

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 1830/2  
ДАТУМ: 29.08.2016.

На основу захтева ван. проф. др Александра Венцла бр. 1830/1 од 22.08.2016. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 25.08.2016. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Да се за рецензенте Техничког решења под насловом „Добијање **нанокомпозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка**“ чији су аутори: др Александар Венцл, ван. проф., др Биљана Бобић, др Мирослав Бабић, др Јована Ружић, др Боре Јегдић и др Илија Бобић, именују:

- др Александар Рац, ред. проф. у пензији
- др Милан Т. Јовановић, научни саветник у пензији, Институт за нуклеарне науке „Винча,“ Београд

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

  
Проф. др Радивоје Митровић

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 1830/2 од 29.08.2016. године именован сам за једног од рецензената техничког решења „Добијање нанокompозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка“ аутора: др Биљана Бобић, научни сарадник; др Александар Венцл, ванредни професор; др Мирослав Бабић, редовни професор; др Јована Ружић, научни сарадник; др Боре Јегдић, виши научни сарадник; и др Илија Бобић, научни саветник. На основу предлога овог техничког решења достављам следећу

## РЕЦЕНЗИЈУ

Техничко решење „Добијање нанокompозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка“, реализовано 2016. године, приказано је на 10 страница формата A4, писаних фонтом величине 12 pt, „single“ проредом, садржи 5 слика и нема табела. Техничко решење припада областима/научним дисциплинама: Материјали; Машинство; Ливарство.

Техничко решење је реализовано у оквиру рада на пројекту: TP 35021 „Развој триболошких микро/нано двокомпонентних и хибридних самоподмазујућих композита“. Примена предложеног техничког решења очекивана је у предузећу „RAR d.o.o.“, Земун (домаћа индустрија). За сада се примењује у Лабораторији за материјале Института за нуклеарне науке „Винча“ на лабораторијском нивоу.

Аутори техничког решења „Добијање нанокompозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка“ јасно су приказали са теоријске и практичне тачке гледишта целокупан садржај овог техничког решења. Циљ техничког решења био је да се, унапређењем постојећег, развије нови поступак добијања нанокompозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Постојећа технологија за добијање ових нанокompозита (тзв. компокастинг поступак), је давала нанокompозите са лошим структурним карактеристикама услед тенденције наночестица да образују накупине и лоше квашљивости наночестица у растопима основних легура. Нова технологија добијања нанокompозита, поред компокастинг поступка, садржи и предпоступак којим се умањују ефекти стварања накупина наночестица и побољшава њихова квашљивост. Предпоступак се састоји од механичког легирања струготине легуре цинка ZA-27 са наночестицама Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / SiC. Крајњи циљ техничког решења био је да се добију нанокompозити побољшаних структурних, механичких и триболошких карактеристика у односу на основну ZA-27 легуру, са идејом да се ови материјали касније и практично примене.

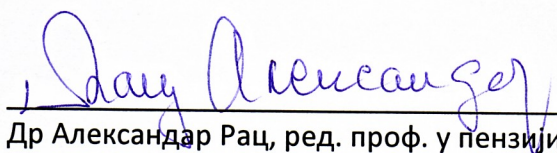
Предложеним техничким решењем дат је подробен опис технологије добијања нових материјала – нанокompозита, са јасно подељеним описом предпоступка и компокастинг поступка. Такође је извршена и приказана структурна и механичка

карактеризација (испитивање тврдоће и напона течења) шест различитих нанокмпозитних материјала, односно успостављена је веза између процесних и експлоатационих карактеристика. Из техничког решења проистиче да сви новодобијени нанокмпозити поседују боље испитиване механичке карактеристике у односу на основну легуру, а да је структура повољнија у односу на нанокмпозите добијене претходном технологијом. Керамичке наночестице су код свих нанокмпозита добро распоређене у структури основне легуре, уз присуство малих накупина наночестица, а удео великих кластера наночестица је веома мали. Механичке карактеристике, односно тврдоћа и напон течења у условима притисних испитивања свих новодобијених нанокмпозита су више у односу на основну ZA-27 легуру. Предлаже се испитивање и осталих својстава добијених нанокмпозита током даљих истраживања.

Постигнути резултати указују да су успешно освојени параметри добијања нанокмпозита са основом од легуре цинка ZA-27 што треба да омогући да се са лабораторијског нивоа изврши пренос технологије добијања прво на полуиндустријски ниво, а касније и услове индустријске производње, уколико постоји интерес тржишта за ову врсту материјала.

На основу свега наведеног сматрам да резултати приказани у предлогу техничког решења „Добијање нанокмпозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка“ могу да се прихвате као ново техничко решење категорије M82 (ново техничко решење техничко-технолошког процеса примењено на националном нивоу), пошто испуњава све услове прописане Прилогом 2. Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача.

У Београду, 03.11.2016. године



Др Александар Рац, ред. проф. у пензији  
Машински факултет Универзитета у Београду, Београд

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 1830/2 од 29.08.2016. године именован сам за једног од рецензента техничког решења „Добијање нанокомпозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка“ аутора: др Биљана Бобић, научни сарадник; др Александар Венцл, ванредни професор; др Мирослав Бабић, редовни професор; др Јована Ружић, научни сарадник; др Боре Јегдић, виши научни сарадник; и др Илија Бобић, научни саветник. На основу предлога овог техничког решења достављам следећу

## РЕЦЕНЗИЈУ

Предложено техничко решење „Добијање нанокомпозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка“ је резултат истраживања у оквиру пројекта TP 35021 „Развој триболошких микро/нано двокомпонентних и хибридних самоподмазујућих композита“, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Урађено је за потребе Лабораторије за материјале Института за нуклеарне науке „Винча“, Београд, односно предузећа „RAR d.o.o.“, Београд (Земун). Техничко решење је комплетирано 2016. године, а припада областима/научним дисциплинама: материјали; машинство; ливарство.

**Проблем који се техничким решењем решава:** Композити са керамичким честицама микрометарске величине одликују се бољим физичким, механичким и триболошким карактеристикама у односу на основне легуре. Међутим, повећање чврстоће композитних материјала који су ојачани микрочестицама секундарних фаза праћено је смањењем дуктилности. Овај недостатак може да се ублажи додавањем керамичких наночестица, уместо керамичких микрочестица, у металну основу. Истраживања везана за синтезу нанокомпозита са основом од легура цинка су у почетној фази, а основни проблеми који се јављају (независно од примењеног поступка) произилазе из тенденције наночестица да образују накупине и лоше квашљивости наночестца у растопима основних легура.

**Стање решености проблема у свету:** Значајни резултати у решавању горе наведеног проблема су постигнути у области добијања нанокомпозита са основом од легура алуминијума. Показано је да се Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> наночестице могу унети у полуочврсли растоп легуре алуминијума А356 помоћу струје аргона, под притиском. У поступку добијање нанокомпозита са основом од легуре алуминијума А206 уведен је предпоступак који омогућава ефикасније уношење наночестица Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> у растоп легуре. Овај предпоступак представља механичко легирање праха алуминијума са Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> наночестицама и претходи вортекс поступку или компокастинг поступку. Током извођења наведених поступака механички легирана смеша уноси се у растоп основне легуре, уз мешање. Радови из области добијања нанокомпозита са основом од легура цинка су веома ретки, а једно од решења је уношење наночестица SiC у основну легуру цинка АС43А комплексним поступком који је обухватио примену ултразвучних вибрација и компокастинг поступак.

**Суштина техничког решења:** Претходно наведене поступке за уношење наночестица у растопе легура алуминијума, који су били примењивани у свету, није било могуће директно применити у случају синтезе нанокомпозита са основом од ZA-27 легуре. Разлог лежи у чињеници да се растопи и полуочврсли растопи легура алуминијума и легура цинка разликују (хемијски састав, вискозитет, температура), као и да током очвршћавања у основи нанокомпозита долази до различитих фазних трансформација. Да би се добили квалитетни нанокомпозити са основом од легуре цинка ZA-27 било је неопходно применити иновативне активности, како при дефинисању параметара механичког легирања (предпоступак), тако и при избору параметара компокастинг

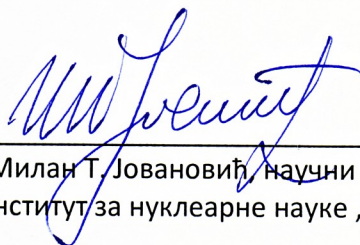
поступка. У оквиру предложеног техничког решења примењена је комбинација механичког легирања (предпоступак) и компокастинг поступка за добијање нанокомпозита, што је омогућило да се наведени проблеми при добијању нанокомпозита умање. Предпоступак се састоји од механичког легирања струготине легуре цинка ZA-27 са наночестицама  $Al_2O_3$  или SiC. Механичким легирањем добијена је смеша која се састоји од микрочестица легуре цинка ZA-27 обложених керамичким наночестицама. Ове микрочестице су унете у полуочврсли растоп основне ZA-27 легуре у првој фази компокастинг поступка. Током мешања полуочврсле нанокомполитне масе, микрочестице ZA-27 легуре су се истопиле, а тешко топиве керамичке наночестице остале су заробљене у вискозном полуочврслорастопу.

**Закључак и могућност примене техничког решења:** Приказано техничко решење представља нову технологију за добијање нанокомпозита са основом од легуре цинка ZA-27, уз додатак наночестица SiC или  $Al_2O_3$ . У оквиру предпоступка (механичко легирање) формиране су микрочестице смеше струготине од ZA-27 легуре и керамичких наночестица ојачивача. На тај начин омогућено је коришћење секундарне сировине (струготина ZA-27 легуре) за добијање нанокомпозита. Додавањем ових микрочестица у полуочврсли растоп основне легуре, током компокастинг поступка, створени су услови за смањење образовања великих кластера наночестица ојачивача и смањење лоше квашливости наночестица у растопу матричне легуре. Ово се повољно одразило на механичке карактеристике (тврдоћу и границу течења у условима притисних испитивања) новодобијених нанокомпозита које су за свих шест нанокомпозита боље у односу на основну ZA-27 легуру.

Формирана недендритна структура основе (добијена компокастинг поступком) омогућава да се за даље побољшање механичких карактеристика нанокомпозита примене поступци пластичне прераде (истискивање, ковање, ваљање), при чему нанокомполити могу бити у полуочврслор или у чврстом стању. Приказано техничко решење примењено је на лабораторијском нивоу. Прецизно дефинисани параметри предпоступка (механичко легирање) и компокастинг поступка омогућавају да се, уз извесне модификације, ово техничко решење примени и на полуиндустријском нивоу.

На основу свега наведеног сматрам да резултати приказани у предлогу техничког решења „Добијање нанокомпозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или  $Al_2O_3$  комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка“ могу да се прихвате као ново техничко решење категорије M82 (ново техничко решење техничко-технолошког процеса примењено на националном нивоу), пошто испуњава све услове прописане Прилогом 2. Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача.

У Београду, 05.11.2016. године



Др Милан Т. Јовановић, научни саветник у пензији  
Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд



**Predmet:** Primenljivost tehničkog rešenja „Dobijanje nanokompozita sa osnovom od legure cinka ZA-27 uz dodatak nanočestica SiC ili Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kombinacijom mehaničkog legiranja i kompokasting postupka“

Preduzeće „RAR d.o.o.“, proizvodi legure RAR 12 i RAR 27 iz sistema ZnAlCuMg, prema američkim standardima ASTM B669 i ASTM B791, koje na domaćem tržištu plasira pod nazivom „SRPSKA BRONZA“, jer su sve komponente za dobijanje ove legure domaćeg porekla. Ove legure imaju primenu kao materijal za klizne ležaje, klizne staze, pužne točkove i sl., odnosno u slučajevima kada se zahtevaju visoke mehaničke i tribološke karakteristike.

Preduzeće „RAR d.o.o.“ veliku pažnju posvećuje oblasti inovacija u smislu poboljšanja postojećih materijala, kao i unapređenju tehnologije dobijanja legura. Preduzeće je glavni participant na trenutno aktuelnom projektu tehnološkog razvoja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije TR 35021 „Razvoj triboloških mikro/nano dvokomponentnih i hibridnih samopodmazujućih kompozita“. Veoma uspešna saradnja sa Mašinskim fakultetom Univerziteta u Beogradu i Mašinskim fakultetom Univerziteta u Kragujevcu, kao i ostalim učesnicima na projektu, je rezultirala sa više tehničkih rešenja koja se primenjuju u preduzeću „RAR d.o.o.“.

Najnovije tehničko rešenje „Dobijanje nanokompozita sa osnovom od legure cinka ZA-27 uz dodatak nanočestica SiC ili Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kombinacijom mehaničkog legiranja i kompokasting postupka“ je nastalo kao rezultat spoja naučnog rada i niza eksperimentalnih istraživanja, od kojih su neka sprovedena u samom preduzeću. Postojeća tehnologija dobijanja nanokompozitnih materijala nije mogla da se uvede u serijsku proizvodnju zbog niza nedostataka vezanih za neravnomernost raspodele nanočestica, odnosno neuniformnosti strukture, mehaničkih i triboloških karakteristika. Zbog toga je na naš zahtev urađeno unapređenje tehnologije dobijanja nanokompozita (kompokasting postupak) uvođenjem odgovarajućeg predpostupka.

S obzirom na uspešnu primenu ovog tehnološkog rešenja na laboratorijskom nivou, rukovodstvo preduzeća „RAR d.o.o.“ će, u skladu sa sopstvenim potrebama i potrebama tržišta, doneti odluku o eventualnom pokretanju serijske proizvodnje ležaja izrađenih od nanokompozitnih materijala dobijenih unapređenom tehnologijom, što će ga svrstati u sastavni deo proizvodnog programa našeg preduzeća.

Beograd, 21.11.2016. godine



Direktor RAR doo

Dr Rato Ninković

**Р А Р** доо, СРБИЈА, 11273 БЕОГРАД, Босанске Крајине 22  
ПИБ 100011313 Тел : + 381 11 84 83 361, + 381 60 02 09 721  
[rarbronza@yahoo.com](mailto:rarbronza@yahoo.com)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 1830/3  
ДАТУМ: 02.12.2016.

На основу захтева ван. проф. др Александра Венцла бр. 1830/1 од 22.08.2016. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 01.12.2016. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Прихвата се Техничко решење (M82) под насловом: „**Добијање нанокомпозита са основом од легуре цинка ZA-27 уз додатак наночестица SiC или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> комбинацијом механичког легирања и компокастинг поступка**“ чији су аутори: др Александар Венцл, ван. проф. др Биљана Бобић, др Мирослав Бабић, др Јована Ружић, др Боре Јегдић и др Илија Бобић.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



Д Е К А Н  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

*Радивоје Митровић*  
Проф. др Радивоје Митровић