250
- [2] Ochejah, Y.Y. et al, "Cupola Furnace Design and Fabrication for Industrial Development", International Journal of Scientific Advances, Vol. 2, No. 2, 2021, str. 102–106, DOI: 10.51542/ijscia.v2i2.3
- [3] Larsen, E.D., Clark, D.E., Smartt, H.B., and Kevin L. M. Intelligent Control of Cupola Melting, Transactions of the American Foundrymen's Society, Vol. 95-96, (2005). str. 215–219.
- [4] Kirk, E. "Cupola management", The Cupola furnace: A practical Treatise on the Construction and Management of Foundry Cupolas, Hansebooks, 2017, str. 6–12, ISBN 978-3337059323
- [5] D'Agostini, M., Kenworthy, B., Hewertson, R., Cupola Oxy-Fuel System Cuts Emissions - and Fuel, Alloy Costs, Foundry Management & Technology; Nashville Vol. 144, Iss. 1, 2016, str. 18
- [6] Matyuhin, V.I., Matyuhin, A.V. Calculation and design of a cupola complex for iron smelting, Tutorial, Ural Federal University, 2015, str. 226–232 (in Russian), ISBN 978-5-9904848-2-5.

Stanje električnih lahkih motornih vozil v Indiji: Raziskava

Status of Electric Light Motor Vehicles in India: A Study

Izvleček

Indija je četrty največji proizvajalec lahkih motornih vozil na svetu. Trenutno se v Indiji letno proizvede 4 milijone lahkih motornih vozil z motorji z notranjim izgorevanjem (ICE). Indija je začela električna vozila proizvajati leta 2015 in njihovo proizvodnjo hitro povečuje. Električna lahka motorna vozila (ELMV), ki jih poganja električni motor z akumulatorskimi baterijami z motorjem z notranjim izgorevanjem (ICE) ali brez njega, ki so opremljena z menjalnikom kot tudi z diferencialom, so proizvajajo v velikem obsegu. Hibridno električno lahko motorno vozilo (HELMV) poganjata tako motor z notranjim izgorevanjem kot baterija. Pod sistemi HELMV so baterija, elektromotor, močnostna elektronika in prenos, napajalni sklopnik, motor z notranjim izgorevanjem. V tem prispevku so opredeljeni hibridno električno vozilo in njegovi pod sistemi ter obravnavani različni sistemi pogonskega sklopa, in sicer zaporedni, vzporedni, zaporedno-vzporedni in kompleksni. Poskušali smo tudi ugotoviti stanje proizvodnje vozil HELMV in njihovo rast v prihodnosti do leta 2030, prepoznane pod sisteme, primerne za indijsko avtomobilsko industrijo, skupaj s tehnično-gospodarsko analizo.

Ključne besede: lahka motorna vozila, hibridna električna lahka motorna vozila, motor z notranjim izgorevanjem, pogonski sistem, močnostna elektronika in tehnično-gospodarska analiza

Abstract

India is the fourth largest Light Motor Vehicle (LMV) manufacturer in the world. Presently production of 4 million LMVs has been produced annually using internal combustion engines (ICE). India has started the manufacturing of electric vehicles (EVs) since 2015 and has been increasing production rapidly. Electric Light Motor Vehicles (ELMV) driven by electric motors powered by rechargeable batteries with or without IC engine (ICE) coupled with transmission including differential have been widely manufactured. Hybrid Electric Light Motor Vehicle (HELMV) is propelled by both ICE and battery. HELMV sub-systems comprise of battery, electric motor, power electronics and transmission, power coupler, and ICE. In the present work hybrid electric vehicle and their sub-systems have been identified and different power train systems namely series, parallel, series-parallel, and complex are discussed. An attempt has also been made to find the status of HELMV manufacturing and its future growth by 2030AD, sub-systems identified as suitable to the Indian automobile industry along with techno-economic analysis.

Keywords: Light motor vehicle, Hybrid electric light motor vehicle, Internal combustion engine, Power train system, power electronics, and Techno-economic analysis.

1 Uvod

Prvi avtomobil v Indiji je vozil po tamkajšnjih cestah že leta 1897, prvi indijski avtomobil pa je leta 1942 izdelalo [1] podjetje Hindustan Motors v sodelovanju s podjetjem Morris Motors iz Združenega kraljestva. Indija je četrta največja proizvajalka lahkih motornih vozil na svetu z letno proizvodnjo 4 milijonov vozil, skupaj pa se v Indiji proizvede 30 milijonov vozil, ki jih poganjajo motorji z notranjim izgorevanjem (ICE). ICE proizvajajo toplogredne pline, ki predstavljajo 13 % CO₂. Električna vozila to težavo rešujejo. Električna vozila so bila razvita pred izumom vozil z motorjem z notranjim izgorevanjem (ICEV). Britanski izumitelj Robert Anderson je leta 1832 zasnoval in izdelal prvo električno vozilo, ki je postalo priljubljeno konec 19. stoletja [2]. Zaradi padca cen nafte in potrebe po daljši vozni razdalji so se na začetku 20. stoletja razvila vozila ICEV.

2 Pregled literature

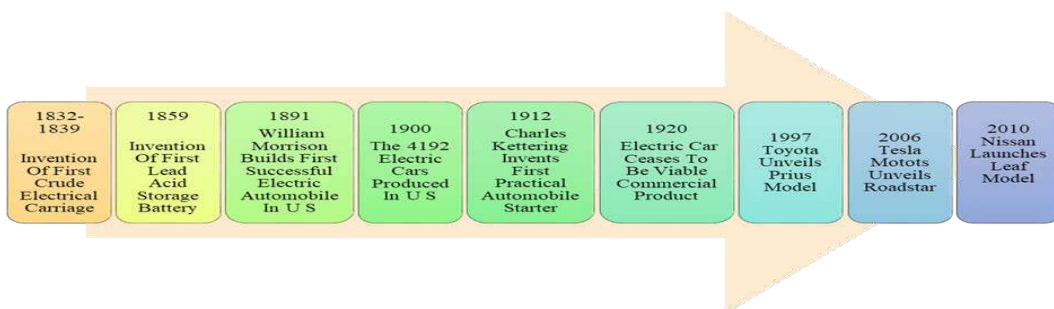
Zgodovinski razvoj električnih lahkih motornih vozil [3] je prikazan na Sliki 1. Priljubljenost električnih vozil je začela upadati zaradi izuma električnega avtomobilskega zaganjalnika, ki ga je leta

1 Introduction

The first car in India that plied on Indian roads was as early as 1897 and the first car was manufactured [1] by Hindustan Motors, in collaboration with Morris Motors, UK in 1942 AD. India is the fourth largest LMV producer in the world with an annual production of 4 million and cumulative plied vehicles of 30 million which are operated by internal combustion engines (ICE). The ICEs produce greenhouse gases which account for 13% of CO₂. Electric vehicles address this problem. Electric vehicles were developed before the invention of internal combustion engine (ICEV) vehicles. The British inventor Robert Anderson designed and manufactured the first electric vehicle in 1832 AD which later became popular at the end of the 19th century [2]. Due to the fallout of oil prices and the need for longer drive distances ICEVs were evolved at the beginning of the 20th century.

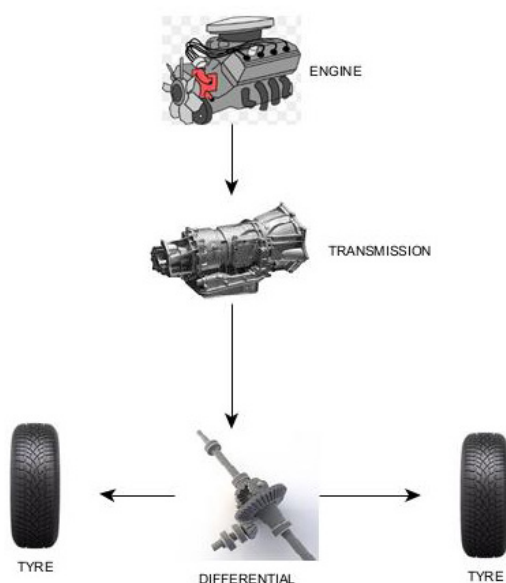
2 Literature Review

The historical development of electric light motor vehicles [3] is depicted in Figure 1. The decline of electric vehicles started due to the invention of the electric automobile starter by Charles Kettering in 1912 AD.



Slika 1. Zgodovinski razvoj električnih lahkih motornih vozil

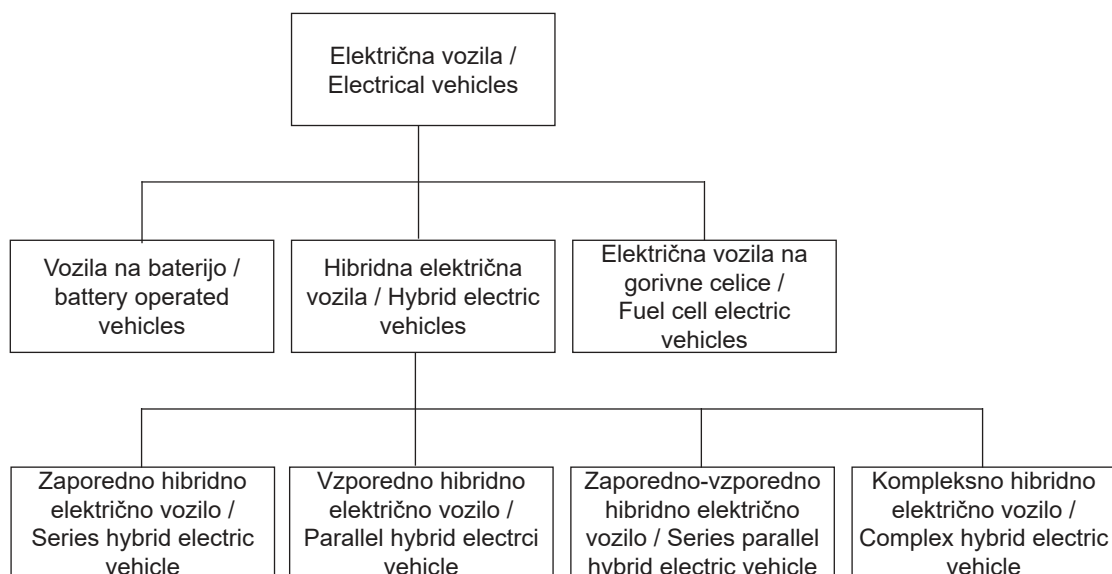
Figure1. Historical Development of Electric LMV



Slika 2. Pod sistemi lahkega motornega vozila

Figure 2. LMV Sub Systems

During the 1920s the electric car ceases to be a commercially viable product and its downfall is necessitated by a number of factors including the desire for longer distances and readily availability of fuel with limited horsepower and lack of infrastructure facility for battery charging. Again in 1997 AD Toyota launched Pirus new model of electric vehicle that sold 18,000 units and followed by Tesla Motors launched Roadstar in 2006 AD. Later Nissan Company introduced its new electric car namely 'The Leaf' capable of achieving a maximum speed of 140 kmph and can travel 160 km on a full charge. In 2015 India also launched electric light motor vehicles of three wheelers and four wheelers category. Tata Motors is the largest electric car manufacturer followed by M G Motors and cumulative sales of 0.42 million units.



Slika 3. Pod sistemi električnega lahkega motornega vozila

Figure 3. ELMV Sub Systems

1912 izumil Charles Kettering. V dvajsetih letih 20. stoletja električni avtomobil ni več komercialno uporaben izdelek, njegov propad pa je posledica številnih dejavnikov, med drugim želje po daljših potovanjih in dobri dostopnosti goriva kot tudi omejene moči ter pomanjkanja infrastrukture za polnjenje akumulatorjev. Leta 1997 je podjetje Toyota ponovno predstavilo nov model električnega vozila Pirus in prodalo 18.000 enot, leta 2006 pa je podjetje Tesla Motors predstavilo vozilo Roadstar. Nato je podjetje Nissan predstavilo svoj novi električni avtomobil Leaf, ki lahko doseže največjo hitrost 140 km/h in s polnim polnjenjem prevozi 160 km. Leta 2015 je Indija začela proizvajati tudi električna lahka motorna vozila, in sicer iz kategorije trikolesnikov in štirikolesnikov. Podjetje Tata Motors je največji proizvajalec električnih avtomobilov, sledi mu podjetje M G Motors, njuna skupna prodaja pa znaša 0,42 milijona enot.

3 Motorji z notranjim izgorevanjem in njihovi podsistemi za lahka motorna vozila

Sistem lahkega motornega vozila [4] je sestavljen iz šasije, motorja, električnega sistema, pogonskega sistema, sistema vzmetenja, zavornega sistema in karoserije. To je prikazano na Sliki 2. Šasija obsega motor, pogonski sistem, sistem vzmetenja, krmilni sistem in zavore.

4. Električna lahka motorna vozila in njihovi podsistemi

Razvrstitev električnih lahkih motornih vozil je prikazana na Sliki 3.

3 Internal Combustion Engines and Its Sub-Systems for Light Motor Vehicles

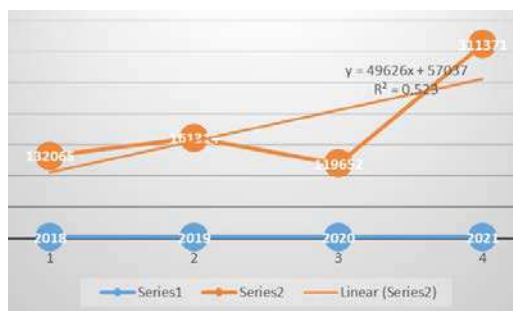
Light Motor Vehicle (LMV) system [4] consists of a chassis, engine, electrical system, transmission system, suspension system, brake system, and body. It is shown in Fig. 2. The chassis houses an engine, transmission system, suspension system, steering system, and brakes.

4 Electric Light Motor Vehicle and Its Sub-Systems

The classification of ELMVs is shown in Fig. 3.

5 Status of Electric Vehicles

The Forecast of Electric Vehicles [5] is presented in Table 1 and presented graphically in Fig. 4 and the cost break-up of major EV sub-systems is shown in Fig. 5.



Slika 4. Stanje električnih vozil

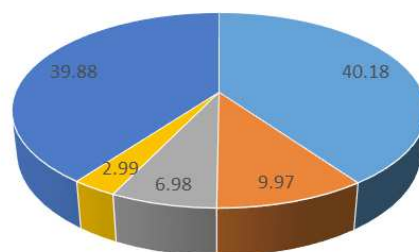
Figure 4. Status of Electric vehicles

5 Stanje električnih vozil

Napoved za električna vozila [5] je predstavljena v Preglednici 1, grafični prikaz je na Sliki 4, razčlenitev stroškov glavnih podsistemov električnih vozil pa je prikazana na Sliki 5.

6 Hibridno električno vozilo

Hibridno električno vozilo (HEV) [7] poganja motor z notranjim izgorevanjem in električni pogonski sistem, prikazan je na Sliki 6. HEV deluje na podlagi električnega pogonskega sistema, čeprav je potreba po moči majhna. Hibridno vozilo sestavlja pet glavnih delov: akumulator, motor z notranjim izgorevanjem (ICE), generator, naprava za delitev moči in elektromotor. Elektromotor pridobiva energijo iz naprave za shranjevanje energije, ki se v hibridnem avtomobilu imenuje akumulator. Ko vozilo potrebuje večjo hitrost, HEV preklopi na ICE. Akumulatorji se polnijo prek ICE; v vozilih HEV se za pridobivanje energije uporablja regenerativno zaviranje. Pogon z motorjem z notranjim izgorevanjem deluje tako, da motor kot generator proizvede nekaj energije in jo shrani v akumulatorju.



- BATTERY
- ELECTRIC DRIVE
- POWER ELECTRONICS
- VEHICLE INTERFACE
- NON POWER TRAIN COMPONENTS

Slika 5. Odstotek stroškov sistemov električnih vozil

Figure 5. Percentage of Cost of EV Systems

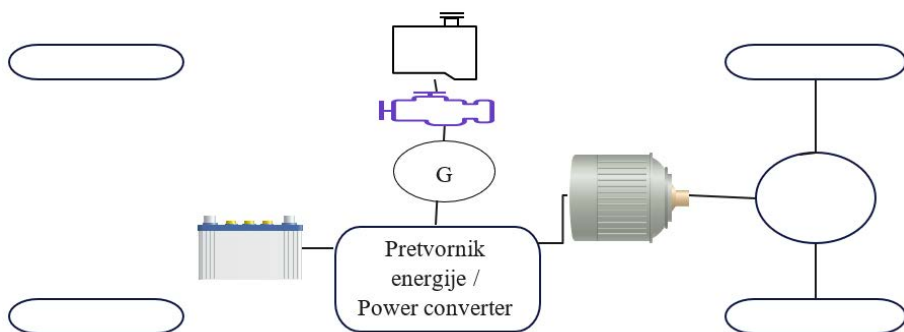
6 Hybrid Electric Vehicle

Hybrid Electric Vehicle (HEV) [7] is propelled by both an ICE and an electrical power train to power the vehicle and it is shown in Fig. 6. An HEV utilizes the electric propulsion system although the demand for power is low. Five main parts make up the hybrid vehicle which include the battery, internal combustion engine (ICE), generator, power split device, and electric motor. The electric motor derived energy from energy storage devices called batteries in a hybrid car. The HEV switches to the ICE when the vehicle needs higher speed. The batteries are

Preglednica 1. Napoved števila električnih vozil v Indiji 2022–2030

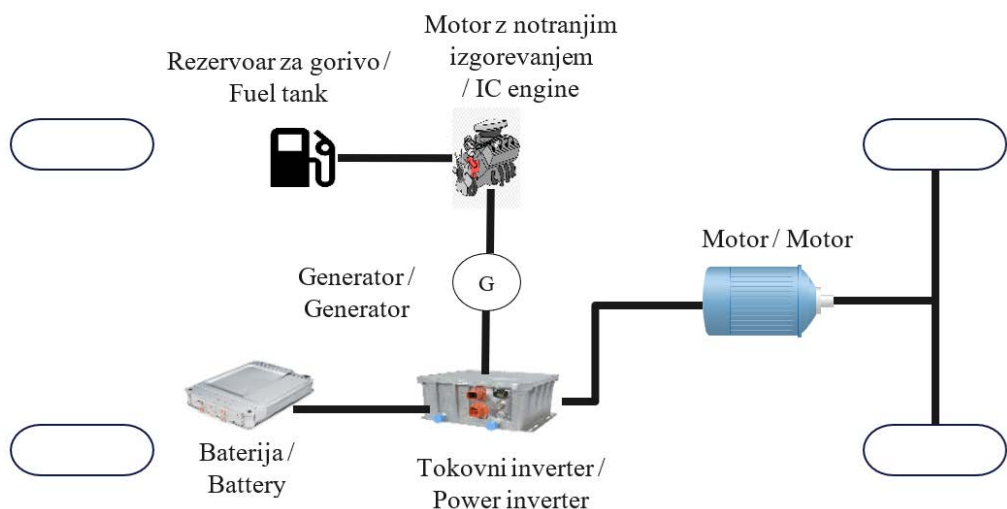
Table 1. Forecast of EVs in India 2022-2030

Leto / Year	2 W	3 W	4 W	6 W	Vsa električna vozila / all EVs
Enačba napovedi / Forecast Equation	$Y = 31688X - 47896$	$Y = 22558X - 15418$	$Y = 681,39X^2 - 4547,4 + 6385,5$	$Y = 36,887X^2 - 217,14X + 252,37$	$Y = 55946X - 67450$
Leto / FY 2025	300672	232720	38812	2327	547956
Leto / FY 2030	459112	345510	108062	6221	827686



Slika 6. Deli hibridnega lahkega motornega vozila

Figure 6. Parts of a hybrid Light Motor vehicle



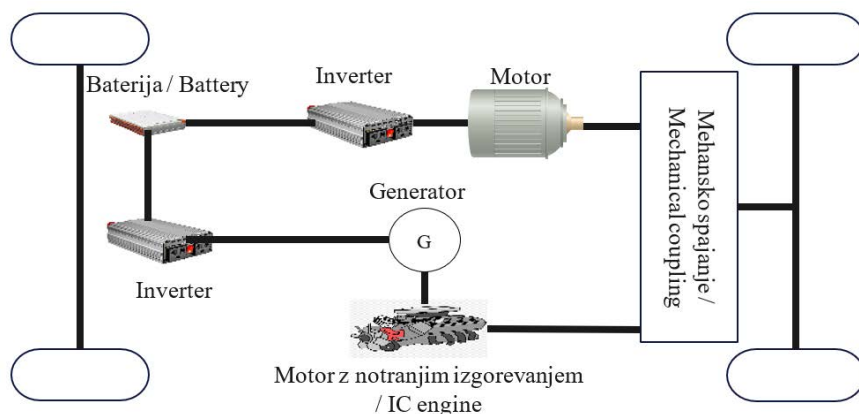
Slika 7. Zaporedno hibridno električno vozilo

Figure 7. Series Hybrid Electric Vehicle

6.1 Zaporedno hibridno električno vozilo

Zaporedno hibridno vozilo je podobno baterijskemu električnemu vozilu (BEV), ki je prikazano na Sliki 7. Motor z notranjim izgorevanjem poganja električni generator, namesto da bi neposredno poganjal kolesa.

charged by ICE; the regenerative braking is used in HEVs to recover energy. The propulsion of ICE works as the motor as a generator to produce some power and store it in the battery.



Slika 8. Zaporedno-vzporedno hibridno električno vozilo

Figure 8. Series Parallel Hybrid Electric Vehicle

Preglednica 3. Tehnično-gospodarska analiza podsistemov električnih vozil v letih 2020 in 2030

Table 3. Techno-Economic Analysis of EV sub-systems in 2020 and 2030AD

Podsistemi električnih vozil / EV Sub-systems	Odstotek deleža v stroških leta 2022 / Percentage of Share in Cost in 2022	Stroški v letu 2022 (v INR) / Cost in 2022 i(n INR)	Odstotek deleža v stroških v letu 2030 / Percentage of Share in Cost in 2030	Stroški v letu 2030 (v INR) / Cost in 2030 (in INR)
Paket baterij / Battery pack	40,18	5,59,806	18	1,78,707
Električni pogon / Electric drive	9,97	1,38,875	9,97	1,38,875
Napajalna elektronika / Power electronics	6,98	97,212	6,98	97,212
Vmesnik vozila / Vehicle interface	2,99	41,662	2,99	41,662
Brez pogonskega sistema / Non-Power Train	39,88	5,55,550	39,88	5,55,550
Stroški električnega avtomobila (v INR) / Cost of an electric car (in INR)		13,93,106		10,12,000

Generator polni akumulator in napaja elektromotor, ki poganja vozilo. Kadar je potrebna večja moč, motor črpa električno energijo iz akumulatorja in generatorja.

6.1 Series Hybrid EV

A series hybrid is like a battery electric vehicle (BEV) as shown in Fig.7. Here,

6.2 Zaporedno-vzporedno hibridno električno vozilo

Vozilo lahko poganja samo bencinski motor, električni motor ali oba pretvornika energije, ki delujeta skupaj, kar je prikazano na Sliki 8. Razporeditev moči med motorjem in električnim motorjem je zasnovana tako, da lahko motor v največji meri deluje v optimalnem območju delovanja.

7 Tehnično-gospodarska analiza električnega vozila

Stroški različnih podsistemov električnih vozil, kot so baterija (40,18 %), močnostna elektronika (9 %), vmesnik vozila (2,99 %) in drugi podsistemi (39,88 %), so predstavljeni v Preglednici 3. Prikazana je tudi ocena stroškov do leta 2030. Stroški se bodo do leta 2030 po vsej verjetnosti močno zmanjšali.

8 Sklepi

Napovedi pravijo, da bo proizvodnja električnih vozil do leta 2030 znašala približno 1 milijon vozil. Hibridna električna lahka motorna vozila (ELMV), ki jih poganjajo tako ICE kot baterije, so primernejša za indijski sektor lahkih motornih vozil. V tem prispevku so opredeljeni hibridno vozilo in njegovi podsistemi ter različni sistemi pogonskih sklopov, in sicer zaporedni, zaporedno-vzporedni. Tehnično-gospodarska analiza kaže, da se bodo stroški baterij do leta 2030 verjetno zmanjšali s 40 % na 18 % stroškov električnega vozila. Opredeljeni podsistemi ELMV, primerni za indijske razmere, skupaj s tehnično-gospodarskimi dejavniki. Stroški električnih vozil se bodo do leta 2030 močno znižali. Uvedba in uporaba električnih vozil bo prispevala k zmanjšanju toplogrednih

the combustion engine drives an electric generator instead of directly driving the wheels. The generator both charges a battery and powers an electric motor that moves the vehicle. When large amounts of power are required, the motor draws electricity from both the battery and the generator.

6.2 Series-Parallel Hybrid EV

The vehicle can be powered by the gasoline engine working alone, the electric motor by itself, or by both energy converters working together and is shown in Fig. 8. Power distribution between the engine and motor is designed so that the engine can run in its optimum operating range as much as possible.

7 Techno Economic Analysis of Electric Vehicles

The cost of various EV sub-systems like a battery (40.18%), power electronics (9%), vehicle interface (2.99%), and non-powertrain (39.88%) is presented in Table 3. Cost estimation by 2030 is also shown. The costs are likely to reduce drastically by 2030 AD.

8 Conclusions

The Forecast for production of EVs will be around 1 million vehicles by 2030 AD. Hybrid Electric Light Motor Vehicle (ELMV) propelled by both ICE and battery are more suitable for the Indian LMV sector. In the present work hybrid vehicle and their sub-systems were identified and different power train systems namely series, and series parallel are discussed Techno Economic

plinov in izzivov, s katerimi se soočajo avtomobilski proizvajalci.

9 Zahvala

Avtorji se iskreno zahvaljujejo Severo-vzhodnemu regionalnemu inštitutu za znanost in tehnologijo (velja za univerzo), Nirjuli, Itanagar, Arunachal Pradesh, Indija, za potrebno pomoč pri tem prispevku in gospe Mirjam Jan-Blažič, predsednici Društva livarjev Slovenije ter 62. mednarodnemu livarskemu posvetovanju v Sloveniji, ker so nam omogočili predstavitev prispevka na konferenci.

Analysis shows that battery cost is likely to reduce from 40% to 18% of the cost of the EV by 2030 battery. ELMV subsystems were identified suitable to Indian conditions along with technoeconomic factors. The cost of EVs will significantly be expected to reduce by 2030AD. The introduction and use of EVs will address in reduction of the greenhouse gases problem and challenges faced by Auto Manufacturers.

9 Acknowledgment

The authors would like to express sincere thanks to the North Eastern Regional Institute of Science and Technology (deemed to be a university), Nirjuli, Itanagar, Arunachal Pradesh, India for the necessary help in the present work and Madam Mirjam Jan-Blazic, President, Slovenian Foundrymen Society, 62nd IFC, Slovenia for accepting the paper for presentation in the Conference.

Viri / References

- [1] R.Matulka, "The History of the Electric Car," Energy Gov 2014, 1–11. DOI:10.1049/ip-a-1.1985.0014, 2014.
- [2] C. C. Chan, "The Rise and Fall of Electric Vehicles in 1828-1930: Lessons Learned," Proc IEEE 2013, Vol.101, 206-212, DOI:10.1109/JPROC.2012.2228370, 2013.
- [3] K.V. Vidyanandan, Overview of Electric and Hybrid Vehicles, Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/323497072>
- [4] William H Crouse, Automotive Mechanics, Tata McGraw –Hill, 2007 str. 2-3.
- [5] Status quo analysis of various segments of electric mobility and low carbon passenger road transport in India, NITI Ayog Report, India.
- [6] SK Subbarayalu, and M.Manapuram, Research Issues and solutions in an automobile foundry: a study, 59th IFC and WFO Technical Forum, Portoroz, Slovenia, 2019, str. 184.
- [7] Rony Arguta., A Technical Research Report: The Electric Vehicle, 2010.

Korozijsko vedenje krogel za mletje iz belega litega železa z visoko vsebnostjo kroma, izdelanih s cepivom Al5Ti1B

Corrosion Behavior of High-Chromium White Cast Iron Grinding Balls Produced with Al5Ti1B Inoculant

Povzetek

Korozijsko vedenje krogel za mletje iz zlitine belega litega železa z visokim deležem kroma (HCWCI), izdelanih z udrobnjevalcem Al5Ti1B (masni delež 0,5–2,0 wt.%), smo ocenili z elektrokemijskimi metodami, ki jim je sledila analiza mikrostrukture in merjenje trdote. Kot inokulant smo uporabili predzlitino Al5Ti1B, ki ima dvojno vlogo: je sredstvo za razplinjanje in sredstvo za modifikacijo, saj poleg aluminija vsebuje tudi karbidotvorne elemente, tj. titan in bor. Korozijske preskuse smo opravili v 0,1 M NaCl in v sladki vodi. Vzorce smo preskusili v litem stanju. Zlitina HCWCI, modificirana z 0,5 wt.% Al5Ti1B, je zagotovila optimalno kombinacijo preskušanih lastnosti.

Ključne besede: belo lito železo z visoko vsebnostjo kroma, krogle za mletje, cepiva Al5Ti1B, korozija

Summary

Corrosion behavior of high-chromium white cast iron (HCWCI) alloys for grinding balls produced with the addition of Al5Ti1B grain refiner (0,5 - 2,0 wt.%), were evaluated by electrochemical methods, followed by microstructure analysis and hardness measuring. An Al5Ti1B master alloy is used as an inoculant, having a double role: a degassing agent and a modification agent since in addition to aluminum, it contains carbide-forming elements, titanium and boron. Corrosion tests were performed in 0,1 M NaCl and fresh water. The samples were tested in the as-cast conditions. The HCWCI alloy modified by 0,5 wt.% of Al5Ti1B, showed the optimal combination of tested properties.

Keywords: high-chromium white cast iron, grinding balls, Al5Ti1B inoculants, corrosion

1 Uvod

Belo lito železo z visoko vsebnostjo kroma (HCWCI) je odličen obrabni material in predstavlja tretjo generacijo te vrste materialov z ugodnim razmerjem med obrabo zaradi abrazije in žilavostjo [1, 2, 3]. Dobra odpornost proti obrabi je predvsem posledica prisotnosti velikega volumnskega deleža zelo trdih evtektičnih

1 Introduction

High-chromium white cast irons (HCWCIs) represent excellent wearable materials, as a third generation of this type of material, with a favorable ratio of abrasion wear and toughness [1, 2, 3]. Good wear resistance is a consequence primarily of the presence of high-volume fraction of very hard eutectic carbides in a strong supporting matrix in their

karbidov v močni podporni matrici v njihovi mikrostrukturi [4, 5, 6, 7]. Obstaja veliko člankov in modelov, povezanih z razmerjem med obrabo in mikrostrukturnimi lastnostmi belega litega železa z visoko vsebnostjo kroma [12]. Vendar so obrabni elementi HCWCI pogosto izpostavljeni delu v korozivnem okolju, informacije o vedenju HCWCI v korozivnih okoljih pa so v dostopni literaturi razmeroma omejene [12]. Obstajajo eksperimentalni dokazi, da je belo železo z visoko vsebnostjo kroma z dobrimi mehanskimi lastnostmi manj odporno proti koroziji in da te zlitine v korozivnih pogojih postanejo manj odporne proti obrabi [13]. Korozijska odpornost zlitin HCWCI je odvisna od kemijske sestave železove matrice in koncentracije prostega Cr v matrici, ki povečuje korozijsko odpornost zlitin HCWCI, ter od razmerij Cr/C in $\text{Cr}_{\text{M7C3}}/\text{Cr}_{\text{matrix}}$ [12, 13, 14, 15]. Dodajanje drugih legirnih elementov, kot so Si, Mo, Ni, Cu, V, Ti itd., prav tako vpliva na korozijsko vedenje.

Namen tega prispevka je predstaviti nekatere rezultate in razmisleke o vplivu inokulacije HCWCI z Al5Ti1B (od 0,5 wt.% do 2,0 wt.%) na mikrostrukturo in korozijske lastnosti zlitin HCWCI. V primeru želez z visoko vsebnostjo kroma ima predzlitina Al5Ti1B dvojno vlogo: je sredstvo za razplinjanje in sredstvo za tvorbo/modifikacijo karbidov, saj poleg aluminija vsebuje tudi karbidotvorne elemente, tj. titan in bor.

2 Materiali in metode

Kemijska sestava preskušanih zlitin HCWCI je navedena v Preglednici 1. Vzorci so bili izdelani z dodatkom Al5Ti1B (0,5–2,0 wt.%). Taljenje zlitin je potekalo v indukcijski peči, krogle za mletje s premerom 60 mm pa so bile ulite v vodno hlajene trajne forme.

microstructure [4, 5, 6, 7]. There are many articles and models related to the wear and microstructure properties relationship of HCWCI [12]. However, wearable HCWCI elements are often exposed to work in a corrosive environment, and information on the behavior of HCWCI in corrosive environments is relatively limited in the open literature [12]. There are experimental evidences that HCWCI with high mechanical properties are less resistant to corrosion and these alloys become less resistant to wear under corrosive conditions [13]. The corrosion resistance of HCWCI alloys depends on the chemical composition of the ferrous matrix and the concentration of free Cr in the matrix, which increases the corrosion resistance of HCWCI alloys as well as on the Cr/C and $\text{Cr}_{\text{M7C3}}/\text{Cr}_{\text{matrix}}$ ratios [12, 13, 14, 15]. The addition of other alloying elements, such as Si, Mo, Ni, Cu, V, Ti, etc., also affects the corrosion behavior.

This paper aims to present some results and considerations related to the influence of the inoculation of HCWCI with Al5Ti1B (as 0,5 wt.% - 2,0 wt.%) on microstructure and corrosion properties of HCWCI alloys. In the case of high-chromium master alloy would have a double role: a degassing agent and a carbide forming/modification agent, since in addition to aluminum, it also contains carbide-forming elements, titanium and boron.

2 Materials and Methods

The chemical composition of tested HCWCI alloys is listed in Table 1. The samples were produced by the addition of Al5Ti1B (0,5 - 2,0 wt.%). The melting of alloys was performed in induction furnace and grinding balls with 60 mm of diameter were cast in water-cooled permanent molds. The casting temperature was 1470 °C - 1490 °C

Preglednica 1. Kemijska sestava zlitin HCWCI, uporabljenih v poskusih, wt. %**Table 1.** Chemical composition of HCWCI alloys used in experiments, wt. %

Zlitina / Alloy	C	Si	Mn	P	S	Cr,	Mo	Cu	Ni	Al	B	Ti	V
Osnovni / Base HCWCI	2,91	0,83	0,79	0,029	0,016	17,83	1,15	0,84	0,11	0,051	<0,002	0,021	0,041
HCWCI + 0,5 wt. % AlTiB	3,08	0,78	0,69	0,019	0,021	18,37	1,13	0,84	0,11	0,495	<0,002	0,046	0,043
HCWCI + 1,0 wt. % AlTiB	2,93	0,79	0,68	0,022	0,019	18,68	1,17	0,83	0,12	1,173	0,003	0,074	0,043
HCWCI + 2,0 wt. % AlTiB	2,90	0,79	0,78	0,029	0,015	15,53	1,24	0,76	0,09	2,271	0,021	0,16	0,043

Temperatura litja je bila 1470 °C–1490 °C, temperatura forme pa 130 °C–140 °C. Ulite krogle so bile v formi 3 minute, po odstranitvi iz form so se ohlajale na zraku. Litje in preskušanje »osnovne zlitine« HCWCI (kemijska sestava, določena s standardom ASTM A532-IIIE) sta bila izvedena pod enakimi pogoji, in sicer da bi ju lahko primerjali z lastnostmi ulitih krogel, izdelanih s cepivom Al5Ti1B.

Vzorci so bili preskušeni v litem stanju. Mikrostrukturo vzorcev smo preiskali z optičnim in vrstičnim elektronskim mikroskopom. Korozijsko vedenje zlitin HCWCI smo analizirali s potenciostatom/galvanostatom Ametek Versa 3. Za analizo elektrokemičnih podatkov smo uporabili programsko opremo VersaStudio (različica 2.62.2.0). Pri korozijskih preskusih smo uporabili standardno celico, sestavljeno iz vzorca kot delovne elektrode, grafitne protielektrode in elektrode Ag/AgCl kot referenčne elektrode. Taflove polarizacijske preskuse smo izvedli z uporabo postopka, ki samodejno izbere podatke, ki ležijo znotraj Taflovega območja (± 250 mV glede na korozijski potencial). Preskuse linearne polarizacije smo izvedli s postopkom, ki samodejno izbere podatke, ki ležijo v območju ± 20 mV glede na korozijski potencial. Pred vsako meritvijo smo testno površino brusili z brusnim papirjem iz

and the mold temperature was 130 °C–140 °C. The cast balls were kept in the mold for 3 minutes and, subsequently, taken out and cooled in ambient air. Casting and testing of HCWCI "base alloy" (chemical composition defined by ASTM A532-IIIE) were performed under the same conditions, in order to compare with properties of as-cast balls, produced with Al5Ti1B inoculant.

The samples were tested in the as-cast temper. The microstructure was investigated by optical and scanning electron microscopy. The corrosion behavior of HCWCI alloys was analyzed using Ametek Versa 3 potentiostat/galvanostat. The VersaStudio software (version 2.62.2.0) was used for all electrochemical data analysis. A standard cell composed of a specimen as a working electrode, graphite counter electrode and Ag/AgCl electrode as a reference electrode was used in the corrosion tests. Tafel polarization tests were carried out using the routine that automatically selects the data that lies within the Tafel region (± 250 mV with respect to the corrosion potential). The linear polarization tests were performed under the routine that automatically selects the data that lies within the region ± 20 mV concerning the corrosion potential. Before each measurement, the test surface was ground with silicon carbide papers and rinsed with acetone. Electrochemical

silicijevega karbida in jo oprali z acetonom. Elektrokemične preskuse smo opravili v 0,1 M NaCl in sladki vodi ($\text{HCO}_3^- = 74,5 \text{ mg/l}$; $\text{K}^+ < 0,5 \text{ mg/l}$; $\text{Mg}^{2+} < 0,1 \text{ mg/l}$; $\text{Na}^+ = 48,3 \text{ mg/l}$; $\text{Ca}^{2+} < 3 \text{ mg/l}$; $\text{SiO}_2 = 45 \text{ mg/l}$). Trdoto zlitin smo preskusili z Rockwellovo metodo (HRC; obremenitev: manjša 10 kg, večja 150 kg; čas: 10 s), pri čemer smo izračunali povprečne vrednosti za prerez krogel za mletje.

3 Rezultati in razprava

Mikrostrukture ulitih krogel za mletje v litem stanju z različnimi vsebnostmi cepiva Al5Ti1B ob površini in v sredinskih conah prerezov so predstavljene na optičnih mikrofotografijah na Sliki 1. Predstavljena je tudi mikrostruktura osnovne zlitine HCWCI, in sicer z namenom opazovanja sprememb, ki jih povzroči dodajanje različnih vsebnosti Al5Ti1B. Mikrostruktura v vseh preiskovanih zlitinah je sestavljena iz dendritov primarnega avstenita in evtektičnih kolonij, ki so v sestavljeni iz mešanice karbidov in avstenita M_7C_3 . Mikrogrami SEM, ki prikazujejo mikrostrukturo osnovne zlitine HCWCI in zlitine z dodatkom 1,0 wt.% Al5Ti1B, so prikazani na Sliki 2. Na podlagi analize mikrostrukture (Sliki 1 in 2) je jasno razvidno, da lahko z modifikacijo HCWCI z dodatkom inokulanta Al5Ti1B zagotovimo bistveno bolj fino strukturo. Struktura postane bolj fina, velikost primarnih avstenitnih dendritov in evtektičnega karbida M_7C_3 pa se v HCWCI z 0,5 wt.% Al5Ti1B v primerjavi z osnovno zlitino zmanjša. Zlitina HCWCI, modificirana z 1,0 wt.% Al5Ti1B, ima nekoliko bolj grobo strukturo kot zlitina z 0,5 wt.% Al5Ti1B. Z nadaljnjim povečanjem deleža Al5Ti1B do 2,0 wt.% postane struktura v primerjavi z drugimi modificiranimi zlitinami bolj groba, vendar še vedno bolj fina v primerjavi z osnovno zlitino

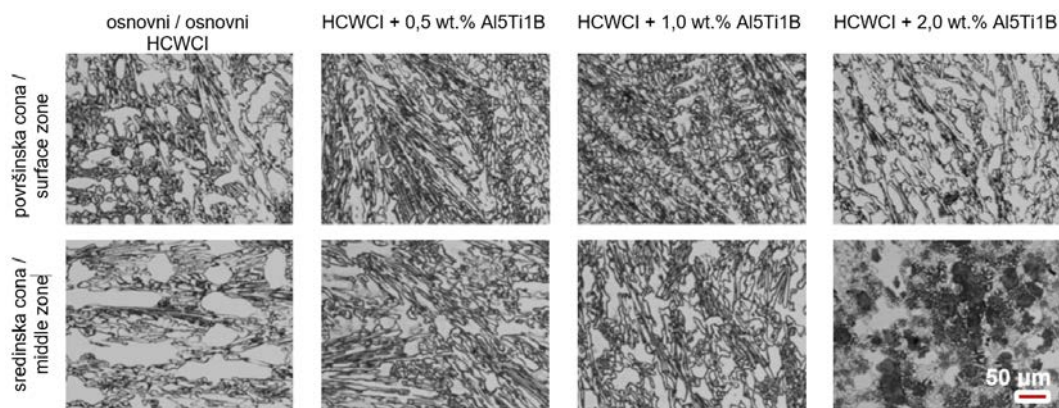
tests were conducted in 0,1 M NaCl and freshwater ($\text{HCO}_3^- = 74,5 \text{ mg/l}$; $\text{K}^+ < 0,5 \text{ mg/l}$; $\text{Mg}^{2+} < 0,1 \text{ mg/l}$; $\text{Na}^+ = 48,3 \text{ mg/l}$; $\text{Ca}^{2+} < 3 \text{ mg/l}$; $\text{SiO}_2 = 45 \text{ mg/l}$). The hardness of alloys was tested by the Rockwell method (HRC; load applied: minor 10 kg, major 150 kg; time: 10 s), with calculating the average values for the cross-section of the grinding balls.

3 Results and Discussion

Microstructures of as-cast grinding balls with different contents of Al5Ti1B inoculant, near the surface and in the central zones of the cross-sections, are presented in optical micrographs in Fig. 1. The microstructure of the base HCWCI alloy is also presented to observe the changes caused by the addition of different Al5Ti1B contents. The microstructure in all investigated alloys consists of dendrites of primary austenite and eutectic colonies, which are essentially a mixture of M_7C_3 carbides and austenite. SEM micrographs showing the microstructure of the base HCWCI alloy and the alloy with the addition of 1,0 wt.% Al5Ti1B is shown in Figure 2. Based on the microstructure analysis (Fig. 1 and Fig. 2), it is clearly seen that a much finer structure can be obtained by modifying of HCWCIs with the addition of Al5Ti1B inoculant. The structure becomes finer, and the size of the primary austenite dendrites and eutectic M_7C_3 carbide are decreased in HCWCI with 0,5 wt.% of Al5Ti1B if compared to the base alloy. The HCWCI was modified with 1,0 wt.% Al5Ti1B has a slightly coarser structure than the alloy with 0,5 wt.% of Al5Ti1B. With a further increase of the Al5Ti1B up to 2,0 wt.%, the structure becomes coarser if compared to the other modified alloys, but still finer compared to the base HCWCI alloy. The size, morphology and volume

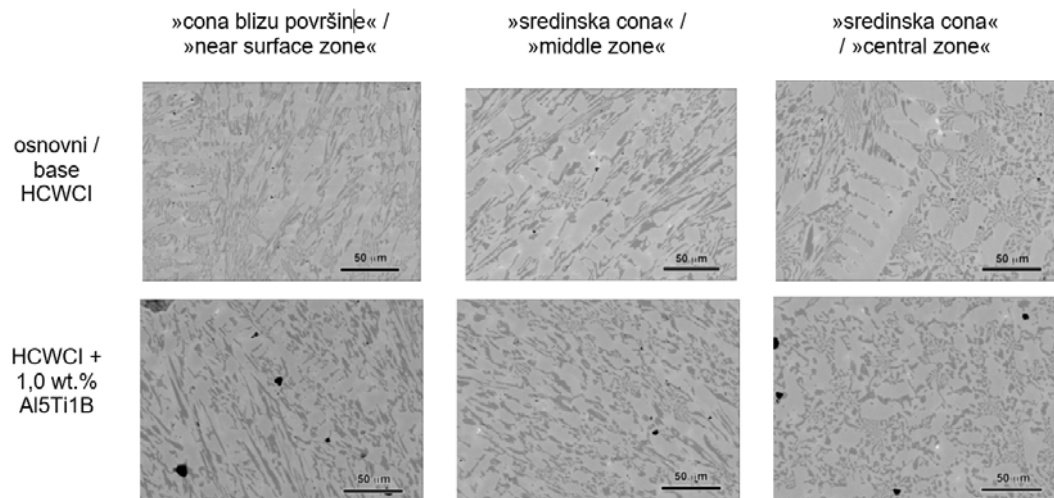
HCWCI. Velikost, morfologija in volumski delež faz v površinskih in sredinskih conah se pri vseh preiskovanih zlitinah razlikujejo. Vendar so s povečevanjem vsebnosti

fraction of the phases in the surface and central zones differ in all investigated alloys. However, with an increase in the Al5Ti1B content, the differences in the structure



Slika 1. Optične mikrofotografije mikrostrukture kroglic za mletje v litem stanju z različnimi vsebnostmi inokulanta Al5Ti1B

Figure 1. Optical micrographs of the as-cast microstructure of grinding balls produced with different contents of Al5Ti1B inoculant



Slika 2. Mikrografi SEM, ki prikazujejo mikrostrukturo osnovne zlitine HCWCI in zlitine HCWCI z dodatkom 1,0 wt.% cepiva Al5Ti1B, glede na oddaljenost od površine preskušanih krogel za mletje

Figure 2. SEM micrographs showing the as-cast microstructure of base HCWCI and HCWCI alloy with the addition of 1,0 wt.% of Al5Ti1B inoculant, depending on the distance from the surface of the tested grinding balls

Al5Ti1B razlike v strukturi od površine do sredine ulitih krogel manj izrazite, struktura pa je bolj homogena. V osnovni zlitini HCWCI in HCWCI z 0,5 % Al5Ti1B je opazna prisotnost martenzita, predvsem v mejni coni primarnega in eutektičnega avstenita ter eutektičnih karbidov M_7C_3 karbidov (Slika 1). Poleg tega se volumski delež martenzita zmanjšuje od površine proti sredini, Slika 3.

V površinskih conah je perlit prisoten v zelo majhnih količinah, medtem ko je v sredinski coni opazen nekoliko večji volumski delež, Slika 3. Stopnja pretvorbe avstenita v perlit je bistveno višja v zlitinah HCWCI, modificiranih z dodatkom 2,0 wt.% Al5Ti1B (Slika 1 in Slika 3), pri čemer se volumski delež perlita povečuje od površine proti sredini ulitih kroglic (Slika 1).

Vpliv dodatka Al5Ti1B na trdoto ulitih kroglic je prikazan na Sliki 4. Dodatek 0,5 wt.% Al5Ti1B povzroči povečanje povprečne vrednosti trdote za 1,5 HRC v primerjavi z osnovnim HCWCI, pri čemer se z nadaljnjim večanjem vsebnosti Al5Ti1B do 2 wt.% trdota ne spremeni bistveno in se giblje med 53,8 in 54,1 HRC.

from the surface to the center of the as-cast balls are less pronounced, and the structure is more homogeneous. The presence of martensite, mainly in the boundary zone of both primary and eutectic austenite and eutectic M_7C_3 carbides, is observed in base HCWCI alloy and in HCWCI with 0.5% Al5Ti1B (Fig. 1). Additionally, the volume fraction of martensite decreases from the surface to the center, Fig.3.

Pearlite is present in very small amounts in the surface zones, while in the central zone, a slightly larger volume fraction can be observed, Fig. 3. The degree of transformation of austenite into pearlite is significantly higher in HCWCI alloys modified by the addition of 2,0 wt.% Al5Ti1B (Fig. 1 and Fig. 3), noting that the volume fraction of pearlite increases from the surface to the center of the as-cast balls (Fig. 1).

The influence of the Al5Ti1B addition on the hardness of the as-cast balls is illustrated in Fig.4. The addition of 0,5 wt.% Al5Ti1B causes an increase in the average hardness value of 1,5 HRC, if compared to the base HCWCI, noting that with further

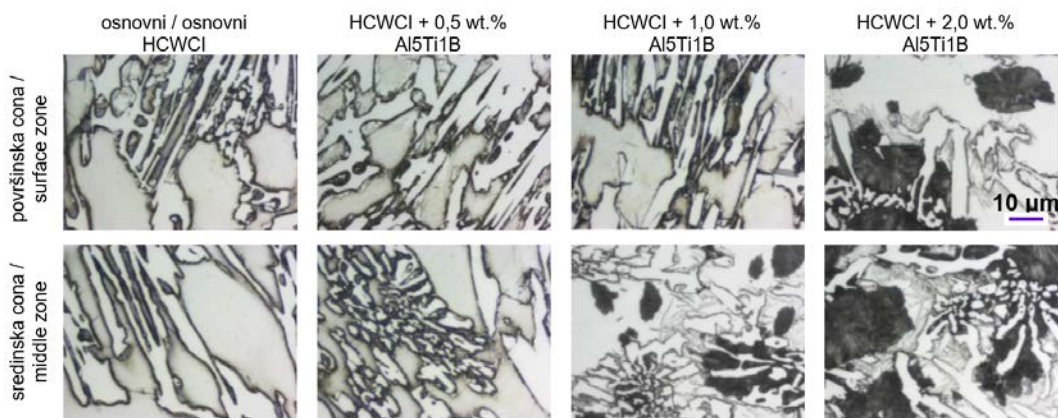
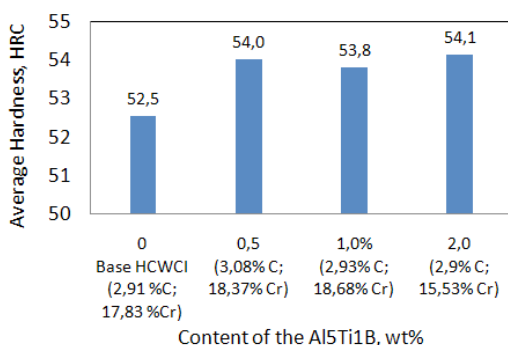


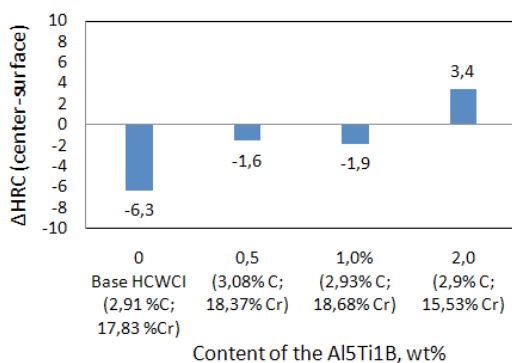
Figure 3. Optical micrographs of the as-cast microstructure of grinding balls produced with different contents of Al5Ti1B, "near-surface zone" and "central zone"

Slika 3. Optične mikrofografije mikrostrukture kroglic za mletje, izdelanih z različno vsebnostjo Al5Ti1B, »cona blizu površine« in »sredinska cona«



Slika 4. Vpliv dodatka Al5Ti1B na trdoto krogel v litem stanju

Figure 4. The influence of the Al5Ti1B addition on the hardness of as-cast balls



Slika 5. Vpliv dodatka Al5Ti1B na razliko v trdoti v sredinski coni površine

Figure 5. The influence of the Al5Ti1B addition on the hardness difference in the center-surface zone

Trdota vseh preskušanih krogel v litem stanju se zmanjšuje v smeri od površine do sredine, razen pri zlitini z 2,0 wt.% Al5Ti1B, kjer je opaziti rahlo povečanje trdote v smeri od površine do sredine, Slika 5. Razlika v trdoti med površino in sredino pri osnovni HCWCI je 6,3 HRC. Dodatek 0,5 wt.% Al5Ti1B to razliko zmanjša na 1,6 HRC, Slika 5, kar pomeni, da dodatek 0,5 wt.% Al5Ti1B ne samo poveča povprečno vrednost trdote, temveč tudi znatno zmanjša razpršenost vrednosti trdote na prerezu krogel, kar je posledica bolj homogene strukture. HCWCI, modificirana z 1,0 wt.% Al5Ti1B, ima bolj fino strukturo, transformacija avstenita v martenzit je bolj enakomerna po celotnem prerezu, v primerjavi z osnovno zlitino pa je v sredinski coni opazna zelo majhna količina perlita (Slika 3). S tem se poveča povprečna trdota in zmanjša razlika v trdoti med površino in sredino. Pri HCWCI z 2,0 % Al5Ti1B smo opazili nasprotno težnjo (povečanje trdote v smeri od površine proti sredini) kot posledico povečanja stopnje transformacije avstenita v zelo fin perlit in martenzit (Sliki 1 in 3) z majhnimi deleži preostalega avstenita.

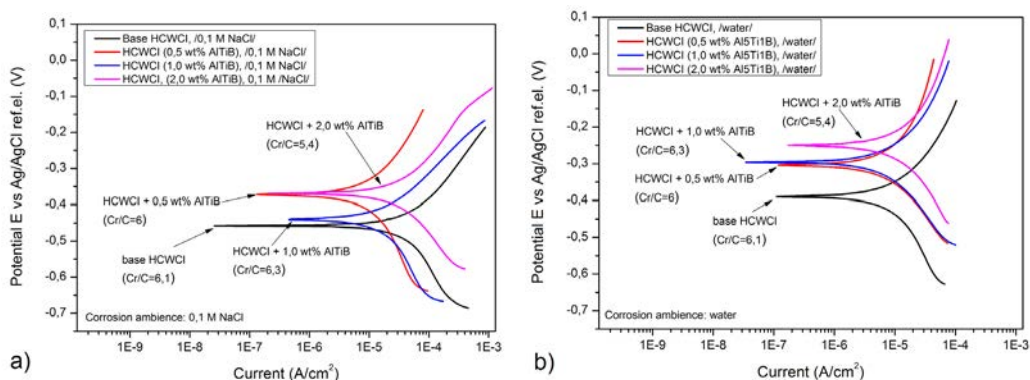
increase in the content of Al5Ti1B up to 2 wt.%, hardness remains approximately the same, and ranges between 53,8 and 54,1 HRC.

The hardness of all tested as-cast balls decreases in direction surface-center, except for the alloy with 2,0 wt.% Al5Ti1B, where a slight increase in surface-center hardness is observed, Fig. 5. The difference in surface-center hardness in the base HCWCI is 6,3 HRC. The addition of 0,5 wt.% of Al5Ti1B decreases this difference to 1,6 HRC, Fig. 5, noting that the addition of 0,5 wt.% of Al5Ti1B not only increases the average hardness value, but also significantly reduces the dispersion of hardness values on the cross-section of the balls, as a consequence of a more homogeneous structure. The HCWCI modified with 1,0 wt.% of Al5Ti1B has a finer structure, the transformation of austenite into martensite is more uniform across the cross-section, and a very small amount of pearlite is noticeable in the central zone (Fig. 3) if compared to the base alloy. This increases the average hardness and decreases the difference in surface-center

Taflove krivulje preskušanih HCWCI v 0,1 M NaCl so prikazane na Sliki 6.a skupaj z ustreznimi korozijskimi podatki, Preglednici 2. Dodatek Al5Ti1B zlitinam HCWCI premakne Taflove krivulje modificiranih belih želez z visoko vsebnostjo kroma k manj negativnim vrednostim potencialov v okolju kloridne korozije, Slika 6.a. Premiku Taflovih krivulj proti bolj žlahtnim vrednostim potenciala zaradi modifikacije z Al5Ti1B sledi zmanjšanje vrednosti gostot korozijskih tokov v primerjavi z osnovno nemodificirano osnovno zlitino, Preglednica 2. Pri »osnovni zlitini« (Cr/C=6,1) so bile zabeležene najvišje vrednosti gostote korozijskega toka ($71,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) in najbolj negativen potencial $E_{(I=0)}$ (-458 mV) v primerjavi z vsemi drugimi preskušeni modificiranimi zlitinami HCWCI v 0,1 M NaCl. Pri zlitini HCWCI z 0,5 wt.% Al5Ti1B (Cr/C=6) so bile zabeležene najnižje vrednosti gostote korozijskega toka v 0,1 M NaCl ($23,3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) in izračunana vrednost korozijske hitrosti ($0,2 \text{ mm}/\text{leto}$). Podobne vrednosti korozijskih tokov (in hitrosti korozije) za zlitine HCWCI z dodatkom 0,5 wt.% Al5Ti1B (Cr/C=6) in 1,0 wt.% Al5Ti1B (Cr/C=6,3) so zabeležene v 0,1 M NaCl. Enakovredno vedenje zlitin HCWCI je razvidno iz preskušanja v sladki vodi, Slika 6.b. Taflove krivulje modificiranih belih želez z visoko vsebnostjo kroma so v primerjavi s Taflovo krivuljo osnovne zlitine v poljih manjših negativnih vrednosti potencialov. Pri osnovni zlitini HCWCI (Cr/C=6,1) so bile zabeležene vrednost gostote korozijskega toka $21,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ in najbolj negativen potencial $E_{(I=0)}$ (-389 mV) v primerjavi z vsemi modificiranimi zlitinami HCWCI, Preglednica 2. Podobne vrednosti $E_{(I=0)}$ za zlitine HCWCI, ki vsebujejo 0,5 wt.% (Cr/C=6) in 1,0 wt.% (Cr/C=6,3) Al5Ti1B, so bile zabeležene tudi pri korozijskih preskusih v 0,1 M NaCl.

hardness. The opposite tendency was observed in the HCWCI with 2.0% Al5Ti1B (an increase in hardness in the direction surface-center) as a result of an increase in the degree of transformation of austenite into very fine pearlite and martensite (Fig. 1 and 3) with small fractions of residual austenite.

The Tafel curves of tested HCWCIs in 0,1 M NaCl are shown in Fig. 6.a. with corresponding corrosion data given in Table 2. The addition of Al5Ti1B into the HCWCI alloys shifts the Tafel curves of modified high-chromium white irons toward less negative values of potentials in chloride corrosion ambience, Fig. 6. a. The shift of the Tafel curves toward more noble values of the potential due to modifying with Al5Ti1B is followed by a decrease in the values of the corrosion current densities, compared to the basic unmodified base alloy, Table 2. The "base alloy" (Cr/C=6,1) recorded the highest values of corrosion current density ($71,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) followed by the most negative potential $E_{(I=0)}$ (-458 mV) if compared to all other tested modified HCWCI alloys in 0,1 M NaCl. The HCWCI alloy with 0,5 wt.% Al5Ti1B (Cr/C=6) recorded the lowest values of corrosion current density in 0,1 M NaCl ($23,3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) and calculated the value of corrosion rate ($0,2 \text{ mm}/\text{year}$). Similar values of corrosion currents (and corrosion rates) for HCWCI alloys with the addition of 0,5 wt.% Al5Ti1B (Cr/C=6) and 1,0 wt.% Al5Ti1B (Cr/C=6,3) are recorded in 0,1 M NaCl. The equivalent behavior of HCWCI alloys is indicated by testing in fresh water, Fig. 6.b. Tafel curves of modified high-chromium white irons are placed in the fields of less negative values of potentials compared to the Tafel curve of the base alloy. The base HCWCI alloy (Cr/C=6,1) recorded the value of corrosion current density of $21,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ followed by the most negative potential $E_{(I=0)}$ (-389 mV)



Slika 6. Taflove krivulje osnovnih in modificiranih zlitin HCWCI v (a) 0,1 M NaCl in (b) sladki vodi
Figure 6. Tafel curves of HCWCI base and modified alloys in (a) 0,1 M NaCl and (b) fresh water

Preglednica 2. Rezultati korozije zlitin HCWCI v 0,1 M NaCl in vodi; Taflove ekstrapolacije

Table 2. Corrosion results of HCWCI alloys in 0,1 M NaCl and water; Tafel extrapolations

Vrsta zlitine / Type of alloy	Korozijsko okolje / Corrosion ambience: 0,1 M NaCl			
	OCP [mV]	Stopnja korozije [mm/leto] / Corrosion rate [mm/year]	$E_{(I=0)}$ [mV]	I_{corr} [μ A/cm ²]
Osnovni / Base HCWCI	-436	0,637	-458	71,1
HCWCI + 0,5 wt.% AlTiB	-388	0,200	-372	23,3
HCWCI + 1,0 wt.% AlTiB	-418	0,210	-440	23,5
HCWCI + 2,0 wt.% AlTiB	-327	0,353	-359	40,6
Vrsta zlitine / Type of alloy	Korozijsko okolje: voda / Corrosion ambience: water			
	OCP [mV]	Stopnja kor. [mm/leto] / Corrosion rate [mm/year]	$E_{(I=0)}$ [mV]	I_{corr} [μ A/cm ²]
Osnovni / Base HCWCI	-387	0,192	-389	21,54
HCWCI + 0,5 wt.% AlTiB	-266	0,118	-304	13,52
HCWCI + 1,0 wt.% AlTiB	-271	0,174	-297	19,93
HCWCI + 2,0 wt.% AlTiB	-212	0,347	-250	39,87

Korozijski podatki, pridobljeni z linearno polarizacijo zlitin HCWCI v 0,1 M NaCl in vodi, so prikazani v Preglednici 3. Tako kot pri preskušanju v raztopini natrijevega klorida se z dodatkom Al₅Ti₁B zlitinam HCWCI vrednosti $E_{(I=0)}$ vseh modificiranih zlitin v primerjavi z osnovno nemodificirano zlitino HCWCI v obeh korozijskih okoljih premaknejo k bolj žlahtnim vrednostim potencialov. Zaznanemu premiku potenciala $E_{(I=0)}$ proti žlahtnim vrednostim

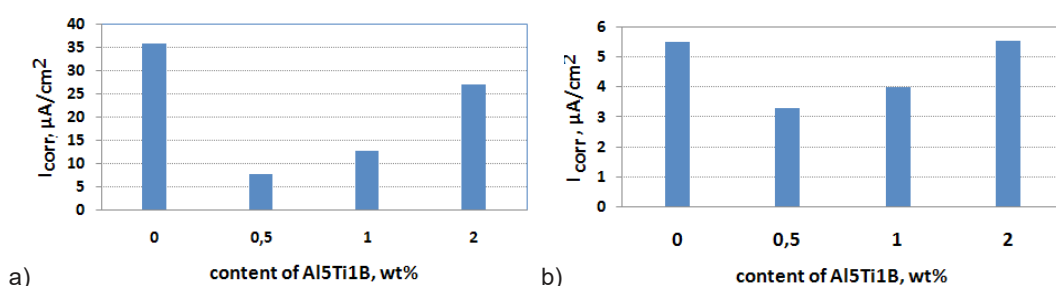
if compared to all modified HCWCI alloys, Table 2. Similar values of $E_{(I=0)}$ for HCWCI alloys containing 0,5 wt.% (Cr/C=6) and 1,0 wt.% (Cr/C=6,3) of Al₅Ti₁B are also recorded, as well as in corrosion tests in 0,1M NaCl.

Corrosion data obtained by linear polarization of HCWCI alloys in 0,1 M NaCl and water are presented in Table 3. As well as when testing in a chloride solution, the addition of Al₅Ti₁B into the HCWCI

potencialov sledijo nižji korozijski tokovi/stopnje, izmerjeni v obeh uporabljenih korozijskih medijih, 0,1 M NaCl in sladki vodi, Preglednica 3 in Slika 7..

Zlitina HCWCI, ki vsebuje 0,5 wt.% Al5Ti1B, je imela najnižjo vrednost korozijskega toka v 0,1 M NaCl ($7,59 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) in v sladki vodi ($3,29 \mu\text{A}/\text{cm}^2$), v primerjavi z osnovno zlitino HCWCI in drugimi modificiranimi zlitinami je bila manj

alloys shifts the values of $E(I=0)$ of all modified alloys toward more noble values of potentials in both corrosion ambiances, compared to the base unmodified HCWCI alloy. The recorded shift of the potential $E(I=0)$ towards noble potential values is followed by lower corrosion currents/rates measured in both used corrosion media, 0,1 M NaCl and fresh water, Table 3 and Fig.7.



Slika 7. Vpliv dodatka Al5Ti1B na I_{corr} zlitin HCWCI v (a) 0,1 M NaCl in (b) sladki vodi; linearna polarizacija

Figure 7. The influence of the Al5Ti1B addition on I_{corr} of HCWCI alloys, in (a) 0,1 M NaCl and (b) fresh water; linear polarization

Preglednica 3. Rezultati korozije zlitin HCWCI v 0,1 M NaCl in vodi; linearna polarizacija

Table. 3. Corrosion results of HCWCI alloys in 0,1 M NaCl and water; linear polarization

Vrsta zlitine / Type of alloy	Korozijsko okolje / Corrosion ambience: 0,1 M NaCl			
	Stopnja kor. [mm/leto] / Corrosion rate [mm/year]	R_p , [k Ω]	$E_{(I=0)}$, [mV]	I_{corr} , [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]
Osnovni / Base HCWCI	0,319	0,609	-392	35,66
HCWCI + 0,5 wt.% AlTiB	0,066	2,861	-331	7,59
HCWCI + 1,0 wt.% AlTiB	0,110	1,721	-359	12,62
HCWCI + 2,0 wt.% AlTiB	0,234	0,807	-283	26,91
Vrsta zlitine / Type of alloy	Korozijsko okolje: voda / Corrosion ambience: water			
	Stopnja kor. [mm/leto] / Corrosion rate [mm/year]	R_p , [k Ω]	$E_{(I=0)}$, [mV]	I_{corr} , [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]
Osnovni / Base HCWCI	0,049	3,951	-348	5,50
HCWCI + 0,5 wt.% AlTiB	0,029	6,590	-226	3,29
HCWCI + 1,0 wt.% AlTiB	0,035	5,426	-235	4,00
HCWCI + 2,0 wt.% AlTiB	0,048	3,946	-178	5,51

korodirana. Osnovna zlitina HCWCI je imela najvišje vrednosti gostote korozijskega toka in je bila podvržena večji koroziji tako v 0,1 M NaCl kot v sladki vodi v primerjavi z vsemi preskušeni zlitinami HCWC, modificiranimi z Al5Ti1B.

Dodatek 0,5 wt.% Al5Ti1B premakne potencial $E_{(I=0)}$ v bolj žlahtna območja (-226 mV), sledijo nižje vrednosti gostote korozijskega toka ($3,29 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) v primerjavi z nemodificirano zlitino. Nadaljnje povečanje vsebnosti Al5Ti1B povzroči povečanje gostote korozijskega toka, pri čemer so bile za zlitino HCWC, ki vsebuje 2,0 wt.% Al5Ti1B, in osnovno zlitino zabeležene podobne vrednosti I_{corr} . Opaziti je mogoče, da so medsebojna razmerja med korozijskimi značilnostmi, pridobljena z linearnim polarizacijskim preskusom v sladki vodi, podobna razmerjem, zabeleženim s potenciodinamičnimi (Taflovimi) polarizacijskimi preskusi. Glede na zagotovljene korozijske lastnosti je zlitina HCWCI, modificirana z 0,5 wt.% Al5Ti1B, pokazala znatno zmanjšanje korozijskih izgub, z najboljšo korozijsko odpornostjo v primerjavi s preskušeno osnovno zlitino in drugimi modificiranimi zlitinami HCWCI.

4 Sklepi

Dodatek Al5Ti1B vpliva na postopek strjevanja krogel iz belega železa z visoko vsebnostjo kroma in na transformacije v trdnem stanju med ohlajanjem ulitih krogel. Z modifikacijo HCWCI z dodatkom inokulanta Al5Ti1B lahko zagotovimo bistveno bolj fino strukturo. Najbolj izrazit učinek je opazen pri dodatku 0,5 wt.% Al5Ti1B.

Dodatek 0,5 wt.% Al5Ti1B povzroči povečanje povprečne vrednosti trdote v primerjavi z osnovnim HCWCI in zmanjša razpršenost vrednosti trdote na prerezu

The HCWCI alloy containing 0,5 wt.% of Al5Ti1B recorded the lowest value of corrosion current in 0,1 M NaCl ($7,59 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) and in fresh water ($3,29 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) and suffered less corrosion compared to the base HCWCI alloy and other modified alloys. The base HCWCI alloy had the highest values of corrosion current density and undergo more corrosion in both 0,1 M NaCl and fresh water compared to all tested HCWC alloys modified with Al5Ti1B.

The addition of 0,5 wt.% of Al5Ti1B shifts the potential $E_{(I=0)}$ towards more noble regions (-226 mV), followed by lower values of the corrosion current density ($3,29 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) compared to the unmodified alloy. A further increase in the Al5Ti1B content causes an increase in the corrosion current density, noting that similar I_{corr} values were recorded for the HCWC alloy containing 2,0 wt.% Al5Ti1B and the base alloy. It is noticeable that the mutual relations between the corrosion characteristics obtained by the linear polarization test in fresh water are similar to the relations recorded by the potentiodynamic (Tafel) polarization tests. According to the obtained corrosion characteristics, the HCWCI alloy was modified with 0,5 wt.% Al5Ti1B showed a significant reduction in corrosion losses, with the best corrosion resistance compared to the tested base alloy and other modified HCWCI alloys.

4 Conclusion

The addition of Al5Ti1B affects the solidification process of high-chromium white iron balls and the transformations in the solid state during the cooling of the cast balls. A much finer structure can be obtained by modifying of HCWCs with the addition of Al5Ti1B inoculant. The most pronounced

krogel, kar je posledica bolj homogene strukture.

Dodatek Al5Ti1B zlitinam HCWCI premakne Taflve krivulje modificiranih HCWCI proti manj negativnim vrednostim potencialov v obeh uporabljenih korozijskih okoljih, sledi zmanjšanje vrednosti gostot korozijskih tokov v primerjavi z osnovno nemodificirano osnovno zlitino. Zlitina HCWCI z 0,5 %Al5Ti1B (Cr/C=6) je v obeh uporabljenih korozijskih okoljih (0,1 M NaCl in sladka voda) dosegla najnižje vrednosti gostote korozijskega toka in izračunane hitrosti korozije, prav tako je bila tudi najbolj korozijsko odporna izmed preizkušenih zlitin HCWCI.

Glede na zabeležene korozijske podatke in vrednosti trdote je zlitina, modificirana z 0,5 wt.% Al5Ti1B, zagotovila optimalno kombinacijo preskušanih lastnosti. Na podlagi rezultatov raziskave je prav tako mogoče sklepati, da je mogoče predzlitino Al5Ti1B uporabljati kot cepivo v belih litinah z visoko vsebnostjo kroma za krogle za mletje.

5 Zahvala

To delo sta podprla Ministrstvo za izobraževanje, znanost in tehnološki razvoj Republike Srbije in Ministrstvo za gospodarski razvoj Črne gore v okviru pogodbe št. E!13302CastBalls: White iron composition and processing design for highly efficient casted milling balls.

effect is observed in the case of the addition of 0,5 wt.% Al5Ti1B.

The addition of 0,5 wt.% Al5Ti1B causes an increase in the average hardness value, if compared to the base HCWCI and reduces the dispersion of hardness values on the cross-section of the balls, as a consequence of a more homogeneous structure.

The addition of Al5Ti1B into the HCWCI alloys shifts the Tafel curves of modified HCWCIs toward less negative values of potentials in both used corrosion ambiances, followed by a decrease in the values of the corrosion current densities, compared to the basic unmodified base alloy. The HCWCI alloy with 0,5 %Al5Ti1B (Cr/C=6) recorded the lowest values of corrosion current densities, and calculated corrosion rates, in both used corrosion ambiances (0,1 M NaCl and fresh water), with the best corrosion resistance between tested HCWCI alloys.

According to recorded corrosion data and hardness values, the alloy was modified by 0,5 wt.% Al5Ti1B, showed the optimal combination of tested properties. Based on the obtained research results, it can be also concluded that Al5Ti1B master alloy can be used as a modifier in high-chromium white cast irons for grinding balls.

5 Acknowledgment

This work has been supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, and the Ministry of Economic Development of Montenegro, under contract No. E!13302CastBalls: White iron composition and processing design for highly efficient casted milling balls

Viri / References

1. S. O. Yilmaz, T. Teker, Effect of TiBAl inoculation and heat treatment on microstructure and mechanical properties of hypereutectic high chromium white cast iron, *Journal of Alloys and Compounds* 672 (2016) 324–331
2. Eternal Bliss Alloy Casting & Forging Co, Ltd. Technical Dept.: „Introduction and application of high chromium cast iron materials”, <https://ebcastworld.com/high-chromium-cast-iron/> December 20, 2019
3. High Alloy White Irons, Total Materia, ref. 13 December 20, 2002
4. JTH Pearce (2002) High-chromium cast irons to resist abrasive wear. *Foundryman* 95(4):156–16
5. A.E. Karantzalis, A. Lekatou, H. Mavros (2009) Microstructural modifications of As-cast high-chromium white iron by heat treatment. *ASM Int JMEPEG* 18:174–181
6. E. Zumelzu, I. Goyosb, C. Cabezas, O. Opitz, A. Parad (2002) Wear and corrosion behaviour of high-chromium (14–30% Cr) cast iron alloys. *J Mater Process Technol* 128:250–255
7. The hardness of grinding media ball, <https://www.nghexin.com/the-hardness-of-grinding-media-ball/>
8. A. Bedolla-Jacuinde, R. Correa, J.G. Quezada, C. Maldonado, Effect of titanium on the as-cast microstructure of a 16% chromium white iron, *Mater. Sci. Eng. A* 398 (2005) 297–308.
9. F. Han, S. Shen, D. Wang, X. Chen, X. Lu, Study on the structure and properties of a novel mini-sized high Cr mill balls, *Wear* 253 (2002) 640–649.
10. A. Wiengmoon, T. Chairuangsi, A. Brown, R. Brydson, D.V. Edmonds, J.T.H. Pearce, Microstructural and crystallographical study of carbides in 30wt.%Cr cast irons, *Acta Mater* 23 (2005) 4143–4154.
11. R.J. Llewellyn, S.K. Yick, K.F. Dolmanb, Scouring erosion resistance of metallic materials used in slurry pump service, *Wear* 256 (2004) 592–599.
12. B. Lu, J. Luo S. Chiovelli, Corrosion and wear resistance of chrome white irons—A correlation to their composition and microstructure *Metallurgical and Materials Transactions A* · Oktober 2006 DOI: 10.1007/s11661-006-0184-x <https://www.researchgate.net/publication/226653636>
13. Kh. Abd El-Aziz, Kh. Zohdy, D. Saber, H. E. M. Sallam, Wear and Corrosion Behavior of High-Cr White Cast Iron Alloys in Different Corrosive Media *J Bio Tribo Corros* (2015) 1:25, DOI 10.1007/s40735-015-0026-8
14. XH Tanga, R Chunga, CJ Panga, DY Li, B Hinckleyb, K Dolmanb (2011) Microstructure of high (45 wt.%) chromium cast irons and their resistances to wear and corrosion. *Wear* 271:1426–1431
15. A Wiengmoon, JTH Pearce, T. Chairuangsi (2011) Relationship between microstructure, hardness and corrosion resistance in 20 wt.% Cr, 27 wt.% Cr and 36 wt.% Cr high chromium cast irons. *Mater Chem Phys* 125:739–748.

AKTUALNO / CURRENT

Povzetki predavanj s 65. Avstrijske livarske konference (2. del)

V Livarskem vestniku št. 2 /2023 smo objavili 1. del povzetkov predavanj s 65. Avstrijske livarske konference, ki je bila v Leobnu v času od 27 do 28 aprila letos. V prispevku v tek številki Livarskega vestnika nadaljujemo s to objavo oz. jo zaključujemo s povzetki še ostalih strokovnih predavanj in sicer to pot s področja neželeznih ulitkov-

1. **Werner Fragner**, AMAG Austria Metall AG, Ranshofen, A, René Böhme, Audi AG, Ingolstadt, D, Jens Knaack, AMAG casting GmbH, Ranshofen, A

Reciklirana zlitina z majhnim ogljičnim odtisom za varnostne komponente

Varnostno kritične komponente iz aluminija za uporabo v šasijah so se v preteklosti zaradi zahtev po trdnosti in raztezku izdelovale iz primarnih zlitin. Podjetji AMAG in AUDI sta razvili recepturo za reciklirano aluminijevo zlitino, ki omogoča uporabo visoke količine odpadnega materiala, in sicer več kot 70 %, sočasno pa izpolnjuje vse trenutno veljavne in z materiali povezane zahteve za serijsko proizvodnjo komponent. V tem predavanju so na primerih pokazali, kaj je mogoče storiti, če se proučijo in prilagodijo dovoljene meje odstopanja uveljavljenih materialov. Predstavljen je primer rešitve, kako je mogoče s kombinacijo ulitkov iz lahkih kovin in komponent iz pločevine zagotoviti z vidika CO₂ optimiziran izdelek tako v fazi proizvodnje kot uporabe.

2. **Joshua Bissels**, Thomas Greß, Felix Jaruszewski, Pinter Guss GmbH, Deggendorf, D, Georg Fuchs (V), Constantin Bauer, Simon Kammerloher, Hannes Weiss, Wolfram Volk, Technische Universität München, Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen, Garching, D, Konrad Weiß, RWP GmbH, Roetgen, D

Pristopi v tehnologiji litja za izboljšanje učinkovitosti električnih motorjev

V povezavi z učinkovitostjo električnih motorjev se večina literature osredotoča predvsem na napake med litjem in na proizvodni proces elektropločevine za rotorje asinhronnega motorja. Cilj raziskovalnega projekta je premostiti vrzel v povezavi s procesnimi parametri postopka litja rotorjev in razviti energetsko učinkovitejši asinhroni motor. Kot kritični dejavniki, ki vplivajo na elektropločevino, so bili opredeljeni: krčenje kletke, kratki stiki med pločevino, vhodna temperatura in s postopkom litja povezane deformacije. Po drugi strani pa lahko na kletko iz prevodnega materiala vplivajo napake med litjem, kot so pore in mehurčki kot tudi nečistoče. Rotorji, ki se v primeru tehnoloških ulitkov običajno proizvajajo s tlačnim litjem, so izpostavljeni velikim mehanskim obremenitvam in zaradi povečane turbulence, ki nastaja med postopkom, običajno vsebujejo skupke por. Da bi zagotovili laminarno polnjenje forme in nizke mehanske obremenitve, so preskusne rotorje ulili z gravitacijskim litjem in nizko tlačnim litjem. Za predstavitev majhnih količin taline za majhne rotorje v postopku nizkotlačnega litja, so na katedri za livarsko tehnologijo in inženiring

Tehnične univerze v Münchnu razvili sistem za nizko tlačno litje. Postopek poteka s časom litja, ki je manjši od 1 sekunde, in tlakom, ki je višji kot 50 mbar/s. Izzive v povezavi z majhnimi količinami taline pri gravitacijskem litju so razrešili s premišljeno zasnovo livarske tehnologije. Da bi proučili posamezne vplivne dejavnike mehanske in toplotne obremenitve, so lamele rotorja izpostavili usmerjenim mehanskim obremenitvam, druge lamele pa so toplotno obdelali. Na podlagi meritev magnetnih lastnosti so ugotovili, da imajo toplotno obdelane lamele izboljšane lastnosti. Pričakovane vhodne obremenitve zaradi krčenja kratkostične kletke zaradi parametrov litja, temperature taline in temperature lamel so bile določene s simulacijo. V nasprotju s pričakovanji so prvi preskusni ulitki rotorjev s parametri za najnižjo vhodno napetost povezani z izboljšanjem magnetnih lastnosti.

3. **Peter Rauch**, Florian Sipek, Rauch Furnace Technology GmbH, Gmunden, A

Talilni lonec: optimizacija procesa z virtualnimi senzorji pri izgradnji talilne peči za magnezij

Predstavljeno je medsebojno delovanje obsežne senzorske tehnike v talilnih celicah za Mg z virtualnimi senzorji, izračunan na podlagi simulacij dinamike tekočin in analize toplotne obremenitve za načrtovano vzdrževanje in preprečevanje nenačrtovanih izpadov delovanja zaradi komponent celic, ki so ključne za izvajanje postopka. Prikaz na primeru talilne peči za magnezij predstavlja priložnost tudi za druge komponente v obratu, kot so forme za tlačno litje, dozirne črpalke, stroji za tlačno litje itd.



4. **Günther Prunner**, Voestalpine High Performance Metals International GmbH, Dunaj, A

Vpliv orodja za tlačno litje na učinkovitost in storilnost v livarnah

V predavanju so predstavljeni:

- Trendi in izzivi (vidik livarne in tehnični vidiki)
- Pregled globalnega razvoja na področju tlačnega litja
- Mehanizmi okvar v formah za tlačno litje
- Prepoznavanje in ukrepanje/odzivanje na takšne izzive

- Vpliv površinskih napak na življenjsko dobo orodij za tlačno litje
- Izbira USTREZNIH orodnih jekel za delo v vročem v tlačnem litju
- Pristop podjetja Voestalpine k tlačnemu litju
- Uporaba USTREZNEGA jekla, ki je optimizirano za USTREZNO storitev!
- Inovacije na področju storitev v tlačnem litju
- Toplotna in površinska obdelava
- Premazi PVD v tlačnem litju
- Inženiring izdelkov – nova storitev podjetja Voestalpine na področju tlačnega litja

Voestalpine se je predstavil kot celoviti ponudnik, ki razume potrebe stranke na področju tlačnega litja in govori njihov jezik, s kombinacijo materiala in storitev pa lahko močno prispeva k povečanju storilnosti v livarnah.

5. **Peter Hofer-Hauser**, Reinhold Gschwandtner, Österreichisches Gießerei-Institut, Leoben, A

Odpornost interno hlajenih jekel za tlačno litje na toplotni šok

V zadnjih letih sta gonili procesne tehnike v tlačnem litju predvsem dve metodi – mikro nanašanje (micro spraying) in uporaba komponent za forme, izdelane s 3-D tiskanjem. Po eni strani ti tehnologiji omogočata zmanjšanje toplotnih obremenitev na površino orodij zaradi hitrega hlajenja površine, po drugi pa zagotavljata stabilno temperaturno polje na opredeljeni ravni. Vzorec površinskih razpok (razpoke zaradi toplotnih obremenitev), ki so pri tlačnih orodjih pogoste, je mogoče zmanjšati na najmanjšo raven. Prav tako je mogoče ciljno odvajanje toplote s hlajenjem blizu površine ter izboljšati tudi kakovost komponent, še posebej lokalno. Vendar pa, še posebej v primeru form in vložkov form, ki se hladijo blizu površine, začnejo razpoke nastajati pri izvrtini za hlajenje in se širijo do površine forme, to pa lahko vodi do uničenja forme ali komponent forme. V predstavljenem prispevku je predstavljen v ÖGI razviti koncept preskušanja, ki omogoča oceno interno hlajenih jekel za uporabo v tlačnem litju ob upoštevanju materiala forme, njenega stanja toplotne obdelave in vrste hlajenja (konstanten ali časovno nadzorovan pretok). Preskusili so zatiče jekel iz jekla in volframa, izdelane na konvencionalni način ter z aditivno proizvodnjo. Med preskusom so simulirali toplotni šok taline s potapljanjem ohlajenih preskusnih jekel v aluminijevo kopel, s čimer so zagotovili toplotno vedenje, ki je zelo podobno dejanskim pogojem. Termično utrujenjje jekel so določili s porušitvenim preskušanjem po 20.000 ciklih potopitev. Numerična simulacija toplotno-mehanskega vedenje preskušanih jekel so potrjena z meritvami temperature in oblikovali je tudi ustrezna hipoteza o obremenitvi in poškodbah. Predstavljeni so rezultati niza preskusov kot tudi simulacija.

- 6 **Andreas Mertz**, Torsten Usner, Stefan Jenal, Fondarex Europe GmbH, Dillingen, D

Soočanje z novimi izzivi v tlačnem litju s pomočjo inovativne periferne opreme

V zadnjih letih so se pojavila nova področja uporabe delov, izdelanih s tlačnim litjem, ki so v veliki meri tudi posledica prehoda z motorjev z notranjim izgorevanjem na električno mobilnost. Ključne besede tukaj so »avtonomna vožnja«, »vodno hlajene komponente za e-mobilnost«, »škafle za akumulatorje«, »mega ulitek«, »giga ulitek« ... Podjetja, ki se ukvarjajo s tlačnim litjem, se sedaj soočajo z izzivom stroškovno učinkovite in zanesljive

proizvodnje takšnih delov. Še posebej v primeru kritičnih varnostnih komponent obstaja tudi potreba po dokumentiranju in sledljivosti proizvodnih parametrov. Dodatno pa samo celovito in pregledno zagotavljanje proizvodnih podatkov na cikel predstavlja osnovo za uporabo sistemov AI za optimizacijo procesov. Še posebej v povezavi z mega/giga ulitki se poraja vprašanje, ali se mora še dodatno povečati sila stiskanja strojev za tlačno litje oz. ali je mogoče zahtevam po kakovosti zadostiti na primer tudi pri nižjih tlakih in zmanjšanih najvišjih tlakih. Če si ogledamo dejanski stroj za tlačno litje, bomo opazili, da je tehnologija že dobra razvita. V naslednjih nekaj letih ne pričakujemo drastičnega tehnološkega napredka. Obetaven pristop je optimizacija perifernih enot celice za tlačno litje kot tudi njihova popolna integracija v smislu podatkovne tehnologije. To velja še posebej za taljenje/gretje/odmerjanje, nadzor temperature (v bližini površine), vakuumski sistem in lokalno stiskanje taline med strjevanjem. V predavanju je bilo predstavljeno nekaj inovativnih rešitev, ki seveda niso omejene na velike ulitke, ampak jih je mogoče izvesti tudi na manjših strojih za tlačno litje.



7. **Steffen Link (V), Geiger + Co. Schmierstoffe-Chemie GmbH, Heilbronn, D**

Optimizirana sredstva za razkalupljanje za nove komponente, izdelane iz naravno trdnih zlitin

Livarne, v katerih se ukvarjajo s tlačnim litjem aluminija, se trenutno soočajo z velikimi izzivi. Po eni strani prehod na električno mobilnost pomeni povečanje potrebe po še večjih in kompleksnejših sestavnih delih, po drugi strani pa morajo livarne zaradi energetske krize močno varčevati, da bi lahko še naprej konkurirale tekmečem na svetovnem trgu. Poleg tega mora celotna dobavna veriga izpolnjevati vedno strožja merila v povezavi s trajnostjo. Eden od načinov za rešitev teh izzivov je prehod s kaljivih zlitin na naravno trdne ali samokaljive zlitine. Zato se zdi, da bi bilo mogoče izredno velike aluminijaste strukturne dele proizvesti z bistveno nižjimi stroški energije in v manj korakih procesa. Vendar pa ne gre zanemariti, da lahko ima zamenjava zlitine včasih ogrožen vpliv na nadaljnje korake

procesa. Z odpravo energetske požrešnega raztopnega žarjenja se ostanki delovnih materialov, npr. sredstev za razkalupljanje, med toplotno obdelavo več ne odstranijo iz ulitkov. Zato je treba ob uporabi naravno trdnih zlitin več pozornosti nameniti primernemu in za postopek ustreznemu čiščenju in predobdelavi strukturnih ulitkov kot pri uporabi kaljivih zlitin. V nasprotnem primeru obstaja tveganje uničujočih učinkov na elektroforetski premaz ter posledično neučinkovito zaščito komponent pred korozijo.

Avtor pojasni, da so se kot proizvajalci sredstev za razkalupljanje s tem izzivom spopadli že na samem začetku. Zato so razvili nova sredstva za razkalupljanje, ki izpolnjujejo vedno strožje tehnične zahteve ter so hkrati v kar največji meri združljiva tudi z nadaljnjimi postopki. Zahteve za takšna sredstva za razkalupljanje so naslednje:

- Izredno dobro razkalupljanje ob uporabi zlitin z nizko vsebnostjo železa in zlitin, ki se močno skrčijo, kot tudi močno narebrenih form z majhnim snemalnim kotom!
- Zelo dobro mazanje z dolgo potjo toka: brez popačenja delov!
- Zelo dobra pralnost sredstva za razkalupljanje z okolju prijaznimi čistilnimi sredstvi!
- Brez negativnih učinkov na protikorozijske lastnosti in elektroforetske premaze!

Avtor poudarja, da so se predstavljena sredstva za razkalupljanje za strukturne ulitke, izdelane iz naravno trdnih in samokaljivih zlitin, v praksi že večkrat izkazala tako v izdelavi konvencionalnih strukturnih ulitkov kot tudi v novih projektih, ki vključujejo tako imenovane stroje za giga ulitke.

Povzetke predavanj v Livarskem vestniku št.2 /2023 in v tej številki je povzela iz zbornika 65. Avstrijske konference Mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

Seminar za železove livarne v izvedbi HA Group

V organizaciji Društva livarjev Slovenije in izvedbi HA Group (Hüttenes-Albertus) je 06.07.2023, na lokaciji Gospodarske zbornice Slovenije, potekal enodnevni seminar za železne livarne. Seminar je bil namenjen strokovnjakom s področja litja železovih litin s poudarkom na reševanju in izogibanju najbolj pogostih livarskih napak v ulitkih.

Seminar je potekal v 4 sklopih, skupno je bilo predstavljeno 10 strokovnih predavanj s strani zastopnikov skupine HA Group. Seminarja se je udeležilo 27 slušateljev - članic Društva livarjev Slovenije oz. podjetij: Cimos d.d., Croning livarna d.o.o., Eta d.o.o., Exoterm-it d.o.o., Kovis livarna d.o.o., Livarna Gorica d.o.o., Livatna Titan d.o.o., Omco Metals Slovenia d.o.o., Termit d.d. in Valji d.o.o.

V nadaljevanju so predstavljeni povzetki vseh desetih predavanj, ki so jih predstavili: Alessandro Rossi, Cristiano Vivorio, Fausto Lepretti, Luca Colombo, Matteo Pesci, Luca Gonzo in Mirco Mo-retto.

1. PREDSTAVITEV HA GROUP IN CENTRA ODLIČNOSTI COC (CENTER OF COMPETENCE)

Skupina HA Group ima dolgo zgodovino delovanja, saj začetki segajo v leto 1905 z ustanovitvijo podjetja Albertuswerke GmbH v Hannovru, ki se je v zgodnjih dvajsetih letih 20. stoletja začelo ukvarjati z razvojem novih organskih veziv za izdelavo peščenih jeder ter izdelavo strojev za proiz-vodnjo ulitkov. V mestu Ruhrort pa leta 1909 brata Hüttenes ustanovita podjetje Hüttenes & Ger-ling, prav tako s poudarkom na vezivih za livarsko industrijo, ki je bila takrat v razcvetu.

Dne 01.01.1970 se podjetji združita in tvorita Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH. Enotno podjetje se uspe uveljaviti kot dobavitelj celotnega obsega kemikalij za vse procese izdelave jeder in si zagotoviti tehnološko vodstvo na globalnem trgu.

Danes je HA Group prisotna v 30 državah in zaposluje čez 1800 ljudi. Podjetje je konec leta 2017 doseglo dva pomembna mejnika z otvoritvijo dveh inovacijskih centrov in sicer HA centra odličnosti (CoC) in novega laboratorija v regiji Hannover.

2. OPLAŠČENI PESKI: NAJSTAREJŠI SISTEMSKI POSTOPEK ZA POSEBNA JEDRA, VENDAR ... ŠE VEDNO AKTUALEN

Croning shell postopek, pogosto znan preprosto kot shell postopek ali Croning postopek, je leta 1943 v Nemčiji patentiral Johannes Croning za izdelavo kalupov ali jeder. Bistvena značilnost Croning postopka je uporaba tankostenskih kalupov, pri katerih zunanja površina sledi obrisu kalupne votline.

V seminarju so predstavljeni zanimivi podatki o začetkih in razvoju uporabe Croning postopka kot tudi podrobne informacije o kremenčevem pesku ter vezivih. Predstavljen je vpliv oblike kremenče-vih zrn, pH vrednosti, velikosti zrn itd. na lastnosti oplaščenega peska. V nadaljevanju so predstavljene tudi različni postopki proizvodnje veziv in podrobno predstavljene metode laboratorijskega testiranja na osnovne lastnosti: upogibna trdnost v vročem in hladnem, žarizgube, peel-back itd.

3. BENTONITNE PEŠČENE MEŠANICE

Predavatelj predstavi lastnosti in različne vrste bentonitne glin, ki se uporabljajo v livarski industriji. Dodatno je predstavljen tudi vpliv dodatka črnine na lastnosti bentonitnih peščenih mešanic ter pomembnost le-teh pri izdelavi peščenih form. Kot najbolj pomembna



je izpostavljena temperatura vhodnega (povratnega) peska, ki se dozira v mešalec. Le s konstantno vhodno temperaturo lahko držimo konstantno vlago in stisljivost peščene mešanice. Temperatura ne sme biti višja od 40 °C, optimalna vrednost je okoli 35 °C. Skozi celotno predavanje je izpostavljen tudi problem vsebnosti fluora v peščenih mešanicah, ki pride v sistem predvsem preko izolacijskih napajalnikov. Fluor ne predstavlja le težave pri

ulitkih ampak je škodljiv tudi kot onesnaževalec podtalnice. Predavatelj predstavi možnost recikliranja odpadnih peščenih mešanic, s katerim se nekatera podjetja že intenzivno ukvarjajo in predstavlja naslednji korak v krožnem gospodarstvu livarske industrije.



4. **PODPORA NAJSODOBNEJŠIH NUMERIČNIH SIMULACIJ ZA NAPOVEDOVANJE NA-PAK TER OPTIMIZACIJO LIVNIH SISTEMOV**

Optimizacija postopka litja je kompleksen proces, ki zahteva razumevanje strjevanja litine in medse-bojnega delovanja vseh vplivajočih parametrov ter vpliva uporabljene tehnologije litja. Uporaba numeričnih simulacij je ključna za hitro in učinkovito uvedbo izboljšav z namenom dosega boljšega izkoristka litine ob minimalnih spremembah livarskega orodja.

Predstavljeni so konkretni primeri uporabe numeričnih simulacij za zasnovo livnega sistema in dvig izkoristka taline preko uporabe ustreznih izolacijskih napajalnikov pri litju sive litine. Samo z zame-njavo ter uporabo CHEMEX izolacijskih napajalnikov je avtor na konkretnem primeru predstavil povišanje izkoristka taline za 5,86 % in prihranek 3,5 kg taline na grozd (bruto teža grozda 59,5 kg). Pri litju 100 form na teden omenjenega artikla bi v letu dni prihranili 15,4 t taline. Pomembno dej-stvo je tudi, da so vsi napajalniki CHEMEX brez vsebnosti nevarnega fluora.

5. **VISOKO ZMOGLJIVI PREMAZI ZA PREPREČEVANJE NAJNEVARNEJŠIH LIVAR-SKIH NAPAK**

Pomen livarskih premazov pri izboljšanju kakovosti površine ulitkov ni mogoče preveč poudariti. Uporaba premazov za kalupe in jedra ustvari visoko toplotno pregrado med kovino in kalupom, kar povzroči zmanjšanje toplotnega šoka, ki ga doživi peščena mešanica. Ti toplotni šoki vodijo do vrste površinskih napak, kot so penetracija taline, krasta, erozija forme itd.

Dober premaz mora biti stabilen, da dolgo časa vzdrži visoke temperature ulivanja, in mora imeti ustrezno ognje-vzdržnost za katero koli vrsto taline.

Predavatelj predstavi različne vrste livarskih napak in poda konkretne primere, kjer predstavi upora-bo premazov za kalupe in jedra ter njihov vpliv na odpravo omenjenih napak.

6. OBSTOJEČE TEHNOLOGIJE LIVARSKIH FILTROV IN NJIHOVE POSEBNOSTI

Filtracija taline v livarskih procesih je razširjena in obvezna praksa za proizvodnjo ulitkov brez pri-sotnosti vključkov. Prisotnost kakršnih koli vključkov (eksogenih in/ali endogenih) ogroža mehan-ske lastnosti ulitkov in je pogosto razlog za povišan delež izmeta.

Pod eksogene vključke štejemo ostanke reakcijskih produktov, ki nastanejo pri obdelavi taline, to so produkti reakcij na mejni površini talina/ognjeodporna obzidava. Pod endogene vključke pa sodijo vključki formarskega peska zaradi ujetja in/ali erozije peščene mešanice ali jeder; delci filtra; oksida-cija taline zaradi turbulence med polnjenjem forme; ostanki ferolegur pri obdelavi in/ali inokulaciji; nepopolno staljena cepiva ali ferozlitine; ostanki aditivov.

Danes poznamo tri glavne vrste filtrov, ki se razlikujejo glede na način izdelave, to so ekstrudirani, penasti in stiskani filtri. Predavatelj predstavi vse tri postopke izdelave ter prednosti in slabosti vsake izmed tehnologij. Teoretični podatki so podprti tudi z primeri iz prakse, kjer je natančno predstavljena pravilna izbira filtra ter ustrezna zasnova/predelava livnega sistema.

7. POVEČANJE IZKORISTKA TALINE Z UPORABO CHEMEX VISOKO ZMOGLJIVIH NAPAVALNIKOV

Trenutni svetovni scenariji (visoke cene energentov in vhodnih materialov) sodobne livarne potiska-jo k še bolj skrbnemu zmanjševanju količine ulite kovine in izjemni optimizaciji livnih sistemov. CHEMEX je razvil inovativne napajalne sisteme (T tip napajalnika), ki lahko nadomestijo klasične napajalnike. Avtor na praktičnem primeru predstavi prednosti uporabe omenjenih napajalnikov pri zmanjšanju bruto teže livnega sistema. Optimizacija livnega sistema je podprta z numeričnimi izra-čuni in porušnimi preiskavami.

8. VISOKOTEHNOLOŠKI NAPAVALNIKI BREZ FLOURA

Avtor v tem predavanju predstavi možne slabosti uporabe nepreverjenih eksotermnih izolacijskih napajalnikov na praktičnih primerih. Pogosto se namreč na mejni površini ulitek/napajalnik pojavijo različne površinske napake in degradacija grafita. Preko praktičnih primerov je predstavljena razlika med klasičnimi eksotermnimi materiali ter CHEMEX recepti brez floura.

Pomembnost dobre površine na ulitkih ni potrebno posebej izpostavljati. Degradacija grafita, kot eden izmed pogostih livarskih napak pri nodularni litini, lahko povzroči zmanjšanje mehanskih last-nosti (natezna trdnost in raztezek). Avtor predstavi način ter vzroke za nastanek sloja degradiranega grafita ter skozi analizo mikrostrukture na testno ulitih vzorcih predstavi prednosti uporabe napajal-nikov proizvajalca CHEMEX.

9. POSTOPEK COLD BOX

Postopek Cold-Box je postopek za proizvodnjo jeder, pri katerem se uporabljajo hladni (neogrevani) jederniki. Priljubljenost tega postopka in možnost izdelave jeder zelo različnih oblik z visoko pro-duktivnostjo je privedlo do tega, da ima ta postopek več kot 60 odstotni tržni delež.

Relativno dolga zgodovina uporabe tega postopka kot vodilnega proizvodnega procesa jeder za livar-ne je dokaz, da so razvijalci s posebnimi modifikacijami vezivnega sistema uspeli vedno znova zado-voljiti naraščajoče zahteve. Zato je pri tem postopku zelo pomembna oprema za uplinjanje, saj mora zagotoviti da se katalizatorji, ki so običajno tekoči pri sobni temperaturi, dobro premešajo z nosilnim medijem in dovedejo v vsa področja jedra, da se zagotovi hitro in enakomerno strjevanje.

Vezivo je sestavljeno iz organskega dvokomponentnega sistema, natančneje iz fenolne smole in poliizocianata. Tako pripravljeno vezivo se hitro strdi pri sobni temperaturi ob prisotnosti kataliza-torja, tako da ima jedro dovolj vzdržljivosti za manipulacijo.

Avtor v predavanju podrobno predstavi postopek izdelave jeder po tehnologiji Cold-Box ter opredeli vse vplivajoče parametre.

10. HIBRIDNE FURANSKE SMOLE

Zadnja leta je na področju smol, veziv in drugih rešitev za livarne fokus predvsem na okolju in zmanjšanju škodljivih vplivov. Obstaja več načinov za izpolnitev teh zahtev, vendar so za veziva in smole odločilne naslednje lastnosti: nizka potreba po dodatkih, nižje emisije, udoben obseg uporabe ter ekonomske prednosti uporabe. Sodobna hibridna furanska veziva predstavljajo zanesljivo alterna-tivo, saj so primerna za izdelavo kalupov in jeder za proizvodnjo zahtevnih ulitkov iz nodularne litine pa tudi za jeklene ulitke.

Avtor predstavi trende na področju uporabe furanskih smol ter podrobneje predstavi produkt ECO-FUR 6000 kot dobro izbiro pri izpolnjevanju zahtev po kakovosti in ekologiji (odlična toplotna in mehanska odpornost, nizke emisije med izdelavo kalupov in litjem ter netoksičnost: brez fenola ali formaldehida).

Kot obiskovalec ter slušatelj seminarja lahko sporočim, da je splošni vtis takšnih strokovnih posve-tov zelo dober, saj tako iz prve roke pridobimo zelo veliko koristnih informacij ter znanj. Pomembno je tudi omeniti možnost mreženja z ostalimi strokovnjaki iz slovenskih livarn ter navezovanja stikov in izmenjavo znanj.

Spisal: Jan Brence, Livarna TITAN d.o.o.

AKTUALNO / CURRENT

Pregled livarskih prireditev v letu 2023 in 2024

Datum dogodka	Ime dogodka	Mesto in država
10.–12. 10. 2023	DeburringEXPO	Karlsruhe, Nemčija
26.–27. 10. 2023	Ledebur-Kolloquium	Freiberg, Nemčija
07.–10. 11. 2023	Formnext	Düsseldorf, Nemčija
28.–30. 11. 2023	decarbXpo	Frankfurt, Nemčija
16.–18. 01. 2024	EUROGUSS 2024	Nürnberg, Nemčija

AKTUALNO / CURRENT

POROČILO S 63. IFC PORTOROŽ 2023 (prvi del)

REPORT FROM THE 63rd IFC PORTOROŽ 2023 (Part one)

Letošnji osrednji in tradicionalni livarski dogodek Društva livarjev Slovenije, 63. IFC Portorož 2023 z livarsko razstavo, je potekal v Portorožu v Kongresnem centru Hotela Slovenija v času od 13.–15. 9.



Pozdravne besede podžupana Občine Piran, Christiana Poletti-a in predsednica DLS, Mirjam Jan-Blažić

Greetings from the Deputy Mayor of the Municipality of Piran, Christian Poletti and the president of DLS, Mirjam Jan-Blažić

This year's central and traditional foundry event by the Slovenian Foundrymen Society, the 63rd IFC Portorož 2023 and Foundry Exhibition, was held in Portorož at the Congress Centre of Hotel Slovenija between 13 and 15 September 2023. This year, due to particularly important international trade fair events in Duesseldorf in June, namely GIFA and NEWCASTA, a drop in attendance was anticipated. The total number of participants was slightly lower compared to last year (271). On the other hand, we saw an increase in the participation of exhibitors, the total being 53. This year's participants and companies hail from 16 countries (including Slovenia): Austria, Croatia, Czech Republic, Germany, Hungary, Italy, the Netherlands, Norway, Poland, Slovakia, Serbia, Spain, Sweden, Switzerland and the UK.

The motto of this year's conference was:

PROACTIVE, INNOVATIVE AND FLEXIBLE FOUNDRY

Following the comments by participants of the last year's conference that the division into two additional sessions made the conference programme less manageable, we as the organiser decided to respect the criticism and have, as a result, reverted to the previous two-session programme with a total of 33 lectures composing the regular conference programme, as well as five poster presentations.



Udeleženci na vrtu Kulturnega centra Georgios /
Participants in the garden of the Georgios Cultural Centre

2023. Pričakovali smo, da bo udeležba letos upadla zaradi posebno pomembnih mednarodnih sejamskih dogodkov junija v Düsseldorfu – tj. GIFA in NEWCAST. Število vseh udeležencev je bilo dejansko za spoznanje nižje kot lansko leto (271), pri čemer pa na strani udeležencev razstave s 53 razstavljalci beležimo porast. Letošnji udeleženci in podjetja prihajajo vključno s Slovenijo iz 16 držav, in sicer: iz Avstrije, Češke, Italije, Hrvaške, Madžarske, Nemčije, Nizozemske, Norveške, Poljske, Slovaške, Srbije, Španije, Švedske, Švice in Velike Britanije.

Moto letošnje konference je bil:

**PROAKTIVNA, INOVATIVNA IN
FLEKSIBILNA LIVARNA.**

Na podlagi pripomb udeležencev lanskoletne konference, da je drobljenje v dveh dodatnih sekcijah poslabšalo možnosti za uspešno spremljanje programa konference, smo se kot organizatorji odločili pripombo upoštevati, zato smo se vrnili na nekdanji dve sekciji in skupno 33 predavanj

- **Cast Iron, Foundry Techniques and Technology** Section, and
- **Non-ferrous Alloys** Section.

In the context of a special section, the opportunity was once again given to



Dr. Carsten Kuhlitz, predsednik WFO, Mr. Atsushi Nagai, predsednik Sinto Group, Mirjam Jan-Blažič, DLS, Andreas Klein HWS, Johan Hagenauer, HAGI GmbH

Dr. Carsten Kuhlitz, president WFO, Mr. Atsushi Nagai, president Sinto Group, Mirjam Jan-Blažič, DLS, Andreas Klein HWS, Johan Hagenauer, HAGI GmbH



Otvoritev konference:
Predsednica DLS s prvim
plenarnim predsedstvom:
prof. dr. Primož Mrvar UL,
Prof.dr. Rebeka Rudolf UM,
Mag. Avgust Šibila Talum d.d.,
Jerica Vranc Kovis Livarna in
g. Anton Serianz Termit d.d.

Opening of the conference
President of DLS with the first
plenary presidency: Prof. Dr.
Primož Mrvar UL, Prof. Dr.
Rebeka Rudolf UM, MSc.
August Sibila Talumd.d.,
Jerica Vranc Kovis Livarna
and Mr. Anton Serianz, Termit
d.d.

v rednem programu kot tudi pet plakatnih predstavitev.

- Sekcija **Železove litine, livarske tehnike in tehnologije, in**
- Sekcija **Neželezove zlitine.**

V posebni sekciji pa smo tudi letos v programu konferenc dali možnost nastopa mladim magistrskim in doktorskim študentom ter raziskovalcem, kar želimo ohraniti tudi v naslednjih letih. Da na mladih svet stoji, ni samo deklaracija, ampak je resnično dejstvo tudi v naši livarski dejavnosti, saj nam občutno primanjkuje strokovnih kadrov. Iz tega razloga smo na letošnjo konferenco na samem začetku vključili plenarno predavanje predsednika WFO, dr. Carstena Kuhlgaatza, in generalnega sekretarja WFO, Jose Javier Gonzaleza, ki sta predstavila glavne izzive, s katerimi se sooča livarska industrija po vsem svetu. Ključno vprašanje pa je, kako se zoperstaviti pomanjkanju strokovnih delavcev. WFO je v letu 2023 razpisal nagrado za mlade raziskovalce, ki je bila podeljena na GIFA 2023, kjer so izbrali deset najboljših prispevkov kot tudi zmagovalca portala B2B, Foundry-Planet.com. Druga podelitev nagrad za mlade raziskovalce bo opravljena v letu 2024 na

young Master's and PhD students, and researchers to participate in the conference programme as presenters, which we would like to also maintain in the following years. The fact that the youth are our future is not just an empty statement. The youth remain extremely important in the foundry sector, where we continue to face a serious shortage of professionals. As a result, at the very beginning of this year's conference, a plenary lecture by WFO President, Dr Carsten Kuhlgaatz, and WFO Secretary General, Jose Javier Gonzalez, who



Pogled na plenarno dvorano

View of the plenary hall

Dr. Carsten Kughlatz, WFO-
prvi plenarni predavatelj

Dr. Carsten Kughlatz, WFO-
the first plenary lecturer



75. WFC – Svetovnem livarskem kongresu
v Deyangu na Kitajskem.

Letos se je naši konferenci pridružila fundacija Albertus z donatorskimi sredstvi, ki je devetim mladim doktorskim študentom in raziskovalcem omogočila brezplačno sodelovanje na tej konferenci in razstavi.

Tradicionalno na predvečer pričetka konference in razstave je v Piranu na vrtu Kulturnega centra Georgios pri stolni cerkvi Sv. Jurija potekal pozdravno-spoznavni

presented the main challenges facing the foundry industry worldwide, was included. The key issue is, how to combat the shortage of professionals. WFO launched the 2023 Young Researcher Award, which was conferred during GIFA 2023, where the top ten contributions and the Foundry-Planet.com B2B portal winner were selected. The second Young Researcher Award ceremony will be held in 2024 at the 75th WFC – World Foundry Congress in Deyang, China.

This year, our conference saw the participation of the Albertus Foundation granting donor funds, enabling nine young PhD students and researchers to participate in the conference and exhibition free-of-charge.

As is tradition, on the night before the beginning of the conference and exhibition, a meet-and-greet was held in Piran in the garden of the Georgios Cultural Centre, near the St. George's Parish Church, for all the participants of the conference and the exhibition, who were also welcomed by the representative of the Mayor's Office of the Municipality of Piran, Deputy Mayor Christian



Jose Javier Gonzalez, WFO - prvi plenarni
predavatelj

Jose Javier Gonzalez, WFO – the first plenary
lecturer

večer za vse udeležencev konference in razstave, ki je bil deležen tudi pozdravnih besed predstavnika županstva Občine Piran, podžupana Christiana Polettija. Zelo smo veseli, da novo vodstvo Občine Piran po lanskoletnih lokalnih volitvah ohranja dolgoletno tradicionalno sodelovanje z Društvom livarjev Slovenije in izraža pozornost našemu vsakoletnemu mednarodnemu livarskemu dogodku v Portorožu in njegovim udeležencem.

V prvem delu poročila o letošnjem 63. IFC in razstavi Portorož 2023 bodo v nadaljevanju slikovno predstavljeni vsi udeleženci razstave, izvlečki predavanj s konference pa bodo objavljeni v naslednji, 4. številki Livarskega vestnika.

Poletti. We are extremely pleased that the new leadership of the Municipality of Piran, following last year's local elections, has decided to maintain the long-standing and traditional cooperation with the Slovenian Foundrymen Society and dedicate attention to our annual international foundry event in Portorož and its participants.

In this contribution, as Part 1 of the report on this year's 63rd IFC and the Portorož 2023 exhibition, the participants of the exhibition with pictures will be presented, while the lecture abstracts from the conference will be published in the next, 4th issue of the "*Livarski vestnik*" journal.



Dr. Carsten Kughlatz, predstavnik donatorja Albertus s mladimi doktoranti in raziskovalci

Dr. Carsten Kughlatz, representative of the donor Albertus with young doctoral students and researchers

AKTUALNO / CURRENT

Galerija slik vseh razstavljalcev na 63. IFC Portorož 2023



ABRASIV MUTA d.o.o. (SI)



ALU-ÖNTÖ Ltd. (HU)



ANALYSIS ADRIA d.o.o. (SRB)



AVL LIST GmbH (AT)



BL METAL Bogdan Lovšin s.p.
(SI)



COMETEL RECYCLING
SOLUTIONS S.A. (ES)



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



ELKEM ASA (NO)



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



FAPROSID srl (IT)



FEAL- INŽENIRING d.o.o. (SI)



FONDAREX S.A. (CH)



FOUNDRY SERVICE GmbH
(DE)



GEIGER + CO. SCHMIER-
STOFF-CHEMIE GmbH (DE)



GEMCO ENGINEERS BV (NL)



HA ITALIA-CHEMEX (IT)



HAGI GmbH (AT)



HEINRICH WAGNER SINTO
MASCHINENFABRIK GmbH
(DE)



HEITEC PTS GmbH (DE)



IDEF d.o.o (SRO)



INDEMAK İndüksiyon Makinaları
Limited Şirketi (TR)



INDUCTOTHERM EUROPE Ltd.
(UK)



IRT 3000 (SI)



ITALPRESSEGAUSS S.P.A. (IT)



KS KNEISSL & SENN
TECHNOLOGIE d.o.o. (AT)



LAEMPE MÖSSNER SINTO
GmbH (DE)



LHS CLEAN AIR SYSTEMS (AT)



LIVING d.o.o. (SI)



MASCHINENFABRIK GUSTAV
EIRICH GmbH & CoKG (DE)



MAZZON S.P.A. (IT)



MESSE STUTGART (DE)



NARAVOSLOVOTEHNIŠKA
FAKULTETA (SI)



NOVACAST SYSTEM AB (SWE)



NÜMBERGMESSE GmbH (DE)



OLMA d.o.o. (SI)



PRIMAKEM d.o.o. (SI)



PROLUB d.o.o. (SI)

PROTOTYPE & CASTING
SOLUTIONS d.o.o. (SI)PSR d.o.o. s partnerji DISA IN
OMEGA (SI)

RWP GmbH (DE)



SIAPRO d.o.o. (SI)



STEM d.o.o. (SI)



TALUM d.d.(SI)

TC LIVARSTVO d.o.o./ ESI
GROUP (SI)

TERMIT d.d. (SI)



TOPOMATIKA d.o.o. (CRO)



TROKUT TEST d.o.o. (CRO)

VOLUME GRAPHICS GmbH
(DE)



WEILER ABRASIVES d.o.o. (SI)



WEIRE d.o.o. (SI)



YASKAWA SLOVENIJA d.o.o.
(SI)

Mecenstvo za letošnjo 63. IFC Portorož 2023 so prevzeli/

**Patronage for this year's 63rd IFC Portorož 2023
was taken over by:**

LAEMPE GLOBAL PARTNER OF SINTO,

LTH Castings d.o.o.,

SIEMPELKAMP Giesserei,

DIFA d.o.o. in

HA GROUP

GOLDEN SPONSORS / ZLATI POKROVITELJI



SILVER SPONSORS / SREBRNI POKROVITELJI



CASTING IS OUR PASSION.

-  **Mission Green**
Sustainable and resource-saving production for durable and robust structural components
-  **Competence and Quality in cast iron**
We are World champion in hand mould casting. No project is too big for us.
-  **Digital Excellence**
Our goal: 100 percent efficiency and productivity for better process quality, time and energy savings as well as more safety and competitiveness of your components.



BENTO
PRODUCT

BENTOPRODUCT d.o.o.
is a regional leader
in the processing and supply of
high-quality bentonite products

ISO 9001:2015

ISO 14001:2015

ISO 45001:2018



BENTOPRO-A

High-quality bentonite binders



BENTOPROCARBO

Lustrous carbon formers
blended with bentonite binder

- High and Stable Quality
- Professional Technical Support
- On-time Delivery



Bulevar Vojvode Stepe Stepanovića 181c
78000 Banja Luka, BiH



+ 387 51 225 214



www.bentoproduct.ba



+ 387 51 225 212



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 oplaščenih peskov
- Proizvodnja jeder po Croning in Cold box postopku
- Proizvodnja pomožnih livarskih sredstev za: vse vrste aluminijevih, bakrovih, železovih ter jeklenih zlitin

www.termit.si