

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„Технолошки поступак добијања композита са основом од AlSi7Mg0.3 (A356) легуре уз додатак ситних честица Al₂O₃“

Подтип техничког решења – битно побољшана постојећа технологија

Аутори техничког решења

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

Наручилац техничког решења

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

Корисник техничког решења

- Предузеће „Петар Драпшин“, Младеновац
- Лабораторија за материјале, ИНН „Винча“

Година када је техничко решење урађено

- 2009.

Област технике на коју се техничко решење односи

- Материјали, Машинство

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Подеутектички силумин $AlSi7Mg0,3$ (у даљем тексту А356 легура) припада групи Al-Si легура за ливење које су у великој експанзији данас. А356 легура спада у класу легура чије се механичке особине могу значајно побољшати термичком обрадом. Режим термичке обраде Т6 који се примењује ради побољшања механичких карактеристика ове легуре део је укупне технологије комерцијалне производње одливака од А356 легуре. Када се узме у обзир њена мала специфична маса (око $2,7 \text{ g/cm}^3$) уз високу чврстоћу постигнуту применом термичке обраде постаје јасно зашто је ова легура конкурентна за израду машинских делова као што су нпр. клипови, па и блокови мотора.

Недостатак А356 легуре је њена лоша отпорност на хабање. Побољшање отпорности на хабање омогућило би простор за даље ширење њене употребе. Један од начина за побољшање отпорности А356 легуре на хабање (уз задржавање осталих повољних физичких и механичких особина) је израда композита, односно уношење честица ојачивача као што су Al_2O_3 , SiC и други у основу од наведене легуре.

На основу искустава у раду на изради композита са основом од легура цинка, аутори овог техничког решења пришли су решавању проблема добијања композита са основом од А356 легуре уз додатак честица Al_2O_3 . У случају А356 легуре, рад са крупним честицама Al_2O_3 није имао техничко оправдање због високих захтева за механичким особинама композита. Већ развијена технолошка варијанта компокастинг поступка, која је успешно примењена код добијања композита са основом од ZA27 легуре (уношење ситних честица Al_2O_3 у малим масеним уделима) у ламинарном режиму мешања, примењена је и за добијање композита са основом од А356 легуре. Успешно су израђени композити са основом од А356 легуре уз додатак 1, 2 и 3 мас. % Al_2O_3 честица, просечне величине од $12 \mu\text{m}$. Овако добијени композитни материјали су показали релативно добре механичке особине, када се пореде са основном А356 легуром, али њихове триболошке карактеристике су биле испод очекиваних и пожељних. Закључено је да је количина унетог ојачивача недовољна да изазове знатније побољшање триболошких особина композита. Први експерименти засновани на примени раније освојене варијанте компокастинг поступка, са инфилтрацијом 10 мас. % Al_2O_3 честица, просечне величине $2 \mu\text{m}$ и мешањем у ламинарном режиму нису дали жељени резултат, па се приступило тражењу бољег техничког решења везаног за технологију израде композита. Наиме, током мешања услед велике количина честица ојачивача дошло је до стварања „депова“ у зонама додира полуочврслог растопа и зида керамичког лонца које није било могуће размешати у ламинарном режиму. Продужавање времена мешања (које се избегава у раду са алуминијумским растопима због њиховог афинитета према водонику и оксидације) није много променило ситуацију. Са друге стране, неконтролисано повећање брзине обртања активног дела мешача доводило је до повећања центрифугалних сила и набацивања већег дела праха на зид лонца. Анализом рада других истраживача и додатним експериментима аутори су дошли до жељеног техничког решења које представља битно побољшање постојећег технолошког поступка. Ово техничко решење чине две основне технолошке допуне: увођење комбинације ламинарног и прелазног режима струјања и корекције геометријских параметара апаратурног решења. На тај начин обезбеђено је адекватно инфилтрирање честица ојачивача у полуочврсли растоп А356 легуре и успешно промешавање.

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

Основни проблем у фази осмишљавања овог техничког решења био је недоступност сличних техничких решења других аутора, инжењера комерцијалних произвођача сличних композитних материјала, који се производе техникама какве су компокастинг или „вортекс“ поступак нпр. Стога су аутори били принуђени да литературну подршку нађу у радовима објављеним у угледним међународним часописима.

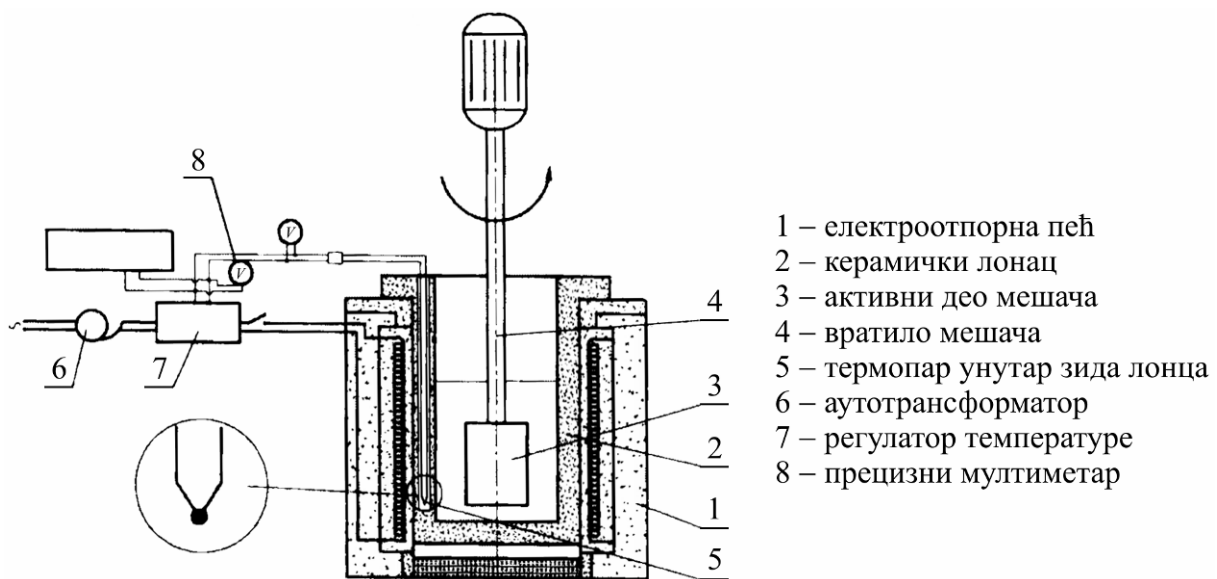
У раним радовима у оквиру компокастинг поступка примењеног у случају инфилтрације ситних честица ојачивача у полуочврсли растоп А356 легуре доминира ламинарни режим струјања. Проблем непотпуне инфилтрације је решаван вишеструким топљењем и мешањем полуочврслог композитног растопа [1,2]. Опште позната чињеница да ситне честице имају знатно већи афинитет ка међусобном спајању у односу на крупне честице представља озбиљан проблем приликом добијања композита са ситним честицама. Потребно је решити проблем дистрибуције честица ојачивача тако да се избегне ефекат прекидања граничне површине између ојачивача и основе (*debonding effect*), услед кога се значајно смањују механичке карактеристика композита. У немогућности да се нађу параметри који би омогућили да се током процеса врши деагломерација честица ојачивача, низ аутора је експериментално утврђивао утицај величина честица неког ојачивача на њихову расподелу у основној легури. На пример, ојачање Al-Mg легуре вршено је додавањем честица Al_2O_3 просечних величина у распону од 65 до 200 μm [3,4]. Примена интензивнијег мешања са могућношћу постизања равномерног распореда честица резултат је новијих истраживања у области ојачања легура алуминијума честицама Al_2O_3 [5] и SiC [6]. Ово је у складу са правцем наших истраживања која су условила израду нових техничких решења. Од највећег значаја за наше, како досадашње, тако и даље активности, су радови из области мешања примењени за потребе хемијске индустрије [7].

3. Суштина техничког решења

Техничко решење које ће детаљно бити описано у одељку 4, је побољшана варијанта компокастинг поступка која омогућује добијање композита са основом од А356 легуре уз додатак ситних честица ојачивача Al_2O_3 у количини од 10 и преко 10 мас. %. (аутори сматрају да се могу користити и други ојачивачи, по избору). Добијени композитни материјал одликује се побољшаним механичким и триболошким карактеристикама у односу на основну А356 легуру. Са процесне тачке гледишта, суштина техничког решења, које је омогућило добијање композита са побољшаним карактеристикама, јесте модификовање режима струјања полуочврслог растопа основне легуре. Задржано је ламинарно струјање у фазама реолошке обраде и инфилтрације честица ојачивача, а уведен је прелазни режим струјања у фази промешавања, у циљу постизања повољне дистрибуције честица ојачивача у основи. Поред тога, у односу на раније техничко решење, извршена је корекција растојања доње ивице активног дела мешача од дна керамичког лонца. Корекција овог геометријског параметра условила је појаву нових праваца струјања флуида што је значајно олакшало постизање добре дистрибуције честица ојачивача у основној легури, уз истовремено скраћење укупног времена трајања процеса.

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

За примену овог новог техничког решења коришћена је апаратура приказана на слици 1. Апаратура се састоји од процесног дела који чини електроотпорна лабораторијска пећ (1), са мобилним керамичким лонцем израђеним од алумине из више слојева (2), у чији зид је уграђен врх термопара хромел-алумел (5) за индикацију промене температуре током процеса. Мешач је конструкционо независан од пећи и његов активни део, плоча (3), се може унети по потреби у процесни простор пећи. Вршена је строга регулација температуре, тако што је регулатор (7) прихватао импулсе од термопара и према унапред задатим вредностима укључивао и искључивао пећ. Вршена је и додатна контрола температуре паралелно спојеним веома прецизним мултиметром (8) (*Keithly 177 Microvolt DMM*).



Слика 1. Шема апаратуре за извођење компокастинг поступка

Технолошка процедура за добијање композита обухватила је следеће активности: припрему полуочврслог растопа А356 легуре и честица ојачивача; кратку реолошку обраду припремљеног растопа; инфилтрацију честица ојачивача уз мешање; умешавање полуочврслог растопа композита ради постизања добре дистрибуције честица ојачивача; изливање и топло пресовање одливака – композита у циљу смањења порозности материјала [8].

Припрема полуочврслог растопа састојала се од шаржирања А356 легуре у предгрејани керамички лонац (око 700 °С). Легура је стопљена (температура топљења око 620 °С), а потом је растоп прегрејан до 650 °С (око 30 °С изнад ликвидус температуре) ради чишћења шљаке. После чишћења шљаке растоп је охлађен до 600 °С (33 мас. % чврсте фазе), то јест до радне температуре компокастинг поступка. При тој температури активни део мешача је уроњен у растоп. Активни део мешача је претходно држан у простору изнад растопа и на тај начин предгрејан. Овим се значајно скраћује подешавање температуре полуочврслог растопа у моменту урањања мешача. Честице Al_2O_3 су предгреване у сушници на 150 °С, да би се одстранила влага и умањило снижење температуре растопа у фази инфилтрације честица.

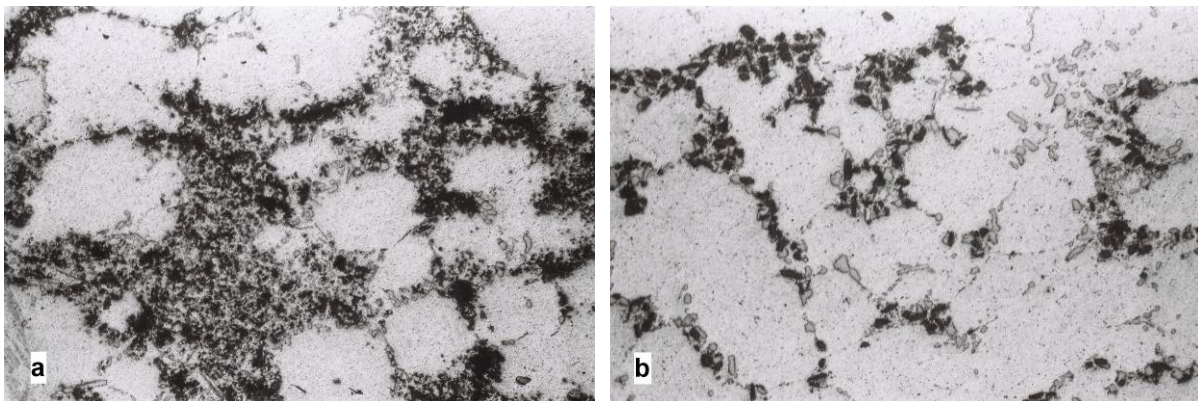
Кратка реолошка обрада полуочврслог растопа извршена је тако што је при задатој радној температури поступка (од 600 °С) вршено мешање полуочврслог растопа А356 легуре у току 5 минута, са учесталошћу обртања активног дела мешача од 500 o/min. Ово мешање је извршено како би се дендритна структура полуочврслог растопа трансформисала у претежно недендритну структуру и како би се олакшала инфилтрација честица ојачивача.

Инфилтрација 10 мас. % честица Al_2O_3 , независно од њихове величине (12 или 35 μm) извршена је за 7 минута, при учесталости обртања активног дела мешача од 500 o/min и при лаганом подизању температуре од 600 до 610 °С. По завршеној инфилтрацији честица ојачивача, повећана је брзина обртања активног дела мешача на 1000 o/min, и мешано је наредна 2 минута ради стабилизације система. После стабилизације система поново је повећана учесталост обртања активног дела мешача на 1500 o/min и мешање је настављено у току за наредних 5 минута.

По завршеном мешању растоп композита је охлађен на 590 °С и изливен је у челичну кокилу, која је претходно предгрејана на 500 °С у посебној електроотпорној пећи, где је извршено ручно пресовање одливка – композита.

Завршно топло пресовање изведено је у посебном алату на температури од 570 °С применом силе од 60 kN.

Резултати металографских испитивања приказани на слици 2 указују на чињеницу да је током компокастинг поступка инфилтрација честица ојачивача (у износу од 10 мас. %, независно од просечне величине честица) у основу А356 легуру изведена успешно. На слици 2 се такође може уочити утицај просечне величине честица на структуру добијених композитних материјала. Ситније честице Al_2O_3 (од 12 μm) показују већу склоност према стварању накупина (сл. 2а) у односу на крупније честице (од 35 μm), чији је распоред у основи композита приказан на слици 2б. Код ситнијих честица је примећена појава формирања накупина са доста граничних површина између честица ојачивача (што је неповољно), док је код крупнијих честица уочена много повољнија веза у оквиру накупина, где се честице везују за основу тзв. појава непрекидности граничних површина. Иста појава је примећена и ван накупина.



Слика 2. Микроструктура (снимљена са ОМ) полираних површина композитних материјала са основом од А356 легуре добијених компокастинг поступком: а) композит са 10 мас. % честица Al_2O_3 величине 12 μm и б) композит са 10 мас. % честица Al_2O_3 величине 35 μm

Прегледом измерених тврдоћа композита са основом од А356 легуре уз додатак 10 мас. % честица Al_2O_3 величина 12 и 35 μm (Табела 1) може се видети да је инфилтрацијом ситнијих честица ојачивача добијен композит мање тврдоће у односу на композит који садржи крупније честице, што је у складу са микроструктуром добијених композитних материјала. Тврдоће оба композита веће су од тврдоће основне А356 легуре.

Табела 1. Упоредне вредности тврдоћа основне А356 легуре и композитних материјала са основом од исте легуре, ојачаном честицама Al_2O_3 различите величине [8,9]

Материјал	Тврдоћа, HV 10	Микротврдоћа, HV 0,05
Основна А356 легура	80 ¹⁾	70
Композит са 10 мас. % Al_2O_3 (12 μm)	73,41	95
Композит са 10 мас. % Al_2O_3 (35 μm)	106,85	120

¹⁾ НВ 5/250/30

На основу приказаних резултата структурних, механичких и триболошких испитивања може се констатовати да је технолошко побољшање компокастинг поступка у циљу добијања композита са ситним честицама ојачивача резултирало успешном инфилтрацијом 10 мас. % честица Al_2O_3 (величине 12 и 35 μm) у основу од А356 легуре, односно општим побољшањем квалитета добијених композитних материјала. Резултати триболошких испитивања композитних материјала са 10 мас. % честица Al_2O_3 (величине 12 и 35 μm) указују на знатно смањење триболошких губитака, како директних тако и индиректних, а пре свега на смањење губитака материјала услед хабања. Њиховом применом је могуће остварити уштеде чији ефекти могу бити значајни. Оба композитна материјала су поређена са основном легуром и са сивим ливом. Побољшања у односу на основну А356 легуру су скоро за два реда величине [9], а применом композита са 10 мас. % Al_2O_3 (величине 12 μm) као замене за сиви лив је само смањењем хабања могуће остварити уштеде у материјалу од око 60 % [10]. Треба нагласити да је код композита ова уштеда могућа само код система код којих је абразија слабо изражена и представља пратећи механизам хабања [11].

5. Литература

- [1] D.B. Spencer, R. Mehrabian, M.C. Flemings, Rheological behavior of Sn-15 pct Pb in the crystallization range, Metallurgical and Materials Transactions B 3 (1972) 1925-1932.
- [2] M.C. Flemings, Behavior of metal alloys in the semisolid state, Metallurgical and Materials Transactions A 22 (1991) 957-981.
- [3] P. Ghosh, S. Ray, Effect of mixing parameters on the microstructure of compocast Al(Mg)- Al_2O_3 particulate composite, Zeitschrift für Metallkunde 80 (1989) 53-59.
- [4] P. K. Ghosh, S. Ray, AFS Transactions 96 (1988) 775-782.
- [5] S.-N. Chou, H.-H. Lu, D.-F. Lii, J.-L. Huang, Processing and physical properties of Al_2O_3 /aluminum alloy composites, Ceramics International 35 (2009) 7-12.
- [6] 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.
- [7] S. Nagata, *Mixing: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, New York (1975).

- [8] **A. Vencl**, *Истраживање могућности побољшања триболошких карактеристика Al-Si легура у условима клизања*, докторска дисертација, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд (2008).
- [9] **A. Vencl**, **I. Bobić**, M.T. Jovanović, **M. Babić**, **S. Mitrović**, Microstructural and tribological properties of A356 Al-Si alloy reinforced with Al₂O₃ particles, *Tribology Letters* 32 (2008) 159-170.
- [10] **A. Vencl**, **I. Bobić**, Tribological properties of A356 Al-Si alloy base composite reinforced with Al₂O₃ particles (MMC), у: *Proceedings of the 5th Congress of the Metallurgists of Macedonia*, Ohrid (2008), M8–07-E.
- [11] **A. Vencl**, N. Manić, V. Popovic, M. Mrdak, Possibility of the abrasive wear resistance determination with scratch tester, *Tribology Letters* 37 (2010) 591-604.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу бр. 01-1/1128-14 од 22.04. 2010. именовани смо за рецензенте техничког решења „Технолошки поступак добијања композита са основом од $Al_7Si_{0,03}Mg$ (A356) легуре уз додатак ситних честица Al_2O_3 “ аутора:

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

На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Технолошки поступак добијања композита са основом од $Al_7Si_{0,03}Mg$ (A356) легуре уз додатак ситних честица Al_2O_3 “ аутора Др Илија Бобић, Др Александар Венцл, Др Мирослав Бабић, Др Слободан Митровић, Мр Биљана Бобић, реализовано 2009. године, приказано је на 9 страница формата А4, писаних ћиричним 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 и Машинство.

Наручилац техничког решења 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_2O_3 Particles", Tribology Letters 32 (2008) 173-184

Примена предложеног техничког решења очекивана је у предузећу „Петар Драпшин“, Младеновац (домаћа индустрија). За сада се примењује у Лабораторији за материјале у ИНН „Винча“ на лабораторијском нивоу, у циљу даљих истраживања.

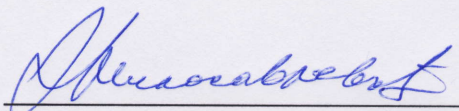
МИШЉЕЊЕ

На основу проученог текста техничког решења под називом „Технолошки поступак добијања композита са основом од $Al_7Si_0,03Mg$ (A356) легуре уз додатак ситних честица Al_2O_3 “ аутора: Др Илија Бобић, Др Александар Венцл, Др Мирослав Бабић, Др Слободан Митровић, Мр Биљана Бобић, може се констатовати следеће:

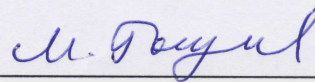
1. Техничко решење је настало као резултат континуираног рада на проблемима добијања композитних материјала који поред триболошких имају и побољшане механичке особине у односу на основну легуру.
2. Основна идеја техничког решења јасно је приказана у тексту. Треба истаћи да је предложено техничко решење, односно побољшање технолошког поступка, настало као резултат превазилажења недостатака ранијег техничког решења. Технолошко побољшање – техничко решење детаљно је приказано, тако да се може једноставно проверити и применити. Ваљаност овог техничког решења потврђена је металографском, механичком и триболошком карактеризацијом композитних материјала који су произведени применом побољшаног технолошког поступка – техничког решења.

На основу изложеног, предлажемо да се предложено техничко решење „Технолошки поступак добијања композита са основом од $Al_7Si_0,03Mg$ (A356) легуре уз додатак ситних честица Al_2O_3 “ прихвати као ново техничко решење (битно побољшана технологија).

14.05. 2010, у Крагујевцу



Проф. др Драган Милосављевић
Машински факултет, Крагујевац



Проф. др Миломир Гашић
Машински факултет, Краљево



Универзитет у Крагујевцу
Машински факултет у Крагујевцу
Број : ТР-06/2010
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 „Технолошки поступак добијања композита са основом од $AlSi7Mg0.3$ (A356) легуре уз додатак ситних честица Al_2O_3 “, аутора Др Илије Бобића, Др Александра Венцла, Др Мирослава Бабића, Др Слободана Митровића и Мр Биљане Бобић.

Решење припада класи **M84**, 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 Драган Милосављевић, ред. проф., Машински факултет у Крагујевцу
2. Др Миломир Гашић, ред. проф., Машински факултет Краљево

Достављено:
Ауторима
Архиви

ДЕКАН МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Др Мирослав Бабић, ред. проф.

