

ZAGORKA
AĆIMOVIĆ-PAVLOVIĆ¹
MILUTIN ĐURIČIĆ²
SAŠA DRMANIĆ¹
RADE ĐURIČIĆ³

¹Tehnološko-metalurški fakultet,
Beograd

²Fakultet za industrijski
menadžment, Kruševac

³Visoka poslovno tehnička škola,
Užice

STRUČNI RAD

UDK 669.715–14:621.746

DOI: 10.2298/HEMIND100301011A

UTICAJ PARAMETARA *LOST FOAM* PROCESA NA KVALITET ODLIVAKA LEGURA ALUMINIJUMA

U radu su prezentirani rezultati istraživanja primene "Lost foam" procesa (tj. livenje primenom isparljivih modela) za livenje odlivaka legura aluminijuma. Pokazalo se da se povoljni uslovi livenja ovom metodom postižu primenom polistirenskih modela sa manjom gustom, 16–20 kg/m³, jer se brže razlažu i isparavaju. Istražena je primena različitih vatrostalnih punioca (talka, cirkona, kordijerita, liskuna, mulita) u sastavu premaza za polistirenske modele. Optimizacija sastava premaza sa kontrolisanim reološkim svojstvima postignuta je primenom različitih komponenti premaza, kao i izmenom postupka izrade premaza. Ocenjeno je da vatrostalni premaz na bazi talka sasvim zadovoljava uslove livenja legura aluminijuma. Premazi istraženog sastava, gustine 2 g/cm³ lako se nanose na polimerne modele, ravnomerno se slivaju pri prelivanju i potapanju, lako se premazuju četkom bez tragova četke, curenja, stvaranja kapi, grudvi. Osušeni slojevi premaza su ravnomerne debljine, bez pojava mehurića, ispucalosti, ljuštenja ili otiranja. Primena ovog tipa premaza na alkoholnoj i vodenoj osnovi, tanjih slojeva (0,5 mm) i polistirenskih modela manje gustine (20 kg/m³) pozitivno utiče na kvalitet površine, struktura i mehanička svojstva odlivaka. Na strukturu i svojstva odlivaka utiču i drugi procesni parametri koji su istraživani u korelaciji sa gustom modela, vrstom i debljinom sloja vatrostalnog premaza, a pre svega istraživan je uticaj temperature livenja, vrsta i veličina zrna peska za kalupovanje, odnosno propustljivost peska za kalupovanje, konstrukcija modela i ulivnih sistema. Rezultati istraživanja mogu korisno da posluže za definisanje ove metode i njene primene u praksi za dobijanje odlivaka unapred zadatog kvaliteta.

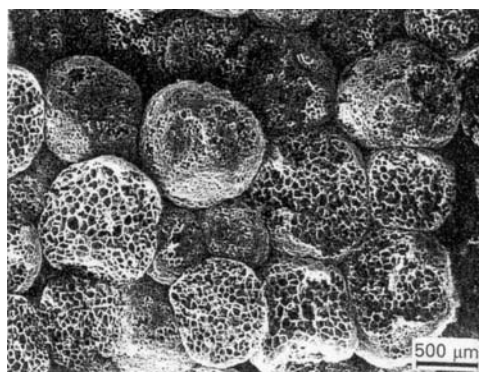
Proizvodnja odlivaka unapred zadatog upotrebnog kvaliteta *Lost foam* procesom (tj. livenje primenom isparljivih modela) nedovoljno je izučena i zahteva sistematična istraživanja vezana za trijadu: struktura–svojstva–tehnologija. Karakteristika procesa je da modeli i ulivni sistemi, izrađeni od polimera, ostaju u kalupu sve do ulivanja tečnog metala, kada se u kontaktu sa tečnim metalom, razlažu i isparavaju uz istovremeno odvijanje procesa kristalizacije odlivaka. Kao posledica razlaganja i isparavanja polimernog modela razvija se velika količina tečnih i gasovitih produkata, koji su često uzrok različitih tipova grešaka na odlivcima [1–7].

Poslednjih decenija u vodećim svetskim livnicama, *Lost foam* proces se intenzivno istražuje, razvija i primenjuje za proizvodnju složenih odlivaka za avio i automobilsku industriju. Posebna pažnja posvećuje se upravljanju procesom razlaganja polimernih modela, optimiziranju produkata razlaganja, pre svega projektovanjem sastava polimernih materijala specijalno namenjenih za ovu metodu livenja. Na primer, u fazi mašinske izrade modela, u sastav polimera uvode se materijali koji doprinose cepanju makromolekula i povećavaju brzinu njihovog razlaganja i isparavanja u kontaktu sa tečnim metalom [6,8].

Istraživanja su pokazala da različiti tipovi strukture određuju različita svojstva dobijenih odlivaka. Na kvali-

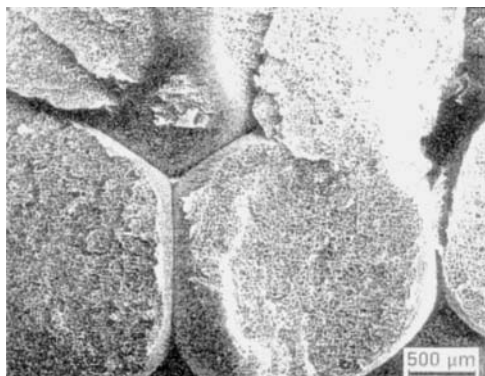
tet odlivaka značajno utiču kritični procesni parametri, što zahteva njihovu kontrolu i optimizaciju radi postizanja željenih upotrebnih svojstava odlivaka [9–16]. Proučavanje uzroka nastanka grešaka na odlivcima zahteva sistematičan multidisciplinarn pristup s ciljem da se one preventivnim merama izbegnu i tako smanje troškovi proizvodnje.

Za izradu modela i ulivnih sistema, pored ekspan-diranog polistirena (slika 1), koji je korišćen u našim istraživanjima, koriste se polimeri tipa (poli)metil-metakrilat (PMMA) (slika 2), (poli)akrilcarbonat (PAC), poliresta, CO polimer i dr. Ove vrste polimera korišćene su za izradu modela kod livenja legura gvožđe–ugljenik s ciljem da se eliminiše pojava svetlog ugljenika na odlivcima, a takođe, da bi se izbeglo stvaranje velike količine gasovitih produkata razlaganja i isparavanja modela pri ulivanju metala [6].



Slika 1. Čelijasta struktura ekspan-diranog polistirena [6].
Figure 1. Cellular structure of expanded polystyrene [6].

Autor za prepisku: Z. Aćimović-Pavlović, Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegiјеva 4, 11001 Beograd, Srbija.
E-pošta: zagorka@tmf.bg.ac.rs
Rad primljen: 1. mart 2010.
Rad prihvaćen: 8. mart 2010.



Slika 2. Čelijasta struktura PMMA [6].
Figure 2. Cellular structure of PMMA [6].

Istraživanja su pokazala da modeli sa većom gustinom imaju bolja mehanička svojstva i veću otpornost na deformacije kojima su izloženi u fazi izrade kalupa, pri zasipanju modela peskom i kalupovanju nabijanjem ili vibracijama. Nedostatak im je što stvaraju veće količine gasovitih produkata razlaganja u kontaktu sa tečnim metalom [7].

Temperatura livenja je važan parametar procesa livenja, a njena vrednost zavisi od vrste polimera, i direktno je proporcionalna njegovoj gustini. Na proces razlaganja i isparavanja modela veoma utiču vrsta i debljina sloja vatrostralnog premaza isparljivog modela, vrsta i veličina zrna peska za kalupovanje, odnosno propustljivost peska za kalupovanje, konstrukcija odlivaka i ulivnih sistema, prvenstveno debljina zida odlivaka, primenjen vakuum i slično. Brzina isparavanja polistirena direktno je zavisna od gustine modela i propustljivosti vatrostralnog premaza i peska kalupa. Pojava grešaka na odlivcima uzrokovanih zaostalim produktima razlaganja i isparavanja modela u kalupu sprečava se primenom peska za kalupovanje veće granulacije i vatrostralnih premaza sa većom propustljivošću [17–19].

Za postizanje kvalitetne i rentabilne proizvodnje odlivaka *Lost foam* procesom neophodna su sistematična istraživanja, kako složenih pojava i procesa koji se odvijaju u modelu, metalu i kalupu, tako i pojava i procesa u kontaknoj zoni metal–model, metal–vatrostralni premaz–pesak. U radu je posebna pažnja posvećena analizi pojava i procesa razlaganja i isparavanja polistirenskog modela pri različitim procesnim parametrima i njihov uticaj na strukturu i svojstva dobijenih odlivaka. Složenost procesa livenja, formiranja i kristalizacije odlivaka zahtevali su sistematična istraživanja sinteze i karakterizacije vatrostralnih premaza različitih sastava za primenu u *Lost foam* procesu.

EKSPERIMENTALNI DEO

Izvršen je veći broj serija istraživanja primene *Lost foam* procesa livenja za dobijanje odlivaka legura aluminijuma. Za realizaciju istraživanja korišćeni su mate-

rijali domaćih proizvođača: polistiren različite gustine (proizvođač „Prvi maj“, Čačak), suvi kvarcni pesak različite granulacije („Kopovi“, Ub), kao i vatrostalni premazi na bazi talka, cirkona, kordijerita, korunda, liskuna, mulita izrađeni po sopstvenim recepturama. Za potrebe istraživanja ručno je urađen veći broj modela i ulivnih sistema, korišćenjem vruće žice. Za spajanje modela u „grozd“ korišćen je lepak za drvo, „Drvofix“. Tokom eksperimenta vršena je vizuelna kontrola procesa livenja, kao i dobijenih odlivaka. Posebna pažnja posvećena je otkrivanju različitih tipova grešaka na površini odlivaka, kao i na prelomnoj površini odlivaka. Radi detaljnije ocene efekata procesa livenja vršena su ispitivanja strukturnih i mehaničkih svojstava izabranih uzoraka. Mikrostrukturalna ispitivanja sprovedena su na optičkom mikroskopu Leitz Metalloplan Carl Zeiss, Jena. Uzorci su isečeni iz svakog odlivka, a priprema metalografskih uzoraka sastojala se u brušenju SiC brusnom hartijom finoće 100–800 μm, poliranja i nagrizanja u 0,5% rastvoru HF. Ispitivanje zatezanjem vršeno je na elektronskoj kidalici marke Karl Frank GMBH 81105 na epruveti prečnika 6 mm. Ispitivanje tvrdoće, metodom po Brinellu HB (2,5/62,5/30) vršeno je na uređaju Karl Frank GMBH 38532, sa kuglicom 2,5 mm i opterećenjem 625 kN u trajanju od 30 s. Vršeno je i radiografsko ispitivanje odlivaka na rendgen uređaju SAIFORT S200.

U tabeli 1 prikazani su eksperimentalni parametri *Lost foam* procesa livenja.

Ocenjeno je da vatrostalni premaz na bazi talka na vodenoj i alkoholnoj osnovi (tabela 2) sasvim zadovoljava uslove primene u *Lost foam* procesu za dobijanje odlivaka legura aluminijuma i odlivci tih serija su više ispitivani.

Gustina i homogenost suspenzije određeni su optimizacijom sastava premaza, stalnim laganim mešanjem tokom primene, kao i održavanjem konstantne temperature suspenzije premaza. Nanošenjem premaza na polistirenske modele metodama potapanja modela u suspenziju i prelivanjem, ustanovljeno je da li premaz lako prijanja na površinu, da li se ravnomerno sliva, curi, lako se premazuje četkom, ili ostavlja tragove. Takođe, ispitivani su osušeni slojevi premaza u cilju postizanja ravnomerne debljine, kao i da li se ti slojevi otiru, pucaju i otpadaju sa površine modela, što su osnovni kriterijumi za ocenu kvaliteta ove vrste vatrostralnih proizvoda i njima je tokom eksperimenta posvećena posebna pažnja.

REZULTATI I DISKUSIJA

Posle završenog *Lost foam* procesa livenja odlivci se istresu iz kalupa. Površina odlivaka pokrivena je slojem premaza koji se lako lomi i skida sa nje (slika 3), tako da nije potrebno čišćenje, što znatno snižava troškove proizvodnje. Vatrostalni premazi svih serija poka-

Tabela 1. Eksperimentalni parametri Lost foam procesa livenja
Table 1. Experimental parameters of Lost foam casting process

R.br. Parametar	Opis parametra
1. Ispitivana legura	AlSi10Mg; AlSi6Cu; AlSi12CuNiMg
2. Metode pripreme tečnog liva	– rafinacija solima na bazi NaCl i KCl u količini od 0,1% na masu liva; – degazacija – briketiranim C_2Cl_6 u količini od 0,3% na masu liva; – modifikacija – natrijumom u količini 0,05%.
3. Temperatura livenja, °C	690, 720 i 750
4. Isparljiv polistirenski model	– gustine (kg/m^3): 15, 20 i 25 – konstrukcija modela: ploča ($200 \times 50 \times 20$) mm^3 i stepenasta proba sa različitim debljinama zida (mm): 10, 20, 30, 40 i 50 – veličine zrna polistirena (mm): 1–1,5 mm
5. Sklapanje modela za livenje	– „grozd“ sa četiri modela – ploče postavljenih na centralni sprovodnik – „grozd“ sa dva modela – stepenastih proba postavljenih na centralni sprovodnik
6. Ulivni sistem	– centralni sprovodnik ($40 \times 40 \times 400$) mm^3 ; – ulivnici ($20 \times 20 \times 10$) mm^3 , 2 komada.
7. Suv kvarcni pesak za izradu kalupa	veličine zrna (mm): 0,17, 0,26 i 0,35
8. Materijali za izradu vatrostalnih premaza za oblaganje modela	– različiti vatrostalni punioci, granulacije 30–40 μm na bazi: talka, cirkona, kordijerita, mulita, liksuna, korunda u količini keramičkog praha: 80–95% vezivo na bazi (%): bentonit; Bindal H 5-8 ili kolofonijum 2–2,5; dekstrin 0,5–1 – sredstvo za održavanje suspenzije (%): dekstrin 0,3–0,5; lucel 0,3–0,5 ili Bentone 25, 8–1 – rastvarač: alkohol i voda do gustine suspenzije premaza 2 g/cm^3 – debljina osušenog sloja premaza (mm): 0,5, 1 i 1,5 – temperatura suspenzije premaza: 25 °C – priprema premaza: stalno lagano mešanje brzinom 1 o/min.

Tabela 2. Sastav vatrostalnih premaza na bazi talka
Table 2. Composition of refractory coatings based on talc

Alkoholni premaz:

- vatrostalni punilac: talk granulacije 40 μm , 90–95%
- vezivno sredstvo: kolofonijum ($C_{20}H_{30}O_2$) 2–3%
- aditiv: Bentone 25, 0,8–1,5%
- rastvarač: izpropil-alkohol do gustine premaza 2 g/cm^3

Vodeni premaz:

- vatrostalni punilac: talk granulacije 40 μm , 88–90%
- vezivno sredstvo (%): bentonit 1,5–2,5 i Bindal H 5-6
- aditiv (%): $Na_3P_3O_3$ 1–3 i karboksimetilceluloza (CMC) 0,5–1
- rastvarač: voda do gustine premaza 2 g/cm^3

zali su pozitivne efekte na kvalitet površine – dobijene su sjajne i glatke površine odlivaka. Odlivci su tačna kopija modela (dimenziono su precizni) što ukazuje na da je razlaganje i isparavanje polistirenskog modela bilo u potpunosti izvršeno i da je rešenje ulivnog sistema bilo zadovoljavajuće. Takođe, primenjene temperature livenja 690, 720 i 750 °C odgovaraju za livenje sa modelima gustine 15, 20 i 25 kg/m^3 . Tokom livenja stepenastih proba kod kojih su primenjeni tanji slojevi premaza (0,5 mm) na delu odlivka sa debljinama zida iznad 40 mm, posebno pri većim brzinama ulivanja tečnog metala, došlo je do penetracije metala u kalup. Kada su primenjeni deblji slojevi premaza (iznad 1 mm) ta greška na odlivcima se nije pojavila.



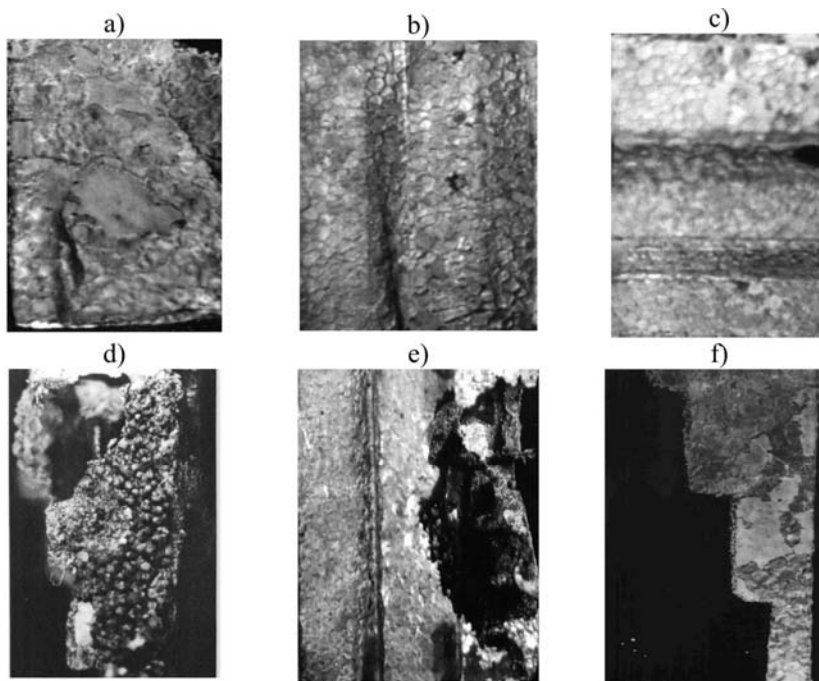
Slika 3. Lako odstranjivanje premaza sa odlivka.
Figure 3. Easy removal of coating from casting.

Uočeno je da donji delovi odlivaka svih serija imaju ravne i oštre ivice, čistu i sjajnu površinu. Kod pojedinih odlivaka iz serija sa debljim slojevima premaza (iznad 1,5 mm) gornje površine odlivaka bile su malo neravne i naborane, a takođe na pojedinim delovima odlivaka javljala se hrapava površina, i to češće kod odlivaka iz serija sa modelima gustine iznad 20 kg/m^3 (slika 4a). Najčešće otkrivena greška na površini odlivaka bila je zrnovitost površine odlivaka izražena posebno u serijama sa modelima gustine iznad 20 kg/m^3 i debljinama primenjenog vatrostalnog premaza iznad 1,5 mm (slika 4b). Na pojedinim odlivcima iz tih serija konstatovana je naborana površina u gornjim delovima odlivaka (slika 4c). Analizom položaja modela u kalupu utvrđeno je da je ulivanje metala vršeno sa strane i da je pojavljivanje greške bilo učestalije u serijama sa većim brzinama ulivanja pri kojima je često dolazilo do burne reakcije isparavanja polimernog modela uz puno dima i gasova što je bilo praćeno jakim plamenom, ključanjem liva u kalupu i izbacivanjem liva kroz otvor ulivnog sistema, a u nekoliko slučajeva došlo je i do urušavanja kalupa (slika 4d). Odlivci dobijeni sa modelima gustine iznad 20 kg/m^3 češće su pokazivali greške navedenog tipa uz opisane pojave pri livenju. Urušavanje kalupa i penetracija metala u pesak sa pojavom greške u vidu nedolivenosti odlivka zapaženo je u serijama sa većim brzinama livenja i kod kalupovanja sa nedovoljnom nabijećnošću peska oko modela (u slučajevima kada nisu pri-

menjivane vibracije za bolje nabijanje peska oko modela) (slika 4e). Kod tih serija na pojedinim mestima na površini odlivka uočena je greška-nalepci više ili manje od stopljenog peska, sinterovani pesak na površini odlivka (slika 4f).

Vizuelnim i radiografskim ispitivanjima utvrđene površinske i zapreminske greške na odlivcima (naborana površina sa dubokim borama, povećana poroznost u gornjim delovima odlivaka) pokazuju da su premazi debljine iznad 1,5 mm nepropustljivi za gasovite produkte razlaganja polistirenskog modela. Na površini preseka tih odlivaka prisutne su grube rasejane pore, uglavnom zaobljene, po celoj površini što ukazuje na prisustvo gasne poroznosti. Kod odlivaka livenih sa polistirenskim modelima manje gustine (do 20 kg/m^3), sa slojevima vatrostalnih premaza manjih debljina (0,5 mm), konstatovano je da nemaju izraženu poroznost. Na taj način postignuta je potpuna eliminacija gasovitih produkata razlaganja modela iz šupljine kalupa u fazi ulivanja tečnog metala.

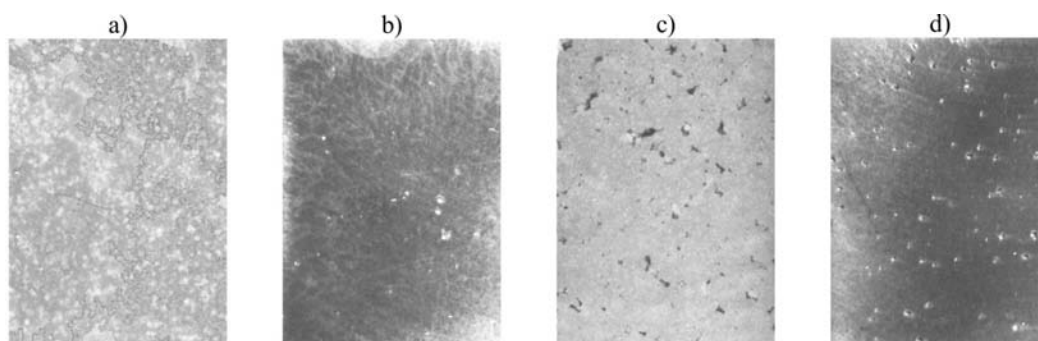
Najbolja propustljivost kalupa za gasove i smanjenje greški u vidu podpovršinske i zapreminske poroznosti odlivaka, ostvarena je primenom suvog kvarcnog peska za izradu kalupa. Veličina zrna kvarcnog peska iznosila je 0,35 mm. Rezultati radiografskih ispitivanja su potvrdili da smanjenje debljine sloja vatrostalnog premaza (0,5 mm) utiče na povećanje propustljivosti gasova. Radiogrami uzoraka iz tih serija pokazuju odsus-



Slika 4. Prikaz površinskih grešaka na odlivcima: a – neravna i hrapava površina, b – zrnovitost površine odlivka reprodukovane sa površine modela, c – pojava poroznosti, bora i preklopa, d – penetracija metala u pesak, e – nedolivenost odlivka, f – sinterovani pesak.

Figure 4. Illustration of surface errors on castings: a – uneven and rippled surface, b – grainy appearance on casting surface reproduced from pattern surface, c – appearance of porosity, folds and overlaps, d – metal penetration into sand, e – short poured casting, f – sintered sand.

tvo površinske i zapreminske poroznosti (slika 5a). Kod uzoraka sa debljinom slojeva premaza 0,5mm, ali sa gustinama polistirenskog modela 25 kg/m^3 otkrivena je pojava grupisane poroznosti u centralnom delu odlivaka (slika 5b). Rendgenskim ispitivanjima konstatovana je izražena podpovršinska poroznost i zapreminska poroznost odlivaka iz serija sa većim brzinama livenja, sa gustinama polistirenskog modela iznad 20 kg/m^3 i debljinama premaza iznad 1 mm. To ukazuje da su uzroci grešaka ovog tipa prvenstveno polistirenski model, a zatim vatrostalni premaz i velika brzina livenja (slike 5c i 5d).



Slika 5. Prikaz poroznosti odlivaka, rendgenski snimak: a – odlivak bez poroznosti, b – odlivak sa grupisanom poroznošću, c – odlivak izražene poroznosti, uključak troske, d – odlivak izražene poroznosti, veće gustine modela i debljeg sloja premaza.

Figure 5. Illustration of castings porosity, X-ray diffraction patterns: a – casting without porosity, b – casting with grouped porosity, c – casting with expressed porosity, slag inclusion, d – casting with expressed porosity, higher pattern density and higher coating thickness.

Rezultati ispitivanja strukturnih i mehaničkih karakteristika odlivaka bili su u granicama predviđenim standardima za ovaj tip legura. Kao primer, u tabeli 3 prikazani su rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava odlivaka iz serije sa modelima gustine 20 kg/m^3 , sa vatrostalnim premazima na bazi talka debljine osušenog sloja 0,5 mm i 1 mm, temperature livenja $720 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabela 3. Mehaničke karakteristike odlivaka legura AlSi10Mg u livenom stanju

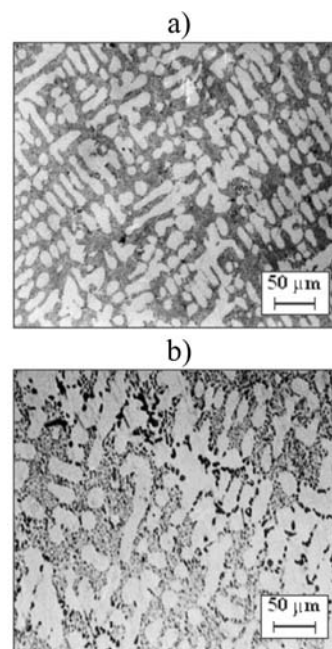
Table 3. Mechanical properties of AlSi10Mg castings in as-cast condition

Debljina sloja premaza, mm	$R_m / \text{N mm}^{-2}$	A / %	HB (2,5/62,5/30)
0,5	150	2,1	60
1	148	2,0	55

U fazi livenja, formiranja i očvršćavanja odlivaka osnovna uloga vatrostalnih premaza je stvaranje efikasne vatrostalne barijere između peščane podloge, struje tečnog metala i polimernog modela koji se razlaže i isparava. Istraživanja su pokazala da vatrostalni premaz pokazuje izolacioni efekat koji utiče na smanjenje pada temperature tečnog metala u fazi punjenja kalupa, kada se odvija i razlaganje i isparavanje polimernog modela. Nakon ispune kalupa tečnim metalom, tj. kada polimerni model ispari, premaz usled izolacionog efekta utiče na smanjenje brzine hlađenja tečnog metala u kalupu,

što je kritičan parametar za formiranje strukture odlivaka. U isto vreme, podhlađenje, koje je nastalo u tečnom metalu, kao posledica endotermnog razlaganja polimernog modela u kontaktu sa tečnim metalom, ima značajan uticaj na formiranje strukture odlivka. Mikrostruktura ispitivanih uzoraka u livenom stanju (slika 6) sastoji se od α -čvrstog rastvora, kao osnove i eutektikuma u kome su izdvojene čestice intermetalnih faza koje grade legirajući elementi sa i bez aluminijuma. Struktura odlivka je dendritno-čelijska. Kod serija sa tanjim slojevima premaza (0,5 mm) dendritne ćelije i me-

đudendritno izdvojene faze su sitnije (slika 6a) u odnosu na odlivke iz serija sa primenjenim debljim slojevima pre-



Slika 6. Mikrostruktura uzoraka legure AlSi10Mg u livenom stanju: a – tanji sloj vatrostalnog premaza, b – deblji sloj vatrostalnog premaza.

Figure 6. Microstructure of AlSi10Mg alloy in as-cast condition: a – thinner layer of refractory coating, b – thicker layer of refractory coating.

maza (iznad 1 mm) kod kojih je dobijena grublja struktura (slika 6b). To je posledica direktnog uticaja smanjenja brzine hlađenja usled jačeg izolacionog dejstva vatrostalnog premaza. Kod svih ispitivanih uzoraka došlo je do izdvajanja istih faza i to najčešće Mg_2Si , Al_5FeSi , $(Mn,Fe)_3Si_2Al_5$. Pojava intermetalnih faza, kao i korišćenje šarže za topljenje sa većim učešćem sekundarnih sirovina su, u izvesnoj meri, doprineli sniženju kvaliteta dobijenih odlivaka.

Dobijeni rezultati istraživanja ukazuju na složenost uslova očvršćavanja odlivka metodom *Lost foam* procesa i na neophodnost određivanja korelacije parametara procesa livenja, strukture i svojstava odlivaka.

ZAKLJUČAK

Istraživanja su pokazala da je za dobijanje unapred zadatih svojstava odlivaka legura aluminijuma neophodno optimizirati tehnologiju *Lost foam* procesa. Definisani kritični tehnološki parametri (vrsta i gustina polimernog modela, temperatura livenja, propustljivost vatrostalnog premaza i peska za kalupovanje, konstrukcija odlivaka i ulivnih sistema) omogućili su potpuno razlaganje i isparavanje modela i izbegavanje pojave livačkih grešaka. Tokom realizacije istraživanja uočene su greške u vidu površinske i zapreminske poroznosti, zrnovitost površine, lunke i naborane gornje površine odlivaka. Analizom uzroka nastalih grešaka pokazano je da su one uzrokovane prvenstveno od polistirenskog modela veće gustine, nedovoljne propustljivosti debljih slojeva vatrostalnog premaza i peska za kalupovanje sitnijeg zrna. Uzroci pojedinih grešaka su i konstrukcione prirode (penetracija metala u kalup kod neadekvatnog ulivnog sistema za deblje zidove odlivaka), a otkrivene su i greške izazvane nepoštovanjem propisane tehnologije i nepažljivim radom (sinterovani pesak u serijama sa neravnomerno nanetim slojevima premaza, sa pukotinama i otkinutim slojevima premaza, pojava uključaka troske i oksida). Kao rezultat ovih istraživanja određeni su optimalni sastavi premaza na bazi različitih punila i postupci pripreme suspenzija premaza kojima su postignuta unapred zadata svojstava premaza u pogledu vatrostalnosti, željene propustljivosti za gasove, lakog nanošenja i prijanjanja na površine modela, lakog podešavanja debljine slojeva premaza i brzog sušenja bez pucaanja ili otiranja osušenih slojeva premaza. To se, pre svega, odnosi na vatrostalne premaze na bazi talka na alkoholnoj i vodenoj osnovi. Primena ovih premaza kao i primena polistirenskih modela manje gustine, pokazali su pozitivan uticaj na kvalitet površine, struktura i mehanička svojstva odlivaka. S obzirom na to da su premazi na vodenoj osnovi znatno niže cene u odnosu na alkoholne, dalja istraživanja premaza za primenu *Lost foam* procesa treba vršiti sa ovim tipom rastvarača. Poželjno bi bilo ispitati nove aditive i vezivna sredstva s ciljem poboljšanja reoloških svojstava i sedimentacione

stabilnosti premaza što bi obezbedilo dobar kvalitet vatrostalnih premaza tokom skladištenja, transporta i primene. Za dalji razvoj ove metode livenja neophodno bi bilo istražiti i nove polimere za izradu isparljivih modela.

Zahvalnost

Autori se zahvaljuju Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za finansijsku pomoć za realizaciju projekta iz koga su proizašli rezultati prezentirani u radu.

LITERATURA

- [1] R.Monroe, Expandable Pattern Casting, AFS Inc., USA, 1994.
- [2] M. Tomović, Livenje lakih i obojenih legura, TMF, Beograd, 1995, str.526–539.
- [3] M.M. Ristić, Principi nauke o materijalima, Monografija, Srpska akademija nauka i umetnosti, Posebna izdanja, vol. DCXVII, br.36, 1993.
- [4] M. Branković, Klasifikacija grešaka i atlas grešaka na odlivcima od sivog liva, Stručna biblioteka Društva livača SR Srbije, 1965.
- [5] EN 13018, 2001 – Visual testing.
- [6] A. Stork, Formfullmechanismen beim Lost Foam Gießen, PhD Thesis, Technischen Universität Clausthal, 2000.
- [7] Z. Aćimović-Pavlović, M.Tomović, S.Tomović, Primena ekspaniranog polistirena za izradu modela u livarstvu, Hem. Ind. **48** (7–8) (1994) 170–175.
- [8] B.Smith, S.Biederman, Examining Lost Foam's White Side, Modern Casting, August 2000, pp. 30–35.
- [9] R. Ballman, Assembly and coating of polystyrene foam patterns for the Evaporate Pattern Casting Process, 92nd Casting Congress, Hartford, Connecticut, USA, Proceedings, 1988, p. 250.
- [10] S. Shivukumar, L. Wang, B. Steenhoft, Physico-chemical aspect of the full mould casting of aluminium alloys, Part I: The degradation of polystyrene, AFS Trans. **874–847** (1989) 791–800.
- [11] Z. Aćimović, A. Prstić, Lj. Andrić, Primena kordijerita za izradu premaza u livarstvu, Hem. Ind. **61** (1) (2007) 39–43.
- [12] M. Zlatković, Z. Aćimović, Lj. Andrić, Tehnika, RGM. **60** (1) (2009) 7–13.
- [13] Lj. Trumbulović, Z. Acimovic-Pavlovic, Z. Gulisija, Lj. Andric, Correlation of technological parameters and quality of castings obtained by the EPC method, Mater. Lett. **56** (2004) 1726–1731.
- [14] Z. Aćimović, Lj. Pavlović, Lj. Trumbulović, Lj. Andrić, M. Stamatović, Synthesis and characterization of the cordierite ceramics from nonstandard raw materials for application in foundry, Mater. Lett. **57** (2003) 2651–2656.
- [15] R.W. Davies, The replacement of solvent based coatings in modern foundries, Foundrymen, 1996, p. 287–290.
- [16] A.J.Brome, Mould and core coatings and their application, British Foundryman **80** (4) (1988) 342–350.
- [17] N. D. Cho, Effect of coating materials on fluidity and temperature loss of molten metals in full mould, 56th

- World Foundry Congress, Dusseldorf , GIFa, 1989, p. 7.1.7.10.
- [18] Z. Aćimović-Pavlović, Zaštitni premazi u livarstvu, Sa- vez inženjera metalurgije Srbije, 2009.
- [19] A.S. Thoumi, The Influence of the Modification methods on the Quality of Al-Si Castings Produced by the EPC Process, Master Thesis, Faculty of Technology and Me- tallurgy, Belgrade, 1999.

SUMMARY

THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF LOST FOAM PROCESS ON THE QUALITY OF ALUMINUM ALLOYS CASTINGS

Zagorka Aćimović-Pavlović¹, Milutin Đuričić², Saša Drmanić¹, Rade Đuričić³

¹Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

²Fakulty of Industrial Managment, Kruševac, Serbia

³High Technical School, Užice, Serbia

(Professional paper)

This paper presents the research results of application of *Lost foam* process for aluminum alloys castings of a simple geometry. The process characteristic is that patterns and gating of moulds, made of polymers, stay in the mould until the liquid metal inflow. In contact with the liquid metal, the pattern intensely and in relatively short time decomposes and evaporates, which is accompanied by casting crystallization. As a consequence of polymer pattern decomposition and evaporation, a great quantity of liquid and gaseous products are produced, which is often the cause of different types of casting errors. This paper presents the results of a research with a special consideration given to detecting and analyzing the errors of castings. In most cases the cause of these errors are defects of polymer materials used for evaporable patterns production, as well as defects of materials for refractory coatings production for polymer patterns. The researches have shown that different types of coatings determine the properties of the obtained castings. Also, the critical processing parameters (polymer pattern density, casting temperature, permeability of refractory coating and sand, construction of patterns and gating of moulds) significantly affect on castings quality. During the research a special consideration was given to control and optimization of these parameters with the goal of achieving applicable castings properties. The study of surface and internal error of castings was performed systematically in order to carry out preventive measures to avoid errors and minimize production costs. In order to achieve qualitative and profitable castings production by the method of *Lost foam* it is necessary to reach the balance in the system: evaporable polymer pattern – liquid metal – refractory coating – sandy cast in the phase of metal inflow, decomposition and evaporation of polymer pattern, formation and solidification of castings. By optimizing the processing parameters castings of required structural and mechanical characteristics could be achieved, casting defects characteristic for this process could be avoided with the result of the production costs saving. The presented results can be useful to define parameters of the *Lost foam* process and its application in practice with objective to obtain castings within advance specified quality.

Ključne reči: *Lost foam* proces (live- nje sa isparljivim modelima) • Eks- pandirani polistirenski model • Kvalitet odlivaka

Key words: *Lost foam* casting pro- cess (casting with evaporable pat- terns) • Expanded polystyrene pat- tern • Quality of casting