

## Razvoj vatrostralnih premaza za primenu u Lost foam procesu livenja

Mr AUREL PRSTIĆ, Ami-Beograd,  
 dr ZAGORKA AČIMOVIĆ-PAVLOVIĆ, TMF Beograd,  
 dr SNEŽANA GRUJUĆ, TMF Beograd,  
 dr BELIĆ ILIJA, Tehnikum-Taurunum Beograd

Originalni načni rad  
 UDC:2.621.745.4

*U radu su prezentirani rezultati istraživanja mogućnosti korišćenja više keramičkih prahova za izradu premaza za polimerne modele i primenu u Lost foam procesu livenja. U skladu sa tim prikazni su sastavi premaza –sadržaj vatrostralne komponente, veziva, sredstva za održavanje suspenzije i rastvarač- voda. Pre svega prikazana je primena keramičkih punioca kao što su: talk, cirkon, hromit i korund. Cilj istraživanja bio je utvrđivanje korelacije kvaliteta odlivaka dobijenih metodom livenja sa isparljivim modelima i svojstava primenjenih keramičkih premaza, odnosno svojstava keramičkih punilaca (talka, korunda, cirkona, hromita). Definisani su postupci pripreme vatrostralnih punilaca, počev od izbora praha, pripreme mlevenjem i finim mlevenjem uz mehaničku aktivaciju prahova, metode karakterizacije prahova, izbor ostalih komponenti premaza, kao i metode nanošenja premaza na polimerne modele. Dobijeni rezultati primene izrađenih vatrostralnih premaza pokazali su pozitivne efekte na poboljšanje površine dobijenih odlivaka, a primenjeni tanji slojevi premaza omogućili su eliminaciju karakterističnih grešaka tipa poroznost u odlivcima izrađenim po Lost foam procesu.*

**Ključne reči:** keramički premaz, talk, cirkon, livenje sa isparljivim modelima, kvalitet odlivaka

### 1. UVOD

Premazi za kalupe i jezgra predstavljaju integralni deo proizvodnje odlivaka. Osnovna uloga keramičkih premaza je stvaranje efikasne vatrostralne barijere između peščane podloge i struje tečnog metala tokom faze livenja, očvršćavanja i formiranja odlivaka. Time se obezbeđuje kvalitetna površina odlivaka bez nalepljenog peska i grešaka usled penetracije metala. Premazi utiču na spoljni izgled odlivaka i na smanjenje skupih livačkih operacija - čišćenja i mašinske obrade odlivaka. Primena kvalitetnih keramičkih premaza značajno utiče na sniženje proizvodnih troškova. Za dobijanje kvalitetnih premaza neophodna su obimna istraživanja, kako sastava premaza, tako i postupaka njihove izrade, ispitivanja i kontrole kvaliteta, njihove standardizacije, čemu će se u radu posvetiti posebna pažnja. Razvoj premaza se odvija kroz sistematska istraživanja kako bi se izvršio izbor optimalne vrste premaza za konkretne metode livenja, vrste odlivaka i vrste legura. Pri tome se prate svi relevantni pokazatelji kvaliteta i ekonomije proizvodnje odlivaka [1-6] Istraživanja različitih fizičko-hemijskih karakteristika livačkih premaza su ukazala da bez obzira na vrstu premaza, postoje opšti uslovi koje premazi moraju da zadovolje

- da imaju odgovarajuću vatrostalnost,
- ne smeju da sadrže materijale koji omekšavaju ili se tope pri dodiru sa tečnim metalom,
- ne smeju da obrazuju jedinjenja sa niskom temperaturom topljenja sa metalom, njegovim primesama ili oksidima,
- da se ravnomerno rasprostiru po površini jezgrene ili kaluparske mešavine, po površini modela, površini kalupa, da prijanjaju i čvrsto se vezuju za površinu;
- da ne pucaju, da se ne ljušte sa površine kalupa za vreme sušenja, livenja i da su otporni na nagle promene temperature,
- posle sušenja moraju obrazovati na površini kalupa, jezgara ili modela tanku skramu,
- ne smeju se raslojavati tokom upotrebe
- da budu vidljivi na površini modela posle sušenja. [7]

Imajući u vidu složenost fizičko-hemijskih promena i procesa koji se odvijaju na kontaktnoj površini metal-kalup pri izboru vatrostralnog punioca za izradu premaza odlučujuću ulogu imaju karakteristike keramičkih prahova:

- relativno visoka temperatura topljenja,
- mali koeficijent toplotnog širenja,
- nekvašljivost tečnim metalom,
- da ne razvijaju gasove u kontaktu sa tečnim metalom. [8-11]

Adresa autora: Aurel Prstić, Ami, Kneza Miloša 86 Beograd

Rad primljen: 09. 04. 2011.

## 2. EKSPERIMENT

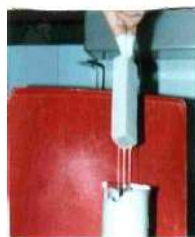
Izvršen je veći broj serija istraživanja primene različitih keramičkih punioca za izradu premaza za polimerne modele i primenu u Lost foam procesa livenja. Za ispitivanja korićene su aluminijum-silicijum legure. Polimerni modeli oblika ploče dimenzija (100x40x20)mm, izrađeni su od polistirena gustine 20 kg/m<sup>3</sup>. Za livenje po metodi Lost foam sklapani su u "grozdove" i oblagani keramičkim premazima na bazi: talka (serija A), cirkona (serija B), korunda (serija C), hromita (serija D). Za izradu kalupa korišćen je suv nevezani kvarcni pesak granulacije 0,26 mm. To-



a. modeli bez premaza



b. potapanje u suspenziju C



c. ceđenje viška premaza B



d. poravnavanje sloja premaza B



e. potapanje modela u suspenziju D



f. ceđenje viška suspenzije D



g. poravnavanje slojeva suspenzije D



e. sušenje slojeva premaza

Sl. 1. Laboratorijske probe izrade i nanošenja vatrostralnih premaza na polimerne modele

puštenu svetlost marke "JENAPOL-U", firme Carl Zeiss-Jena. Primenjena je imerziona metoda (imerzija ksilol) sa kvalitativnom indentifikacijom prisutnih minerala. Uvećanje objektiva je od 10 do 50x. Pri ovim ispitivanjima mogu da se koriste različiti programski paketi za identifikaciju faza, njihovog oblika, veličine. Za određivanje veličine i oblika zrna punioca korišćen je programski paket OZARIA 2.5 (interval od 0–1), gde je faktor oblika: za 0= presek odgovara obliku igle, za 1= presek odgovara krugu, dok je veličina zrna data u mikrometrima (μm). Podela prema faktoru oblika zrna je: od 0,0-0,2–uglast; od 0,2-0,4–subuglast; od 0,4-0,6 – subzaobljen; od 0,6-0,8 zaobljen i od 0,8-1,0– dobro zaobljen oblik zrna.

Eksperimentalni parametri Lost foam procesa livenja bili su:

- Ispitivana legura: AlSi6Cu,
- Metode pripreme tečnog liva: rafinacija solima na bazi NaCl i KCl u količini 0,1% na masu liva; degazacija sa briketima C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> u količini od 0,3% na masu liva; modifikacija sa natrijumom u količini 0,05%,

kom ekeperimenta vršena je vizuelna kontrola procesa oblaganja polimernih modela pri čemu su primenjene tehnike nanošenja premaza: potapanjem, pr- elivanjem i četkom.

Pri izradi premaza najpre su urađene laboratorijske probe, a zatim industrijske. Priprema livačkih premaza vrši se shodno njihovom tipu, do vrednosti gustine koja je definisana metodom primene. Na sl. 1. prikazane su laboratorijske probe izrade i nanošenja premaza svih serija.

Ispitivanja vatrostralnih punilaca svih serija vršena su na polarizacionom mikroskopu za dobijenu i pro-

- Temperatura livenja: 720°C
- Vatrostralni premazi za oblaganje modela sa vatrostralnim puniocima tipa talka, cirkona, korunda, hromita granulacije 30-40μm u količini 80-90 % ; vezivo na bazi: bentonit 3,5-5 %; Bindal H 5-8 %; sredstvo za održavanje suspenzije: dekstrin 0,3-0,5%; lucel 0,3-0,5%; rastvarač voda do gustine suspenzije premaza 2 g/cm<sup>3</sup>
- Parametri procesa oblaganja: debljina osušenog sloja premaza: 0,7 mm; 1,2mm; temperatura suspenzije premaza: 25°C
- Priprema premaza za oblaganje: stalno laganomešanje brzinom 1 o/min.

Tokom istraživanja, posebna pažnja posvećena je otkrivanju i analizi eventualnih greški tipa šupljikavost, neprekrivenost površine, otiranje premaza sa površine modela ili pak pucanje osušenog sloja premaza. Takođe, vršena je kontrola livenja i vizuelna kontrola dobijenih odlivaka, a posebna pažnja posvećena je otkrivanju različitih tipova neusaglašenosti-

greški na površini odlivaka, kao i na prelomnoj površini odlivaka. U cilju detaljnije ocene efekata procesa livenja vršena su ispitivanja strukturnih i mehaničkih svojstava izabranih uzoraka. Vršeno je i radiografsko ispitivanje odlivaka na rendgen uređaju SAIFORT tip-S200.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Korišćenje keramičkih prahova serija A, B, C, D za izradu premaza i primenu u Lost foam procesu livenja, odlučujuće zavisi od reološkog kvaliteta premaza odnosno od sedimentacione stabilnosti suspenzije. Takođe, tehnološki parametri procesa livenja (vrsta i debljina sloja vatrostralnog premaza, gustina polimernog modela, temperatura livenja, konstrukcija modela i ulivnih sistema, propustljivost peska za kalupovanje) najznačajnije utiču na strukturu i svojstva odlivaka. Istraživanja različitih sastava premaza i metoda njihove pripreme vršena su sa ciljem da se postigne homogena suspenzija premaza, da se smanji taloženje komponenti premaza, smanji gustina premaza. Premazi svih serija pokazali su homogenost suspenzije pri sobnoj temperaturi i stalnom laganom mešanju tokom primene, tj., nanošenja na polimerne modele. Pri nanošenju na polimerni model premazi svih serija su se ravnomerno slivali pri prelivanju i potapanju, lako su se premazivali četkom, bez tragova četke, bez curenja premaza. Osušeni slojevi premaza bili su ravnomerne debljine, nisu se otirali, nisu pucali i otpadali sa površine modela. Ovi zahtevi su ujedno i osnovni kriterijumi za ocenu kvaliteta ove vrste vatrostralnih proizvoda. Ocenjeno je da vatrostralni premaz na bazi talka sasvim zadovoljava uslove primene u Lost foam procesu za dobijanje odlivaka legura aluminijuma i odlivci tih serija su više ispitivani. Na osnovu ovog premaza upoređivani su rezultati premaza serije B, C, D, pošto do sada ove vrste premaza nisu korišćene u Lost foam procesu.

Postupak pripreme premaza i gustina suspenzije premaza određuju debljinu osušenog sloja premaza na površini polimernog modela. Ispitano je niz uticajnih faktora da bi se izabrala odgovarajuća debljina premaza. Bez obzira na debljinu premaza mora se održati i propustljivost na odgovarajućem nivou, jer za prekomernu debljinu slojeva premaza mogu se pojaviti defekti na odlivcima, što je često prisutno kod Lost foam metode livenja.

Vatrostalnost livačkih premaza je veoma značajna za njihov kvalitet, a zavisi od vrste upotrebljenog vatrostralnog punioca, pre svega njegove čistoće, kao i od uspešne korelacije sa ostalim materijalima u sastavu livačkih premaza. Za proizvodnju kvalitetnih premaza čvrsta i vatrostalna komponenta premaza (punilo) mora da bude veoma sitna, kako bi mogla da

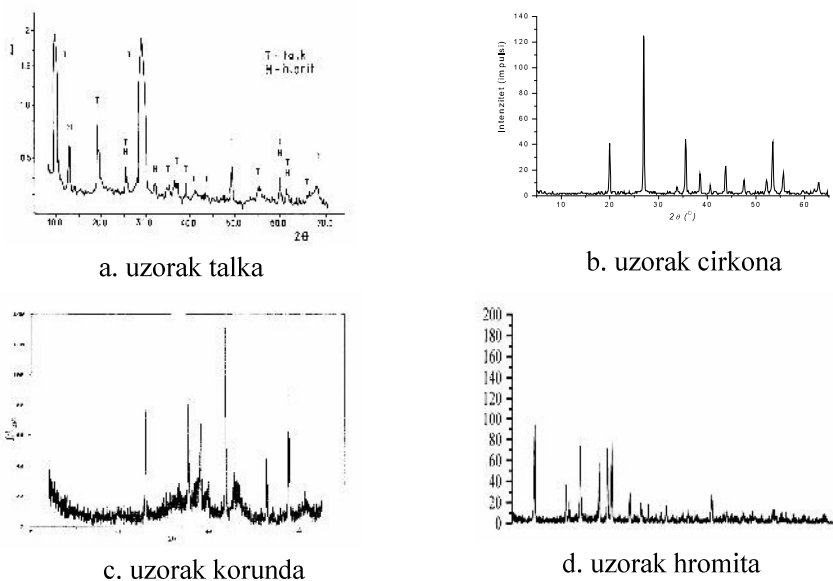
prodre između zrna peska i da ravnomerno pokriva njihovu površinu. Za ispitivanje vatrostralnih komponenti važno je odrediti granulometrijski sastav sirovine, oblik i veličinu zrna punila. Za punila se biraju minerali čiji sastav i svojstva (vatrostalnost, tvrdoća, na primer) su poznati. Na sl. 2. prikazani su rezultati rendgenske analize vatrostralnih punilaca za sve serije istraživanja, na osnovu koje se može zaključiti o sadržaju određenog minerala u punilu.

Na sl. 3. prikazane su mikrofotografije uzoraka različitih vatrostralnih punilaca korišćenih u sastavu premaza za sve serije istraživanja. Sa aspekta primene vatrostralnih punilaca u premazima razlika u veličini zrna je povoljna. Naime, nepravilne čestice, različite granulacije doprinose boljem stvaranju ujednačenog, kontinuiranog sloja premaza na polimernim modelima zbog boljeg slaganja – pakovanja čestica među sobom. Sitne i oble čestice punila lako se homogenizuju i ravnomerno se raspoređuju u masi premaza. Izrađeni premazi pokazali su da se pri nanošenju na polimerne modele ravnomerno slivaju po površini bez stvaranja kapi, curenja i slično. Slojevi premaza bili su ravnomerni i ujednačene debljine, bez stvaranja mehurića, bez pucanja tokom sušenja i bez ljuštenja. Osušeni slojevi premaza se nisu otirali. Ispitivanja taloženja izrađenih premaza pokazala su da su istaložene materije, za vreme od 24 h, bile od 5%-10%, što ukazuje na neophodnost daljih istraživanja sastava premaza i načina pripreme pojedinih komponenti premaza, pre svega suspenzionog sredstva.

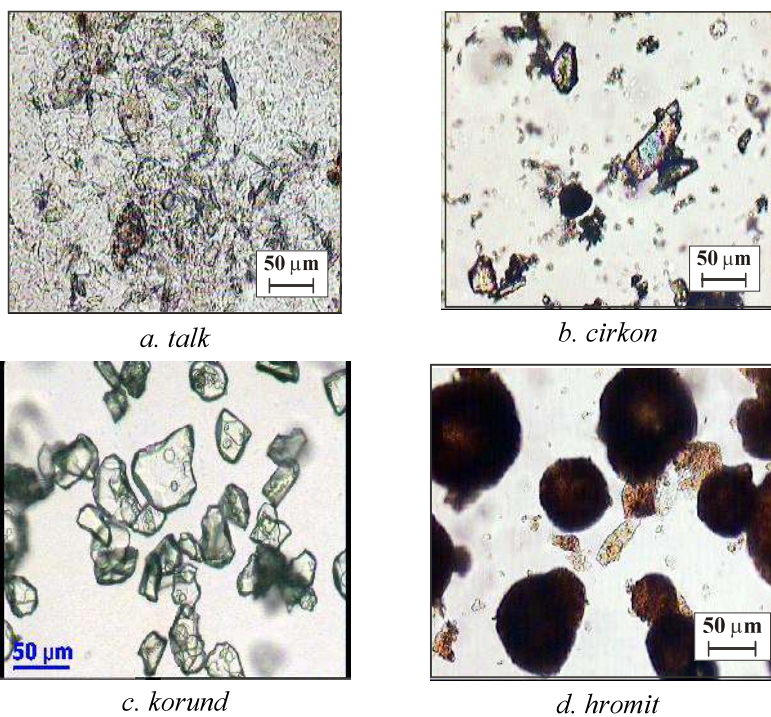
Na sl. 4.-5. prikazani su rezultati analize veličine zrna i faktora oblika zrna punila za sve serije istraživanja

Rezultati istraživanja su pokazali da kvalitativna mineraloška analiza, analiza veličine i oblika zrna vatrostralnih punilaca pružaju sliku o njihovom kvalitetu. Veličina zrna punila kretala se od 35-40  $\mu\text{m}$ , sa faktorom oblika zrna oko 0,6-0,8 (zaobljena zrna). Pokazalo se da su punila sa zrnima različite veličine pogodna, jer doprinose stvaranju ujednačenog, kontinuiranog filma, odnosno sloja premaza na polimernim modelima, zbog boljeg slaganja-pakovanja čestica među sobom.

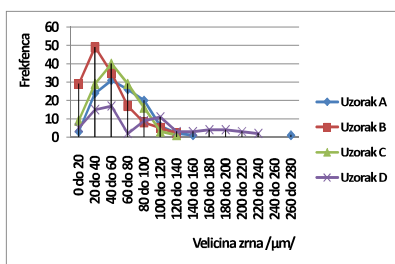
Kvalitet premaza ocenjivan je na osnovu kriterijuma za ovu vrstu vatrostralnih proizvoda: da se lako nanose na polimerne modele metodama potapanja, preivanja, četkom, bez curenja, stvaranja kapi, grudvica, da osušeni slojevi na modelu budu ravnomerne debljine, ne pucaju, ne otiru se. Rezultati istraživanja Lost foam procesa pokazali su da je za postizanje ravnomerne debljine slojeva premaza na površini modela neophodno stalno lagano mešanje suspenzije tokom nanošenja na modele, održavanje određene gustine (1,5-2  $\text{g/cm}^3$ ) i temperature (25 °C) suspenzije.



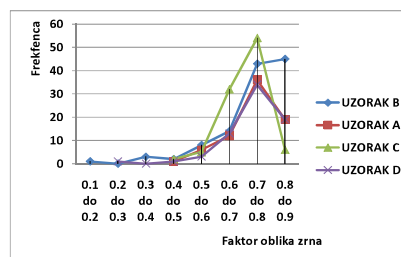
Slika 2 - Rendgenski difraktogrami uzoraka vatrostalnih punilaca svih serija istraživanja



Slika 3 - Mikrofotografije uzoraka punila



Sl.4. Velicina zrna punila



Sl.5. Faktor oblika zrna punila

U suprotnom javljala se nehomogenost sastava suspenzije, što se negativno odrazilo na kvalitet slojeva premaza na modelima i dobijanje neravnomernih debljina premaza različite propustljivosti.

Vatrostalni premazi svih serija pokazali su pozitivne efekte na kvalitet površine - dobijene su sjajne i glatke površine odlivaka, sa zadovoljavajućim kvalitetom odlivaka kod primene serija sa tanjim slojevima premaza (ispod 1 mm), gustina polimera do 20 kg/m<sup>3</sup> i veće propustljivosti peska za kalupovanje (veličina zrna peska preko 2 mm). Kod primene debljine slojeva premaza iznad 1mm dolazilo je i do pojava grešaka na odlivcima (podpovršinska i zapreminska poroznost). Rezultati ispitivanja strukturnih i mehaničkih svojstava pokazali su da primenjeni premazi na bazi talka sa debljinama slojeva oko 0,7mm doprinose dobijanju sitnozrne strukture odlivaka dobih mehaničkih svojstava koji se ne razlikuju od svostava odlivaka od ovih legura dobijenih klasičnim presima livenja u pesku. Razvojem vatrostalnih preazna bazi talka, cirkona, korunda, hromita i optimizacijom tehnoloških parametara Lost foam procesa livenja mogu se dobiti odlivci unapred zadatog kvaliteta tj. željenih svojstava sa znatno nižom cenom koštanja u odnosu na odlivke livene u pesku. Rezultati primene premaza na bazi korunda i hromita su početni.

#### 4. ZAKLJUČAK

Za izradu kvalitetnih premaza unapred zadatih svojstava neophodno je da se postigne homogenost raspodele vatrostalnog punioca u suspenziji premaza, da se definiše optimalni sastav premaza sa kontrolisanim reološkim svojstvima specijalno podešenim za primenu u Lost foam procesu. Rezultati istraživanja su optimalni sastavi premaza i postupci njihove pripreme u cilju postizanja zahtevanih svojstava premaza. Dalja istraživanja treba vršiti sa ciljem određivanja korelacije sastava i debljine sloja premaza sa strukturnim i mehaničkim karakteristikama odlivaka.

#### LITERATURA

[1] R. Monroe: Expandable Pattern Casting, AFS Inc. (1994), SAD

- [2] M. M.Ristić: Principi nauke o materijalima, Monografija, Vol. DCXVII, No 36, SANU, Beograd, (1995).
- [3] Ž. Josipović: Uticaj tehnoloških parametara na kvalitet vatrostalnih premaza za peščane kalupe i jezgra, Magistarski rad, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd, (2003.).
- [4] Z. Aćimović, Lj.Andrić, V. Milošević, S. Milićević: Refractory coat based on cordierite for application in new evaporate pattern casting process, Ceramic International, 2011 (in press).
- [5] Lj. Trumbulović, Z. Aćimović, S. Panić: The influence casting coatings on the quality casings, 37<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor (2005), Proceedings, pp. 460-465., (2005).
- [6] Z. Aćimović-Pavlović: Zaštitni premazi u livarstvu, Monografija, Savez inženjera metalurgije Srbije, (2008).
- [7] Z. Čeganjac: Uticaj mehaničke aktivacije keramičkih prahova na svojstva livačkih premaza, Magistarski rad, TMF Beograd, (2005).
- [8] M. Petrov: Istraživanje kinetike mlevenja u usloviima mehaničko hemijskog aktiviranja, Doktorska disertacija, Rudarsko –geološki fakultet, Beograd, (2003).
- [9] Z. Aćimović, M. Đuričić, Lj. Trumbulović, I. Belić: Doprinos proučavanju grešaka na odlivcima silumina dobijenim livenjem sa isparljivim modelima, Tehnika, Rud., Geolog., i Metal., 61 (2010) 4, s. 11-18.
- [10] Z. Aćimović-Pavlović, S.Tripković, M.Đuričić, K. Prstić, Lj. Pavlović: The influence of the layer type and thickness of fire resistant coatings on the quality of castings obtained by the EPC method, 6th Asian and 47th Indian Foundry Congress, Calcutta (1999), Proceedings, p. 320-324., (1999).
- [11] T. Volkov-Husović: Vatrostalni materijali - svojstva i primena, Monografija, Savez inženjera Srbije, (2007).

## SUMMARY

### DEVELOPMENT OF REFRACTORY COATINGS FOR APPLICATION IN THE LOST FOAM CASTING PROCESS

*In this work, the results of examining the possibilities of use of a number of ceramic powders for manufacturing the coatings for polymeric models and their application in the Lost Foam casting process. According to it, compositions of coatings have been shown, such as - the content of refractory component, bond, suspension maintenance agent and solvent-water. First of all, application of ceramic fillers such as talc, zircon, chromite and corundum was shown. The aim of the research was to establish the correlation between the quality of the castings obtained by a casting method with evaporable models and the properties of the ceramic coatings applied, i.e. the properties of ceramic fillers (talc, corundum, zircon, chromite). Preparation procedures for ceramic fillers were defined, starting from choosing the powder, preparation by milling and fine milling with mechanical activation of powders, powder characterisation method, choosing the other coating components, as well as the method of application of a coating on polymeric models. The results obtained for application of the manufactured refractory coatings showed positive effects on surface improvement of the castings obtained, while application of thinner layers enabled elimination of typical faults, such as porosity in the castings manufactured according to Lost Foam process.*

**Key words:** *ceramic coating, talc, zircon, casting with evaporable models, quality of castings*