

# ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

## „Керамички лонац електроотпорне пећи за извођење компокастинг поступка“

Подтип техничког решења – битно побољшан постојећи производ или технологија

### Аутори техничког решења

- *Др Илија Бобић, виши научни сарадник, ИНН „Винча“, Београд*
- *Др Мирослав Бабић, редовни професор, Машински факултет, Крагујевац*
- *Др Слободан Митровић, доцент, Машински факултет, Крагујевац*
- *Др Александар Венцл, доцент, Машински факултет, Београд*
- *Мр Биљана Бобић, истраживач сарадник, ИР центар ИХИС Техноекспертс, Београд*
- *Др Бранко Тадић, редовни професор, Машински факултет, Крагујевац*

### Наручилац техничког решења

- Пројекат ТР-14005 (Развој напредне опреме за трибодијагностику и ММС на бази лаких метала)

### Корисник техничког решења

- Предузеће „РАР“, Батајница
- Лабораторија за материјале, ИНН „Винча“

### Година када је техничко решење урађено

- 2008.

### Област технике на коју се техничко решење односи

- Материјали, Машинство, Ливарство

## 1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Компокастинг је један од низа поступака за добијање композитних материјала у оквиру тзв. „ингот металургије“. Карактеристичан је по томе што се жељени ојачивач инфилтрира у металну основу која је у полуочврслост стању (у температурном интервалу између ликвидус и солидус температуре), уз мешање. Такозвана тиксо-варијанта компокастинг поступка коју су применили аутори овог техничког решења састоји се из две основне фазе:

- добијање одливка инфилтрацијом ојачивача у матричну легуру, уз мешање и
- прерада добијеног производа неким од поступака пластичне прераде у полуочврслост стању.

Техничко решење, које ће бити приказано у наредном тексту односи се на прву фазу компокастинг поступка.

Материјал за израду лонца металуршке пећи за извођење компокастинг поступка (у конкретном случају лабораторијска електроотпорна пећ снаге 2 kW) мора бити одабран тако да поред стандардних захтева (чврстоћа, непропустљивост за течни метал, отпорност на термошокове и термохемијска стабилност) мора да испуни и додатне захтеве. Наиме, под дејством сила смицања које узрокује обртање активног дела мешача, полуочврсли растоп неке легуре понаша се као псеудопластичан нењутновски флуид, односно са порастом брзине смицања његов привидни вискозитет опада. Другим речима, полуочврсли растоп понаша се као флуид чији периферни делови долазе у интеракцију са зидом лонца при чему се ствара знатно сложеније напонско стање у односу на оптерећење класичног ливачког лонца. Поред статичког притиска растопа на зидове лонца стварају се и додатна смицајна напрезања. Наведена појава захтева не само већу општу чврстоћу лонца у односу на класични лонац, већ и знатно виши квалитет унутрашње површине зида лонца. Осим тога, после извршене инфилтрације честица ојачивача следи њихово „умешавање“, при чему је један део честица у сталном контакту са зидом лонца. Када се зна да су најчешће коришћени ојачивачи честице  $Al_2O_3$  и  $SiC$ , односно веома абразионе честице, неопходно је имати у виду и абразију и ерозију унутрашњег зида лонца, што се мора узети у обзир при избору материјала за израду лонца. Уз све то неопходно је водити рачуна и о економичности при решавању наведених проблема.

Графитни лонци, које су аутори користили у почетку процесних експеримената, а које је релативно лако набавити на тржишту, показали су уз добре особине (висока топлотна поводљивост, непропустљивост за растоп, одлична отпорност према термичком шоку и термохемијска стабилност, као и довољна чврстоћа) и неке недостатке. Први недостатак представља реакција графита са кисеоником из ваздуха на температурама преко 400 °C, што утиче на знатно смањење радног века лонца. Овај недостатак је решен премазивањем спољних површина лонца суспензијом састављеном од смеше честица цирконијум силиката и суспензије нано честица кварца у води (комерцијални назив *Syton*). Међутим, ерозија унутрашњег зида лонца током мешања полуочврслих растопа композита није могла бити решена. Последице су биле брзо пропадање лонца и погоршање квалитета одливака због неконтролисаног прљања растопа еродираним честицама зида лонца. Из истог разлога одбачена је идеја о употреби лонца од челика који би био премазан неким од ватросталних материјала на бази глине (лонци који се са успехом користе у комерцијалним ливницама цинка). Примењени лонци од печене

алумине показали су недостатак због слабе отпорности на термошок. До пуцања лонаца долазило је најчешће у фази изливања полуочврслих растопа композита.

На основу ранијих искустава сарадника Лабораторије за материјале у ИНН „Винча“ на изради калупа за ливење суперлегура на бази никла у условима усмереног очвршћавања израђен је лонац за извођење компокастинг поступка. Овај лонац испуњава све захтеве који су неопходни за добијања квалитетних одливака – композита.

## **2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења**

Аутори овог техничког решења суочили су се недостатком информација при избору лонца који је погодан за извођење компокастинг поступка. Наиме, такви подаци не могу се наћи у проспектима произвођача који процесирање у полуочврслем стању изводе на комерцијалном нивоу (нпр. *Alcan* и *Tixomat* из САД). Такође, међу доступним научним радовима нема таквих чији би главни предмет био испитивање лонаца од различитих материјала, али је било могуће користити делове радова који су везани за процесна истраживања, где се подаци везани за употребу материјала лонца дају само у виду информације. Запажено је да се при изради композита на бази легура алуминијума и цинка најчешће употребљавају графитни лонци, било да се ради у заштитној атмосфери (легура цинка) [1,2], било применом вакуума или заштитне атмосфере (легура алуминијума) [3,4]. У сфери специјалних калупа за усмерено очвршћавање, подаци произвођача (нпр. *Linn*, из Немачке) су такође недоступни.

Полазну основу за предложено техничко решење представљала је референца [5], која се односи на рад у лабораторијским условима. Стриктно се држећи поступка описног у тој референци аутори овог техничког решења су у првој фази добили модел – узорак са порозном унутрашњом површином. Као што је напред наведено, примена оваквог лонца на омогућава производњу квалитетних композитних материјала применом компокастинг поступка, због чега је било неопходно извршити озбиљну модификацију добијеног модела. Извршена модификација, која ће бити детаљно описана у даљем тексту, представља техничко решење које може имати значајну практичну примену.

## **3. Суштина техничког решења**

Техничко решење, керамички лонац електроотпорне пећи за извођење компокастинг поступка, сачињен је од више слојева честица  $Al_2O_3$  различите просечне величине. Основне карактеристике овог керамичког лонца су:

- Висока чврстоћа и непропустљивост за течни метал;
- Отпорност на термошок;
- Термохемијска стабилност, што значи да се може применити за рад на ваздуху, као и за рад у заштитној атмосфери или вакууму;
- Отпорност на дејство смицајних напрезања током мешања;
- Отпорност на ерозионо дејство честица ојачивача, што значајно продужава радни век оваквог керамичког лонца.

#### 4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)

*Технолошка процедура израде керамичког лонца електроотпорне пећи за извођење компокастинг поступка, на лабораторијском нивоу*

Израда лонца електроотпорне пећи састојала се од следећих фаза: израда воштаног модела, припрема суспензија (у даљем тексту пулпи) за квашење модела и селекција фракција  $Al_2O_3$  честица, формирање модела керамичког лонца (воштани модел обложен керамиком), девоскирање и термичка стабилизација керамичког калуца.

##### **Израда воштаног модела**

У посебном алату од легуре дуралуминијум најпре је изливен воштани модел лонца, односно цилиндар пречника 75 mm и висине 150 mm. За формирање воштаног модела коришћен је индустријски восак, какав се користи у фабрикама прецизног лива. Спољне димензије воштаног цилиндра дефинишу унутрашње димензије керамичког лонца, односно ове димензије, као и спољне димензије керамичког лонца, одређују се на основу димензија пећног простора (простор унутар електроотпорне пећи окружен грејачима). Неопходно је да површина воштаног модела буде глатка, без пора и пукотина.

##### **Припрема пулпи и селекција фракција $Al_2O_3$ честица**

Према замисли овог техничког решења пулпе су подељене у две категорије: врло вискозна, примарна пулпа и мање вискозна, секундарна пулпа. Независно од вискозитета пулпе су биле сачињене размешавањем честица  $Al_2O_3$  просечне величине 35  $\mu m$  у суспензију сачињену од нано честица кварца у води (комерцијални назив *Syton*). У примарној пулпи однос између *Syton*-а и праха  $Al_2O_3$  био је: 1000 ml *Syton*-а према 3000 g  $Al_2O_3$ . Поред тога, у примарну пулпу додата су органска средства за побољшање квашљивости (*Typol* и *Octanol*). У секундарној пулпи однос између *Syton*-а и праха  $Al_2O_3$  био је: 1000 ml *Syton*-а према 2000 g  $Al_2O_3$ , без додатака средстава за побољшање квашљивости. Пре почетка оперативних активности пулпе су хомогенизоване мешањем у трајању од 2 часа.

Основни захтев приликом селекције фракција  $Al_2O_3$  честица био је да просечна величина честица појединих фракције расте од првог ка последњем слоју, рачунајући слојеве од површине воска. Значи, први слој керамичког калуца до површине воска треба да садржи најситније  $Al_2O_3$  честице. У готовој шкољци тај слој се налази непосредно уз растоп и неопходно је да има најмању технички оствариву порозност. Насупрот томе, завршни слојеви калуца је потребно да буду израђени од фракција са крупнијим честицама  $Al_2O_3$ . Намерно се формирају слојеви са већом порозношћу, да би се обезбедила флексибилност калуца у условима термичког шока. У конкретном случају, због проблема око набавке прахова жељених фракција, били смо принуђени да удвајамо поједине фракције (једна фракција у два слоја). Сигурно је да би у случају коришћења прахова свих жељених фракција калуца био још квалитетнији. Конкретно, калуца је направљен коришћењем следећих фракција праха  $Al_2O_3$ :

- примарни део калуца: 2 слоја од по 35  $\mu m$  плус 3 слоја од по 76  $\mu m$  и
- секундарни део калуца: 3 слоја од по 250  $\mu m$  и слој од по 350  $\mu m$  до краја, тј. до дебљине од 6 до 8 mm.

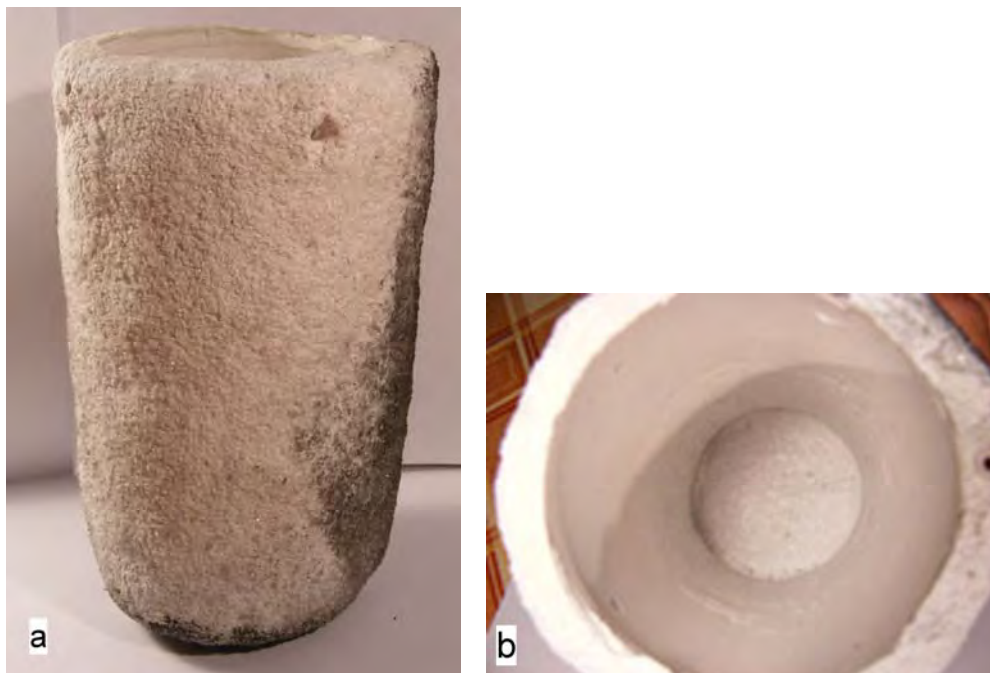
## Формирање модела керамичког лонца

Оперативни део израде керамичког лонца састојао се од формирања примарних и секундарних слојева керамике на воштаном моделу. Процедура израде примарних слојева састојала се у сукцесивном квашењу модела урањањем у примарну пулпу и набацивању на њега примарних прахова величина датих у претходном одељку. По набацивању примарних слојева, формирани су секундарни слојеви керамике на исти начин, тј. урањањем модела, на који су већ нанети примарни слојеви, у секундарну пулпу и набацивањем секундарних прахова редом, по фракцијама чије су величине дате раније. Потребно је напоменути да је време сушења за сваки поједини слој било 24 часа и то на ваздуху, због недостатка посебне сушнице, где би тај процес могао да се изврши знатно брже.

## Девоскирање и термичка стабилизација керамичког лонца

По формирању и завршном сушењу модела, приступљено је девоскирању, тј. уклањању воска и стварању шупљине керамичког лонца. У конкретном случају примењен је тзв. *шок поступак* који се састоји се у уношењу формираног модела, тј. воском обложене керамике, у специјалну пећ претходно загрејану на 900 °С. Овако висока температура неопходна је да се слој воска уз зид првог примарног слоја керамике преведе тренутно у парно стање. На тај начин тренутно се створи „гасни јастук“ који спречава остатак воска (који има висок коефицијент ширења) да се прошири и разори ровит керамички калуп. По завршеној операцији девоскирања керамички лонац остављен је у пећи на истој температури још 3 часа ради стабилизације.

Спољни изглед лонца приказан је на слици 1а, а изглед унутрашњосати лонца на слици 1б. Уочљива је велика разлика у финоћи површине примарног и секундарног дела лонца.



Слика 1. Изглед керамичког лонца: а) спољна површина лонца и б) унутрашњост лонца

Применом керамичких лонаца добијених по горе описаној процедури побољшан је квалитет добијених композитних материјала, што су показала металографска, механичка и триболошка испитивања. Резултати тих испитивања објављени су у домаћим и међународним часописима [6-9].

## 5. Литература

- [1] I.A. Cornie, R. Guerriero, L. Meregalli, I. Tangerini, Microstructures and properties of zinc-alloy matrix composite materials, у: S.G. Fishman, A.K. Dhingra (ур.), *Proceedings of the International Symposium on Advances in Cast Reinforced Metal Composites*, Chicago (1988) 155-165.
- [2] S.C. Sharma, S. Sastry, M. Krishna, Effect of aging parameters on the micro structure and properties of ZA-27/aluminite metal matrix composites, *Journal of Alloys and Compounds* 346 (2002) 292-301.
- [3] F.M. Hosking, F. Folgar Portillo, R. Wunderlin, R. Mehrabian, Composites of aluminium alloys: fabrication and wear behaviour, *Journal of Materials Science* 17 (1982) 477-498.
- [4] S. Tzamtzis, N.S. Barekar, N. Hari Babu, J. Patel, B.K. Dhindaw, Z. Fan, Processing of advanced Al/SiC particulate metal matrix composites under intensive shearing – A novel Rheo-process, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 40 (2009) 144-151.
- [5] C. Greskovich, M. Gigliotti, P. Svec, Preparation and microstructural developments of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> shell moulds, *Trans. Brit. Ceram. Soc.* 77 (1978) 31-41.
- [6] Z. Mišković, **I. Bobić**, S. Tripković, A. Rac, **A. Vencl**, The structure and mechanical properties of an aluminium A356 alloy base composite with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle additions (MMC), *Tribology in Industry* 28 (2006) 23-27.
- [7] **A. Vencl**, A. Rac, **I. Bobić**, Z. Mišković, Tribological properties of Al-Si alloy A356 reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles, *Tribology in Industry* 28 (2006) 27-31.
- [8] **A. Vencl**, **I. Bobić**, M.T. Jovanović, **M. Babić**, **S. Mitrović**, Microstructural and tribological properties of A356 Al-Si alloy reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles, *Tribology Letters* 32 (2008) 159-170.
- [9] **M. Babić**, **S. Mitrović**, D. Džunic, B. Jeremic, **I. Bobić**, Tribological behavior of composites based on ZA-27 alloy reinforced with graphite particles, *Tribology Letters* 37 (2010) 401-410.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу бр. 01-1/1128-14 од 22.04. 2010. именовани смо за рецензенте техничког решења „Керамички лонац електротпорне пећи за извођење компокастинг поступка“ аутора:

1. Др Илија Бобић, виши научни сарадник, ИНН „Винча“, Београд
2. Др Мирослав Бабић, редовни професор, Машински факултет, Крагујевац
3. Др Слободан Митровић, доцент, Машински факултет, Крагујевац
4. Др Александар Венцл, доцент, Машински факултет, Београд
5. Мр Биљана Бобић, ИР центар ИХИС Техноекспертс, Београд
6. Др Бранко Тадић, редовни професор, Машински факултет, Крагујевац

На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

### ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „**Керамички лонац електротпорне пећи за извођење компокастинг поступка**“ аутора Др Илија Бобић, Др Мирослав Бабић, Др Слободан Митровић, Др Александар Венцл, Мр Биљана Бобић, Др Бранко Тадић, реализовано 2008. године, приказано је на 6 страница формата А4, писаних ћириличним 12pt (Times New Roman) фонтом, сингл проредом, садржи 2 слике. Састављено је од следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже) и
5. Литература.

Техничко решење припада областима: Материјали, Машинство и Ливарство. Наручилац техничког решења је Пројекат ТР-14005.

Техничко решење је реализовано у оквиру рада на пројекту Развој напредне опреме за трибодијагностику и ММС на бази лаких метала.

Основна полазна идеја за ово техничко решење прихваћена је и објављена у часопису Tribology Letters.

1. Aleksandar Vencl, Ilija Bobic, Milan T. Jovanovic, Miroslav Babic, Slobodan Mitrovic, "Microstructural and Tribological Properties of A356 Al-Si Alloy Reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particles", Tribology Letters 32 (2008) 173-184

2. Miroslav Babic, Slobodan Mitrovic, Dragan Dzunic, Branislav Jeremic, Ilija Bobic, "Tribological Behavior of Composites Based on ZA-27 Alloy Reinforced with Graphite Particles", Tribology Letters 37 (2010) 401-410

Примена предложеног техничког решења очекивана је у предузећу „РАР“, Батајница (домаћа индустрија).



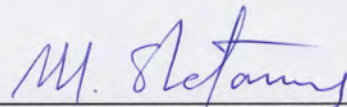
## МИШЉЕЊЕ

Анализом текста техничког решења под називом „Керамички лонац електроотпорне пећи за извођење компокастинг поступка“ аутора: Др Илија Бобић, Др Мирослав Бабић, Др Слободан Митровић, Др Александар Венцл, Мр Биљана Бобић, Др Бранко Тадић, констатовали смо следеће:

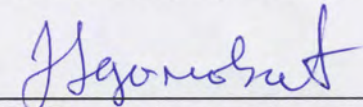
1. Јасно је дефинисана потреба да се технички реши проблем израде адекватног лонца за извођење компокастинг поступка приликом добијања композита са основом од легура цинка и алуминијума, односно лонца који би испунио све захтеве који су неопходни за добијања квалитетних одливака-композита.
2. Основна идеја начина решења проблема је јасна и, колико смо ми информисани, оригинална. Технолошка процедура добијања керамичког лонца приказана је јасно, уз детаљно објашњење појединих фаза процедуре.
3. Техничко решење се већ дуже време примењује као део апаративног решења за добијање композита у лабораторијским условима компокастинг поступком. Примена овог решења одразила се на побољшање особина произведених композитних материјала, што је документовано у објављеним научним радовима. С обзиром на повољан утицај предложеног техничког решења на квалитет композита може се очекивати и његова реализација у пракси.
4. Сматрамо да се лабораторијска технолошка процедура израде керамичког лонца може без већих потешкоћа пренети на полуиндустријски и индустријски ниво. У најопштијем, могуће је увести израду лонца са дизајном по жељи уз примену поступака аутоматске регулације, односно израдити керамичке лонце доброг квалитета уз оптималну репродукцију тог квалитета.

На основу до сада описаног, предлажемо да се техничко решење „Керамички лонац електротпорне пећи за извођење компокастинг поступка“ прихвати као ново техничко решење (битно побољшана технологија).

14.05. 2010, у Крагујевцу



Др Милентије Стефановић, ред. проф.  
Машински факултет, Крагујевац



Др Драган Адамовић, ванр. проф.  
Машински факултет, Крагујевац





Универзитет у Крагујевцу  
Машински факултет у Крагујевцу  
Број : **ТР-08/2010**  
10. 06. 2010. године  
Крагујевац

Наставно-научно веће Машинског факултета у Крагујевцу на својој седници од 10. 06. 2010. године на основу члана 200. Статута Машинског факултета, донело је

## О Д Л У К У

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „**Керамички лонац електроотпорне пећи за извођење компокастинг поступка**“, аутора **Др Илије Бобића, Др Мирослава Бабића, Др Слободана Митровића, Др Александра Венцла, Мр Биљане Бобић и Др Бранка Тадића.**

Решење припада класи **М84**, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, ("Сл. гласник РС", бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. **Др Милентије Стефановић, ред. проф., Машински факултет у Крагујевцу**
2. **Др Драган Адамовић, ванредни проф., Машински факултет у Крагујевцу**

Достављено:

Ауторима

Архиви

ДЕКАН МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА



Др Мирослав Бабић, ред. проф.