

LIVARSKI VESTNIK

68/2021

4



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE
SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY



VSE ZA LIVARSKO INDUSTRIJO

KS KNEISSL & SENN TECHNOLOGIE GMBH

 Chesterton |  Tehnika |  Vse za livarstvo |  Ognjeodporni materiali |  Verige |  Kompezatorji

Mühlgraben 43b, 6343 Erl, Avstrija

+43 5373/76020 | info@ks-tech.at | <https://ks-tech.at>

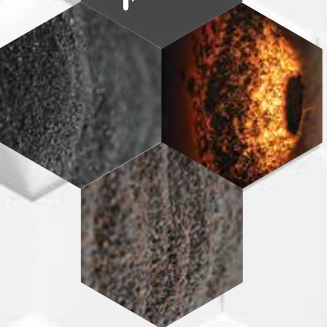
PRODUCTS FOR FOUNDRIES AND STEELWORKS



COATINGS FOR FOUNDRIES



THERMOINSULATION MATERIALS FOR STEELWORKS AND FOUNDRIES



OTHER PRODUCTS

*ferro alloys, inoculants,
nodulators, recarbursers*



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: probatus@triera.net

Tehnično urejanje / Technical editing:
mag. Mirjam Jan-Blažić**Uredniški odbor / Editorial board:**

prof. dr. Alojz Križman, Univerza v Mariboru
prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani
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: DECEMBER 2021

**Naslov / Address:**

KS KNEISL &
SENN TECHNOLOGIE GmbH
Mühlgraben 43b
A-6343 Erl

Direktor: Mag. Franz Senn

T: +43(0)5373/76020-0
F: +43(0)5373/76020-20
E: info@ks-tech.at
www.calderys.com

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

- J. Campbell:** Odpoved jekla kot posledica livarskih napak med litjem / **Failures of Steels from Casting Defects** 216
- R. Ozah, M. Manapuram:** Razvoj konceptualnega okvira za industrijo 4.0 in njene podsisteme za ulitke batov za avtomobilsko industrijo / **Development of a Conceptual Framework for Industry 4.0 and its Subsystems for Automotive Piston Casting** 229
- Y. Yin, Y. Zhang, J. Zhou, X. Ji, X. Shen:** Model skrčevanja lunke za gravitacijsko lite jeklene ulitke, zasnovan na polju delovanja različnih sil / **A Shrinkage Cavity Model Based on Multi-Force Fields for Cast Steel Gravity Castings** 241

AKTUALNO / CURRENT

- Kratka vsebinska predstavitev predavanj na 61. IFC PORTOROŽ 2021 (Drugi del) 257
- WFO - Medalja Jozefa Suchyja v Slovenijo 270
- »VDI-FORUM Livarska tehnologija v konstrukciji motorjev 2021« 271
- Spletna konferenca o krožnem gospodarstvu 274
62. IFC Portorož 2022 275

Odpoved jekla kot posledica napak med litjem

Failures of Steels from Casting Defects

Povzetek

Litje jekla v jeklarnah in v livarnah je mogoče znatno izboljšati. Gravitacijsko litje se uporablja pogosto in vnaprej oblikovane refraktorne cevi so v splošni rabi. Gre za tehnologijo, s katero je v najboljšem primeru mogoče proizvesti povprečno jeklo, v najslabšem pa nezanesljive ali celo neprimerne izdelke.

Težava je v vdoru zraka in posledičnem nastanku bifilmov in mehurčkov, ki imajo negativen vpliv na ulitke. Zlomi zaradi nateznih razpok, utrujenosti, razpok zaradi korozije ob obremenitvi, krhkosti zaradi vodika so očitno posledica prisotnosti bifilmov v večini jekel. Ti mehanizmi napak bodo prvič pojasnjeni in opisani.

Če bo dopuščal čas, bodo še posebej pojasnjeni konkretni načini nastanka napak dragih jekel, ki se izdelujejo z vakuumskim indukcijskim taljenjem (VIM) in vakuumskim obločnim taljenjem (VAR). Pomniti je treba, da takšno vakuumsko taljenje in livni postopki trenutno niso priporočeni. Pojasnili bomo, da jeklo, proizvedeno skozi elektropretaljevanje pod žlindro (ESR), trenutno velja za bistveno bolj zanesljivo ter da je mogoče zanesljivost še dodatno izboljšati. Tako bi prvič zagotovili v celoti zanesljiv vir jekla.

Ključne besede: jekleni ulitek, bifilmi, krhkost, zlom

Abstract

The casting of steels in steelworks and in foundries leaves much to be desired. Top pouring is common, and the use of pre-formed refractory tubing is universal. This is technology guaranteed to produce nothing better than mediocre steel, and at worse produces unreliable or even scrap products.

The problem centres around the entrainment of air to produce bifilms and bubble trails, both of which are damaging. The causes of failure by simple tensile cracking, fatigue, stress corrosion cracking, hydrogen embrittlement all seem to be the result of a bifilm population in most steels. These failure mechanisms appear to be explained for the first time and will be described.

If time allows, the particular failure modes of the costly vacuum induction melted (VIM) and vacuum arc remelted (VAR) steels will be discussed. It is to be noted that these vacuum melting and casting processes cannot be recommended at this time. It will be explained that although electroslog remelted (ESR) steel is currently expected to be significantly more reliable, its reliability should be further improved. It would give the world a fully reliable source of steel for the first time.

Keywords: Steel casting; bifilms; embrittlement; fracture

1 IZVOR OKSIDNIH VKLJUČKOV

Kako oksidni vključki sploh pridejo v jekla? V preteklosti se je domnevalo, da so posledica procesa nukleacije in rasti v tekočini matrice in/ali trdni snovi. Na splošno pa se zdi, da to ne drži.

Danes obstaja veliko dokazov, da se oksid tvori skozi reakcijo z zrakom na površini tekočega jekla, pri čemer nastane oksidna plast [1]. Pomembna je narava te plasti. Pogosto je trdna, njena zgornja površina je v obliki suhe keramike, spodnja pa je popolnoma omočena in v popolnem atomskem stiku s talino. Površinska plast običajno ostane na površini in nikoli ne vdre v matrično tekočino. Vendar se zaradi brizganja in turbulentnega prelivanja jekla iz talilne peči v talilni lonec in turbulentnega prelivanja iz talilnega lonca v formo površinski oksidni film *ujame* v matrico.

Pomemben je podroben mehanizem *procesa vdora*. S pregibanjem in brizganjem tekočine je zagotovljeno, da različni predeli tekočine, ki so zaradi širjenja površine pokriti z novo nastajajočo oksidno plastjo, naključno naletijo na druge mase tekočine, ki so prav tako pokrite z oksidno plastjo. Zato naletavanje in ponovna sestava tekočine nista enostavna: potekata ob stiku med oksidnimi plastmi; tekočina ne trka ob tekočino. Poleg tega plasti vplivajo na stik med suhimi površinami. Med takšima dvema suhima keramičnima površinama je lahko vez šibka ali pa odsotna. Ta dvojni film (imenujem ga »*bifilm*«) torej deluje kot razpoka v tekočini (Slika 1). Zlahka si predstavljamo, da ogromna turbulenca zaradi prelivanja iz peči za taljenje, ki ji sledi litje v forme, napolni tekočino z oksidnimi bifilmi, zaradi česar se v jeklo dejansko vnesejo razpoke.

Razpoke so običajno zelo tanke, saj se proces vdora zgodi v majhnem delu sekunde, zaradi česar nastane oksidna

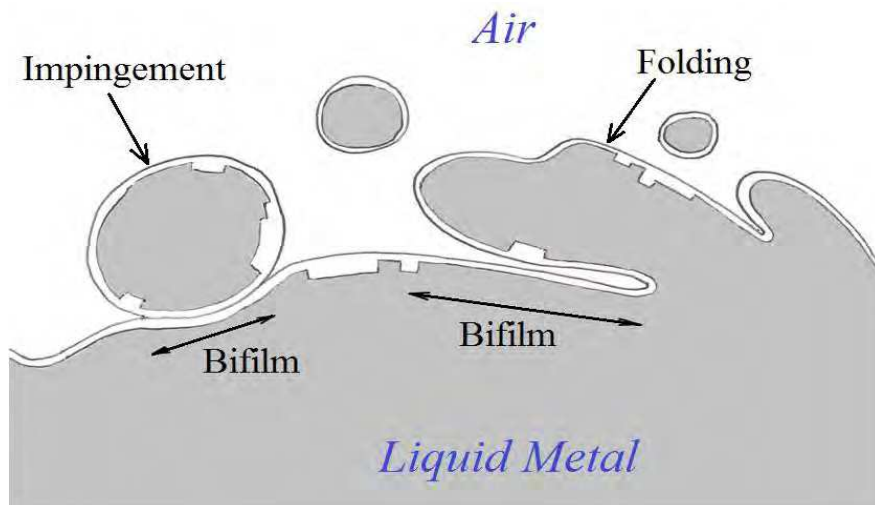
1 THE ORIGIN OF OXIDE INCLUSIONS

How do oxide inclusions get into steels? In the past this has been assumed to occur through a process of nucleation and growth in the matrix liquid and/or solid. In general, however, this seems not to be true.

There is now much evidence that oxide forms by reaction with air on the surface of the liquid steel creating an oxide film [1]. The nature of the film is important. It is often solid, with its top surface taking on the form of a dry ceramic, but its underside completely wetted, in perfect atomic contact with the melt. The surface film would normally remain on the surface, never entering the matrix liquid. However, because of the turbulent splashy way steel is teemed from the melting furnace into a ladle, and the turbulence of pouring from the ladle into the mould, the surface oxide film becomes *entrained* in the matrix.

The detailed mechanism of the *entrainment process* is important. The folds and splashes of the liquid ensure that different regions of the liquid, each covered with its newly forming oxide film as the surface expands, randomly impinge on other masses of liquid, also covered with oxide film. Thus, the impingement and re-assembly of the liquid is not straightforward: it occurs as an impact between oxide films; liquid does not impact on liquid. Furthermore, the films impact dry-surface-to-dry-surface. There can be little or no bonding between these two dry ceramic surfaces. This double film (I call it a '*bifilm*') therefore acts as a crack in the liquid (Figure 1). It is easy to imagine that the massive turbulence of teeming from the melting furnace followed by pouring into moulds fills the liquid with oxide bifilms, effectively cramming the steel full of cracks.

The cracks are usually extremely thin because of the entrainment process



Slika 1. Kaotični procesi naletavanja in pregibanja površinske oksidne plasti, ki vodijo do nastanka bifilma v tekočini

Figure 1. Chaotic impingement and folding processes of the surface oxide film leading to bifilm creation in a liquid

plast, debela le nekaj molekul. Debelina plasti, ki se giblje od nekaj nanometrov pa do mikrometrov, je nasprotno sorazmerna z njeno površino. Čeprav je avtor v ulitkih končnih dimenzij iz Ni zlitin zaznal bifilme, ki so skoraj debeline časopisa, se zdi, da je pri večini jekel njihova debelina pogostejša v razponu od mikrometrov do milimetrov, občasno tudi centimetrov, njihovo drobljenje pa je odvisno od jakosti turbulence.

Naletavanje se razlikuje, če je površinska plast tekočina, kot npr. nastane pri deoksidaciji s $\text{Ca} + \text{Al}$. Evtektik $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ z nizko temperaturo tališča zagotovi, da pride med brizganjem in gubanjem do stika med dvema tekočinama. Tanki tekoči filmi hitro ogrobijo, da se zmanjša njihova površinska energija, pri tem pa hitro nastajajo luknjice, ki se spreminjajo v filamente, končno pa se filamenti strnejo v kapljice; ta proces je splošno znan kot *upravljanje oblike vključkov*.

occurring in some small fraction of a second, so that much of the oxide film has time to grow only a few molecules thick. Its thickness, varying from nanometres to micrometres, contrasts with its area. Although the author has seen bifilms in Ni alloy shaped castings nearly the size of newspapers, in most steels the size seems to be more often in the range of micrometres to millimetres, occasionally centimetres, their shredding dependent on the severity of the turbulence.

The impingement is different if the surface film is a liquid, such as occurs when deoxidising with $\text{Ca} + \text{Al}$. The low melting point eutectic $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ ensures that the impact between splashes and folds is now liquid-to-liquid. The thin liquid films rapidly coarsen to reduce their surface energy, rapidly developing holes and becoming filaments, and finally the filaments coarsening into droplets; a process widely known as *inclusion shape control*.

Glavna prednost deoksidacije s Ca je torej eliminacija goste porazdelitve bifilmskih razpok (in ne bolj očitna sferodizacija vključkov, ki ji običajno namenjamo največ pozornosti).

Podobno se zdi, da dodatek pribl. 0,005 B jeklu povzroči nastanek oksidnega borata s tališčem približno 1000 °C. Ta tekoči film se ob medsebojnem trku med turbulenco ponovno združi in tvori kapljice, ne pa bifilmov. Rezultat je jeklo z bistveno večjo toplotno prevodnostjo (brez bifilmov z neprevodno plastjo ujetega zraka), kar omogoča večjo globino ohlajanja med kaljenjem, kar posledično izboljša kaljivost. Odsotnost bifilmov je razlog za sloves borovih jekel v povezavi z njihovo trdnostjo in žilavostjo, razlog za dodajanje B k Ni pa je »krepitev meja zrn«. (Atomske simulacije kovin – molekularna dinamika – potrjujejo, da so meje zrn izjemno močne, in sicer skoraj kot matrica. Zdi se, da povzroča vtis šibkosti zgolj prisotnost bifilma na meji.)

V ujete bifilme in kapljice se pogosto ujame tudi nekaj zraka; v bifilm se ujame zrak v gube in površinsko hrapavost osrednje fazne meje, kapljice tekočine pa se pogosto ujamejo skupaj z delčkom nanje pritrjenega zraka. Kisik in dušik iz zraka se hitro porabita, in sicer že v nekaj sekundah ali minutah; kisik tvori več oksida, dušik pa nitrid ali pa se preprosto raztopi v tekočini. Tako ostane 1 % argona, ki je naravno prisoten v zraku in ki predstavlja trajno netopno lastnost vključkov. Ta lastnost stalno prisotnega žlahtnega plina je pomembna z vidika nastanka por in razpok v trdni snovi. Njegova prisotnost v bifilmih verjetno pripomore k daljši življenjski dobi bifilma med delovnimi postopki, kot so kovanje, valjanje in iztiskanje. Vnesena napaka nikoli popolnoma ne izgine.

Če povzamemo: zavedati se je treba, da se oksidni vključki v jeklih pojavijo zaradi *vdora*. Verjetno lahko domnevamo, da je

The main benefit of deoxidation with Ca is therefore seen to be the elimination of the dense population of bifilm cracks (rather than our normal preoccupation with the more obvious spherodisation of the inclusions).

Similarly, the addition of approximately 0.005 B to steels seems to produce an oxide borate with a melting point of approximately 1000 °C. This liquid film again coalesces on mutual impact during turbulence, forming droplets, not bifilms. The outcome is a steel with significantly greater thermal conductivity (no bifilms with their non-conducting layer of entrapped air) allowing a greater depth of chill during quenching to raise hardenability. The absence of bifilms leads to the reputation of boron steels for their strength and toughness, and the reason behind the addition of B to Ni allows to "strengthen grain boundaries". (Atomic simulations of metals – molecular dynamics – confirms that grain boundaries are enormously strong; practically as strong as the matrix. It seems that only the presence of a bifilm in the boundary will give the impression of weakness.)

The entrained bifilms and droplets also often entrain some air; the bifilm entraps air in folds and surface roughness of the central unbonded interface, and the liquid droplets will often be entrained together with a fragment of attached air. The oxygen and nitrogen of the air will be consumed rapidly, possibly within a few seconds or minutes; the oxygen forming more oxide and the nitrogen either forming a nitride or simply diffusing away into the bulk liquid. That leaves the 1% of argon gas, naturally present in the air, as a permanent insoluble feature of the inclusions. This permanent inert gas feature is important in the nucleation of pores and cracks in the solid. Its presence in bifilms probably assists the longevity of the life of the bifilm during

jeklo v peči za taljenje zaradi dolgega časa, ki je potreben za *odstranitev* vključkov s flotacijo, precej očiščeno vključkov. Do *vdora* pride samo zaradi površnega rokovanja v livarni, kjer je tekoče jeklo med litjem podvrženo velikim energijskim turbulencam.

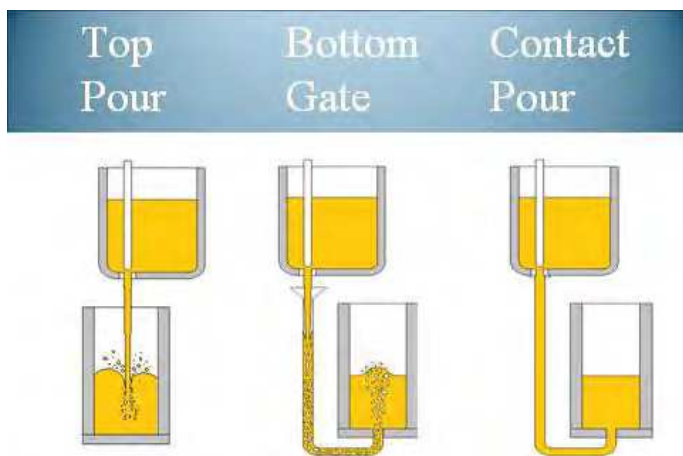
Na srečo je pri gosti tekočini, kot je jeklo, hitrost flotacije oksidnih faz razmeroma visoka (v nasprotju npr. s tekočim aluminijem, katerega oksid je nekoliko težji, vendar ima zaradi prisotnosti zraka med polovicami bifilma praktično nevtralen vzgon, zaradi česar traja sedimentacija ure ali celo dneve). Posledično je med časom polnjenja peči, dvigom iz livne jame in premikanjem nad formo spodnji predel talilnega lonca zadosti povsem očiščen. V primeru talilnega lonca, ki se polni z dna, je mogoče izliti najkakovostnejšo tekočino, medtem ko se preostala tekočina v talilnem loncu še naprej izboljšuje.

Pri litju ingotov se jeklo žal dokončno poškoduje pri litju v formo. Tudi v tem primeru je vdor močan, ne glede na to, ali se ingot lije od zgoraj ali celo od spodaj. Izlivki pripomorejo zgolj v majhni meri. Samo kontaktno litje odpravi učinek črpanja, ki ga povzroči vhodni lijak v obliki konusne

working operations such as forging, rolling and extrusion. The entrained defect never completely goes away.

In summary, it is important to realise that oxide inclusions arrive in steels because of *entrainment*. We can probably assume that the steel in the melting furnace is reasonably clear of inclusions as a result of the lengthy time for *detrainment* by flotation. *Entrainment* only occurs because of sloppy handling process in the foundry, in which the liquid steel is subject to massively energetic turbulence during pouring.

Fortunately for a dense liquid such as steel, the rate of flotation of oxide phases is relatively high (in contrast for instance to liquid aluminium where its oxide is slightly heavier, but with the presence of entrained air between the halves of the bifilm, the bifilm has practically neutral buoyancy, taking hours or days to sediment). Therefore, between the time of the teeming of the furnace, lifting from the casting pit, and positioning over the mould, the bottom region of the ladle will be tolerably clear. For a bottom poured ladle, the best liquid can then be delivered while the remainder in the ladle continues to improve.



Slika 2. Od zgoraj liti ingot je nujno slabše kakovosti, vendar pa predstavlja tehnika litja od spodaj le minimalno izboljšavo. Kakovost tekočega jekla v talilnem loncu ohranja samo nizkocenovno kontaktno litje.

Figure 2. The top poured ingot is necessarily poor, but the bottom gated technique is only marginally improved. Only the low-cost Contact Pour preserves the quality of the liquid steel in the ladle.

cevi v dovajalni sistem (Slika 2). Zlahka dokažemo, da lijak v tekočino vmeša vsaj 50 % zraka, kar izniči vso predhodno kakovost, ki je bila morda dosežena v loncu.

Pri kontinuirnem litju so ti prenosi bolje nadzorovani in manj škodljivi, vendar pa so na splošno še vedno bolj škodljivi, kot je potrebno. Zdi se, da so ogromne količine raziskav v okviru kontinuirnega litja v povezavi z *odstranjevanjem* usmerjene napačno. Najbolj pozitivne in takojšnje koristi bi prineslo preprečevanje *zajemanja* vključkov. Npr. vse šobe z izlivki in potopljene vhodne šobe, ki jih je avtor kadar koli videl, so bile oblikovane tako, da so povečale vpihovanje zraka v največji meri. To je posledica njihove vzporedne, nekonusne oblike, medtem ko je zaradi padajoče tekočine potreben stožčast kanal hiperbolične oblike, ki se tesno prilagaja toku tekočine [1]. Tako se močno zmanjša zajemanje zraka, ki ustvarja oksidne vključke.

2 Razmerje bifilmov in strukture ter lastnosti

Na Sliki 3 se kot je splošno znano domneva, da se pri napetosti ob prisotnosti vključka pojavi razpoka. Ni težko dokazati, da takšne napetosti ne morejo povzročiti nastanka razpoke ali dekohezije matrice iz vključka. Vezi med atomi so premočne, da bi vodile v takšno ustvarjanje odprtega prostora v matrici, v vključku ali pa na fazni meji med njima.

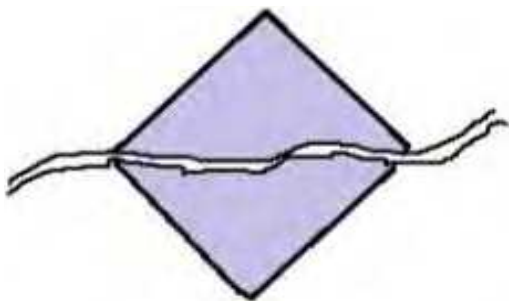
V resnici se zdi, da je razpoka tista značilnost, ki se pojavi najprej, na njej pa nato nastane vključek. Gre seveda za popoln preobrat v ustaljenem mišljenju.

For ingot casting, the steel is, unfortunately, finally damaged by the pour into the mould. Once again, the entrainment is severe whether the ingot is top poured or even bottom gated. Shrouds are of marginal help. Only contact pouring eliminates the pumping action of the conical trumpet entrance into the gating system (Figure 2). It is easily shown that the trumpet mixes at least 50% air into the liquid, destroying any prior quality that might have been achieved in the ladle.

For continuous casting, these transfers are better controlled and less damaging, but in general are more damaging than necessary. In continuous casting the huge amounts of research into *detrainment* from launders is seen to be misdirected. The most positive and immediate benefits would come from preventing *entrainment* of inclusions in the first place. For instance, all shroud nozzles and submerged entry nozzles the author has ever seen appear to have been designed to maximise entrainment of air. This follows as a result of their parallel, non-tapered form, whereas the falling liquid requires a hyperbolically tapered channel to fit closely around the liquid stream [1]. Air entrainment to create oxide inclusions is then greatly reduced.

2 Relation of Bifilms to Structure and Properties

In Figure 3 the application of stress in the presence of an inclusion is traditionally assumed to nucleate a crack. It is not difficult to prove that such stresses cannot nucleate a crack, nor nucleate decohesion of the matrix from the inclusion. The bonds between atoms are too high to allow any such creation of an open volume in the matrix, or the inclusion, or in the interface between the two.



Slika 3. Slika, za katero bi običajno mislili, da predstavlja vključek, ki sproži nastanek razpoke, vendar je danes znano, da gre za razpoko, ki povzroči vključek

Figure 3. An image which would normally have been thought to represent an inclusion initiating a crack, but now known to be a crack initiating an inclusion

Vendar pa obstaja ogromno dokazov, ki to dejstvo potrjujejo.

Vse druge faze in intermetali, ki se tvorijo v tekočem ali trdnem stanju in jih je avtor raziskal, nastajajo na bifilmih. Zdi se, da je bifilm njihov priljubljen substrat. Nova faza se tvori na »omočenih« zunanjih površinah, ki so v popolnem atomskem stiku z matrico. V trdnem stanju vsekakor spodbuja nastanek novih faz kot posledico lažjega sproščanja napetosti pri relaksaciji volumna in spremembi oblike ob prisotnosti nevezanega osrednjega prostora med bifilmi.

Bifilmi se pogosto nahajajo na mejah zrn. V tekočem stanju so prosto plavajoči bifilmi potisnjeni pred rastoča zrna (jasno je, da zrno ne more rasti v zračni vrzeli, ki je ujeta med posameznima plastema). V trdnem stanju se med rekristalizacijo in rastjo zrn meje premikajo, dokler ne naletijo na bifilm. Tudi v tem primeru meja ne more prečkati zračne vrzeli, zato naleti na bifilm. Običajne so mikrostrukture jekla, pri katerih se vzorec precipitacije drugih

The reality seems to be that the crack is the feature which is first present, and the inclusion nucleates on the crack. This is, of course, a complete reversal of traditional thinking.

However, there is much evidence to support it.

For all the second phases and intermetallics which form in the liquid or solid state that the author has investigated, all form on bifilms. It seems that the bifilm is a favoured substrate. The new phase forms on the 'wetted' outer surfaces which are in perfect atomic contact with the matrix. In the solid state it certainly favours formation of new phases as a consequence of the easy relaxation of volume and shape change strains in the presence of the unbonded central space between bifilms.

Bifilms often reside in grain boundaries. In the liquid state, the free-swimming bifilms tend to be pushed ahead of growing grains (clearly, the grain cannot grow through the air-gap trapped between the films). In the solid state, during recrystallization and grain growth the boundaries migrate until they impinge on a bifilm. Once again, the boundary cannot cross the airgap, and so is pinned at the bifilm. It is common to see steel microstructures in which the pattern of precipitation of second phases occurs on about 50% of boundaries, but other parts of the boundaries remain clear. I would interpret this as a bifilm density of 50% of boundaries containing areas of bifilm.

The common appearance of 'brittle grain boundary precipitates' often cracked carbides is similarly explained, since cracked second phases cannot be created by diffusional processes in either the liquid or solid states. Processes which depend on nucleation, and growth by diffusion, cannot produce cracks. Such processes can only produce solid particles which have boundary interfaces with the matrix

faz pojavi na približno 50 % mej, drugi deli mej pa ostanejo čisti. To si razlagam kot 50-odstotno gostoto bifilma na mejah, ki vsebujejo območja bifilma.

Podobno je mogoče opisati pogost pojav »krhkih precipitativ na mejah zrn« razpokanih karbidov, saj razpokane druge faze ne morejo nastati zaradi difuzijskih procesov v tekočem ali trdnem stanju. Pri procesih, ki so odvisni od nukleacije in rasti z difuzijo, razpoke ne morejo nastati. Pri takšnih postopkih lahko nastanejo samo trdni delci, katerih robne fazne meje z matrico so v popolnem atomskem stiku. Prisotnost »razpok« je posledica prisotnosti rahlo odprtih bifilmov; na teh bifilmih so se delci oblikovali najprej. Ta scenarij potrjuje tudi zdrava pamet: dejstvo je, da je večina delcev druge faze, še zlasti karbidi, izjemno močna. Zaradi njihove trdnosti, trdote in odpornosti proti poškodbam zaradi razpok se več milijonkrat na dan uporabijo kot konice rezalnih orodij za trda jekla. (Za ponazoritev uporabljam analogijo, s katero ponazarjam pričakovano vedenje vključitve v matrico, ki je podvržena obremenitvi.)

Pomislite, da je v kocki mehkega masla shranjen okrogel kamen: ali bo kamen počil, če zarežemo v maslo? Odgovor je: »Seveda ne!« Zato ni nikoli moč pričakovati, da bi se karbidi lomili zaradi napetosti, prav tako nikoli ne bodo vsebovali razpok zaradi fazne spremembe, kot je strjevanje. Vendar pa je mogoče njihovo očitno vsebnost razpok in zmožnost »ustvarjanja« razpok zlahka pojasniti: pričakuje se, da se bodo v bifilmu, na katerem so zrasle, za karbidnim delcem še razširitve, ki segajo v matrico in tvorijo elemente, ki odlično spodbujajo nadaljnje širjenje razpok.

Kritičen pregled vseh teorij o nastanku razpok v kovinah presenetljivo razkrije, da se nobena od njih ne zdi zanesljiva. Te teorije obsegajo kopičenje dislokacij ter kondenzacijo vrzeli. Oboje preprečuje

which are in perfect atomic contact. The presence of the 'cracks' results from the presence of the bifilms, slightly opened up; these were the bifilms on which the particles first formed. As common-sense confirmation of this scenario: it is well known that most second phase particles are immensely strong, particularly carbides. Their strength, hardness, and resistance to failure by cracking are employed millions of times per day as the tips of cutting tools for hard steels. (By way of illustration, I use a tongue-in-cheek analogy to illustrate the expected behaviour of an inclusion in a matrix subject to stress.

Consider a hard round pebble located in a block of soft butter, if the butter is sheared, will the pebble fracture? The answer is 'Don't be ridiculous!' Thus, carbides would never be expected to fracture as a result of stress and would never contain cracks from a phase change such as solidification. However, their apparent content of cracks, and their apparent ability to 'nucleate' cracks is easily explained; the bifilm on which they have grown will be expected to have extensions beyond the carbide particle, extending out into the matrix, forming excellent initiation features for further crack propagation.

A critical review of all the theories for the initiation of cracks in metals shows, amazingly, that none of them appear to be viable. These theories include dislocation pile-up, and vacancy condensation. Both are prevented by the immense strength of the bonds between atoms. It seems that only bifilms, as unbonded interfaces, are the sources of failure by cracking.

This is a conclusion of enormous significance, because bifilms are not an intrinsic feature of the metal lattice, they are introduced, entrained, from the outside. It follows that if bifilms were not introduced, which, in principle, seems possible, failure

izjemna trdnost vezi med atomi. Zdi se, da so izvor napak zaradi razpok izključno bifilmi kot nevezane fazne meje.

To je izredno pomembna ugotovitev, saj bifilmi niso dana značilnost kovinske strukture, ampak se vnesejo od zunaj. Iz tega sledi, da bi lahko odpravili napake zaradi razpok pri večini tehničnih kovin, če ne bi povzročili bifilmov, kar se načeloma zdi mogoče [2].

Kot je prikazano na Sliki 4, je nekaj naših livarskih kovin po naravi krhkih. To pomeni, da se bo razpoka širila, če nanjo deluje zadostna napetost pod pravim kotom na ravnino razpoke. Takšen zlom lahko nastane hitro.

Morda na srečo je večina tehničnih kovin duktilnih, kar pomeni, da se razpoka ne bi razširila, temveč bi se preprosto plastično odprla, vrh razpoke pa bi postal top, če bi se pojavil ne glede na vzrok (na primer zaradi rezanja z žago) in če bi bila uporabljena napetost, ki bi razpoko poskušala razširiti. Zato se od duktilnih kovin pričakuje, da se bodo okvarile izključno zaradi plastičnega toka in nikoli zaradi razpok. S tega vidika je sestava naših livarskih kovin glede na njihove elastične lastnosti dobro razvidna. Zlato je bilo že prednamcem poznano kot edina kovina, ki je dovolj plastična, da jo

by fracture in most engineering metals could be eliminated [2].

As shown in Figure 4, a few of our engineering metals are intrinsically brittle. This means that if a sufficient stress is applied at right angles to the plane of a crack, the crack will propagate. This can be a fast fracture.

Perhaps fortunately, most of our engineering metals are ductile, which means that if a crack were somehow introduced (for instance by a saw cut) and a stress applied to propagate the crack, it would not propagate, but simply open plastically, the crack tip becoming blunt. Thus, ductile metals are expected to fail only by plastic flow, never by cracking. In this respect, the line-up of our engineering metals in terms of their elastic properties is revealing. Gold was known to the ancients as the only metal which was sufficiently malleable to be beaten into a sheet so thin that light could be seen through it. I therefore expected gold (Au) to be the most ductile metal in this spectrum but was greatly surprised to see lead (Pb) occupying this position. Clearly lead fails by fracture in practice because of its oxide, whereas gold has no stable oxide.

Livarske kovine / The Engineering Metals

Duktilnost / Ductile

Krhkost / Brittle

	Liq	Pb	Au	Nb	Pt	Pd	Hf	Ag	Al	Cu	Zr	Ti	Ni	Co	Fe	Mg	Mo	Nd	W	Re	Ir	Cr	Be
μ/B	0	0.12	0.15	0.22	0.22	0.23	0.27	0.29	0.35	0.35	0.39	0.42	0.43	0.45	0.48	0.49	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.72	1.42
ν	0.50	0.44	0.42	0.40	0.39	0.39	0.37	0.37	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.26	0.26	0.21	0.02

Strižni modul (modul elastičnosti ali togosti) μ / Shear modulus (the elastic modulus or rigidity) μ

Stisljivostni modul B / Bulk modulus B

Poissonovega razmerja ν / Poisson's ratio ν

Slika 4. Nabor naših livarskih kovin, razvrščenih po elastičnih lastnostih, ki prikazujejo spekter od duktilnosti do krhkosti

Figure 4. A line-up of our engineering metals graded by elastic properties which demonstrate (interestingly) the spectrum of ductile to brittle behaviour

je mogoče oblikovati v tako zelo tanko ploskev, da je skozi njo mogoče videti svetlobo. Zato sem pričakoval, da bo zlato (Au) najbolj duktilna kovina v tem spektru, vendar pa sem bil zelo presenečen, ko sem ugotovil, da to mesto pripada svincu (Pb). Jasno je, da je svinec v praksi zaradi svojega oksida povezan z napakami zaradi razpok, medtem ko zlato nima stabilnega oksida.

3 Napake

Različne vrste napak, kot sta krhki zlom in utrujenost, je mogoče prvič obravnavati s povsem novim pristopom. Do precipitativ vključkov na bifilmu pride, ker se energija nastajanja zmanjša kot posledica enostavnejše razbremenitve napetosti zaradi spremembe prostornine in oblike, ki spremljata novo nastajajočo fazo. Nagla rast vključka v bifilmu dejansko »odpre« bifilm, kar pripomore k njegovemu namenu kot kanalu za invazivne tekočine, kot so korozivi ali plini. Mesto vzorca vdolbine je verjetno vedno mesto nastanka bifilma na površini kovine.

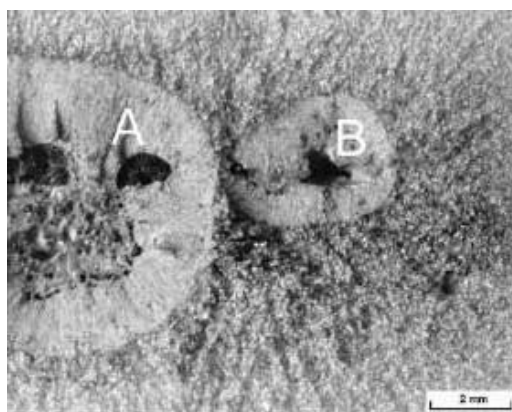
Odpiranje delov bifilma z nastankom vključka pojasnjuje pojav »ribjega očesa«, ki v preteklosti še ni bil pojasnjen, vendar pa ga pogosto opazimo na površinah ob zlomu jekla pri krhkih zlomih in napakah zaradi utrujenosti.

Odprti bifilmi predstavljajo pot do hitrega širjenja razpoke zaradi utrujenosti, kar pojasnjuje občasen pojav ribjih oči. Pogostejše pa se izkaže, da je površina zloma zaradi utrujenosti sestavljena iz predelov v velikosti zrn, na katerih so vidne že poznane sledi zaradi utrujenosti kot tudi drugih območij, na katerih ni sledi zaradi utrujenosti in se pogosto imenujejo »kvazicepilna« območja. Najverjetneje

3 Failure Modes

The different types of failure, such as tensile fracture and fatigue may be addressable from a completely new approach for the first time. The precipitation of inclusions on the bifilm occurs because the energy of formation is reduced as a result of the easy relief of the strains of volume change and shape change which accompany the newly forming phase. The easy growth of the inclusion into the bifilm effectively forces open the bifilm, aiding its role as a pathway for invasive fluids such as corrodents or gases. The site of an etch pit is probably always the site of emergence of a bifilm at the surface of the metal.

The opening of parts of the bifilm by the formation of an inclusion explains the 'fish eye', previously never explained, but commonly seen on steel fracture surfaces on tensile fractures and fatigue failures.



Slika 5. »Ribje oko« na površini razpoke pri preskusu z upogibanjem, ki ga je leta 1985 izvedel Moser

Figure 5. A 'fish eye' on a bend test fracture surface by Moser in 1985

The opened bifilms are easy propagation paths for a fatigue crack, explaining the

gre za enostavne kanale, ki jih omogočajo bifilmi.

Druge tradicionalno kompleksne probleme v metalurgiji, kot sta invazivna korozija, vključno z jamičasto korozijo ter razpoke zaradi korozije, ki je posledica napetosti, je enostavno razumeti [3]. Tudi krhkost v stiku z vodikom je mogoče razumeti kot difuzijo vodika v bifilme, s čimer se postopoma povečuje tlak plina v bifilmu, kar vodi do nastanka mehurjev in/ali popolnega propada zaradi razpokanja [7].

4 Sedanjost

Praktično vse naše kovine, zlasti jekla, pri katerih sta trdnost in žilavost ključni lastnosti v večini aplikacij, so oslABLjene zaradi količine bifilmov.

To še posebej velja za jekla, izdelana z vakuumskim obločnim taljenjem (VAR), pri katerih količina bifilmov ni velika, vendar pa so ti redki bifilmi veliki, zaradi česar je postopek po svoji naravi žal nezanesljiv [4]. Zdi se, da je večje število nedavnih helikopterskih nesreč v Evropi posledica utrujenosti komponente glavnega pogona, izdelane iz materiala VAR. V enem primeru so povedali, da je bil sestavni del načrtovan z varnostnim faktorjem pet. Zdi se, da je razpoka nastala v tako majhni jamičasti koroziji, da nihče ni mogel razumeti, kako je lahko tako majhen element povzročil tako veliko okvaro. Jamičasta korozija je očitno nakazovala prisotnost že obstoječega bifilma, ki je prestal vse predhodne nedestruktivne preizkuse. Če bi lahko zagotovili, da sestavni del ne vsebuje bifilma, bi bil varnejši in bi imel varnostni faktor ena. To sproža zanimiv pomislek, ki je morda več kot resničen, da bi se skupna teža helikopterjev zmanjšala kar petkrat.

observation of fish eyes on occasions. More often, however, the fatigue fracture surface is seen to consist of grain sized regions which exhibit the familiar fatigue beach marks, and other regions which are free from beach marks, often called 'quasi cleavage' areas. These are most probably the easy paths provided by the bifilms.

Other traditionally intractable problems in metallurgy such as invasive corrosion including pitting and stress corrosion cracking are easily understood [3]. Even hydrogen embrittlement can be understood as the diffusion of hydrogen into bifilms, gradually increasing the pressure of gas in the bifilm, leading to blisters and/or total failure of the metal by cracking [7].

4 The Present

Practically all our metals, particularly steels where strength and toughness are the key properties for most applications, are impaired by their population of bifilms.

This is especially true of vacuum arc remelted (VAR) steels in which the bifilm population is not high, but the few bifilms are large, unfortunately making the process intrinsically unreliable [4]. Several of the latest helicopter crashes in Europe appear to be the result of fatigue failure of a main drive component made from VAR material. In one case it was mentioned that the component was designed with a safety factor of five. The crack appeared to initiate from a corrosion pit so small that no-one could understand how such a small feature could have triggered a major failure. Clearly, the corrosion pit signalled the presence of a pre-existing bifilm which had evaded all the prior non-destructive tests. If the component could have been guaranteed bifilm-free it would have been safer with a safety factor of one. This raises the intriguing suggestion,

5 Prihodnost

Morda lahko gravitacijsko litje z uporabo razumnih previdnostnih ukrepov kontaktnega litja zagotovi jekla, katerih kakovost se približuje tisti, ki naj bi bila dosežena z metodo VAR. Če bi se za pretaljevanje pod žlindro (ESR) uporabljala kontaktna elektroda, bi izdelek zagotovo dosegel čistost brez primere in seveda neprimerljivo zanesljivost pri z vidika varnosti pomembnih sestavnih delih.

Pri kontinuirnem litju je treba upoštevati tudi prenose zaradi težnosti, pri katerih pospešek zaradi težnosti pospeši padajočo kovino do škodljivih energij. Zgoraj opisano predstavlja napredek, vendar na žalost ni mogoče pričakovati, da bo težavo rešilo v celoti.

Zadnji dve desetletji so zaznamovala nenehna prizadevanja za razvoj postopkov gravitacijskega litja ulitkov končnih dimenzij, s katerimi je mogoče kljub delovanju težnosti izdelati velike izdelke brez bifilma iz različnih kovin, med drugim iz zlitin z Mg, Al, Cu, Ni in jeklom. Avtor je povzel ta prizadevanja [5].

Najzanesljivejša rešitev za prenos taljene kovine brez poškodb je protigravitacijska tehnika [5]. Čeprav je protigravitacijska tehnika po svetu slabo sprejeta in se slabo tudi uporablja, ni razloga za tako negativen odnos do izkoriščanja te tehnologije, saj ima ogromen potencial za doseganje odlične kakovosti. Ulitki končnih dimenzij iz zlitin Al se s to tehniko uspešno proizvajajo že več kot 30 let, Cosworthov postopek pa je popolnoma odpravil napake zaradi utrujenosti v močno obremenjenih dirkalnih motorjih [6]. Po Griffithovem postopku se že več kot 50 let izdelujejo ulitki končnih dimenzij iz jekel teže do 300 kg. Nobenega utemeljenega razloga ni, zakaj z dobrim protigravitacijskim sistemom ne bi bilo mogoče izdelati ingotov iz

with perhaps more than a grain of truth, for an overall weight reduction of helicopters by a factor of five!

5 The Future

It may be that gravity pouring, using the sensible precaution of contact pouring, may deliver steels of a quality approaching that alleged to be achieved by VAR. Certainly, if a contact poured electrode were used to remelt by electroslag remelting (ESR), the product would be expected to achieve unprecedented cleanness and, of course, unequalled reliability for safety critical components.

Continuous casting also must adopt transfers under gravity, in which the acceleration due to gravity accelerates the falling metal to damaging energies. However, modest developments outlined above will help, but, with regret, are never expected to completely solve this problem.

Over the past two decades there has been a continuous drive to develop gravity pouring processes for shaped castings which can, despite the action of gravity, achieve substantial bifilm-free products in a variety of metals, including alloys of Mg, Al, Cu, Ni and Steels. These techniques are summarised by the author [5].

The fundamentally reliable technique to transfer liquid metal with zero damage is by counter-gravity techniques [5]. Although counter-gravity has been badly interpreted and badly operated around the world, there is no reason for this poor realisation of this technology which has enormous potential for excellence. Shaped castings in Al alloys have been manufactured with great success by this technique for over 30 years, the Cosworth Process completely eliminating fatigue failures in highly stressed racing engines [6]. Shaped castings in steels up

posebnih jekel teže do 5 ali 10 ton, morda tudi več. Takšna jekla bi bila po čistosti brez primere in bi dosledno predstavljala zajamčeno varnost pred okvarami zaradi zloma. Prihodnost litja jekla je nedvomno razburljiva.

to 300 kg in weight have been produced by the Griffith process for over 50 years. There seems no fundamental reason why ingots of special steels of up to 5 or 10 tons, and perhaps larger, should not be produced by a good counter-gravity system. These steels would be unprecedented in cleanness and would routinely achieve guaranteed reliability from failure by fracture. The future for steel casting promises to be exciting.

Viri / Further Reading by the Author

- »Complete Casting Handbook 2nd Edition 2015« Elsevier, Oxford, VB.
- »The origin of Griffith cracks« Met & Mater Trans B 2011 42B (6) 1091-1097
- »Consolidation and Corrosion of Metals: An Overview of the Role of Bifilms in Corrosion« Innovations in Corrosion and Materials Science, 2016 vol 51 (januar) p. 96–106. Bentham Science Publishers.
- »Melting, Remelting, and Casting for Clean Steel (Review)« Steel Research International 2016 87 str. 1–10
- »Mini Casting Handbook« 2015 published by Aspect Design Limited, Malvern, UK (2. izdaja pričakovana leta 2019)
- »Quality Castings – a personal account of the development of the Cosworth Casting Process«, izdano leta 2013 s strani podjetja Aspect Design Limited, Malvern, VB, in leta 2015 s strani organizacije American Foundry Society, Schaumburg, IL, ZDA.
- The Mechanism of Metallurgical Failure (On the Origin of Fracture). Elsevier. Objavljeno bo leta 2020.

Razvoj konceptualnega okvira za Industrijo 4.0 in njene podsisteme za ulitke batov za avtomobilsko industrijo

Development of a Conceptual Framework For Industry 4.0 and Its Sub-Systems For Automotive Piston Casting

Povzetek

V tem prispevku so predstavljeni različni postopki izdelave ulitkov, različne oblike ter materiali, ki se uporabljajo za izdelavo batov. Razvit je bil konceptualni okvir za litje batov za indijske avtomobile ob upoštevanju tehnologij Industrije 4.0. Izpostavljeni so matrica tehnik Industrije 4.0 za tlačno litje batov, konceptualni okvir izdelave bata z oblikovanjem čela bata, materiali ter oblikami in tehnologije Industrije 4.0 s petimi materiali in pet čeli batov kot tudi štirimi različnimi tehnikami.

Ključne besede: Industrija 4.0, bat, internet stvari, velepodatki, CPS, tlačno litje

Abstract

This paper includes the introduction of different casting manufacturing processes, different shapes and materials used for producing piston. A conceptual framework for piston casting has been developed considering Industry 4.0 technologies for Indian automobiles. Matrix of Industry 4.0 techniques for the piston die-casting, conceptual framework of manufacturing piston by piston crown design, material, shapes, and industry 4.0 techniques considering five materials and five piston head shapes, and four industry 4.0 techniques are highlighted.

Keywords: Industry 4.0, Piston, IoT, Big data, CPS, Die casting

1 Uvod

Indija je drugi največji proizvajalec ulitkov na svetu. Avtomobilska industrija močno prispeva k prihodkom iz proizvodnje in k zaposlovanju. Letna proizvodnja batov v Indiji je 60 milijonov kosov. Bat je srce motorja in najpomembnejši sestavni del za prenos moči v motorju z notranjim izgorevanjem. Načrtovanje in proizvodni proces sta izredno kompleksna in morata izpolnjevati zahteve glede dimenzijske natančnosti in lastnosti. Prav tako pa so potrebne tudi velike količine batov.

V tem hitro spreminjajočem se okolju je koncept Industrije 4.0 že leta najpogostejše obravnavan kot odgovor na trenutne izzive. Gre za model, ki je podoben industrijski

1 Introduction

India is the second largest casting producing country in the world. Automobile Industries contributes a huge amount to manufacturing income as well as employment. The annual production of Piston is 60 million in number in India. The piston is the heart of the engine. It is the most important component for power transmission in an internal combustion engine. Design and manufacturing process are very complex to meet the stringent dimension accuracy and properties required. These are also required in large quantities.

In this fast-changing environment, concept of industry 4.0 is a mostly discussed area as a response to the current

proizvodnji, sledi napredku in se spreminja skozi čas. Prvo industrijsko revolucijo je človeštvo doživelo z razvojem Walterjeve tehnologije parnega stroja ob koncu 18. stoletja. V drugi industrijski revoluciji je z uvedbo električne energije in transferne linije, ki jo je na začetku 20. stoletja zasnoval Henry Ford, hitra množična proizvodnja postala standardna proizvodna praksa. V tretji industrijski revoluciji se je dodatno izboljšala učinkovitost proizvodnje in storilnost se je poglobila zahvaljujoč kombinaciji informacijske tehnologije (IT) in avtomatiziranih sistemov, npr. s prilagodljivimi proizvodnimi sistemi (FMS) in robotsko tehnologijo.

Poleg tega ni ene same tehnologije, ki bi lahko sprožila Industrijo 4.0. Najpomembnejše gonilo Industrije 4.0 je uporaba spleta na delovišču in z njim povezana povezljivost posameznih elementov. Povezljivost strojev omogoča komunikacijo in sodelovanje, kar posledično omogoča izmenjavo podatkov med stroji. Celoten življenjski cikel izdelka je mogoče poenostaviti z uporabo različnih pametnih senzorjev, prilagodljivih modelov odločanja, naprednih materialov, pametnih naprav in podatkovne analitike. Izboljšali se bodo učinkovitost proizvodnje, kakovost izdelkov in raven storitev. Zdi se, da so dejavnosti na področju Industrije 4.0 in njenih podsistemov za proizvodnjo batov skope. Zato smo poskušali v tem prispevku razviti konceptualni okvir za izdelavo ulitkov batov.

2 Industrija 4.0 in njeni podsistemi

Industrija 4.0 je nov koncept industrijske revolucije 21. stoletja, ki podjetjem omogoča proizvodnjo pametnih izdelkov z uporabo različnih najnovejših tehnologij. Industrija 4.0 naredi proizvodnjo pametnejšo in zmožno reševati trenutne izzive, kot so vse

challenges for several years. It is a model that resembles the industrial production follows the latest development and changes over time. First industrial revolution was introduced to the mankind by developing Walter's steam engine technology at the end of 18th century. In the Second Industrial evolution, with the introduction of electrical power and the transfer line, pioneered by Henry Ford at the beginning of the 20th century, high-speed mass production became the standard manufacturing practice. During the Third Industrial Revolution, manufacturing efficiency and productivity have been further enhanced by the combination of information technology (IT) and automation systems, such as flexible manufacturing systems (FMSs) and robotic technology.

Moreover, there is no single technology that can be identified that triggers industry 4.0. The most important driving factor behind Industry 4.0 is the application of the internet on the shop floor and the related connectivity of the elements. The connectivity of machines enables communication and cooperation. Thus, it allows an exchange of data between the machines. The entire product life cycle can be facilitated using various smart sensors, adaptive decision-making models, advanced materials, intelligent devices, and data analytics. Production efficiency, product quality, and service level will be improved. Not much of work seems to be done in industry 4.0 and its sub-systems for piston manufacturing. Hence in the present work, an attempt has been made to develop a conceptual framework for manufacturing of piston casting.

2 Industry 4.0 and Its Sub-Systems

Industry 4.0 is a new concept of industrial revolution of the 21st century, which enables

bolj specifične zahteve, izboljšana kakovost in krajši čas do prihoda na trg. Pojavile so se številne prelomne tehnologije, kot so računalništvo v oblaku, internet stvari (IoT), analitika velepodatkov in umetna inteligenca.

Vse več senzorjev ima funkcionalnosti za razvoj zmogljivosti takšnih naprav, kot so samozaznavanje, samodelovanje in medsebojna komunikacija. V pametni industriji so naprave povezane v omrežje in komunicirajo s surovinami, končnimi izdelki, polizdelki, orodji, roboti in ljudmi. V primerjavi s prejšnjo generacijo robotov zagotavlja pametna industrija višjo stopnjo umetne inteligence. Senzorji v robotih se odzivajo na najmanjši signal, kar omogoča sodelovanje med roboti in delavci.

2.1 Bat in njegovi podsistemi

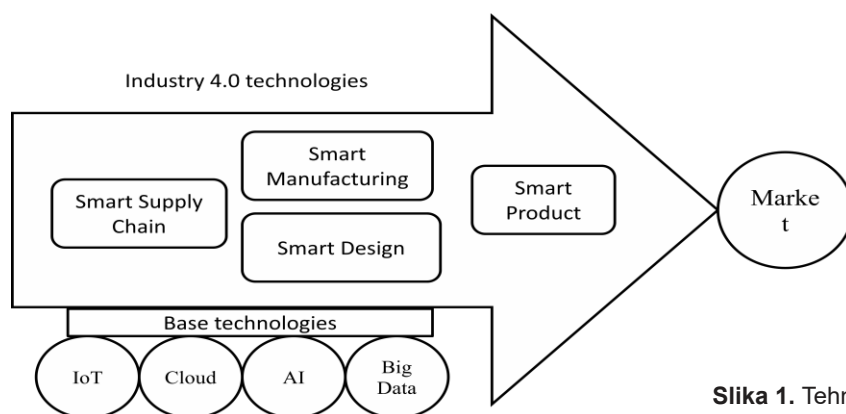
Bat je pomemben sestavni del avtomobilskega motorja. Giba se v izvrtini valja. Bat deluje kot premični del zgorevalne komore. Je eden najbolj obremenjenih sestavnih delov celotnega vozila. Zaradi zgorevanja mešanice zraka in goriva nad batom je izpostavljen visoki vročini, tlaku ter gibanju. Med vožnjo pri visoki hitrosti je

companies to produce smart product by using different latest technologies. Industry 4.0 makes the production smarter and capable of addressing current challenges, such as increasingly customized requirements, improved quality, and reduced time to market. Many disruptive technologies such as cloud computing, Internet of Things (IoT), big data analytics, and artificial intelligence, have emerged.

More numbers of sensors are equipped to develop the facilities of these equipment such as self- sense, self-act and communicate between each other. In smart industry, devices are networked and communicate with rawmaterials, finished products, semi-finished products, tools, robots, and men. It is having higher degree of artificial intelligence comparison to previous generation of robots. The sensors respond the slightest signal embedded into robots which enables the cooperation between robots and workers.

2.1 Piston and Its Subsystems

The piston is a vital component of a automotive engine. It reciprocates inside the cylinder bore. The piston acts as a moveable end of the combustion chamber.

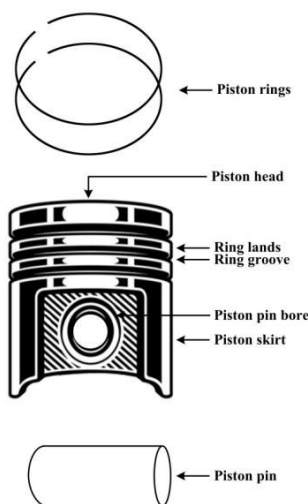


Slika 1. Tehnologije Industrije 4.0

Figure 1. Technologies of Industry 4.0

izpostavljen tudi koroziji in obrabi [1]. Zato igra vzdržljivost bata pomembno vlogo pri njegovi izdelavi. Glava valja je nepremični del v zgorevalni komori.

Sestava bata obsega več podsistemov, kot so glava bata, izvrtina za batni sornik, batni sornik, plašč bata, utori za batne obročke in površine med njimi ter batni obročki (prikazano na Sliki 2).



Slika 2. Shematski prikaz bata

Figure 2. Schematic diagram of Piston

- *Glava bata* je zgornja površina (najbližja glavi valja) bata in je med običajnim delovanjem motorja izpostavljena velikim silam in vročini.
- *Izvrtina za batni sornik* je luknja na strani bata, ki je pravokotna na hod bata in v katero se vstavi batni sornik.
- *Batni sornik* je votla gred, ki povezuje mali konec ojnice z batom.
- *Plašč bata* je tisti del bata, ki je najbližje ročni gredi in pomaga poravnati bat med gibanjem v izvrtini valja. Nekateri plašči imajo izrezane profile, da se zmanjša masa bata in zagotovi prostor

It is one of the most stressed components in the entire vehicle. It is subjected to high heat, pressure, and movement due to combustion of air-fuel mixture above the piston. It is also subjected to corrosive and wearing conditions while running with high speed [1]. So, durability of the piston plays a major role while manufacturing. The cylinder head is the stationary end of the combustion chamber.

Assembly of piston includes several sub-systems such as piston head, piston pin bore, piston pin, skirt, ring grooves, ring lands, and piston rings (shown in Figure 2).

- The *piston head* is the top surface (closest to the cylinder head) of the piston which is subjected to tremendous forces and heat during normal engine operation.
- A *piston pin bore* is a through hole in the side of the piston perpendicular to piston travel that receives the piston pin.
- A *piston pin* is a hollow shaft that connects the small end of the connecting rod to the piston.
- The skirt of a piston is the portion of the piston closest to the crankshaft that helps align the piston as it moves in the cylinder bore. Some skirts have profiles cut into them to reduce piston mass and to provide clearance for the rotating crankshaft counterweights.
- A *ring groove* is a recessed area located around the perimeter of the piston that is used to retain a piston ring.
- *Ring lands* are the two parallel surfaces of the ring groove which function as the sealing surface for the piston ring.
- A *piston ring* is an expandable split ring used to provide a seal between the piston and the cylinder wall.

za vrteče se protiuteži ročične gredi.

- *Utor za batne obročke* je vdolbina na obodu bata, ki se uporablja za namestitev batnega obročka.
- *Površini med utori za batne obročke* sta vzporedni površini nad in pod utori za batne obročke, ki služita kot tesnilna površina za batni obroček.
- *Batni obroček* je raztegljiv nesklenjen obroček, ki se uporablja za zagotavljanje tesnenja med batom in steno valja.

3 Materiali za bate, oblike čel in proizvodni postopki za indijske avtomobile

Dandanes so aluminijeve zlitine zaradi majhne teže, toplotne in električne prevodnosti, dobre obdelovalnosti in odpornosti proti koroziji zelo zaželeni na področju izdelave številnih sestavnih delov v avtomobilski industriji. Bati so pogosto izdelani iz aluminijeve zlitine [2]. Toplotna prevodnost je sposobnost materiala, da prevaja in prenaša toploto. Aluminij se pri segrevanju razširi, zato je treba zagotoviti ustrezen razmak, ki zagotovi neovirano gibanje bata v odprtini valja. Nezaželen razmak lahko povzroči, da se bat v valju zatakne. Prevelik razmak lahko povzroči izgubo kompresije in povečanje hrupa bata.

Materiali batov, ki se uporabljajo v indijskih avtomobilih, so predstavljeni v Preglednici 1. Ti materiali prispevajo k splošni vzdržljivosti in zmogljivosti motorja. Material z mešanico Ni in Al_2O_3 lahko izboljša duktilnost do zadovoljivih vrednosti [3].

Oblika glave bata vpliva na postopek notranjega zgorevanja. Skrbi za mešanico bencina in zraka ter toplote, ki nastane v zgorevalni komori. Glede na obliko glave bata obstajajo številne klasifikacije, kot so skledasta (D1), kvadratna skleda (D2),

3 Piston Materials, Crown Shapes and Manufacturing Processes for Indian Automobiles

Nowadays aluminium alloys are highly demanded for manufacturing a number of components in automotive due to their light weight, thermal and electrical conductivity, good process-ability and corrosion resistance. Pistons are often made of aluminum alloy [2]. Thermal conductivity is the ability of a material to conduct and transfer heat. Aluminum expands when heated and proper clearance must be provided to maintain free piston movement in the cylinder bore. Insufficient clearance can cause the piston to seize in the cylinder. Excessive clearance can cause a loss of compression and an increase in piston noise.

The materials of the piston used in Indian automobiles are presented in table 1. These contribute to the overall durability and performance of the engine. The material with a mixture of Ni and Al_2O_3 can improve the ductility to reasonable values [3].

Shape of the piston head affects the internal combustion process. It is responsible for managing the mixture of gasoline and air and the heat produced in the combustion chamber. Based on the shape of the piston head, there are many classifications such as bowl (D1), square bowl (D2), dome shape (D3), flat top (D4) and cup (concave) shape (D5). Older piston heads were mostly flat but now different types of piston tops have different effects on combustion. Bowl shape of piston mostly used in diesel engines because it does not have any ignition phase. Piston top may become act as combustion chamber. Diesel engines mostly used different crown shape pistons. Shape of the piston also helps in reducing the overall weight of the

Preglednica 1. Kemijske sestave različnih aluminijevih zlitin za litje batov**Table 1.** Chemical compositions of different aluminium alloys for piston casting

Material Al		Kemijska sestava (v %) / Chemical compositions (in %)								
		Cu	Mg	Fe	Ni	Si	Ti	Zn	Mn	
M1	Al2618	Bal	2.3	1.6	1.1	1.0	0.18	.07	-	-
M2	Al4032	Bal	0.9	1.0	-	0.9	12.2	-	-	-
M3	A336	Bal	1.13	1.13	0.352	2.54	11.92	0.028	0.016	0.007
M4	A242	Bal	4.21	1.64	0.287	2.08	0.064	0.021	0.028	0.009
M5	MMC	Bal	1.03	0.90	0.53	1.55	11.56	0.06	-	0.18

kupolasta oblika (D3), ravna površina (D4) in čašasta (konkavna) oblika (D5). Starejše glave batov so bile večinoma ravne oblike, danes pa imajo različne vrste glav batov različne učinke na zgorevanje. V dizelskih motorjih se najpogosteje uporablja čašasta oblika bata, saj ti motorji nimajo vžigalne faze. Kot zgorevalna komora lahko deluje vrh bata. V dizelskih motorji so se večinoma uporabljali bati z različnimi oblikami čel. Oblika bata pripomore tudi k zmanjšanju njegove skupne teže, zmanjšanje teže avtomobila pa je vedno zaželeno. Pri motorjih, ki uporabljajo specifična goriva, se oblika in material bata dosledno osredotočata na različne vidike, kot so zmanjšano trenje, povečana mehanska in toplotna odpornost pri manjši masi bata, optimizacije sekundarnega gibanja bata kot tudi funkcije tesnjenja plina in olja.

Na razpolago je več tehnik litja, ki se uporabljajo za izdelavo batov. Nekateri postopki, ki se pogosto uporabljajo za litje batov, so gravitacijsko litje, tlačno litje, avtomatsko litje, litje s stiskanjem in litje v pesek [4]. Pri gravitacijskem tlačnem litju se staljena kovina v formo lije gravitacijsko, medtem ko se pri tlačnem litju uporabljajo kompleksni stroji za vbrizgavanje staljene kovine ali zlitin v kaljeno jekleno kokilo pod visokim tlakom. Tlačno litje se pogosto uporablja za visoko natančno izdelavo identičnih komponent.

piston. Reducing weight of automobile is always advantageous. For engines using any specific fuel, shape and material of the piston is consistently focused on different topics such as reduced friction, increased mechanical and thermal resistance at a reduced piston weight optimized secondary piston movement and optimized gas and oil sealing functions.

Several casting techniques used to manufacture piston are accessible. Some of commonly used casting processes for piston are gravity die casting, pressure die casting, automatic die casting, squeeze casting and sand casting [4]. In gravity die casting the molten metal enters to the mold by gravity whereas in pressure die casting, complex machinery is used to inject molten metal or alloys under high pressure into a hardened steel die. Pressure die casting is often used to produce identical component with high precision.

Automatic die casting process is an advanced form of process where a greater number of tasks has been performed by machine. It is very adequate for high production rates. Squeeze casting is combination of casting and forging. If the requirement is very low porosity and high structural integrity, squeeze casting is used. In sand casting, mold is prepared by sand instead of metal. Due to high heat resistant, flexibility and relatively low cost, sand casting is commonly used technique.

Avtomatsko tlačno litje je napredna oblika postopka, pri kateri stroj opravi več nalog. Zelo primerno je za zagotavljanje visoke produktivnosti. Stiskanje je kombinacija litja in kovanja. Če sta potrebna zelo majhna poroznost in visoka strukturna celovitost, se uporablja litje s stiskanjem. Pri litju v pesek se forma namesto iz kovine izdelava iz peska. Zaradi visoke toplotne odpornosti, prilagodljivosti in relativno nizkih stroškov je litje v pesek priljubljena proizvodna tehnika.

4 Razvoj konceptualnega okvira za litje batov

Industrija 4.0 je nov koncept industrijske revolucije 21. stoletja, ki podjetjem

4 Development of a Conceptual Framework for Piston Sasting

Industry 4.0 is a new concept of industrial revolution of the 21st century, which enables companies to produce smart product by using different latest technologies. Industry 4.0 makes the production smarter and capable of addressing current challenges, such as increasingly customized requirements, improved quality, and reduced time to market. Many disruptive technologies such as cloud computing, Internet of Things (IoT), big data analytics, and artificial intelligence, have emerged.

More numbers of sensors are equipped to develop the facilities of these equipment such as self-sense, self-act and communicate between each other. In

Preglednica 2. Konceptualne opredelitve tehnologij Industrije 4.0

Table 2. Conceptual definitions of Industry 4.0 technologies

Tehnologije Industrije 4.0 / Industry 4.0 Technologies		Opredelitev / Definition
1	Umetna inteligenca (T ₁)	Računalnik se pri reševanju težav v nesigurnem okolju odloča podobno kot človek. Umetna inteligenca je pojem, ki se nanaša na zmožnost računalnika, da opravlja naloge in sprejema odločitve, za katere bi bila v preteklosti potrebna določena raven človeške inteligence.
	Artificial Intelligence (T ₁)	A computer makes decision similar to a human being to solve problems in ambiguous environment. Artificial intelligence is a concept that refers to a computer's ability to perform tasks and make decisions that would historically require some level of human intelligence
2	Internet stvari (IoT) (T ₂)	Cilj interneta stvari je rešiti težave s komunikacijo med vsemi predmeti in sistemi v tovarni. Internet stvari predstavlja integracijo senzorjev in računalništva v spletno okolje prek brezžične komunikacije. Pametni in povezani izdelki omogočajo eksponentno rast možnosti za nove funkcionalnosti ter bistveno večjo zanesljivost, izkoriščenost izdelkov kot tudi zmogljivosti, ki presegajo tradicionalne meje izdelkov.
	Internet of Things (IoT) (T ₂)	IoT aims to solve communication issues among all objects and systems in a factory. IoT represents the integration of sensors and computing in an internet environment through wireless communication. Smart, connected products offer exponentially expanding opportunities for new functionality, far greater reliability, much higher product utilization, and capabilities that cut across and transcend traditional product boundaries

3	Kibernetsko-fizični sistem (T_3)	Kibernetsko-fizični sistemi (CPS) so koncept povezovanja dinamike fizičnih procesov s programsko opremo in omrežjem z namenom spremljanja in zagotavljanja učinkovitosti fizičnega proizvodnega procesa. Sistem (CPS) združuje fizični in virtualni svet prek spleta in drugih distribuiranih knjig transakcij. Sistem CPS omogoča integracijo teh omrežij skozi uporabo več senzorjev, aktuatorjev, procesnih krmilnih enot in komunikacijskih naprav.
	Cyber Physical System (T_3)	Cyber-physical systems (CPS) are a concept of integrating the dynamics of physical processes with those of software and networking to monitor and efficacy of the physical production process. System (CPS) brings physical and virtual world together via internet and other distributed ledgers. CPS realizes the integration of these networks using multiple sensors, actuators, control processing units and communication devices.
4	3-D tiskanje/aditivna proizvodnja (T_4)	Aditivna proizvodnja (proizvodnja po plasteh) je za razliko od tradicionalnih proizvodnih metod postopek kombiniranja materialov za izdelavo predmetov na podlagi podatkov tridimenzionalnega modela, razporejenega v plasti. 3-D tiskalniki, ki se uporabljajo v aditivni proizvodnji, omogočajo hitro izdelavo prototipov ter nizkocenovno proizvodnjo po meri, prav tako pa tudi razvoj novih idej na podlagi vizije posameznika.
	3D Printing/ Additive manufacturing (T_4)	Additive manufacturing (Layered production); rather than traditional manufacturing methods, is the process of combining materials to make objects from three-dimensional model data arranged in layers. 3D printers used in layered production provide the advantages of rapid prototyping, personal low-cost production opportunity, and the emergence of new ideas with individual creativity.
5	Analiza velepodatkov (T_5)	Velepodatki zajemajo zbiranje podatkov iz sistemov in predmetov, kot so na primer odčitki senzorjev. Danes lahko s pomočjo računalniških orodij vsak dan zberemo, izvedemo in pripravimo ogromno količino informacij. Obstaja tehnologija, s katero lahko izvajamo analize, in to so velepodatki.
	Big Data Analysis (T_5)	Big data consists in the data gathering from systems and objects, such as sensor readings. Today, large amount of information can be collected, executed, and produced daily with the help of the capabilities of computing tools. There is a technology by which we can carry out analysis and that is Big Data.
6	Pametna livarna (T_6)	Pametna livarna je livarna, ki ljudem in strojem pri opravljanju njihovih nalog pomaga v okviru nekega konteksta. Pametna livarna je tista, ki vlaga v tehnologijo, rešitve in pristope Industrije 4.0 ter jih tudi uporablja.
	Smart Foundry (T_6)	The Smart Foundry is defined as a foundry that context-aware assists people and machines in execution of their tasks. A smart foundry is one that invests in and leverages Industry 4.0 technology, solutions, and approaches.

omogoča proizvodnjo pametnih izdelkov z uporabo različnih najnovejših tehnologij. Industrija 4.0 naredi proizvodnjo pametnejšo in zmožno reševati trenutne

smart industry, devices are networked and communicate with raw materials, finished products, semi-finished products, tools, robots, and men. It is having higher degree

7	Pametni izdelek / pametni bat (T_7)	Pametni izdelki lahko zagotavljajo povratne informacije za razvoj novih izdelkov ter nove storitve in rešitve za stranke.
	Smart Product / Smart Piston (T_7)	Smart products can provide data feedback for new product development as well as they can provide new services and solutions to the customer.
8	Digital twins (T_8)	It drives the business impact of IoT by offering a powerful way to monitor and control assets and processes. Digital twins are dynamic software model of a physical thing or system.
	Digitalni dvojčki (T_8)	Spodbujajo poslovni učinek interneta stvari, saj zagotavljajo zmogljiv način za spremljanje in nadzor sredstev in procesov. Digitalni dvojčki so dinamični programski modeli fizične stvari ali sistema.
9	Strojno učenje (T_9)	Stroj je usposobljen za določene naloge. Ne uči se samo primerov. Namesto tega prepozna vzorec, tako da lahko pozneje razvrsti neznane podatke. Strojno učenje se nanaša na sposobnost računalnikov, da se z umetno inteligenco sami učijo in izboljšujejo, ne da bi jim bilo to izrecno naročeno ali da bi bili za to programirani.
	Machine Learning (T_9)	A machine is trained for certain tasks. It does not simply learn examples. Instead, it recognizes pattern, so that later unknown data can be classified. Machine learning refers to the ability that computers must learn and improve on their own through artificial intelligence—without being explicitly told or programmed to do so.
10	Računalništvo v oblaku (T_{10})	Storitve računalništva v oblaku omogočajo enostaven dostop do informacij in storitev. Računalništvo v oblaku je računalniški pristop, ki temelji na uporabi spleta. Skozi povezovanje računalnikov v spletno omrežje se različna opravila delijo v velikem omrežju. Računalništvo v oblaku se nanaša na uporabo medsebojno povezanih oddaljenih strežnikov, ki gostujejo na spletu in so namenjeni shranjevanju, upravljanju in obdelavi informacij.
	Cloud computing (T_{10})	Cloud services provide easy access to information and services. Cloud computing is an internet based computing approach. By connecting computers to the internet network, various jobs are shared over a large network. Cloud computing refers to the practice of using interconnected remote servers hosted on the Internet to store, manage, and process information.

izzive, kot so vse bolj edinstvene zahteve, izboljšana kakovost in krajši čas do prihoda na trg. Pojavile so se številne prelomne tehnologije, kot so računalništvo v oblaku, internet stvari (IoT), analitika velepodatkov in umetna inteligenca.

Vse več senzorjev ima funkcionalnosti za razvoj zmogljivosti takšnih naprav, kot so samozaznavanje, samodelovanje in medsebojna komunikacija. V pametni industriji so naprave povezane v omrežje

of artificial intelligence comparison to previous generation of robots. The sensors respond the slightest signal embedded into robots which enables the cooperation between robots and workers.

The industry 4.0 techniques enable the manufacturing process more efficient. The techniques of industry 4.0 applicable to piston manufacturing and their definitions are presented in table 2. The matrix of industry 4.0 and piston die casting sub-

in komunicirajo s surovinami, končnimi izdelki, polizdelki, orodji, roboti in ljudmi. V primerjavi s prejšnjo generacijo robotov zagotavlja višjo stopnjo umetne inteligence. Senzorji v robotih se odzivajo na najmanjši signal, kar omogoča sodelovanje med roboti in delavci.

Tehnologije Industrije 4.0 omogočajo učinkovitejši proizvodni proces. Tehnologije Industrije 4.0, ki se uporabljajo pri proizvodnji batov, in njihove opredelitve so predstavljeni v Preglednici 2. Matrica Industrije 4.0 in podsistemov tlačnega litja batov je predstavljena v Preglednici 3. Tehnike, ki se uporabljajo za posebne

systems have been presented in table 3. Applicable techniques for specific piston manufacturing sub-systems have been tick marked.

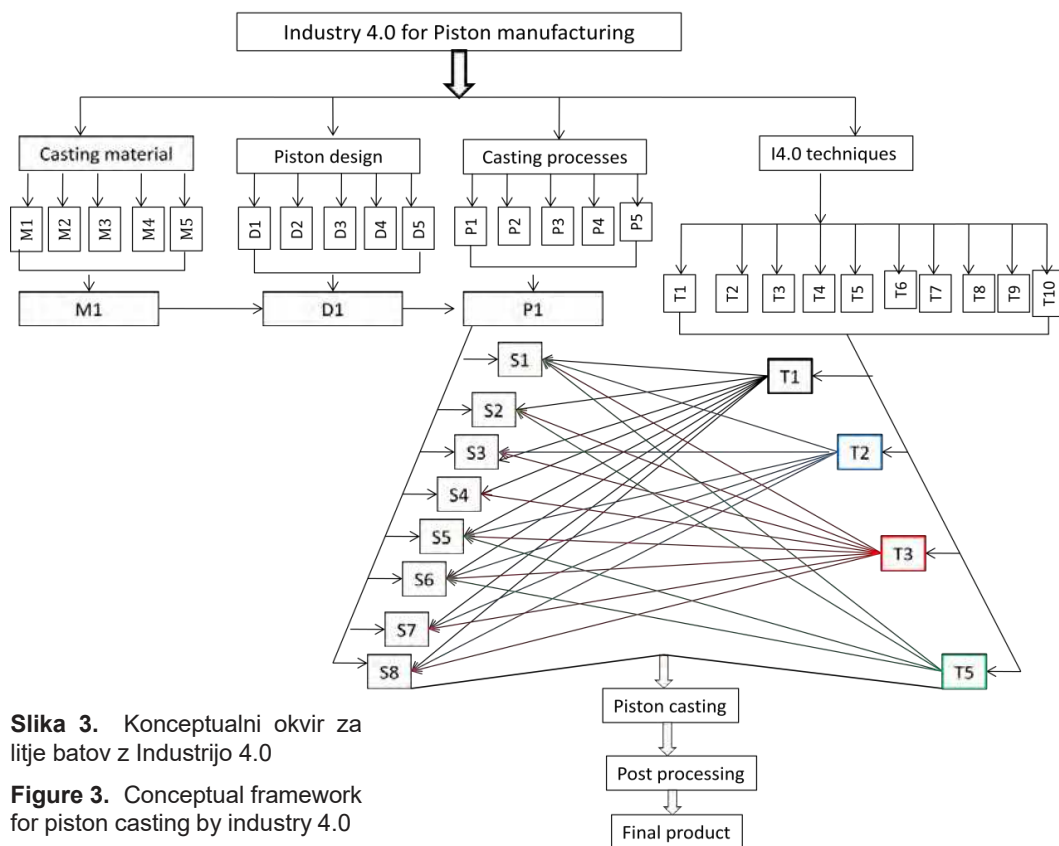
The conceptual framework has been shown in Figure.3. Automatic die casting process for piston manufacturing has been selected by suitable techniques. Shape and material have also selected as

per research/data available. Modern technologies enable manufacturing more flexible towards production. Four I4.0 technologies have been selected as per their suitability in the process of making piston. Artificial intelligence is applicable to various steps in casting process. The

Preglednica 3. Matrica tehnik industrije 4.0 in tlačno litje batov

Table 3. Matrix of Industry 4.0 techniques and the piston die casting

Tehnike / Big Data Analysis	Predgrete kokile (S1) / Pre- heating of die (S1)	Premaz za kokile (S2) / Die coating (S2)	Vstavljanje jedra (S3) / Core insertion (S3)	Vpenjanje kokile (S4) / Die clamping (S4)	Taljenje (S5) / Melting (S5)	Litje (S6) / Pouring (S6)	Izmet ulitka (S7) / Ejection of casting (S7)	Odstranitev jedra (S8) / Removal of core (S8)
Umetna inteligenca / Artificial Intelligence	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Internet stvari (IoT) / Internet of Things (IoT)	✓		✓		✓	✓	✓	✓
Kibernetsko-fizični sistem / Cyber Physical System	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3-D tiskanje/aditivna proizvodnja / 3D Printing/ Additive manufacturing					✓	✓		
Analiza velepodatkov / Big Data Analysis	✓	✓			✓	✓		
Pametna livarna / Smart Foundry	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pametni izdelek/Pametni bat / Smart Product/ Smart Piston	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pametno litje / Smart Casting	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Digitalni dvojčki / Digital twins	✓			✓	✓			
Strojno učenje / Machine Learning	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Računalništvo v oblaku / Cloud computing	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓



Slika 3. Konceptualni okvir za litje batov z Industrijo 4.0

Figure 3. Conceptual framework for piston casting by industry 4.0

pod sisteme za proizvodnjo batov, so označene s kljukicami.

Konceptualni okvir je prikazan na Sliki 3. Za izdelavo batov je bil z ustreznimi tehnikami izbran postopek avtomatskega tlačnega litja. Oblika in material sta izbrana tudi na podlagi razpoložljivih raziskav in podatkov. Sodobne tehnologije omogočajo bolj prilagodljivo proizvodnjo. Izbrane so bile štiri tehnologije Industrije 4.0, in sicer na podlagi njihove primernosti za izdelavo batov. Umetno inteligenco je mogoče uporabiti v različnih fazah livnega postopka. Analize velepodatkov so potrebne za različne korake, kot so temperatura predgrevanja kokile, premaz kokile, temperatura taljene kovine, čas litja, čas hlajenja in zaporedje izmeta ulitka itd.

big data analytics are needed for various steps like preheating the die temperature, die coating, molten metal temperature, pouring time, cooling time and casting ejecting sequence etc.

5 Discussions and Conclusions

Concepts of industry 4.0 and its sub-systems for piston casting have been discussed. Various casting processes for piston manufacturing considering industry 4.0 concepts have been highlighted. A framework has been developed incorporating new technologies used for manufacture of piston. Piston head shape, casting material and processes have

5 Rezultati in sklepi

Obravnavani so bili koncepti Industrije 4.0 in njeni podsistemi za odlitke batov. Izpostavljeni so bili različni postopki litja za proizvodnjo batov ob upoštevanju konceptov Industrije 4.0. Razvit je bil okvir, ki obsega nove tehnologije, ki se uporabljajo v izdelavi batov. V njem so bili upoštevani tudi oblika glave bata, livni material kot tudi postopki. Med desetimi tehnikami Industrije 4.0 so bile izbrane štiri, in sicer na podlagi njihove uporabnosti v postopkih litja. Koncept novih tehnik in razviti okvir predstavljata načrt za izdelavo odlitkov batov.

Zahvala

Avtorji se iskreno zahvaljujejo zasebni univerzi North Eastern Regional Institute of Science and Technology (NERIST), Itanagar, Arunachal Pradesh, Indija, za potrebno pomoč pri tem delu.

Viri / Reference

- 1 Hashem F. El-Labban, M. Abdelaziz, Essam R.I. Mahmoud, "Preparation and characterization of squeeze cast-Al-Si piston alloy reinforced by Ni and nano-Al₂O₃ particles", Journal of King Saud University – Engineering Sciences, 28, (2016) 230–239.
- 2 Hussein Fawzy Mahdy, Tawakol A. Enab, Ahmed M. Galal and M. Samuel, "Experimental Study of Manufacturing Aluminum Alloy Pistons Using Vertical Centrifugal Casting Process", International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 8, August-2016.
- 3 L. Krüger, E. Jentsch, L. Brunke, A. Keßler, G. Wolf, T. Lehnert, N. Schubert, A. Wagner and D. Landgrebe, Development of an innovative lightweight piston through process combination "casting – forging", Procedia Manufacturing, 27, (2017) 172–176.
- 4 Rupshree Ozah, N. Yadaiah, Manapuram Muralidhar, "Casting Process Selection For Al-Si Piston By Analytical Hierarchy Process For Hybrid Engine", 67th Indian Foundry Congress & IFEX, Greater Noida, 18-20 Jan, 2019.

been also considered. Four industry 4.0 techniques have been selected among ten I4.0 techniques according to their useability in casting processes. The concept of new techniques and the framework developed will give a road map for manufacturing of piston casting.

Acknowledgement

The authors wish to express their sincere gratitude to Northeastern Regional Institute of Science and Technology (NERIST), Deemed to be University, Itanagar, Arunachal Pradesh, India for the necessary help rendered in the present work.

Model krčilnega lunkeja za gravitacijsko lite jeklene ulitke, zasnovan na polju delovanja različnih sil

A Shrinkage Cavity Model Based on Multi-Force Fields for Cast Steel Gravity Castings

Povzetek

Krčilni lunkeji so ključna težava v proizvodnji ulitkov, ki vpliva na nadzor kakovosti ulitkov. Napovedovanje napake zaradi krčilnega lunkeja z visoko natančnostjo je del načrtovanja in optimizacije procesa litja. V tej študiji je predstavljen model krčilnega lunkeja za gravitacijsko litje, zasnovan na polju delovanja različnih sil. V tem modelu je predlagano ključno tlačno merilo, v okviru katerega se lahko izolirana območja s tekočinami medsebojno polnijo, in sicer na podlagi analize lastnosti povezljivosti in dovajanja v izolirana območja s tekočinami med postopkom strjevanja. Velja, da atmosferski tlak in gravitacijsko polje vplivata na nastanek krčilnih lunkejev ter izboljšano natančnost napovedovanja. Nastajanje izoliranih volumnov tekočin in mesta skrčevanja so simulirani za napoved napak v krčilnem lunkeju. Natančnost napovedi modela je preverila skupina s preskusom litja jekla tipa U. Mesto, oblika in obseg krčilnih lunkejev, pridobljenih s simulacijami, se dobro ujemajo z rezultati preskusa.

Ključne besede: gravitacijsko litje, napovedovanje krčilnega lunkeja, porazdelitev tlaka, numerična simulacija

Abstract

Shrinkage cavity defect is a key problem in the production of casting, which affects the quality controlling of castings. Prediction of shrinkage cavity defect with high accuracy contributes to the casting process design and optimization. In this study, a shrinkage cavity model is proposed based on multi-force fields for gravity casting. In this model, a critical pressure criterion that the isolated liquid areas can feed each other is proposed by analyzing the characteristics of connectivity and feeding of the isolated liquid area during the solidification process. The effect of the atmospheric pressure and gravity field on the evolution of the shrinkage cavities are considered to improve the prediction accuracy. The evolution of isolated liquid volumes and shrinkage location is simulated to predict the formation of shrinkage cavity defects. The prediction accuracy of the model is verified by a group of U-type cast steel casting experiment. The location, shape, and the volume of shrinkage cavities obtained by the simulation are in good agreement with the experimental results.

Keywords: Gravity casting; Shrinkage cavity prediction; Pressure distribution; Numerical simulation

1 Uvod

Staljena kovina se gravitacijsko ulije v običajnih zračnih pogojih. V povezavi s staljeno kovino se za izboljšanje polnjenja staljene kovine običajno uporablja centrifugalno litje. Aktivna kovina, npr. titanova zlitina, na zraku zlahka oksidira, poleg tega mora biti v vakuumskih pogojih [1]. Med celotnim postopkom so temperaturno polje, hitrostno polje in tlačno polje staljene kovine z visoko temperaturo, kalupa in zračnih pogojev medsebojno povezani, kar je izredno kompleksno. Krčenje ulitkov in napake pri krčenju niso zanemarljivi v snovanju procesov vseh ulitkov. Neposredno namreč vpliva na mehanske lastnosti ulitkov. Resne napake zaradi krčenja lahko neposredno vodijo v povečan izmet [2]. Visokotemperaturne značilnosti in raznolikost pogojev litja onemogočajo, da bi raziskovalci lahko neposredno opazovali različne fizikalne procese pri strjevanju staljene kovine, zlasti pri postopku vakuumskega centrifugalnega litja. Raziskovalci so naredili preboje na področjih prenosa toplote, mehanike fluidov, kristalografije itd., prav tako pa nastajajo najrazličnejše teorije. Raziskave livarske tehnologije so prešle v fazo znanstvenih raziskav. Te kompleksne teorije, ki izhajajo iz ulitkov enostavnih oblik, vodijo v kvalitativne metode za napovedovanje krčilnih lunkejev, npr. metoda zaokroževanja vročih prerezov (hot section rounding) in metoda modula [3–5]. Tehnolog, ki skrbi za proces litja, oblikuje napajalnik tako, da hitro izračuna vroče prereze in modul, pri tem pa poskrbi, da se izogne položaju, ki spodbuja nastanek krčilnega lunkeja. Domači in tuji kolegi so na tem področju opravili tudi pomembnejše raziskave. Leta 1986 je Xue Xiang predlagal metodo na podlagi časovnega gradienta za napovedovanje krčenja med strjevanjem ulitkov [6] ter

1 Introduction

The molten metal is gravity cast in a common air environment. For molten metal, the centrifugal casting is generally used to enhance the filling ability of the molten metal. The active metal such as titanium alloy is easily oxidized in the air, and it is also required to be in a vacuum [1]. During the whole process, the temperature field, velocity field and pressure field of high temperature molten metal, mold and air environment are coupled with each other, which is extremely complicated. Casting shrinkage and shrinkage defects are not negligible in the process design of all castings. It directly affects the mechanical properties of castings. Serious shrinkage defects can directly lead to the scrapping of castings [2]. The high temperature characteristics of the casting and the diversity of casting conditions make it impossible for researchers to directly observe various physical processes occurring in the solidification of molten metal, especially the vacuum centrifugal casting process. Researchers have made breakthroughs in the fields of heat transfer, fluid mechanics, crystallography, etc., and various theories have emerged in an endless stream. The research of foundry technology has entered the stage of scientific research. These complex theories, starting from simple shape castings, give qualitative methods for predicting shrinkage cavities, such as hot section rounding and modulus methods [3–5]. The casting process technician designs the riser by quickly calculating the hot section and modulus, taking care to avoid the position that the shrinkage hole is prone to. Domestic and foreign counterparts have also conducted more prominent research in this field. In 1986, Xue Xiang proposed a time gradient-based method

prav tako predlagal izboljšano merilo [7], imenovano merilo Xue. To merilo upošteva vpliv tlaka staljene kovine na nastanek krčilnega lunkeja in razmeroma izboljša natančnost napovedi položaja in oblike krčenja. Pri ulitkih z enostavno obliko in manj toplotnimi vozlišči je napoved položaja krčilnega lunkeja skladna z dejansko primerjavo, vendar se osredotoča le na to, ali je mreža lastnost krčilnega lunkeja, vendar pa ne upošteva poroznosti, njeno merilo pa ima različna merila za različne zlitine. Gre za konstanto, določitev katere je prav tako zahtevna. Leta 2007 je Zheng Hongliang predlagal izboljšano merilo Niyama za napovedovanje porazdelitve krčenja v nodularni litini [8].

Kot novo merilo za krčenje je uporabil merilo Niyama $G/\sqrt{R}$ in tlak P . Novo merilo lahko bolje predvidi porazdelitev krčenja v sivi litini s kroglastim grafitom. Ta ugotovitev nakazuje, da je nastanek krčenja močno povezan s tlakom. Leta 2015 je Menghuai Wu za simulacijo nastanka krčilnih lunkejev in makrosegregacije uporabil štirifazni Eulerjev algoritem povprečenja volumna. Pri napovedovanju krčenja se uporablja brezdimenzijsko merilo Niyama, načelo nastanka krčenja pa temelji tudi na metodi najvišje ravni tekočine [9]. Model je primeren za simulacijo velikih ingotov preprostih in pravilnih oblik. Pri simulaciji postopka litja majhnih in srednje velikih ulitkov v določenih primerih nastajajo tudi napake pri odpovedi, ker atmosferski tlak ni upoštevan. V nasprotju z gravitacijskim litjem se teorija centrifugalnega litja in numerična simulacija izvedeta naknadno. Leta 1990 so Liu Zhiming in sodelavci izvedli meritve temperaturnega polja v procesu strjevanja cevi v litem stanju, izdelane skozi postopke centrifugalnega litja, in jih primerjali z rezultati končne razlike numerične simulacije v procesu strjevanja. Rezultati so v osnovi skladni, vendar pa

to predict casting solidification shrinkage [6], and proposed an improved criterion [7], called the Xue criterion. This criterion considers the influence of the pressure of the molten metal on the formation of the shrinkage cavity, which relatively improves the accuracy of the shrinkage position and shape prediction. For castings with simple shape and less heat knots, the prediction of shrinkage hole position is consistent with the actual comparison, but it only pays attention to whether the mesh is a shrinkage hole property, ignoring the porosity, and its criterion has different criteria for different alloys. Constant, which is also difficult to obtain. In 2007, Zheng Hongliang proposed an improved Niyama criterion for predicting the shrinkage distribution in nodular cast iron [8].

He used the Niyama criterion $G/\sqrt{R}$ and the pressure P as the new shrinkage criterion. The new criterion can better predict the shrinkage distribution in ductile iron. This conclusion indicates that the formation of shrinkage has a great relationship with the pressure. In 2015, Menghuai Wu used a 4-phase Euler volume averaging algorithm to simulate the formation of shrinkage cavities and macro segregation. The shrinking prediction uses the dimensionless Niyama criterion, but the principle of shrinkage formation is also based on the highest liquid level method [9]. The model is suitable for large-scale ingot simulation of simple regular shapes. For the simulation of casting process of small and medium-sized shaped castings, it also causes errors in failure in some cases because the atmospheric pressure is not considered. Compared with gravity casting, centrifugal casting theory and numerical simulation are carried out later. In 1990, Liu Zhiming et al. conducted a temperature field measurement on the solidification process of as-cast centrifugal

izmerjena ulita cev ni »neskončno dolga«. Pri popolnem valju povzroče odvajanje toplote na obeh koncih toplotne izgube, izračunana vrednost pa je višja od eksperimentalne vrednosti 10~20 °C. Opravljena je bila predhodna raziskava o nastanku napak v procesu strjevanja litih cevi. Proučili smo način strjevanja ulitih cevi ter mehanizem nastajanja napak. Izkazalo se je, da je vrsta barve vplivala na način strjevanja kot tudi hitrost ohlajanja ulitih cevi, kar je posledično vplivalo na porazdelitev napak ter znižalo temperaturo forme in temperaturo med litjem. Na metodo strjevanja [10] ima majhen vpliv. Leta 2008 je Fjeld A. iz Avstralije pri industrijskem postopku litja velikih ulitkov ob upoštevanju različnega vedenja materiala oboda in materiala jedra med postopkom polnjenja ter vedenju zaradi faznih sprememb pri pretoku in prenosu toplote pri centrifugalnem litju v simulacijo polnjenja in strjevanja uvedel vrednost VOF in merjenje poroznosti s helijem, da bi poiskal rešitev [11].

Zato je z vidika modela teorije napovedovanja krčenja pri litju in računalniške numerične simulacije analizirano fizikalno polje med strjevanjem pri litju pod pogoji polja sil, kjer delujejo različne zunanje sile (gravitacijsko litje: težnost in atmosferski tlak; vertikalno centrifugalno litje: težnost in centrifugalna sila), z namenom, da bi izpeljali splošni zakon razvoja izolirane tekoče faze in porazdelitve krčenja pod poljem delovanja različnih sil, povzeto pa je kot metoda napovedovanja krčenja pod dinamičnim tlakom pod poljem delovanja različnih sil. Potrjena je eksperimentalna zasnova za preverjanje natančnosti dinamičnega modela za napovedovanje krčilnega lunkerja zaradi tlaka in njegove numerične simulacije.

casting tube and compared it with the finite difference numerical simulation results of the solidification process. The results are basically consistent, but the measured cast tube is not "infinitely long". The ideal cylinder, heat dissipation at both ends causes heat loss, and its calculated value is higher than the experimental value of 10~20 °C. The preliminary study on the formation of defects in the solidification process of cast pipes was carried out. The solidification mode of the cast pipes and the formation mechanism of the defects were discussed. It was shown that the type of paint affected the solidification mode and cooling rate of the cast pipes, which in turn affected the position distribution of the defects and lowered the mold temperature and pouring temperature. It has little effect on the solidification method [10]. In 2008, Fjeld A. of Australia, etc., in the industrial casting process of large-scale castings, considering the different behaviors of the shell material and the core material during the filling process and the phase change behavior in the flow and heat transfer, in the centrifugal casting VOF and helium-porous techniques were introduced into the simulation of filling and solidification processes to solve them [11].

Therefore, from the perspective of casting shrinkage prediction theory model and computer numerical simulation, the physical field during casting solidification under the force field conditions of various external forces (gravity casting: gravity and atmospheric pressure; vertical centrifugal casting: gravity and The centrifugal force is analyzed to derive the general law of the evolution of the isolated liquid phase and the shrinkage distribution under the multi-force field, and is summarized as the dynamic pressure shrinkage prediction method under the multi- force field. The experimental design is validated to verify

2 Dinamični model napovedovanja krčenja zaradi tlaka za postopek gravitacijskega litja

Na Sliki 2-1 je prikazan delujoč shematski prikaz modela za napovedovanje krčilnega lunkerja pri gravitacijskem litju. Za reševanje temperaturnega polja se uporablja Fourierova enačba o prevajanju toplote, temperaturno polje pa določa hitrost trdne faze v vsaki mreži, kadar je mreža opredeljena za lastnosti območja tekočine. V območju tekočine se za reševanje tlačnega polja uporablja Eulerjeva ravnotežna enačba. Če na obeh straneh uporabimo operator divergence, dobimo:

$$\Delta P = p \nabla \cdot \vec{f} \quad (2-1)$$

Enačba (2-1) je rezultanta sil mase, ki je tipična za Poissonovo enačbo [12, 13]. V območju tekočine, sicer pa v numeričnih izračunih, se za reševanje takšnih enačb pogosto uporabljajo pogojeni konjugirani gradienti (PCG – Preconditioned Conjugate Gradients). Tlačno polje v modrem polju C je ključni parameter modela, zato je treba poiskati rešitve za visokonatančno tlačno polje.

Vendar se z Enačbo (2-1) izračuna relativna vrednost tlaka, ki se razlikuje od dejanske vrednosti tlaka v staljeni kovini. Numerično rešitev je treba dopolniti s korekcijskim členom. Če je izolirana tekoča faza v stiku z zrakom v okolici, je na prosti površini tlak staljene kovine visok pri okoliškem atmosferskem tlaku; kadar pa je izolirana tekoča faza obdana s strjeno kovino ali formo in ni v stiku z zrakom, je minimalni tlak v izolirani tekoči fazi, tj. v tekoči kovini v notranjosti, enak 0 (vakuumski tlak).

Algoritem BFS ali DFS lahko z enačbo robnega merila poišče vsa izolirana tekoča območja in jih označi zaradi reševanja ključnih korakov v rdečem polju A. Rdeče polje B v shematskem prikazu je algoritem

the accuracy of the dynamic pressure shrinkage cavity prediction model and its numerical simulation.

2 Dynamic Pressure Shrinkage Prediction Model for Gravity Casting Process

Figure 2-1 is a working flow chart of the gravity casting shrinkage hole prediction model. The Fourier heat conduction equation is used to solve the temperature field, and the temperature field determines the solid phase rate in each grid. When the grid is set to the properties of the fluid area. In the fluid region, the Euler balance equation is used to solve the pressure field. Taking the divergence operator on both sides becomes:

$$\Delta P = p \nabla \cdot \vec{f} \quad (2-1)$$

Equation (2-1) is the resultant force of the mass forces experienced by the typical Poisson equation [12, 13]. Within the fluid region, otherwise in the numerical calculations, Preconditioned Conjugate Gradients (PCG) are often used to solve such equations. The pressure field in the blue box C is a key parameter in the model, and it is necessary to solve the high-precision pressure field.

However, Equation (2-1) calculates the relative value of the pressure, which is different from the true pressure value in the molten metal. It is necessary to add a correction term to the numerical solution. When the isolated liquid phase is in communication with the ambient air, at the free surface, the pressure of the molten metal is strong at ambient atmospheric pressure; and if the isolated liquid phase is surrounded by the solidified metal or mold and is not in communication with the air, the isolated liquid phase The minimum

za izračun prostornine krčenja, ki nastane v vsaki izolirani tekoči fazi v časovnem koraku. Ima štiri korake. V prvem koraku se izračuna prostornina krčenja ΔV_g^k v vsakem izoliranem tekočem območju v okviru Δt . V drugem koraku se v vsakem izoliranem tekočem območju poiščejo vse mreže, ki izpolnjujejo zakon o porazdelitvi krčilnega lunkeja, njihovi položaji $\{R_i^k\}$ in število mrež N^k pa se zavedejo posebej. Z iskanjem mreže proste površine, povezane z zrakom, v vsakem izoliranem območju tekočine se poišče mreža s tlakom 0 v izoliranem območju tekočine, v modelu pa se upoštevajo vsi trije primeri, označeni z 0. V tretjem koraku se v vsakem izoliranem tekočem območju prostornina krčenja enakomerno razdeli in prenese na mrežo, zavedeno v drugem koraku. V četrtem koraku se posodobi hitrost tekoče faze. Stopnja plinske faze f_g je dejansko prostorninski delež krčenja v mreži celic. Po anihilaciji v izolirani tekoči fazi pa sčasoma nastane krčilni lunke [14]

Na gravitacijsko lito tekočo kovino deluje samo prostorninska sila težnosti. Težnost je stalna sila, ki deluje v smeri navpično navzdol. V Eulerjevi ravnotežni enačbi je za nestisljivo tekočino gostota ρ konstantna, tlak pa lahko neposredno izračunamo z integralom

$$P = \nabla P \cdot d\vec{r} = \rho \vec{f} \cdot d\vec{r} = \rho(-gz) = -\rho gz + C \quad (2-2)$$

Na tej točki je izračun tlaka P obravnavan v dveh primerih:

Kadar ima tekoče območje izoliranega tekočega območja fazne meje z zračnim okoljem, je tlak tekočine v točki A (x_A , y_A , z_A) na fazni meji enak P_0 .

$$P_0 = -\rho g z_A + C \quad (2-3)$$

Prenesi (4-1)

pressure of the inner metal liquid is 0 (vacuum pressure).

Through the boundary criterion equation, the BFS or DFS algorithm can search all the isolated liquid regions and mark them to solve the key steps at the red box A. The red box B in the flow chart is an algorithm for calculating the contraction volume generated in each isolated liquid phase per time step. He has four steps. In the first step, the shrinkage volume ΔV_g^k in each isolated liquid region within Δt is calculated. In the second step, in each isolated liquid region, all the meshes satisfying the distribution law of the shrinkage holes are searched, and their positions $\{R_i^k\}$ and the number of meshes N^k are recorded separately. By searching the mesh of the free surface connected to the air in each isolated liquid region, the grid with the pressure of 0 in the isolated liquid region is searched, and all three cases shown by 0 are considered into the model. In the third step, in each isolated liquid region, the shrinkage volume is equally divided and superimposed on the grid recorded in the second step. In the fourth step, the liquid phase rate is updated. The gas phase rate f_g is the shrinkage volume fraction in the cell grid. And after the annihilation in the isolated liquid phase, it will eventually become a shrinkage hole [14]

The gravity cast metal liquid is only subjected to a volume force of gravity. Gravity is a constant force in a vertical downward direction. Through the Euler balance equation, for an incompressible fluid, the density ρ is constant, and the pressure can be directly calculated by integral

$$P = \nabla P \cdot d\vec{r} = \rho \vec{f} \cdot d\vec{r} = \rho(-gz) = -\rho gz + C \quad (2-2)$$

At this point, the calculation of the pressure P is discussed in two cases:

$$P = pg(z_A - z) + P_0 \quad (2-4)$$

Če med tekočim območjem izolirane tekoče faze in zračnim okoljem ni fazne meje, mora biti tlak tekočega območja vsaj 0, če pa je B (x_B, y_B, z_B).

$$0 = -pgz_B + C \quad (2-5)$$

Sočasno (4-1) in formula (4-4)

$$P = pg(z_B - z) \quad (2-6)$$

Enačbi (4-3) in (4-5) sta formuli za izračun hidravlične trdnosti kovine pri gravitacijskem litju v dveh primerih, pri čemer je formula (4-5) posebna oblika formule (4-3) in predstavlja področje tekoče komunikacije; in če v zraku ni fazne meje, mora biti tlak v tekočem področju vsaj $P_0=0$.

Iz Enačbe (4-3) je razvidno, da je hidravlična trdnost gravitacijsko lite kovine povezana samo z relativnim višinskim položajem znotraj tekočine. Enačba (4-3) se pretvori v

$$P = (-pgz) - (-pgz_A) + P_b \quad (2-7)$$

Enačba (4-6) je formula za izračun hidravlične trdnosti kovine pri gravitacijskem litju. Gre za preprosto algebrsko funkcijo koordinat (x, y, z) staljene kovine v izoliranem tekočem območju. Časovna zahtevnost izračuna je $O(n)$.

3 Eksperimentalno preverjanje gravitacijskega litja za dinamični model napovedovanja krčilnega lunkerja zaradi tlaka

Ta model je bil uporabljen za numerično simulacijo gravitacijskega litja niza ulitkov v obliki črke U. Slika 5-1 (a) je tridimenzionalni model sistema litja ulitkov v obliki črke U; Slika 5-1 (b) je perspektivna projekcija livnega sistema; Slika 5-1 (c) in Slika 5-1 (d) sta dve skupini ulitkov v obliki črke U. Zasnovana je velikost ulitka.

When the liquid region of an isolated liquid region has an interface with the air environment, the pressure of the liquid at a point A (x_A, y_A, z_A) at the interface is P_0 .

$$P_0 = -pgz_A + C \quad (2-3)$$

Bring in (4-1)

$$P = pg(z_A - z) + P_0 \quad (2-4)$$

If there is no interface between the liquid area of an isolated liquid phase and the air environment, the pressure of the liquid area should be at least 0, and if it is B (x_B, y_B, z_B).

$$0 = -pgz_B + C \quad (2-5)$$

The simultaneous (4-1) and the formula (4-4)

$$P = pg(z_B - z) \quad (2-6)$$

Equations (4-3) and (4-5) are the formulas for calculating the hydraulic strength of metal under gravity casting in two cases, and the formula (4-5) is a special form of the formula (4-3), that is, the liquid communication region and If there is no interface in the air environment, the pressure in the liquid region should be at least $P_0=0$.

It can be seen from the formula (4-3) that the hydraulic strength of the gravity cast metal is only related to the relative height position inside the liquid. Equation (4-3) is transformed into

$$P = (-pgz) - (-pgz_A) + P_b \quad (2-7)$$

Equation (4-6) is the formula for calculating the hydraulic strength of metal under gravity casting. It is a simple algebraic function of the coordinates (x, y, z) of molten metal in the isolated liquid region. The time complexity of the calculation is $O(n)$.

Material, uporabljen v tem poskusu, je lito jeklo razreda ZG25, kemijska sestava pa je prikazana v Preglednici 5-1.

V poskusu je uporabljen postopek litja v pesek, temperatura litja je 1600 °C, temperatura okoliškega zraka in začetna temperatura peska sta 20 °C; izvede se neposredno litje in poteče strjevanje na zraku. Koeficient prenosa toplote materiala ob stiku z zrakom je opredeljen, kot sledi: koeficient prenosa toplote litega jekla in zraka je 8 W/m²·°C, koeficient prenosa toplote peska in zraka pa je 16 W/m²·°C. Fizikalni parametri peščenega lunkeja in litega jekla so določeni z inverznim merjenjem temperature in so navedeni v Preglednici 5-2.

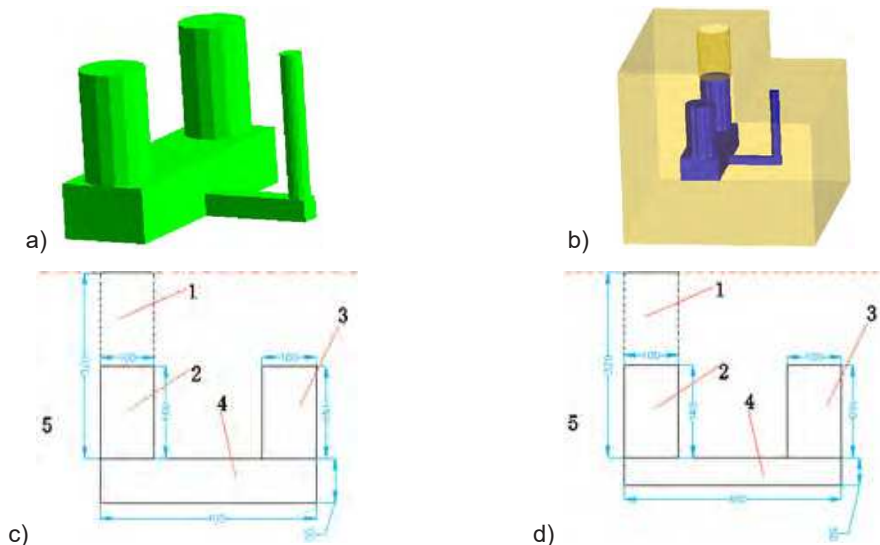
Za segmentacijo je bil uporabljen mrežni molekularni sistem za predobdelavo

3 Experimental verification of gravity casting for dynamic pressure shrinkage cavity prediction model

This model was applied to numerical simulation of gravity casting of a set of U-shaped castings. Figure 5-1 (a) is a three-dimensional casting system model of U-shaped castings; Figure 5-1 (b) is a perspective view of the casting system; Figure 5-1 (c) and Figure 5-1 (d) are two groups of U The size of the casting is designed.

The material used in this experiment is a cast steel, grade ZG25, and the chemical composition of the material is shown in Table 5-1.

The experiment adopts the casting process of sand casting, the pouring



Slika 5-1. Zasnova poskusnega litja v obliki črke U (1-atmosferski tlak, 2-odprt napajalnik, 3-temni napajalnik, 4-litje, 5-peščeni kalup); a) Tridimenzionalni model livnega sistema v obliki črke U, b) Perspektiva livnega sistema, c) Dimenzijska zasnova ulitkov v obliki črke U iz skupine »A«, d) Dimenzijska zasnova ulitkov v obliki črke U iz skupine »B«

Figure 5-1. U-shaped experimental casting design (1-atmospheric pressure 2-open riser 3-dark riser 4-casting 5-sand mold); a) Three-dimensional casting system model of U-shaped casting, b) Pouring system perspective, c) Dimensional design of "A" group U-shaped cast-ings, d) Dimensional design of "B" group U-shaped castings

Preglednica 5-1 Sestava ZG25 (masni delež)**Table 5-1** Composition of ZG25 (mass fraction)

Zlitina / Alloy	C	Fe	Mn	P	S	Si
ZG25	0,16	eq	0,65	0,026	0,03	0,26

Huacheng CAE [16]. V tem poskusu so dimenzije ulitka v obliki črke U 400 mm × 200 mm × 240 mm, velikost mrežnega koraka pa je 5 mm × 5 mm × 5 mm. Število celic je $2,18 \times 10^6$. V skladu s parametri iz Preglednice 5-2 je bila simulacija izvedena v sistemu za simulacijo gravitacijskega litja jeklenih ulitkov Hua cast CAE, ki ga podpira ta model. Za analizo procesa strjevanja je bilo izbranih nekaj reprezentativnih vmesnih rezultatov. Poskusni ulitek je bil lit in razrezan v podjetju Kunming Guangweitong Machinery Equipment Co., Ltd. Ulitki v obliki črke U, liti v teh dveh skupinah, so tehtali približno 50 kg in so bili uliti s puščanjem, litje pa je bilo končano v približno 9 sekundah. Med postopkom strjevanja po končanem litju so bili analizirani rezultati simulacije nekaterih

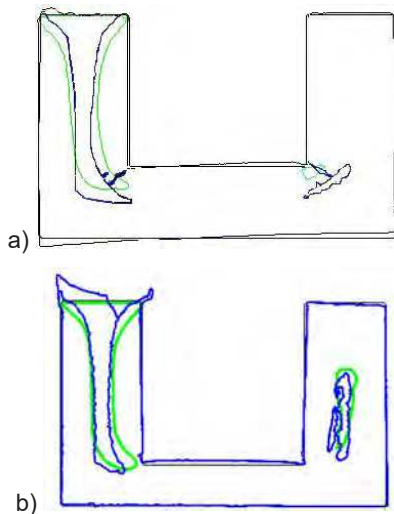
temperature is 1600 ° C, the ambient air temperature and the initial temperature of the sand type are both 20 ° C and are directly poured and solidified in the air. The heat transfer coefficient of the material in contact with air is defined as: the heat transfer coefficient of cast steel and air is 8 W/m²·°C, and the heat transfer coefficient of sand and air is 16 W/m²·°C. The physical parameters of the sand cavity and the cast steel are obtained by inverse temperature measurement and are listed in Table 5-2.

The Huacheng CAE pre-treatment meshing molecular system was used for the segmentation [16]. In this experiment, the U-shaped casting design dimensions are 400mm×200mm×240mm, and the meshing step size is 5mm×5mm×5mm. The number of cells is 2.18×10^6 . According to

Preglednica 5-2. Lastnosti materialov, uporabljenih v tej simulaciji**Table 5-2.** Material properties of materials used in this simulation

Lastnost / Property	ZG25	Forma / Mold	Plin / Gas
Gostota / Density (kg m ⁻³)	6931	1310	1,210
Specifična kapaciteta / Specific capacity (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	1043,9	966,7	1004,60
Koeficient prenosa toplote / Heat transfer coefficient (W m ⁻¹ K ⁻¹)	29,8	0,95	0,02595
Toplotne emisije / Thermal emissivity	0,27	0,1	0,08
Krčenje (v %) / shrinkage (at %)	4,56	/	/
Latentna toplota / Latant heat (J kg ⁻¹)	236816,6	/	/
Temperatura tekočin / Liquid's temperature (°C)	1490	/	/
Temperatura trdne snovi / Solid temperature (°C)	1470	/	/
Koeficient viskoznosti / Viscosity coefficient (Pa s)	1e-6	/	/
Faktor razmika med sekundarnimi vejami dendrita / Secondary dendrite arm spacing factor(m · (K/s) ³)	85	/	/
Koeficient površinske napetosti / Surface tension coefficient (N m ⁻¹)	0,92	/	/

tipičnih časovnih obdobj. Vse nadaljnje slike so posnete s središčnega položaja ravnine preskusnega kosa v obliki črke U iz skupine »A«, kot programska oprema za naknadno vizualno obdelavo simulacijskih podatkov pa je uporabljena odprtokodna programska oprema Paraview.



Slika 5-3. Primerjava podobnosti dveh krčilnih kontur; a) Profil »A«, b) Profil »B«

Figure 5-3. Comparing the similarities of two shrinkage contours; a) Profile of "A", b) Profile of "B"

Preglednica 5-3 je posebno merilo podobnosti. Za kvantizacijo pravila je treba najprej normalizirati obe sliki na enako velikost in eno sliko nato prenesti na drugo. Kot je prikazano na Sliki 5-3. V tem primeru popačenje slike, ki ga povzroči objektiv fotoaparata pri fotografiranju, ni upoštevano, zato sta obe sliki že usklajeni. S štetjem števila slikovnih pik, vključenih v vsak obris, je mogoče razmeroma natančno določiti površino, ki jo obdaja obris. V napajalniku na Sliki 5-3(a) je zeleni obris rezultat simulacije s programsko opremo

the parameters provided in Table 5-2, the simulation was carried out in the gravity casting simulation system of Hua cast CAE steel castings supported by this model. Some representative intermediate results were selected for analysis of the solidification process. The experiment was poured and cut in Kunming Guangweitong Machinery Equipment Co., Ltd. The U-shaped castings cast in these two groups weighed about 50Kg, and were cast in a leak-filled manner, and the pouring was completed in about 9 seconds. During the solidification process after the completion of the casting, the simulation results of some typical time periods are analyzed. The following illustrations are all taken from the center position of the U-shaped plane of the "A" group test piece, and the open source software Paraview is used as the visual post-processing software for the simulation data.

Table 5-3 is a specific measure of similarity. To quantize the rule, first normalize the two images to the same size and superimpose one of the images onto the other. As shown in Figure 5-3. Here, the image distortion caused by the camera lens when taking a picture is ignored, and the two images are already consistent. By counting the number of pixel points included in each contour, the area enclosed by the contour can be obtained relatively accurately. In the riser of Figure 5-3(a), the green outline is the simulation result of Huazhu CAE, which contains 6066 pixels, the area of which is $A_g=6066$; the blue outline is the shrinkage distribution of the center cut surface of the experimental casting, which includes 4432 pixels, area $A_b = 4432$. The green and blue outlines have a total area of 3,704 pixels, that is, the common area $A_s=3704$.

Huazhu CAE, ki vsebuje 6066 slikovnih pik, površina $A_g = 6066$; modri obris prikazuje porazdelitev krčenja osrednje površine reza poskusnega litja in vsebuje 4432 slikovnih pik, površina $A_b = 4432$. Zeleni in modri obrisi imajo skupno površino 3704 slikovnih pik, kar pomeni, da je skupna površina $A_s = 3704$.

4 Uporaba dinamičnega modela napovedovanja krčenja zaradi tlaka

Sliki 7-1 (a) in (b) prikazujeta tridimenzionalno obliko sprednje in spodnje strani ulitka pokrova škatle, Slika 7-1 (c) pa prikazuje skupino za litje, ki je kombinacija s štirimi pokrovi. Pokrov je glavni del valja bencinskega motorja. Premer diska je približno 200 mm, debelina zunanega dela je približno 120 mm, debelina pa približno 15 mm.

Postopek strjevanja je bil simuliran z uporabo dinamičnega litja na podlagi modela napovedovanja krčilnega lunkeja jeklene gravitacijsko lite plošče Hua cast CAE. Rezultati simulacije so bili razrezani s programsko opremo za naknadno obdelavo Hua cast CAE, in sicer je bil izrezan vzdolžni prerez ulitka. Primerjajte obliko in ključne dimenzije. Na Sliki 7-2 je prikaz porazdelitve krčilnih lunkejev in porazdelitve tlaka na 200. dan strjevanja. Ker je izobarna površina pri gravitacijskem litju vodoravna ploskev, je prostorninski delež nad rdečo črto prostorninska porazdelitev krčilnega lunkeja, uporabijo pa se poudarjeni deli; rdeča črta pod porazdelitvijo tlaka v nestrjeni staljeni kovini je 50-odstotno prosojna. Na tej točki je notranjost ulitka skoraj popolnoma strjena, nestrjeno območje pa je predvsem v napajalniku nad ulitkom.

Na Sliki 7-3 je shematski prikaz napovedovanja krčenja za vse rezultate simulacije strjevanja sistema skupinskega

4 Application of Dynamic Pressure Shrinkage Prediction Model

Figure 7-1 (a) and (b) are the three-dimensional shape of the front and bottom of the box cover casting, respectively, Figure 7-1 (c) is the pouring group tree that is combined with the four lids. The cover is the main part used on the cylinder of a gasoline engine. The diameter of the disc is about 200mm, the thickness of the outer part of the part is about 120 mm, and the thickness of the part is about 15 mm.

The solidification process of the process was simulated by using the dynamic casting-based shrinkage hole prediction model of the Hua cast CAE steel casting gravity casting plate. The simulation results were cut by the Hua cast CAE post-processing display software, and the longitudinal section of the casting was cut. Compare shape and key dimensions. Figure 7-2 is a view of the distribution of the shrinkage cavities and the pressure distribution at the 200th day of solidification. Since the isobaric surface under gravity casting is a horizontal plane, the volume fraction above the red line is the volume distribution of the shrinkage hole, and the highlight is used; the red line below the pressure distribution in the unsolidified molten metal is 50% translucent. At this point, the inside of the casting has almost completely solidified, and the unsolidified area is mainly within the riser above the casting.

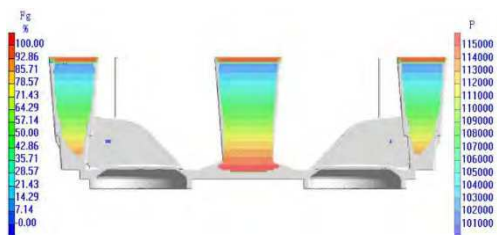
Figure 7-3 is a shrinkage prediction diagram of the overall solidification simulation result of the box cap group casting system. It can be seen from the simulation results of the shrinkage hole prediction that the casting shrinkage holes are mainly concentrated on the top of the pouring inlet and the rising riser, and only a small amount of shrinkage appears on the casting of the lid. We will cut the solidified

litja pokrovčka škatle. Iz rezultatov casting along the diameter of the rising simulacije napovedovanja krčilnega mouth, cut it longitudinally, measure the



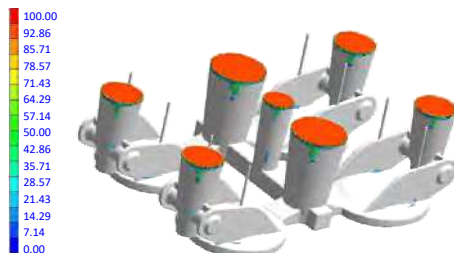
Slika 7-1. Tridimenzionalna skica ulitka pokrova škatle in skupine za litje; a) Prednji del ulitka pokrova škatle ulitka, b) Spodnja površina kasete, c) Skupine za litje pokrovov škatle

Figure 7-1. Three dimensional shape drawing of the box cover casting and the pouring group tree; a) Box cover casting front, b) Cassette casting bottom surface, c) Pouring group tree for box cover casting



Slika 7-2. Porazdelitev skrčevanja in porazdelitev tlaka pri ulitkih pokrovček škatle pri strjevanju 200 s

Figure 7-2. Shrinkage distribution and pressure distribution of box cap castings when solidified for 200 s



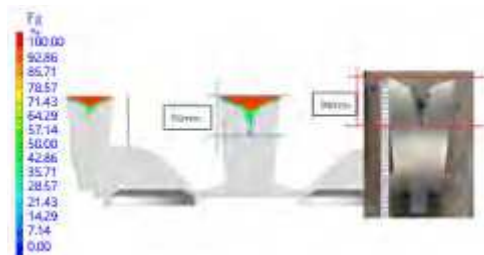
Slika 7-3. Napoved skrčevanja za vse rezultate simulacije strjevanja ulitka pokrovčka škatle

Figure 7-3. Prediction of shrinkage of the overall solidification simulation result of the box cover casting



Slika 7-4. Primerjava skrčevalnega lunkeja na velikem napajalniku ulitka pokrova škatle

Figure 7-4. Comparisom of shrinkage cavities at the large riser of the box cover casting



Slika 7-5. Primerjava skrčevalnega lunkeja na majhnem napajalniku ulitka pokrova škatle

Figure 7-5. Comparisom of shrinkage cavities at the small riser of the box cover casting

lunkerja je razvidno, da so krčilni lunkerji večinoma skoncentrirani na zgornjem delu vhoda za litje in vertikalnim napajalnikom, le majhna količina krčenja pa se pojavi na pokrovu ulitka. Strjeni ulitek bomo prerezali vzdolž premera ustja napajalnika, izmerili krčilni lunker na ravnini reza in ga primerjali z velikostjo krčilnega lunkerja tridimenzionalnega modela. Rezultati meritev so prikazani na Slikah 7-4 in 7-5.

Na Sliki 7-4 sta prikazana izseka prereza dveh napajalnikov na razdelilnem kanalu.

Krčilni lunker v obliki črke V v zgornjem delu krčilnega lunkerja pri napajalniku je skladen z rezultati simulacije. Krčilni lunker pod krčilnim lunkerjem napajalnika je redek, stopnja zgoščevanja je nizka, splošna oblika krčenja krčilnega lunkerja v obliki črke V in oblika črke V v rezultatih simulacije sta zelo podobna. Zgornji konec napajalnika predstavlja vrh krčilnega lunkerja, najmanjša razdalja od najmanjšega konca krčilnega lunkerja v obliki črke V je približno 94 mm, napaka 91 mm v primerjavi z rezultati simulacije pa je enaka približno 1 mreži (kvadrat z velikostjo mrežnega očesa s stranico 3,5 mm). Napaka 3 % torej pomeni visoko natančnost znotraj meja dopustne napake.

Na Sliki 7-5 je prikazan presek enega izmed reduciranih napajalnikov nad štirimi ulitki. Krčilni lunker v obliki črke V v zgornjem delu krčilnega lunkerja pri napajalniku je skladen z rezultati simulacije. Delni krčilni lunker pod krčilnim lunkerjem napajalnika je redek, stopnja zgoščevanja pa je relativno nizka. V rezultatih simulacije je z rdečo prikazan krčilni lunker. Celotna topografija oblike črke V je zelo podobna topografiji oblike črke V iz rezultatov simulacije. Če izvezamo zgornji rob napajalnika zaradi toka polnjenja ter neravnino zgornje površine vrste peska, je najvišja ravnina nivoja tekočine najvišji konec krčilnega lunkerja,

shrinkage hole on the cutting plane, and compare it with the size of the shrinkage hole on the three-dimensional model. The measurement results are shown in Figure 7-4 and Figure 7-5.

In Figure 7-4, two large risers on the runner are selected for one of the cut-out sections.

The V-shaped shrinkage hole in the upper part of the riser shrinkage hole is consistent with the simulation result. The shrinkage hole under the riser shrinkage hole is obviously sparse, the degree of densification is low, the overall V-shaped shape of the shrinkage hole shrinkage and the V-shaped shape of the simulation result the appearance is very similar. The top end of the riser is the uppermost end of the shrinkage hole, and the minimum distance from the minimum end of the V-shaped shrinkage hole is about 94 mm, and the error of 91 mm from the simulation result is about 1 grid (square with a mesh size of 3.5 mm side). That is, the error of 3% has a high accuracy within the error tolerance.

In Figure 7-5, one of the fill-reducing risers above the four castings is selected for the cut-away section. The V-shaped shrinkage hole in the upper part of the riser shrinkage hole is similar to the simulation result. The partial shrinkage hole under the riser shrinkage hole is obviously sparse, and the degree of densification is relatively low. The simulation result shows a red shrinkage and shrinkage shrinkage. The overall V-shaped topography is very similar to the V-shaped topography of the simulation results. Excluding the upper edge of the riser due to the filling flow and the unevenness of the upper surface of the sand type, the highest liquid level plane is the uppermost end of the shrinkage hole, and the minimum distance from the minimum end of the V-shaped shrinkage hole is about 59 mm, and the simulation

najmanjša razdalja od najmanjšega konca krčilnega lunke oblike črke V je približno 59 mm, rezultat simulacije pa je 56 mm. Napaka je približno 1 mreža (kvadrat z velikostjo mrežnega očesa 3,5 mm); to pomeni, da je relativna napaka približno 5 %, in tudi, da je natančnost znotraj meja dopustne napake.

5 Zaključek

Namen tega prispevka je izboljšati natančnost napovedovanja krčilnega lunke, preučiti mehanizem nastajanja krčilnega lunke pri gravitacijskem litju ter vertikalnem centrifugalnem litju, vzpostaviti model napovedovanja krčilnega lunke na podlagi dinamičnega tlaka pod poljem delovanja več sil ter razviti gravitacijsko litje in simulacijski sistem za napovedovanje krčenja v procesu strjevanja ulitkov pri vertikalnem centrifugalnem litju, ki se uporablja za simulacijo procesa litja ulitkov, ki jih dejansko izdelujejo livarna. Glavne ugotovitve so naslednje:

(1) Razvit je modul za napovedovanje krčilnega lunke v jeziku C++ in izveden sekundarni razvoj programske opreme Huazhu CAE z namenom izvedbe povezave modela za napovedovanje krčilnega lunke in programske opreme Huazhu CAE. Za izvedbo numerične simulacije napovedi krčenja ulitkov so bile znova uporabljene razvite funkcije za izračun temperaturnega in pretočnega polja, zbirke podatkov o materialih ter funkcij predhodne in naknadne obdelave programske opreme Huazhu CAE.

(2) S primerjalnim eksperimentom je bila preverjena natančnost modela za napovedovanje krčilnega lunke pri različnih hitrostih, primerjalni podatki pa so na voljo tudi za analizo mehanizma nastanka krčilnega lunke. Z analizo vpliva tlaka v

result is 56 mm. The error is about 1 grid (square with a mesh size of 3.5 mm side length), that is, a relative error of about 5%, which also has high accuracy within the error tolerance.

5 Conclusion

The purpose of this paper is to improve the accuracy of shrinkage hole prediction, study the mechanism of shrinkage cavity formation in gravity casting and vertical centrifugal casting process, establish a shrinkage hole prediction model based on dynamic pressure under multi-force field, and develop gravity casting and The shrinkage prediction simulation system for the solidification process of vertical centrifugal casting castings is applied to the casting process simulation of castings actually produced by casting enterprises. The main conclusions are as follows:

(1) Developed the shrinkage hole prediction module in C++ language and carried out secondary development on Huazhu CAE software to realize the docking of the shrinkage hole prediction model and Huazhu CAE software. The mature temperature field and flow field calculation function, material database, pre-processing and post-processing functions of Huazhu CAE software are reused to carry out numerical simulation of shrinkage prediction of castings.

(2) Through the comparison experiment, the accuracy of the model to predict the shrinkage cavity at various speeds is verified, and the comparative data is also provided for the analysis of the formation mechanism of the shrinkage cavity. By analyzing the influence of the pressure in the molten metal and the centrifugal speed on the formation of the shrinkage cavity, it is verified that the volumetric shrinkage

staljeni kovini in centrifugalne hitrosti na nastanek krčilnega lunkeja se zagotovi, da se volumen krčenja, ki ga ustvari staljena kovina v vsakem časovnem koraku, prišteje ničelnemu izobaričnemu tlaku v izolirani tekoči fazi. Zaključki so predstavljeni tukaj.

(3) Uporaba modela za napovedovanje krčilnega lunkeja v dejanskem proizvodnem procesu litja. S simulacijo postopka gravitacijskega litja jeklenih ulitkov v okvir in postopka vertikalnega centrifugalnega litja ulitkov stebričkov iz titanove zlitine je bila primerjana kakovost izdelka, rezultati modela napovedovanja krčenja pa so bili primerjani in analizirani. Simulirani so bili rezultati simulacije in dejansko litje. Porazdelitev krčilnega lunkeja je zelo dosledna. Uporaba modela je učinkovita v dejanski proizvodnji podjetja in ima močno promocijsko vrednost.

volume generated by the molten metal in each time step is added to the zero isobaric pressure in the isolated liquid phase. The conclusion at the face.

(3) Apply the model to the shrinkage hole prediction of the actual casting production process. Through the simulation of the gravity casting process of the box-cast steel castings and the vertical centrifugal casting process of the titanium alloy column castings, the product quality inspection was compared, and the shrinkage prediction results of the model were compared and analyzed. The simulation results and the actual castings were simulated. The shrinkage hole distribution is very consistent. The model has a good application effect in the actual production of the enterprise and has a large promotion value.

Zahvala

To raziskavo je finančno podprla Nacionalna naravoslovna fundacija Kitajske (št. 51775205).

Acknowledgements

This research was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51775205).

Reference / References

- [1] Zhang Jun. Numerical simulation of filling process in vertical centrifugal casting [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [2] Liu Jianguo, Huang Tianyou, Lu Dingquan, et al. Analysis of the development of China's foundry industry in the "Twelfth Five-Year Plan"[J]. Foundry Technology, 2012(09): 1090- 1093.
- [3] Xu Yunxiang. Riser Equivalent Hot Section Design Method for Investment Castings[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2006(02):108-110.
- [4] China Foundry Association. Investment Casting Handbook [M]. Mechanical Industry Press, 2000.

-
- [5] Zhou Jianxin. Current Status and Development Trend of Foundry Computer Simulation Technology[J]. Foundry, 2012(10): 1105-1115.
 - [6] Song Weide, Xue Xiang. Research on Mathematical Model and Its Parameters of Shrinkage Prediction[J]. Foundry, 1986(06): 36-38.
 - [7] Li Hongwei, Xue Xiang, Zhang Yuebing. Influence of Static Pressure of Liquid Metal on Shrinkage Shrinkage Criterion[J]. Foundry, 2003(06):426-428.
 - [8] Zheng Hongliang. Numerical simulation of solidification process of nodular cast iron based on macro-micro model[D]. Shandong University, 2007.
 - [9] Menghuai W A A K. Using four-phase Eulerian volume averaging approach to model macrosegregation and shrinkage cavity [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, 84(1): 12006.
 - [10] Liu Zhiming, Jiang Biju, Yu Zhenzong. Study on Solidification Process of Centrifugal Casting Tube by Hot Molding Method[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 1990(01):8- 12.
 - [11] Fjeld A, Ludwig A. Modeling and Simulation of a Large Composite Casting, 2008[C].2008.
 - [12] Song Weide, Xue Xiang. Research on Mathematical Model and Its Parameters of Shrinkage Prediction[J]. Foundry, 1986(06): 36-38.
 - [13] Kalland K M. A Navier-Stokes Solver for Single-and Two-Phase Flow [J]. 2008.
 - [14] Xu Wei. Numerical simulation of macrosegregation defects of steel castings based on continuum model [D]. Huazhong University of Science and Technology, 2012.
 - [15] Zeng Xingwang. Research on numerical simulation of centrifugal casting filling process [D]. Huazhong University of Science and Technology, 2004.
 - [16] Zhou Jianxin. Numerical simulation of casting solidification process based on non-uniform grid technology [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2003.
 - [17] Wen Peijian. Prediction of Shrinkage and Shrinkage of Titanium Alloy Vertical Centrifugal Precision Casting [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.

AKTUALNO / CURRENT

**Kratka vsebinska predstavitev predavanj na
61. IFC Portorož 2021 (Drugi del)**

V drugem delu predstavitev so predavanja razdeljena v štiri ločene sekcije. Predstavljenih je bilo skupno 34 predavanj. Podajamo kratko vsebino vseh predavanj.

SEKCIJA A: Lito železo in livarske tehnologije:

Chinnadit Baitiang,
RWP GmbH (D)

C. BAITANG¹, M. KRÜGER², S. PISKER², B. H. WILLIAMS-BOOCK², K. WEISS¹, ¹RWP GmbH (D), ²Ortrander Eisenhütte (D): »Modeliranje procesa na osnovi proizvodnih podatkov iz livarne z avtomatskim formanjem«.

V dobi industrije 4.0 industrijska podjetja ne potrebujejo zgolj procesnih podatkov, temveč tudi povezave med njimi, da bi lahko določili zanesljive procesne odvisnosti. Podrobno sta bila predstavljena postopek analize odpadka in izdelava modela procesa na podlagi podatkov. Model lahko skupaj z obstoječim simulacijskim orodjem na fizikalni osnovi pomaga livarnam pripraviti prave vhodne podatke procesa. Upravitelji livarn lahko na podlagi modela pridobijo predloge za izboljšave v proizvodnji. Livarne lahko na podlagi modela načrtujejo postavitve kapacitet za nove elemente. V praksi se lahko pripravi različne procesne scenarije, ki zmanjšujejo stroške dejanskih eksperimentov.



Huber Kerber
ÖGI Leoben (A)

H. KERBER¹, A. JAHN², P. SCHUMACHER³, ^{1,2}Austrian Foundry Research Institute Leoben (A), ³Chair of casting Research, University of Leoben (A): »Izvor, pojav in preprečitev prelomov pri sivih litinah s kroglastim grafitom«.

Ploščne frakture se spremenijo v kritične nepravilnosti pri ulitkih takrat, kadar na površini ulitka zaradi grobih izbruhov nastanejo nepopravljive luknje. Na majhnih naravnih napajalnikih je bilo opravljeno zelo pomembno delo z odličnimi praktičnimi, eksperimentalnimi in znanstvenimi pojasnili za izvor teh nepravilnosti na ulitkih in možnosti, kako jih preprečiti. Opravljene so bile tudi raziskave ulitkov z nepravilnostmi zaradi ploščnih fraktur na grlih napajalnika in na eksotermnih napajalnikih. Makroskopske raziskave so pokazale na mehanizem nastanka kritičnih komponent v mikrostrukturi, ki povzročajo ploščne frakture. Narejen je bil pomemben korak pri razlagah nastanka ploščnih fraktur.

M. BOJINOVIĆ¹, A. RESNIK², L. KRAJNC¹, ¹Pro Labor d.o.o. (SI), ²OMCO METALS SLOVENIA d.o.o. (SI): »Digitalizacija temperaturnega polja v livarnah«.

Z digitalizacijo se hitreje identificirajo in rešujejo problemi v proizvodnji. Prednost je v tem, da se celoten proces lahko ponovno definira in preobrazi v učinkovit sistem

zasledovanja in reševanja problemov. Digitalizacija se usmerja predvsem v dve smeri: napredna orodja za optimizacijo proizvodne verige in specifične tehnologije za nizko - ogljično in trajnostno proizvodnjo. Kontinuirano prilagajanje in optimiziranje procesov prispeva k fleksibilnosti in zanesljivosti procesov, povišuje izplen in kakovost proizvodov, prispeva k energetski učinkovitosti in integrirano nadzoruje okoljske kazalnike. Pomembne so digitalizacija temperaturnega polja, priprava taline, litje in toplotna obdelava. Digitalizacija temperaturnega polja se lahko implementira v različnih fazah procesa. Predstavljeni so bili projekti digitalizacije temperaturnega polja in njihovi prispevki k optimizaciji procesa.



Prof. dr. Jaromir Roučka,
Univerza v Brnu (SK)

J. ROUČKA, V. KANA, V. PERNICA, D. NYEKOVA, A. ZADERA, Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Brno (CZ): »Ocena vpliva različnih cepiv na mikrostrukturo in mehanske lastnosti sivih litin s kroglastim grafitom«.

Raziskava je bila izvedena na litini EN ČSN GJS 450., ki je bila modificirana z zlitino VM63M. Izvedena je bila primerjava učinkov cepljenja treh vrst cepiv, ki so se razlikovale po vsebnosti: In-Al, In-Ce in In-Bi. Uliti so bili bloki Y1-Y4 skladno s standardom EN ČSN 1563. Preizkušene so bile lastnosti trdote, natezne trdnosti in udarna odpornost. Izdelana je bila metalografska ocena grafita in lastnosti v odvisnosti od debeline sten ulitih blokov in vrste cepiva. Osnovna struktura vseh blokov je bila ferit-perlit. Delež ferita je v vseh primerih narasel z debelino ulitih vzorcev. Ob testiranju z različnimi inokulanti niso ugotovili bistvenih razlik v strukturi in lastnostih.



Maximilian Brait,
ÖGI Leoben (A)

M. BRAIT¹, E. KOPPENSTEINER¹, G. SCHINDELBACHER¹, P. SCHUMACHER^{1,2}, ¹Austrian Foundry Research Institute (A), ²Chair of Casting Research, Montanuniversität Leoben (A): »Napoved nastanka grafita pri sivih litinah s kroglastim grafitom s pomočjo nevronske mreže«.

Umetne nevronske mreže se uporabljajo za opisovanje in napovedovanje nodularnosti in gostote grafitnih vozlov v duktilni litini. Namen raziskav je bil razjasniti dejavnike, ki vplivajo na proizvodnjo duktilnega železa v industrijskem okolju. S pomočjo umetne inteligence so lahko napovedovali vpliv različnih dejavnikov in parametrov na podlagi pogojev in vzorcev. Določiti je bilo mogoče mejne pogoje za vsakodnevno delo v livarni. Izdelali so model za napovedovanje tvorbe grafita v sivi litini s kroglastim grafitom. S statističnimi orodji so določili in analizirali najpomembnejše in prevladujoče spremenljivke, od prvotnega polnjenja do končnega ulitka. Zahtevane hitrosti ohlajevanja pri ulitkih so uporabili kot dodatne vhodne spremenljivke za algoritem napovedovanja in jih izračunali s toplotnim modeliranjem. Algoritme za povečanje natančnosti so ustvarili z nevronskimi mrežami. Algoritme so prilagodili in izboljšali z dodatnim vnosom podatkov.



dr. Ion Bacanu, HA Chemische Werke, GmbH (D)

M. BARTH, I. BACANU, Hüttenes Albertus Chemische Werke GmbH (D): »Izdelava aditivov za livarske potrebe«.

Stalni razvoj tiskalnikov in vezivnih sistemov že omogoča izdelavo majhnih in srednje velikih serij livarskih jeder s 3D tiskanjem peska. Velikost komponent je mogoče skoraj poljubno prilagajati s pomočjo segmentnih proizvodnih strategij. Furanski, fenolni in anorganski sistemi so že na voljo. Ob zmanjšanju emisij so ključna raziskovalna področja: dosledno visoka trdnost na oseh x-y in z ter glajenje površine z uporabo premazov, ki so optimizirani za 3-D tiskanje. V laboratorij HA so izvajali preskuse z vezivi, čistili in premazi. Ti preskusi so vključevali tudi analizo vzrokov in preprečevanje napak pri litju ter določanje procesnih parametrov pod standardnimi pogoji. Rezultati preskusov pod realnimi pogoji so potrjeni v evropskih livarnah.



Ladislav Haška,
Otto Junker GmbH (CZ)

L. HAŠKA, V. PAVLOVEC, Junker Industrial Equipment s. r. o. (CZ): »Vzdrževanje in servisiranje indukcijskih navitij pri talilnih indukcijskih pečeh«.

Obravnavane so bile strategije vzdrževanja in popravil, preventivni in zaščitni ukrepi za preprečevanje nesreč ter podaljšanje življenjske dobe indukcijskih navitij. Prikazani so bili primeri poškodovanih navitij in postopki popravil ter prednosti dodatnih zaščitnih sistemov za navitja. Podrobno je bil pojasnjen sistem optične zaščite navitja, ki je bil razvit v skupini Otto Junker. Prikazani in pojasnjeni so bili primeri namestitve sistema OCP (optična zaščita navitja), skupaj s primeri pogojev, ki jih je mogoče s pomočjo sistema varno obvladovati. Prikazani so bili primeri poškodovanih navitij, ki so bila popravljena v podjetju JIE, skupaj s pojasnjenimi postopki ocene stanja, razstavljanjem navitja in popravila.



dr. Mitja Petrič,
Univerza v Ljubljani (SI)

M. PETRIČ, S. KASTELIC, P. MRVAR, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, oddelek za materiale in metalurgijo (SI): »Cepljenje in mehanizmi nukleacije grafita pri sivih litinah s kroglastim grafitom«.

Prestavljena je bila zgradba kali grafita v sivih litinah s kroglastim grafitom. Talina je bila pripravljena v kupolni peči in obdelana z dodatkom magnezija ter cepljena s cepivom na osnovi barija. Za analizo vključkov je bila uporabljena vrstična elektronska mikroskopija s poljsko emisijo (FE-SEM) opremljena z energijsko disperzijsko spektroskopijo (EDS). Izveden je bil termodinamski izračun faznih ravnotežij s pripadajočimi prostimi Gibbsovimi energijami. Rezultati so bili primerjani z metalografskimi analizami. Kali so bile različne po obliki in sestavi in so okrogle in pravokotne. Sestavljene so iz ene ali dveh faz, kot so (Mg, Ca)S, MgO in (Mg, Al, Si)N. Ba in elementi redkih zemelj niso prisotni v kaleh.



Urška Klančnik,
Valji d.o.o. (SI)

U. KLANČNIK¹, J. HABJAN¹, A. MAHMUTOVIĆ², S. KASTELIC², P. MRVAR^{2,3}, M. DROBNE¹, ¹Valji d.o.o., ²TC Livarstvo, ³Univerza v Ljubljani: »Simulacija litja in strjevanja vertikalnega valja- študija primera«.

Izdelava ulitih vertikalnih valjev iz nadevtektoidne jeklene litine s krogličastim grafitom je zaradi velikega premera napram višini zahtevnejša od horizontalnih valjev za vroče valjanje. Obstaja večja nevarnost nastanka krčilne poroznosti in drugih livarskih napak. Predstavljen je bil primer kako lahko z uporabo računalniške simulacije in strjevanja izboljšamo postavitev forme in s tem vplivamo na kakovost ulitka. S programom ProCAST je bila izdelana računalniška simulacija morebitnih vzrokov za nastanek napak. Ugotovljena je znatna erozija peščene forme, kar lahko predstavlja vir nekovinskih vključkov ter možnost krčilne poroznosti v telesu ulitka na mestu prehoda med spodnjim čepom

in trupom valja. Na podlagi simulacij so bili podani in upoštevani nekateri predlogi za preprečevanje napak.



Borut Križe,
Livar d.d. (SI)

B. KRIŽE¹, N. ROM¹, I. SURUNA¹, M. KOMPREG², J. VRANJKOVIČ², D. PVAJGER², A. ČATIČ², ¹Wire d.o.o. (SI), ²Livar d.d. (SI): »Optimizacija procesa proizvodnje nodularne litine pri obdelavi s polnjeno žico s pomočjo meritev kisika v talini«.

Vsebnost kisika v sivi litini s kroglastim grafitom je pomembna v samem proizvodnem procesu. S poznavanjem aktivnosti kisika (a_0) in pravilno obdelavo taline je možno optimizirati sam proces. Z ustreznim dimenzioniranjem tesnilnega obroča pokrova obdelovalnega lonca, vertikalnejšim vnosom žice v talino, optimiranim vlekem odsesovalnih cevi, je možno stanje bistveno izboljšati. Z meritvami je bila potrjena neposredna povezava med aktivnostjo kisika po obdelavi in Mg_{rest} ter s tem stopnja nodulacije. Uporabljeni so bili različni tipi žic glede vrednosti Mg in Ca, z ali brez dodatkov Al in FeSiBa. S peščeno spiralo so ugotavljali povezavo med dolžino spirale, Mg_{rest} in aktivnostjo kisika. Preiskave so pokazale uspešno zmanjšanje količine žice za nodulacijo. Ugotovili so tudi, da je za razžveplanje sive litine iz kupolke možna uporaba postopka razžveplanja in nodulacije brez uporabe CaC_2 .

SEKCIJA B : Neželezne zlitine

Ž. KURALT, LTH Castings d.o.o. (SI): »Zalivanje cevk pri visokotlačnem litju aluminija«. Aluminijevi ulitki za avtomobilsko industrijo so vedno bolj kompleksni in morajo odgovarjati visokim zahtevam pri temperaturah okolice od $-40^{\circ}C$ do $+125^{\circ}C$. Zaradi tega je vse večja zahteva tudi po aktivnem hlajenju. Ena od možnosti aktivnega hlajenja je zalivanje hladilne cevke (s



Žiga Kuralt,
LTH Castings d.o.o. (SI)

hladilnim medijem glikol) v ulitek. Za potrebe razvoja procesa zalivanja cevk v aluminijeve ulitke, so bile namensko izdelane cevke, izdelane simulacije trdnosti in deformacij cevk in opravljena simulacija litja. Izdelano je bilo prototipno orodje za tlačno litje, prototipno obrezilno orodje ter testna priprava za testiranje tesnosti ulitka pod vodo. Tesnost ulitka in oprijem aluminija s cevko sta bila dva glavna kriterija, ki sta bila analizirana. Prednosti zalivanja cevk v ulitek so predvsem v preprostosti procesa in cenovni konkurenčnosti.



Julien Bobst,
FONDAREX SA (CH)

J. BOBST, Fondarex SA (CH): »Zakaj bi uporabljali vakuum pri tlačnem litju aluminija«? Dobro razumevanje učinkov uporabe vakuumskega sistema v postopku HPDCM je ključnega pomena, ko se livarna odloči za njegovo izvajanje in posledično za izboljšanje njegove kakovosti. Vakuumsko litje je ključni dejavnik za odstranitev pozitivnega zračnega tlaka iz staljene kovine, kar zagotavlja dobro polnjenje in boljše s pretokom povezane rezultate, predvsem zmanjšanje poroznosti. Ključen dejavnik je prilagoditev vakuuma samemu postopku in zahtevam naročnika. Sama vakuumska tehnologija sistema Fondarex je izredno prilagodljiva v smislu integracije v celico za tlačno litje. Prav tako so enote podjetja Fondarex združljive z vsemi stroji za tlačno litje, prilagodljive vsakemu projektu ter omogočajo celovito analizo vakuumskega postopka in sodobne možnosti prenosa podatkov.



Žiga Jelen,
Univerza v Mariboru (SI)

Ž. JELEN¹, P. MAJERIČ^{1,2}, M. ZADRAVEC¹, L. GROBELŠEK², I. ANŽEL¹, R. RUDOLF^{1,2}, ¹Univerza v Mariboru (SI), ²Zlatarna Celje d.o.o. (SI): »Zlati nanodelci - od sinteze do prototipne uporabe v LFIA antigenskih testih (Covid-19)«.

Za spremljanje in širjenja pandemij v realnem času in preprečevanje okužb so pomembni hitri antigenski testi (LFIA), ki delujejo na principu imuno-kromatografskega testiranja na osnovi lateralnega vleka tekočega medija. Do sedaj ti hitri testi ne uporabljajo Au nanodelcev (AuND). Razvoj AuND v antigenskih LFIA (Lateral flow immuno assay) testih bi tako predstavljal popolnoma nov preboj AuND ne le za medicino in farmacijo temveč za različne druge biomedicinske aplikacije. Za uporabo protiteles se lahko uporabijo različne snovi in izvajajo se seveda tudi obširne raziskave nanomaterialov, ki bi lahko bistveno izboljšali občutljivost zaznavanja LFIA testov, saj nanomateriali omogočajo kvantitativne in polkvantitativne odzive. Med nanomateriali izstopajo nanodelci, ki lahko dajejo neposredni signal kmalu po reakciji s protitelesi in tako, da se spremeni barva njihove površine. Med te snovi spadajo tudi AuND, ki imajo edinstvene lastnosti, ki so potrebne za delovanje LFIA testa in imajo odlično biokompatibilnost. Zlatarna Celje je postopek sinteze AuND tudi zaščitila s prijavo nacionalnega patenta.

Z. ZOVKO BRODARAC¹ D. STANIČ², M. FOLTA³, F. KOZINA¹ ¹Univerza v Zagrebu, Metalurška fakulteta (CRO), ²Cimos-TCH Group P.P.C. Buzet d.o.o. (CRO), ³Škoda Auto, Vysoka škola o.p.s. (CZ): »Potencial recikliranja zlitine AISi9Cu3(Fe)«

Mehanske in mikrostrukturne lastnosti aluminijevih zlitin so odvisne od sestave, obdelave taline, hitrosti strjevanja, postopka litja in morebitne toplotne obdelave. Raziskan



Prof. dr. Zdenka Zovko
Brodarac, Metalurška fakulteta
Sisak (HR)

je bil potencial recikliranja zlitine AlSi9Cu3(Fe) z uporabo lastnega povratnega materiala iz livarne brez kakršnihkoli dodatkov. Prisotnost široke palete legirnih elementov v zlitini AlSi9Cu3(Fe) razkriva število potencialnih faz, kot so $\alpha\text{-Al15(FeMn)3Si2}$, $\beta\text{-Al5FeSi}$, Mg2Si , Al2Cu , kot tudi bolj kompleksnih Al15Cu2Mg8Si6 in Al5Mg8Cu2Si6 . Pretaljevanje recikliranih aluminijevih zlitin vpliva na spremembo razvoja mikrostrukture skozi postopek strjevanja in vodi do degradacije mehanskih lastnosti.

M. MACERL^{1,2}, F. ZUPANIČ², T. HAGA³, T. BONČINA²,
¹Srednja tehniška in poklicna šola Trbovlje (SI), ²Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo (SI), ³Osaka Institute of Technology (JP): »Mikrostruktura in lastnosti zlitine Al-Mn-Cu-Be, izdelane z enovaljnim in asimetričnim dvovaljnim litjem«.



Prof. dr. Franc Zupanič,
Univerza v Mariboru (SI)

Obravnavan je mikrostruktura in lastnosti trakov poskusne kvazikristalne zlitine Al-Mn-Cu-Be , ki je bila izdelana z dvema postopkoma kontinuirnega litja: z enovaljnim litjem ter z asimetričnim dvovaljnim litjem. Pri obeh zaradi povečane hitrosti ohlajanja lahko nastanejo tudi kvazikristalne faze. Trakove so karakterizirali s svetlobno in vrstično elektronsko mikroskopijo, mikrokemično analizo ter rentgensko difrakcijo. Pri dvovaljnem litju je bila površina trakov na obeh straneh gladka, medtem ko je prosta površina traku po enovaljnem litju močno hrapava. Mikrostruktura je pri obeh vrstah litja sestavljena iz trdne raztopine na osnovi aluminija in faz Al2Cu , Be4AlMn , Al5Mn3Be2 , navzoča pa je tudi kvazikristalna faza IQC, predvsem v okviru eutektika Al+IQC . V obeh zlitinah se pojavljajo grobi delci Al5Mn3Be2 , ki negativno vplivajo na trdnostne lastnosti in duktilnost trakov. Najfinejša mikrostruktura nastane pri valjih in se ogrobi proti sredini. Pri enovaljnem litju je mikrostruktura sestavljena iz dveh

območij in se grobost mikrostrukture povečuje od stične površine z valjem proti prosti površini.

D. PEČNIK¹, D. LORBER¹, A. ŠIBILA¹, S. HOBİÇ², ¹Talum (SI), ²Hobotnica (SI): »Razvoj površinske zaščite na vizualnih aluminijevih ulitkih«



Na osnovi smernic odjemalca je podjetje pristopilo k projektu razvoja površinske zaščite na vizualnih površinah Al-ulitkov. Glavna naloga je bila zamenjava mokrega barvanja z eloksiranjem zaradi uskladitve z ostalimi sestavnimi deli. Vizualni izgled, stabilna barvna niansa, UV stabilnost in korozijska obstojnost so pomembni za estetski izgled prodajanega ulitka. Dimenzijska stabilnost pa je pomembna zaradi same montaže ter funkcije artikla v celotni dobi uporabe. Tudi same tolerance mehanske obdelave so za tovrstne ulitke zelo ozke, pri čemer je potrebno upoštevati tudi nihanje sloja obdelave. Rezultat projekta je tudi v manjših stroških, stabilnih

dimenzijah ter izboljšanju estetskega videza in vrednosti produkta. Dosežena je bila UV stabilnost ter korozijska odpornost. Zmanjšana je bila tudi razlika med videzom obdelane površine in površine ulitka.



Gergely Hajas,
Alu-Onto Ltd (HU)

G. HAJAS, Alu-Onto (HU): »Gravitacijsko litje tankostenskih ulitkov (1 do 3mm) s 3D natisnjenimi peščenimi formami» .

Predstavljena tehnologija predstavlja konkretno rešitev v primerih, ko je treba hitro izdelati tankostenske Al-ulitke velikih geometrij, ki ustrezajo zahtevan tlačnega litja z vidika geometrijskih in mehanskih lastnosti. Izdelava peščenih form za velike tankostenske Al-ulitke je v primerjavi s 3-D tiskanjem zahtevna, še posebej zaradi dovolj visokih temperatur peščenih form pred litjem. Nov postopek s 3D -izdelavo form so eksperimentalno uporabili z namenom informacij o koristih in pomanjkljivostih v primerjavi s peščenimi formami. Prikazan je bil postopek izdelave 3D- tiskanih form, prenos razdelilnih kanalov in napajalnikov, način za izboljšanje površine forme in simulacija ter lastnosti ulitka.

J. ŠTUCIN, J. TRČEK, Hidria d.o.o. (SI): »Optimizacija orodja za tlačno litje z uporabo SML procesa».

Zaradi omejitev klasičnih metod za izdelavo komponent orodij za tlačno litje, se vse bolj uporablja tudi proces selektivnega laserskega pretaljevanja (SLM). SLM je metoda dodatne tehnologije kovinskih prahov, ki omogoča izdelavo komponent orodij s temperirnimi kanali, ki se prilagajajo zunanji površini orodja (konformna oblika) in kot taki omogočajo optimalen odvod toplote. Na tradicionalen del orodja (osnovo) se lahko izdelajo še SML deli, ki vsebujejo kanale s komorno obliko. Za to v podjetju uporabljajo programski paket Magma soft, ki upošteva poljubno obliko temperirnih kanalov, izračuna pretok in spremembo temperature in s tem koeficient pretoka kanala. Tako lahko dosežemo enakomerno temperaturo površine orodja tekom procesa, ki je pomembna za kakovostne zahteve ulitka. V začetkih preizkušanja orodja v livarskem procesu se tako lahko s termokamero izvedejo analize, ki se primerjajo z rezultati simulacij v programu Magma soft.



Janko Ferčec, TALUM d.d. (SI)

J. FERČEC, A. SLANA, A. ŠIBILA, Talum d.d. Kidričevo (SI): »Karakterizacija napak ulitka iz Al-zlitin, izdelanega s postopkom nagibnega gravitacijskega litja, v povezavi s procesnimi parametri»

Netesnost se pri ulitkih, izdelanih z nagibnim gravitacijskim litjem zaradi debelejših sten ulitkov, pojavi zelo redko. Napake netesnosti običajno preverjajo z rentgenskim pregledom, vendar ta ne omogoča zaznavanje napak na mikro nivoju. V raziskavi so karakterizacijo napak opravili z računalniško tomografijo ter z optično in elektronsko mikroskopijo. Raziskave so pokazale, da netesnost nastaja v kombinaciji s poroznostjo in oksidi. Napake netesnosti nastajajo na določenih mestih, pri čemer imajo pomemben vpliv temperature livnega orodja, ki so jih preverjali na določenih mestih s programom Magma soft. Dejanske

temperature orodja so nato primerjali s termovizijsko kamero. Tako so lahko med seboj primerjali posamezne cikle. Na ta način so lahko ugotovili nastajanje določenih vročih točk na ulitku in posledično tudi odstopanja procesnih parametrov.



dr. Sebastjan Kastelic,
Univerza v Ljubljani (SI)

**S. KASTELIC^{1,2}, A. MAHMUTOVIĆ², M. ŽBONTAR¹,
M. PETRIČ¹, P. MRVAR¹, ¹Univerza v Ljubljani,
Naravoslovnotehniška fakulteta (SI), ²TC Livarstvo d.o.o. (SI):
»Uporaba naprednih orodij pri optimizaciji orodja za tlačno
litje«**

Z razumevanjem vzrokov napak lahko učinkovito optimiramo proces tlačnega litja. Dolžina posameznega cikla je pri tem pomembno odvisna od materiala za orodja in primerne temperature sistema ter sposobnosti odvajanja toplote iz orodja. Vsem tem sodobnim zahtevam in trendom izdelave mora slediti tudi programska oprema, ki omogoča uporabo novih izdelovalnih tehnologij tudi v numeričnih izračunih. Predstavljena je bila primerjava analize temperaturnega polja orodja za tlačno litje, ki ima temperirni sistem izveden konvencionalno z vrtnjem hladilnih kanalov in je izrazito poddimenzioniran, s temperirnim sistemom,

ki omogoča optimalno razporeditev hladilnih kanalov. Numerična analiza omogoča dva pristopa pri izračunu temperirnega sistema. Prvi pristop je enostavnejši z uporabo konstantne temperature hladilnega medija in konstantnim izkustvenim prestopnostnim koeficientom. Pri drugem pristopu pa se realno izračuna strujanje hladilnega medija, z upoštevanjem turbulenc, padca tlaka in spremembo temperature, kar na koncu definira spremenljiv prestopnostni koeficient.

SEKCIJA C : Tehnika in tehnologija za livarstvo



Johann Hagenauer,
HAGI GmbH (A)

**J. HAGENAUER, K. SCHMID-SCHMIDSFELDEN, HAGI
GmbH (A): »Livarne bodo z inovativnim vlaganjem ostale
konkurenčne in postale podnebno prijazne«**

Da bi zagotovili konkurenčnost livarske industrije je treba pravočasno zagotoviti nadomestne naložbe, razširiti zmogljivosti, zgraditi nove-prilagojene objekte z izboljšano avtomatizacijo. Potrebna je tehnološka posodobitev zlasti na področju ulitkov iz lahkih kovin v smislu prilaganja na izdelke za e-mobilnosti, pa tudi zaradi novih velikih konstrukcijskih delov. Na tem področju bodo v prihodnosti potrebne zmogljivosti za visokotlačno litje s stroji od 4.000 do 10.000 ton zaporne moči. Pri izdelavi prototipov in orodij je treba čimprej upoštevati vse možnosti izdelave 3-D –AM. Glavni poudarek bo tudi na prihranku stroškov, saj bo tehnologija AM delovala samo s 3-D podatki. Usmeritev k proizvodnji kompleksnejših delov in zmanjšanja števila delov bo v prihodnosti

možno le s tehnologijo AM.



Alexander Knapitsch,
KOSMEK Europe GmbH (A)

A. KNAPITSCH, Kosmek Europe GmbH (A): »Cilindri za hiter izvlek jeder kot zadnja možnost za zaslužek tlačnih livarn«

Posamezne komponente strojne opreme lahko s svojimi izboljšavami izboljšajo prilagodljivost in avtomatizacijo proizvodnih procesov. V tem prispevku se avtor izključno usmeri na cilindre za izvlek jeder. S cilindri, ki jih je patentiralo podjetje Kosmek Europe. Izdelki so zaščiteni s številnimi mednarodnimi patenti. Z razvitimi cilindri je možno zmanjšati čas cikla do 5 sekund. Nova tehnologija temelji na principu povečanja sile zaradi uporabe dvojnih batov ter na povečanju hitrosti zaradi manjših presekov. Na začetku izvleka jedra, zaradi učinka oprijemanja, cylinder to veliko silo uporabi le v prvih 20 mm hoda. Preostali hod se izvede z najvišjo možno hitrostjo. Če obstajajo z namestitvijo omejitve lahko pomaga uporaba t. i. »močnega cilindra«, ki v prvi petini hoda deluje s 180-odstotki sile pri enakih dimenzijah, v ostalem delu pa deluje cylinder z največjo hitrostjo.



Stephan Giebing,
Vesuvius GmbH (D)

S. GIEBING, Vesuvius GmbH, Foseco Foundry Division, Borken (D): »Tehnologija uporabe keramičnih penastih filtrov in njihove lastnosti: trenutno stanje in bodoče priložnosti«

Uporaba keramičnih penastih filtrov predstavlja danes industrijski standard z vidika gospodarne proizvodnje izdelkov iz litega železa. Temelji na odlični učinkovitosti filtriranja, s katero se nekovinski vključki izločijo iz taline, prav tako pa tudi na njihovem pozitivnem vplivu na polnjenje form in omejevanja turbulentnega pretoka ter posledično reoksidacije taline. Podan je pregled v zvezi s tehnologijo keramičnih penastih filtrov, torej iz področja, ki se pogosto zanemara in je lahko vzrok za nepotrebne težave v nekaterih livarnah. Predstavljene so bile nekatere inovacije, ki lahko prispevajo k nadaljnjemu izboljšanju gospodarnosti proizvodnje komponent iz litega železa.



Andreas Harborth,
Volume Graphics GmbH (D)

A. HARBORTH, Volume Graphics GmbH (D): »Neporušne preiskave ulitkov s pomočjo računalniške tomografije (CT) na podlagi BDG P 203 navodil«

Industrijska računalniška 3-D (iCT) predstavlja sodobno in avtomatizirano preskusno opremo za neporušne preiskave (NDT) ulitkov. Naprava z uporabo rentgenske CT za tridimenzionalno določanje in oceno volumskih primanjkljajev v ulitkih iz Al-, Mg- in Zn-zlitin omogoča določanje poroznosti na referenčnih površinah 2-D razširjeno tako, da vključuje analizo poroznosti 3-D. Tridimenzionalne značilnosti deficitov internega volumna, je mogoče kvantitativno določiti skozi CT z zagotavljanjem specifikacije poroznosti. Z dodajanjem referenčnih površin iz npr. obdelanega dela 3-D CAD/CAM je v okviru analize poroznosti

mogoča virtualna obdelava. Poročnost površin, ki jih je treba obdelati, je mogoče oceniti vnaprej. Prikazan je bil primer s tlačno lito komponento, vključno z virtualno obdelavo.



Matjaž Mencej,
Carl Zeiss d.o.o. (SI)

M. MENCEJ, Carl Zeiss d.o.o. (SI): »ZEISS Visioner 1 – mikroskop z izjemno ostrino«

Novi mikroskop ZEISS Visioner 1 je zgrajen na osnovi tehnologije MALS™ (Micro-Mirror Array Lens System- sistem množice mikro zrcal). Omogoča, da lahko vzorce opazujemo z zelo veliko globinsko ostrino. Pri najmanjši povečavi dosega globinska ostrina kar 69 mm. Digitalni mikroskop sproti izračunava globinsko ostro sliko. Glavna enota je množica več kot 10 000 zrcal, ki lahko utripajo s frekvenco 12.000 Hz. Na ta način v realnem času omogočajo prikaz globinske ostre slike. Uporabnik ima na razpolago več različnih objektivov s povečavami od 0,35x do 2,5x. Pri največji povečavi je globinska ostrina še vedno 1,8 mm. Priložena programska oprema omogoča prikaz globinsko ostre slike v realnem času, prikaz topografske slike v realnem času ter zajemanje slik s topografskimi podatki. Mikroskop je zanimiv za pregled CNC obdelanih vzorcev, ulitkov, zobniških prenosov, produktov aditivnega inženiringa in drugo.



Tobias Hof in Andreas Klein,
HWS GmbH (D)

T. HOF, A. KLEIN, Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik (D): »Priložnost za modernizacijo formarskih linij-stanje tehnike«

Ob zamenjavi starega formarskega stroja in uporabi HWS formarskega stroja lahko stranke izkoristijo številne prednosti. Obstoječe komponente je mogoče obnoviti ali dodatno vgraditi v obstoječe obrate. Enote za litje je mogoče zamenjati z novimi popolnoma avtomatskimi in polavtomatskimi rešitvami. Podjetje HWS izvaja vedno več posodobitev in preoblikovanj nadzornih sistemov. Programska oprema podjetja HWS je primerna za Industrijo 4.0. Podatke, ki so pomembni za proizvodnjo je mogoče preko spletnega sistema prenesti v nadzorni sistem na višji ravni. Programski modul za spremljanje stanja zajema in analizira podatke o stanju stroja.



Rouven Haag, Piller Entgrat-
technik GmbH (D)

R. HAAG, Piller Entgrattechnik GmbH (D): »Visokotlačna tehnologija v livarski industriji«

Tehnologija visokotlačnega obrezovanja s CNC stroji z najvišjo natančnostjo in hitrostjo in inovativnim postopkom CNC čiščenja, ki temelji na novem modularnem sistemu Piller System Concept, je lahko izjemno konkurenčna klasičnim postopkom. Vodni ali rezalni oljni curek se usmeri s tlakom do 1.100 barov neposredno na obdelovance. Učinkovita kinetična energija nadomešča tudi visoke temperature v postopku čiščenja in sušenja. Modularni sistem Piller omogoča široke možnosti prilagajanja specifičnim zahtevam. Za visokotlačno čiščenje so patentirali tudi sistem

z ultrazvočno tehnologijo. Z izredno specifičnim postopkom čiščenja pri višjih tlakih in z natančnim nadzorom šob so dosegli zelo dobre rezultate tudi pri čiščenju ulitkov.



Egidij Hudrap,
SIJ Ravne Systems (SI)

E. HUDRAP¹, B. KARPE², P. MAJERIĆ³, T. RAVLAN¹, B. KOSEC², R. RUDOLF¹, ¹SIJ Ravne Systems d.o.o., ²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, ³Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo: »Toplotne lastnosti orodnih jekel za nože«

V okviru raziskav so določili toplotne lastnosti (toplotna prevodnost, specifična toplota in temperaturna prevodnost) novih generacij orodnih jekel za nože. V prvem delu je bila izvedena raziskava in ocena delovanja naprave za določanje toplotnih lastnosti Hot Disk TPS 2200, danes enega sodobnejših instrumentov za določanje toplotnih lastnosti. Instrument Hot Disk TPS 2200 se lahko uporablja za določanje toplotnih lastnosti različnih materialov s toplotno prevodnostjo v območju od 0,01 do 500 W/mK, temperaturno prevodnostjo od 0.01 do 300 mm²/s in toplotno kapaciteto do 5 MJ/m³K. V drugem delu so bile izvedene

meritve in analiza toplotnih lastnosti izbrane skupine jekel za nože v skladu s standardom ISO 22007-2.

SEKCIJA D: Absolventi doktorskega študija z mentorji in komentorji



Lidija Simić,
Univerza v Mariboru (SI)

L. SIMIĆ¹, R. RUDOLF^{1,2}, I. ANŽEL¹, ¹Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo (SI), ²Zlatarna Celje d. d. (SI): »Lita mikrostruktura kompleksne koncentrirane žlahtne zlitine Ag₂₀Pd₂₀Pt₂₀Cu₂₀Ni₂₀«.

Raziskan je bil razvoj mikrostrukture pri strjevanju kompleksne koncentrirane žlahtne zlitine (CCNA) ter odstopanje lite mikrostrukture od termodinamsko ravnotežnega stanja. Stopnja metastabilnosti mikrostrukture litega stanja je bila ocenjena na osnovi sprememb v mikrostrukturi med visokotemperaturnim žarjenjem. Izbira kemijske sestave pri kompleksnih koncentriranih zlitinah ne sledi strategiji enega glavnega elementa, ki bi določal lastnosti zlitine, ampak sledi načelu mešanja velikega števila elementov z enakim ali skoraj enakim molskim deležem. Zlitina je bila izdelana s taljenjem čistih komponent v indukcijski talilni peči pri atmosferskem tlaku in ulita v jekleno kokilo. Vzorci zlitine v

litem stanju ter po toplotnih obdelavah so bili metalografsko pripravljeni in mikrostrukturno okarakterizirani s svetlobno mikroskopijo, vrstično elektronsko mikroskopijo, diferenčno termično analizo ter rentgensko fazno analizo. Na osnovi mikrostrukturne analize je bil postavljen model verjetnega poteka metastabilnega strjevanja analizirane zlitine, ki temelji na ločitvi taline L v L₁ in L₂. Pojav ločevanja tekoče faze v obravnavani CCNA temelji verjetno na monotektični reakciji v sistemu Ag-Ni.



Marek Matejka,
Univerza v Žilini (SK)

M. MATEJKA¹, D. DOLIBRUCHOVA¹, A. SLADEK¹, R. PODPROCKA², ¹Univerza v Žilini (SK), ²Ružomberok, Slovaška (SK): »Vpliv sestave vložka na poroznost in mikrostrukturo iz Al-Si-Cu zlitin«.

Zlitina AlSiCu se uporablja predvsem za proizvodnjo tankostenskih ulitkov, ki so podvrženi dinamičnim obremenitvam. Zlitine je možno tudi reciklirati, vendar je pri ponovni uporabi reciklirane zlitine v vložku pomembno določiti njeno optimalno količino. Previsoka vsebina vrnjenega materiala, v vložku lahko povzroči trajno deformacijo in zmanjšanje kakovosti notranje homogenosti ulitka. Predvsem pri prezračevalnih sistemih so zajeti tudi deli, ki vsebujejo oksidne plasti in vključke. Prevelika količina vračljivega materiala lahko privede do zaznavnih sprememb v mikrostrukturi in poroznosti ulitkov. Izvedena je bila simulacija za napoved kritičnih mest na ulitku. Poroznost ulitkov je bila ocenjena s pomočjo rentgenskega pregleda ter na osnovi dveh kontrolnih presekov na območjih poroznosti. Po pričakovanju so ulitki z 90% vračljivega materiala dosegli bistveno slabše rezultate pri rentgenskem pregledu poroznosti. Zaradi večjega deleža vračljivega materiala so bile ugotovljene tudi spremembe v morfologiji evtektičnega silicija. Na mestih ulitka, kjer je ohlajanje počasnejše so zapazne tudi večje spremembe v morfologiji evtektične strukture.



Lukaš Širanec,
Univerza v Žilini (SK)

L. ŠIRANEC, D. BOLIBRUCHOVA, Univerza v Žilini (SK): »Vpliv temperature orodja na mehanske lastnosti in mikrostrukturo aluminijeve zlitine AlSi5Cu2Mg«.

Proizvodnja električnih vozil bo močno vplivala tudi na proizvodnjo ulitkov za avtomobilsko industrijo. Ulitki, ki so predvideni za namene e-mobilnosti bodo morali izpolnjevati zahteve, ki jih določajo proizvajalci avtomobilov. Ulitki aluminijevih zlitin namenjeni avtomobilski proizvodnji bodo morali imeti dobre toplotno-fizikalne in mehanske lastnosti, biti visoko odporni proti koroziji, visoko mersko stabilni. Kot potencialna kandidatka za izpolnjevanje teh zahtev se izpostavlja zlitina AlSi5Cu2Mg. Zaradi tega so potrebne podrobne študije njenih lastnosti. Na končne lastnosti pa ne vplivajo samo tehnologija litja temveč tudi toplotna obdelava in morfologija ter struktura zlitine. V predstavljeni študiji so izpostavljeni: vpliv različnih temperatur orodij (150, 200 in 250 °C) na mehanske lastnosti zlitin AlSi5Cu2Mg in AlSi4Cu2Mg. Strukture zlitin so bile raziskane z optično metalografijo.

M. ŽBONTAR, P. MRVAR, S. KASTELIC, M. PETRIČ, Katedra za livarstvo, Oddelek za materiale in metalurgijo, Naravoslovnotehniška fakulteta. Univerza v Ljubljani (SI): »Koncept in preizkušanje vakuumske merilne celice za enostavno termično analizo«

Namen raziskave je bil postavitev novega koncepta merilne celice za enostavno termično analizo (ETA). Tradicionalne termične merilne celice so oblikovane tako, da je možna enostavna in hitra izvedba in sicer za gravitacijsko litje v enkratne peščene merilne celice ali trajne kokile iz kovinskih materialov z višjimi talilnimi temperaturami od zlitin za katere



Matic Žbontar,
Univerza v Ljubljani (SI)

izvajamo meritve. Ti preizkusi se izvajajo že relativno dolgo. S to raziskavo je zamišljena merilna celica, ki se bo polnila s pomočjo vakuumu in bo imela konstanten volumen od meritve do meritve. Načrtovanje vakuumske merilne celice za ETA je potekalo s 3D modeliranjem in virtualnim preizkušanjem v programu ProCast, s čimer je bilo možno glede na eksperimentalne temperature in izračunane ohlajevalne hitrosti določiti obliko in volumen celice. V drugi fazi je bila celica izdelana iz Pyrex stekla in v praksi preizkušena z namenom vpogleda v zapolnjevanje celice. V zadnji fazi načrtovanja celice je bil usklajen preizkus iz prakse za dve različni zlitini s simulacijo in izračunom krivulje ohlajanja.

M. GALČIK, M. BRŮNA, Univerza v Žilini (SK): «Ocena vpliva keramičnega penastega filtra na hitrost v naravno tlačnem ulivnem sistemu».



Marek Galčík,
Univerza v Žilini (SK)

Za proizvodnjo kompleksnih in kakovostnih alumijskih ulitkov je potrebno odpraviti kar največ napak. Glavne težave med proizvodnjo ulitkov iz Al- zlitin so povezane z reoksidacijo. Površina tekoče kovine reagira z zrakom in na površini izjemno hitro nastane amorfn oksidna plast kot posledica visoke afinitete aluminija do kisika. Težava nastane ko se oksidna plast prekine in zaradi turbulence ujame v notranjo prostornino staljene kovine, pri čemer nastane lahko dvojna oksidna plast kot »bifilm«. Bifilmi lahko ostanejo v strjenih ulitkih in poslabšajo mehanske lastnosti. Zato so na osnovi izračunov zasnovali ulivni sistem pod naravnim tlakom, ki lahko preprečuje pogoje za tvorbo dvojnih oksidnih plasti. Ulivne sisteme s penastimi filtri 20 ppi, penastimi filtri 10ppi in brez penastih filtrov so primerjali s pozitivnim (ali negativnim) vplivom filtrirnega elementa na hitrost taljenja in kakovostjo končnega ulitka. Hitrost taljenja in količino oksidov so opazovali

vizualno s pomočjo programske opreme za numerično simulacijo ProCAST ter ocenjevali mehanske lastnosti, količino por in mikrostrukturo končnih ulitkov. Najboljši rezultati so bili doseženi pri uporabi penastega filtra 20 ppi v kombinaciji z lovilnim mehurčkom.

ZAKLJUČNA OCENA :

61. mednarodna livarska konferenca Portorož 2021 (61th IFC Portoroz 2021) je bila organizirana na zavidljivi ravni in dobro obiskan. Skupaj je bilo predstavljenih 43 referatov od tega 10 plenarnih predavanj in 33 strokovnih referatov v štirih sekcijah ter 5 posterskih predstavitev. Glede na razmere je bila konferenca zelo dobro obiskana. Prvič smo imeli tudi posebno sekcijo predavanj absolventov doktorskega podiplomskega študija s petimi predstavitvami. Zaradi razvoja je potrebno to sekcijo zadržati in tudi organizirati obisk študentov.

Pripravil na osnovi tekstov in podatkov:
Em. prof. dr. Alojz Križman, glavni in odgovorni urednik

AKTUALNO / CURRENT**WFO - Medalja Jozefa Suchyja v Slovenijo**

Generalna skupščina WFO – Svetovne livarske organizacije – je že 20. oktobra 2019 na predlog Izvršnega odbora WFO sklenila, da Medaljo Jozefa Suchyja za posebne zasluge za odlično opravljanje del za WFO in poseben prispevek k razpoznavnost Društva livarjev Slovenije ter slovenskega livarstva nasploh podeli predsednici Društva livarjev Slovenije, mag. Mirjam Jan-Blažič. V utemeljitvi predloga je zapisano, da je mag. Mirjam Jan-Blažič neutrudna sodelavka s široko paleto različnih znanj, zato so bili njeni prispevki zmeraj opazni na konferencah v Portorožu in še posebno v letu 2019, ko je bila gostiteljica dogodka WFO-Technical Forum skupaj s tradicionalnim 59. IFC Portorož 2019.



mag. Mirjam Jan-Blažič in Mark Fenyess, podpredsednik WFO (spredaj) in Andrew Turner, generalni sekretar WFO (zadaj)

Slovesna izročitev medalje je bila prvotno načrtovana na 2. vrhu v New Yorku v maju 2020, ki pa je bil zaradi pandemije koronavirusa odpovedan. Novi termin v oktobru 2020 na Svetovnem livarskem kongresu v Busanu v Južni Koreji je zaradi pandemije doživel enako usodo. Ker rek pravi, da gre v tretje rado, se je kot prva naslednja in tudi uresničljiva priložnost izkazala na 61. IFC

Portorož 2021. Na uradni otvoritvi je generalni sekretar WFO, Andrew Turner, uvodoma predstavil zgodovino medalje za zasluge in pomen dragocene delovne zapuščine prof. dr. Jozefa Suchyja, zatem pa je na kratko obrazložil odločitev organov WFO za podelitev tega častnega priznanja predsednici Društva livarjev Slovenije, mag. Mirjam Jan-Blažič, kar je že utemeljeno zgoraj. Slovesno izročitev Medalje Jozefa Suchyja je opravil podpredsednik WFO, Mark Fenyess. V svoji zahvalni besedi, ki je sledila na koncu te slovesne podelitve, je mag. Mirjam Jan-Blažič poudarila, da gre za priznanje, ki pripada tudi vsem tistim, ki so se srčno prizadevali in tudi prispevali svoj pomemben delež k kvalitetni pripravi in izpeljavi svetovnega livarskega dogodka WFO-Technical Forum. Zahvalila se je tudi WFO za izkazano zaupanje oz. odločitev, da organizacijo Technical Forum poveri Društvu livarjev Slovenije, kar je bistveno prispevalo k večji razpoznavnosti slovenskega livarstva in Slovenije.

AKTUALNO / CURRENT



Pogled na dvorano



»VDI-FORUM Livarska tehnologija v konstrukciji motorjev 2021«

11. VDI - forum »Livarska tehnologija v konstrukciji motorjev 2021«, je strokovni dogodek, ki se organizira vsako drugo leto v Magdeburgu, Nemčija. Lansko leto je moral biti odpovedan zaradi pandemije korona virusa, letos pa je tudi zaradi korona virusa še enkrat prestavljen iz običajnega termina v januarju na 27. in 28. oktober. Gre za enega od najpomembnejših forumov za livarje in konstruktorje motorjev v nemško govorečem prostoru. Moto foruma je bil: »Različni koncepti pogona, priložnosti za livarsko industrijo«. Udeleženci srečanja so običajno najpomembnejši eksperti iz sfere dobaviteljev ulitkov in proizvajalcev rezervnih delov za avtomobilsko industrijo, ki se udeležujejo foruma predvsem zaradi izmenjave informacij o inovacijah in trendih na trgu. Letošnji forum je spremljala tudi manjša livarska razstava s cca 20 razstavljavci. Pod strogimi korona virus ukrepi je na forumu bilo prisotnih cca. 130 udeležencev. Za odlično in visoko profesionalno organizacijo dogodka, v dokaj težavnih pogojih v tistem času, zaradi korona virusa, so v prvi vrsti zaslužni: predstavnika VDI Wissenforum, **g. Daniel Schroeder** in **g. Ben Hees** ter vodja dogodka, **Dr.-Ing. Goetz C. Hartmann** od Magma GmbH Aachen in programski vodja, **prof. dr. Ruediger Baehr** iz Otto-von Guericke-Universitaet Magdeburg.

Na zadnjem VDI Forumu leta 2018 je bilo govora pretežno o postopnem prehodu na električne avtomobile, pri tem pa je bilo v pogovorih s strokovnjaki čutiti precejšnjo negotovost in lahko bi rekli tudi bojazen do neznane prihodnosti, ki čaka avtomobilsko industrijo. Bore malo je bilo takrat govora o vodik na katerega je treba računati kot novo pomembno alternativno pogonsko gorivo. Na letošnjem forumu pa je vodik prišel v ospredje in verjetno ga danes že lahko označimo kot energent prihodnosti.

Letošnji forum se je osredotočil na trajnostne strukturne spremembe, zaščito okolja in koncepte pogonov v smeri zmanjševanja CO₂-izpustov. Na forumu je bilo predstavljeno v dveh dneh 19 predavanj, ki so vsebinsko bila strukturirana po naslednjih sklopih

- Energetski prehod v luči narodnogospodarske podpore scenarijev mobilnosti
- Motorji z notranjim zgorevanjem v fazi prehoda na CO₂ nevtravno gospodarstvo

- Proizvodnja elektromotorjev
- Zahteve in vodik - motorji s notranjim zgorevanjem
- Livnotehniške zahteve pri hibridnih pogonskih sistemih
- Visoko avtomatizirana proizvodnja zahtevnega ohišja motorja
- Razvoj ohišij za E- mašino
- Novi proizvodni procesi in razvoj materialov
- Z viri učinkovita in trajnostna proizvodnja

Predavanja na foruma, ki so bila na voljo v digitalni obliki smo že posredovali vsem direktorjem - članov Društva livarjev Slovenije, zato bomo v tem prispevku samo na kratko predstavili nekaj najbolj zanimivih tem predavanj.

Forum se je pričel s predavanjem državnega sekretarja na Ministrstvu za gospodarstvo in digitalizacijo Saške dežele, dr. Juergenom Ude-jem na temo:

»**Vodik kot ključni element energetskega prehoda v Saški deželi na poti do trajnostnih strukturnih sprememb**«. Gre za vsebinsko zelo zanimivo predavanje, posebno pozornost pa mu namenjamo tudi zato, ker pokaže, kako so se v Nemčiji organizirali oz. lotili strukturnih sprememb in digitalizacije, kjer na poti zastavljenih ciljev skupaj z roko v roki stopajo znanost, stroka in politika.

Predavanje pod naslovom »**Vodik kot motorno gorivo**« je predstavil prof. dr.-Ing. Hermann Rottengruber iz Otto-von Guericke-Universitaet Magdeburg., kjer je predvsem pojasnil koncept motorja, zahteve po komponentah in dosežke pri zmanjšanju emisij oz. dekarbonizaciji.

Ekipa razvijalcev E-motorjev iz poslovnega sistema NEMAK, iz podjetij v Avstriji in Nemčiji je z glavnim avtorjem Polom Bersteinerjem predstavila zanimivo predavanje pod naslovom:»**Nadaljnji razvoj ohišij elektromotorjev za avtomobilske pogone**«.

Predavanje na temo »**Pot do CO2-nevtralne mobilnosti**« je predstavil Marc Sens od IAU Berlin. Pojasnil je bodoče zahteve po mobilnosti in interakcijo med energetske in prometnim prehodom ter podal primerjalno predstavitev različnih pogonskih tehnologij za doseganje CO2 nevtralne mobilnosti leta 2050.

Predavanje pod naslovom »**Visoko avtomatizirana proizvodnja kompleksnega ohišja motorja v okolju Industrije 4.0**« je predstavil dr.-ing. Achim Egner-Walter iz podjetja Martinrea-Honsel GmbH, Nemčija. V predavanju obravnava vpliv E- mobilnosti na krčenje trga motorjev z notranjim zgorevanjem, virtualni razvoj in uporabo industrije 4.0 na področju litja oz. proizvodnih procesih, ki izpolnjujejo pogoje Industrije 4.0 kot metodi za zmanjšanje stroškov, na primeru proizvodnje jeder pri niskotlačnem kokilnem litju.

Glavni avtor dr. Wolfgang Schoeffmann s koavtorji iz podjetja AVL List GmbH iz Avstrije (naš udeleženec na IFC v Portorožu) je predstavil predavanje »**Motor z notranjim zgorevanjem v elektrificiranem pogonu - modularni pristop na enotni platformi zahtev med stroški in optimizacijo CO2**«. V predavanju so v ospredju obravnave izzivi za ICE



Predsednica mag. Mirjam Jan-Blažić s prof. dr. Ruediger Baehr (levo) in Dr.-Ing. Goetz C. Hartmann (desno)

(The internal combustion engine) in v prihodnjih pogonskih sistemih, obseg in cilji hibridnih pogonskih sistemov, modularna arhitektura motorja in pogona, ICE tehnološki paketi z naraščajočo stopnjo hibridizacije in balansiranje celotne kompleksnosti in sistemskih stroškov pogona.

Glede na to da je v programu bilo še kar nekaj zanimivih in primernih predavanj za naš IFC v Portorožu, računamo, da nam bo uspelo katerega od zgoraj predstavljenih predavanj in ostalih iz programa letošnjega VDI foruma pripeljati na našo 62. IFC Portorož 2022.

Poročala:
mag. Mirjam Jan-Blažič

AKTUALNO / CURRENT

Spletna konferenca o krožnem gospodarstvu

Spletni dogodek v organizaciji Zavoda za gradbeništvo Slovenije, pod naslovom »KDAJ BOMO PRIPRAVLJENI NA DRUŽBO KROŽNEGA GOSPODARSTVA«, je potekal 9. decembra 2021 in je v prvi vrsti opozoril na to, da imamo v Sloveniji ogromno neizkoriščenih priložnosti za krožno gospodarstvo in že kar nekaj zamujenih priložnosti, navkljub temu da danes premoremo že dovolj znanja in ustrezne tehnologije, da lahko v okolju na neoporečen način recikliramo odpadne materiale ter iz njih naredimo uporabne gradbene kompozite.

Strokovnjaki so si bili edini, da je v Sloveniji glavna ovira na poti hitrejšega razvoja krožnega gospodarstva v ocenah družbene nesprejemljivosti projektov. Nekdanji minister za okolje in prostor dr. Pavel Gantar je izpostavil, da pri odpadkih velikokrat govorimo predvsem o družbeni sprejemljivosti, saj ima že beseda odpadke negativno konotacijo. Potrebna je maksimalna transparentnost in ljudem je potrebno ustrezno pojasniti posege – je dodal.

Izvršna direktorica GZS Vesna Nahtigal pa je menila, da je na področju krožnega gospodarstva potrebno še več vlagati v raziskave ter vseskozi iskati boljše rešitve. Livarji imajo na primer veliko odpadnih livarskih peskov, ki se predelujejo v gradbene kompozite.

V okviru tega dogodka je potekala tudi okrogla miza na kateri je predstavljen raziskovalni projekt »Vpliv geotehničnih zasipov iz recikliranih materialov na podzemno vodo«. Partner tega projekta je skupaj s Javno agencijo za raziskovalno dejavnost, Zavodom za gradbeništvo Slovenije, Inštitutom Jozef Štefan in Geološkim zavodom, tudi Termit d.d.. S tem projektom v družbi Termit d.d. dokazujejo s pomočjo najbolj kompetentne stroke v Sloveniji, da onesnaževala iz odpadkov, ki jih predelujejo niso škodljiva oziroma ne prehajajo v okolje. Raziskovalni projekt je potekal na območju Termita tako, da so na postavljena testna polja vgradili različne mešanice kompozitov, ki so bile narejene iz različnih vhodnih materialov, kot so glineni mulj, papirniški mulj, livarski peski, papirniški pepel in ostali odpadni materiali iz industrije. Koncentracije nekaterih onesnaževal v naštetih materialih so bile prekoračene, kljub temu pa so analize izcednih vod pokazale, da so

onesnaževala ustrezno imobilizirana oz. »zaklenjena« v strukturnih rešetkah kompozitov in, da ne prehajajo v okolje.

Vesela sem, da sem bila lahko priča odličnim strokovnim predstavitvam, katere bi morali po moji oceni naši znanstveni in strokovnjaki iz podjetij pogostejše predstavljati v javnosti, zaradi ozaveščanja ljudi in razumevanja pomena krožnega gospodarstva. Mislim, da bi bilo zelo dobro in potrebno to problematiko s konkretnimi primeri vključiti v učno gradivo po naših šolah. Skrajnji čas je, da stroki damo tisto mesto, ki ji po pomenu pripada in pri tem ji tudi omogočimo korektno soočanje s nemalokrat škodljivim nastopanjem civilne družbe in nekaterih lokalnih veljakov, v imenu demokracije. Najbolj nazoren primer se že kar nekaj časa oz. nedopustno dolgo dogaja v Občini Moravče, kjer družbena iniciativa in župan zavirata izvajanje koristnih in za lokalno skupnost in celo Slovenijo zelo pomembnih projektov. Podjetje Termit d.d. lahko poimenujemo povsem upravičeno s pionirjem krožnega gospodarstva v Sloveniji, saj so njegovi izjemni dosežki na področju odpadnih peskov uveljavljeni že leta 2005.

Če bomo v Sloveniji pričeli poslušati in verjeti stroki, se bodo marsikatera sedanja priprta vrata in neke celo zaprta vrata lahko odprla in dala možnost hitrejšemu razvoju krožnega gospodarstva. Civilna družba ali lokalni strokovno revni veljaki lahko demokratično izražajo svoja mnenja, nikakor pa ta družbeni pogled, s neutemeljenim in škodljivim družbenim delovanjem ne more biti ovira in celo zapora pri realizaciji odličnih in še kako potrebnih projektov krožnega gospodarstva v Sloveniji.

Mag. Mirjam Jan-Blažić

AKTUALNO / CURRENT

Pregled livarskih prireditev v letih 2021 in 2022

Datum dogodka	Ime dogodka	Mesto in država
18. - 20.01. 2022	EUROGUSS	Nuernberg, Nemčija
28. - 29.04. 2022	64. avstrijska livarska konferenca	Leoben, Avstrija
19. - 23.06. 2022	6. konferenca »Steels in Cars und Trucks«	Milano, Italija
21. - 23.06. 2022	CastForge	Stuttgart, Nemčija
22. - 23.06. 2022	1. Forum litega železa poteka v okviru CastForge	Stuttgart, Nemčija
14. - 16.09. 2022	62. IFC Portorož 2022	Portorož, Slovenija
5. - 7.10. 2022	Konferenca litja cinkove Matrice – Evropa	Koblenz, Nemčija
16. - 20.10. 2022	74. mednarodni livarski kongres	Busan, Korea



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE

Vabilo za

62. IFC PORTOROŽ 2022

z livarsko razstavo

14. - 16. SEPTEMBER 2022

Kontakt: DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE,
Lepi pot 6, p.p. 424, 1001 Ljubljana
T: +386 1 2522 488, F: +386 1 4269 934
drustvo.livarjev@siol.net, www.drustvo-livarjev.si

Prijetne božične praznike
in uspešno novo leto!

Vodstvo Društva livarjev Slovenije in
uredništvo Livarskega vestnika

We wish you a merry Christmas and a
happy and prosperous new year!

Management of Slovenian Foundry Society
and Editorial Board of Livarski vestnik



STEM d.o.o.

Vipavska cesta 67

5000 Nova Gorica

Slovenija

tel.: +386 5 33 52 100

fax: +386 5 30 01 558

e-mail: info@stem.si

www.stem.si



Platinum Creditworthiness



STEM d.o.o.

Company ID: 5306779

Dun & Bradstreet d.o.o. / 18.1.2021



ISO 9001 Q-2312



PESKALNA TEHNIKA

Nuremberg, Germany // 8 – 10.6.2022



EUROGUSS 2022

Postponed!

International Trade Fair for Die Casting:
Technology, Processes, Products

Detecting trends, getting inspired,
sharing ideas – trade fairs are all that
and more. Come and discover
EUROGUSS and its possibilities on site.

#ReExperienceLive



euroguss.com



Proud Member of
EUROGUSS FAMILY

Honorary sponsors

VDD Verband
Deutscher
Druckgießereien

CEMAFON
The European Foundry
Equipment Suppliers Association

NÜRNBERG MESSE



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

