

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

назив решења:

„Технолошки поступак добијања двојног хибридног композита са основом од А356 легуре алуминијума уз додатак 10 мас. % честица SiC и 1 мас. % честица графита“

(Подгрупа техничког решења – битно побољшан постојећи производ или технологија)

Аутори техничког решења:

1. Др Илија Бобић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
2. Др Александар Венцл, доцент, Машински факултет Универзитета у Београду
3. Др Мирослав Бабић, редовни професор, Машински факултет Универзитета у Крагујевцу
4. Др Слободан Митровић, доцент, Машински факултет Универзитета у Крагујевцу
5. Мр Биљана Бобић, истраживач сарадник, Истраживачко-развојни центар ИХИС Техно експертс, Београд

Наручилац техничког решења:

- Пројекат ТР-35021: „Развој триболошких микро/нано двокомпонентних и хибридних самоподмазујућих композита“

Корисник техничког решења:

- Предузеће „РАР“, Батајница
- Лабораторија за материјале, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Година када је техничко решење урађено:

- 2011.

Област технике на коју се техничко решење односи:

- Материјали, Машинство, Ливарство

1. Увод

У данашње доба човечанство све више увиђа неопходност очувања и заштите животне средине, као и штедње енергије, тако да ниједна грана индустрије није изузета при решавању ових проблема. Значајан допринос овим тенденцијама дају и побољшани материјали и улагања у њихов развој су велика, а испитивања у тој области су многобројна, укључујући ту као значајна експлоатациона својства – триболошке карактеристике материјала. Повећано коришћење композитних материјала (композита) је, пре свега, условљено њиховим физичко-механичким и триболошким својствима која су боља у поређењу са својствима основе. У оквиру групе композитних материјала са металном основом, композити на бази алуминијума су највише заступљени. Алуминијум има релативно малу густину, добру топлотну проводљивост и отпорност на корозију, а могућности рециклаже алуминијума са такође добре.

Хибридни композити су композити код којих постоје две или више врста или облика ојачивача и/или побољшивача. Најчешће коришћени ојачивач код композита на бази алуминијума је силицијум-карбид (SiC), а побољшивач (пре свега карактеристика трења) је графит. Својства композита у великој мери зависе од облика, димензија и процентуалног садржаја ојачивача односно побољшивача, као и примењене технологије добијања композита.

Постоји више технологија производње композитних материјала са металном основом, а најчешће су: технологија металургије праха или нека од технологија ингот металургије (ливењем). Ливење у полуочврслом стању је једна од технологија која се примењује за добијање композита. Оно може да се јави у две варијанте: као реокастинг поступак и као поступак тиксоливења. Обе варијанте се могу применити за производњу композита и тада говоримо о компокастинг поступку. Овај поступак спада у групу технологија код којих се врши прерада надеутектичких и подеутектичких легура у полуочврслом стању.

2. Опис проблема који се решава техничким решењем

Намена овог техничког решења је да омогући добијање композита са основом од А356 легуре алуминијума уз додатак честица SiC , као и додатак честица SiC и графита заједно (двојни хибридни композит). Као технологија за добијање ових композита одабран је компокастинг поступак односно модификована варијанта овог поступка (битно побољшан постојећи производ или технологија). Са становишта самих материјала основни циљ је да се добију композити побољшаних механичких и триболошких карактеристика у односу на основну А356 легуру.

А356 легура је легура алуминијума са силицијумом уз додатак мале количине магнезијума, предвиђена за ливење. Широко је примењена у аутомобилској и авионској индустрији. Одликује се одличном ливкошћу и отпорношћу на корозију. Термичком обрадом, посебно Т6 режимом термичке обраде значајно се побољшавају њене механичке карактеристике [1]. Ово условљава стално ширење њене примене, посебно у аутомобилској индустрији где се користи као замена за челик и ливено гвожђе [2]. У циљу побољшања отпорности на хабање овој легури се често додају разни ојачивачи – керамичке честице и влакна SiC , Al_2O_3 и други [3-5]. Такође, у новије време експериментално се додаје графит [6].

Као што је већ поменуто, ово техничко решење је у ствари модификована варијанта компокастинг поступка. У најопштијем, предности компокастинг поступка у односу на друге поступке добијања композита у области ингот металургије су следеће:

- Честице ојачивача се релативно лако инфилтрирају, практично заробљавају. Овим се избегава решавање проблема квашљивости на граници основе и

ојачивача, који је један од највећих проблема у поступцима инфилтрације честица када је основна легура у течном стању [7];

- Трошкови (цена израде композита) су нижи [8];
- Погодном комбинацијом параметара мешања полуочврслог растопа са инфилтрираним честицама, могуће је постићи повољну расподелу честица ојачивача у основи композита и на тај начин утицати на његове механичке особине;
- Будући да се компокастинг поступком могу произвести композитни материјали у облику тзв. тиксоингота, овај поступак је могуће користити и као предпоступак за добијање полупроизвода који накнадно могу бити прерађени применом технологија као што су ливење гњечењем, ливење мешањем [4], ваљање, ковање или пресовање [9].

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

Основни проблем који је условио потребу израде овог техничког решења је био недостатак релевантних информација и резултата о процесном делу компокастинг поступка, тј. о начину инфилтрације честица графита. О начину инфилтрације честица SiC се може наћи доста података у стручној литератури, међутим технолошки подаци, од познатих произвођача композита сличног састава (нпр. *Alcoa* из САД), за масе веће од уобичајених лабораторијских (до 1 kg) нису били доступни.

У лабораторијама у свету се, у раним експериментима добијања композита са основом од А356 легуре уз додатак честица SiC величине до 40 μm компокастинг поступком, инфилтрација честица ојачивача изводила њиховим насипањем у полуочврсли растоп А356 легуре уз мешање у ламинарном режиму струјања. Проблем незадовољавајуће расподеле честица SiC у основној легури решаван је вишеструким топљењем са накнадним мешањем полуочврслог композитног растопа [10,11].

У новије време, примена интензивнијег мешања са могућношћу постизања равномерног распореда честица SiC у основној легури [12] је утицала на дефинисање правца наших даљих истраживања, како у делу добијања класичних тако и у делу добијања хибридних композита. За даљи развој ове активности неопходан је напредак у решавању технолошких проблема у виду нових техничких решења. У нашем случају неопходно је модификовати компокастинг поступак ради добијања двојних хибридних композита. Поред тога од највећег значаја за наше досадашње и будуће активности су радови из области мешања примењени за потребе хемијске индустрије [13].

4. Суштина техничког решења

Добијање композита са основом од А356 легуре уз додатак 10 мас. % SiC извршен је скоро у потпуности у складу са претходним техничким решењем [14], чији су резултати верификовани у стручној литератури [15]. Међутим, покушаји добијања двојних хибридних композита према наведеном техничком решењу нису дали задовољавајуће резултате. Основни проблем који се при тим покушајима јавио се односио на потешкоће приликом инфилтрације честица графита у полуочврсли растоп А356 легуре. Разлога за те потешкоће има више, а најважнији су:

- специфична тежина графита је мања од специфичне тежине А356 легуре алуминијума;
- већ на температурама преко 400 °C графит показује тенденцију ка оксидацији, што практично значи да његов масени удео није могуће контролисати;
- појава „прљања“ графитом полуочврслог растопа основне легуре (односно полуочврслог растопа композита након инфилтрације). Током инфилтрације,

део графита који није „увучен“ унутар полуочврслог растопа (било због утицаја конвективних струја, било због тога што као лакши остане на површини) може да се веже за део оксидног филма, кога у мањој или већој мери увек има на површини растопа легуре. Таква накупина током фазе мешања (ради постизања добре расподеле честица) може да се увуче унутар композитне масе и остане као укључак. Ово је отежано чињеницом да стварање ових укључака није могуће контролисати.

У конкретном случају инфилтрације графита, након извршене инфилтрације честица SiC, с обзиром на чињеницу да је радна температура полуочврслог растопа A356 легуре била од 610 до 620 °C, долазило је до паљења дела честица графита, као и губитка графитног праха услед конвективних струјања која се јављају изнад површине растопа A356 легуре. Резултати прелиминарних металографских испитивања су указали на чињеницу да честице графита нису биле равномерно и у довољном обиму распоређене у структури основне A356 легуре.

Све претходно наведено указује на потребу модификације компокастинг поступка у делу инфилтрације честица, без знатније измене осталих параметара поступка, детаљно описаних и приказаних у претходним извештајима [14,15], што је захтевало побољшање постојећег техничког решења [14] у оквиру његовог технолошког дела. Битна новина је мешање честица SiC и честица графита у посебном суду са циљем добијања хомогене смеше. На тај начин је олакшано уношење секундарних фаза (честица SiC и честица графита) у полуочврсли растоп основне A356 легуре, значајно су смањени губици честица графита и омогућена је контрола удела секундарних фаза.

Ово техничко решење (које ће накнадно бити детаљно описано) омогућује добијање, пре свега, хибридних (у конкретном случају двојних) композита са основом од A356 легуре уз додатак честица SiC, као ојачивача, у количини од 10 мас. % и честица графита, као побољшивача, у количини од 1 мас. %. Као резултат примењеног техничког решења добијен је двојни хибридни композит претходно наведеног састава. Класични композит (основна A356 легура са 10 мас. % SiC), је такође израђен, а према претходном технолошком решењу [14], да би смо могли да упоређујемо његове карактеристике са карактеристикама новодобијеног хибридног композита.

На основу резултата металографских, механичких и триболошких испитивања установљено је да је добијен двојни хибридни композит са веома повољном комбинацијом структурних, механичких и триболошких карактеристика (детаљно у одељку 5), а добијени резултати су, у облику рада, штампани у угледном међународном часопису „Journal of Alloys and Compounds“ [16], односно презентовани на међународној изложби „Проналазаштво-Београд 2011“ [17].

5. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће слике и техничке цртеже)

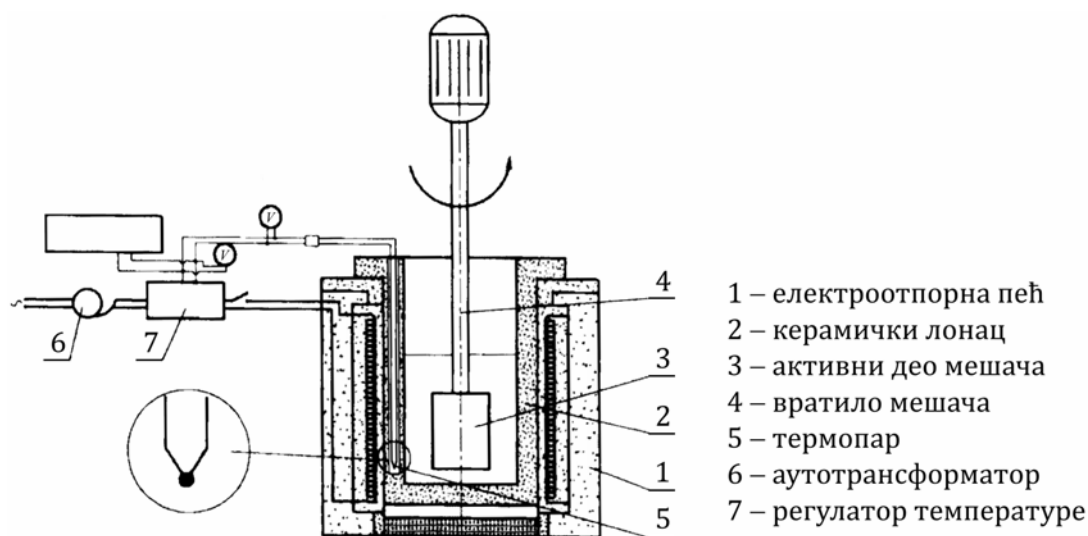
Као основа за добијање композита коришћена је подеутектичка Al-Si легура EN AlSi7Mg0,3 (A356 легура) хемијског састава датог у табели 1.

Табела 1: Хемијски састав (мас. %) A356 легуре

Елемент	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Ni	Ti	Al
Проценат	7,20	0,02	0,29	0,01	0,18	0,01	0,02	0,11	остатак

Композити су добијени компокастинг поступком (инфилтрацијом честица ојачивача у полуочврсли растоп A356 легуре) применом лабораторијске опреме приказане на слици 1, која се састојала од процесног дела (1 – 4) и дела за мерење и

регулацију температуре (5 – 8). Керамички лонац (2) је био израђен од алумине из више слојева [18]. Детаљнији опис саме апаратуре је дат на другом месту [14,15].



Слика 1: Шема апаратуре за извођење компокастинг поступка

Припрема материјала се састојала од хемијског чишћења основе (A356 легуре), њеног уношења у претходно предгрејани лонац електроотпорне пећи, топљења и прегревања до 650 °C (област течне фазе) ради чишћења шљаке. У циљу добијања двојног хибридног композита (A356 легура + 10 мас. % SiC + 1 мас. % графита) одмерене количине прахова SiC и графита су претходно добро промешане у чврстом стању, предгрејане на 150 °C и након тога коришћене у процесу инфилтрације. Средња вредност пречника честица SiC је била 39 μm , а честица графита 35 μm . Припрема полуочврслог растопа се састојала од хлађења растопа A356 легуре до радне температуре (температурног опсега) планиране за извођење компокастинг поступка ($600 \pm 3^\circ\text{C}$, односно 33 мас. % чврсте фазе). По достизању ове температуре њена вредност је одржавана сталном (помоћу регулатора температуре) око 10 минута пре почетка инфилтрације и касније током самог процеса инфилтрације. Пре процеса инфилтрације у полуочврсли растоп је унет плочасти мешач и извршено је изотермско мешање (на 600 °C) у трајању од 5 минута, са брзином обртања мешача од 500 o/min. Изотермско мешање је извршено у циљу разбијања дендритне структуре која је настала током хлађења растопа и олакшавања процеса инфилтрације.

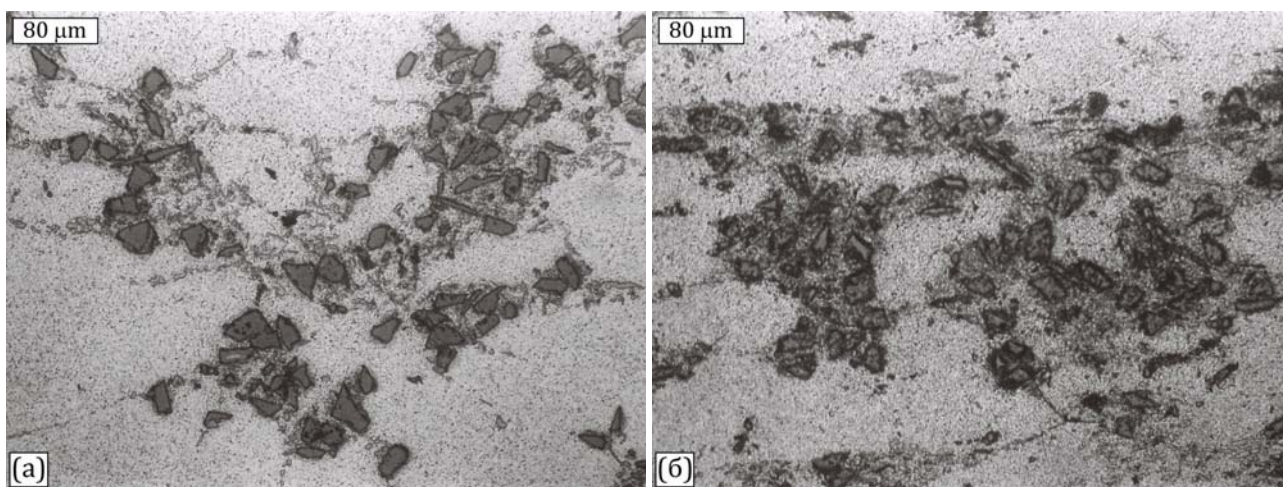
За оба композита инфилтрација је обављена за време од 7 минута континуираним дозирањем честица у зону уз вратило мешача, при брзини обртања мешача од 500 o/min. У овој фази је са повећањем количине честица температура лагано дизана до 610 °C у циљу олакшавања инфилтрације, будући да се са додатком честица (секундарна фаза) повећавао вискозитет полуочврслог растопа основе. Након инфилтрације честица извршено је мешање у две етапе. Прва (краћа) етапа је служила за стабилизовање процеса и трајала је 2 минута, при брзини обртања мешача од 1000 o/min. За време трајања ове етапе температура полуочврслог растопа је враћена на 600 °C. Друга (дужа) етапа у трајању од 5 минута извршена је са брзином обртања мешача од 1500 o/min у изотермном режиму, при температури од $600 \pm 3^\circ\text{C}$. Ливење полуочврслих растопа извршено је челичну кокилу предгрејану на 500 °C. На тај начин добијени су призматични одливци композита димензија 20 × 30 × 100 mm. Из ових одливака су машински израђени мањи призматични узорци димензија 7 × 7 × 30 mm који су затим топло пресовани у специјалном алату [15] на температури од 570 °C са примењеном силом од 60 kN. На овај начин добијени су ваљци пречника 6 mm и висине 20 mm који су затим машинском обрадом сведени на пречник од 5 mm и као такви

коришћени за триболошка испитивања. Из истих узорака машински су израђени узорци за структурна испитивања и узорци за мерење тврдоће.

У делу термичке обраде, примењен је комерцијални поступак Т6 који се састојао од растварајућег жарења на 540 °C (6 часова), каљења у води и старења на температури од 160 °C за време од 6 часова.

На слици 2а приказан је општи изглед структуре класичног композита (A356 легура + 10 мас. % SiC), величине честица SiC око 40 µm. Накупине честица ојачивача су типа II [19]. Уочава се да је основа добро попуњена честицама ојачивача односно да је смањена површина основе без честица, што указује на доста повољну расподелу честица SiC у основној A356 легури. Може се оправдано претпоставити да су се честице SiC током мешања, поред течне фазе, распоредиле и у област чврсте фазе полуочврслог растопа. По престанку мешања, ове честице су остале „заробљене“ у обе фазе. На основу слике 2а може се констатовати да, на овом нивоу испитивања, није уочена појава прекида граничне површине. Поред тога, у околини честица SiC, видљиве су и нодуле силицијума.

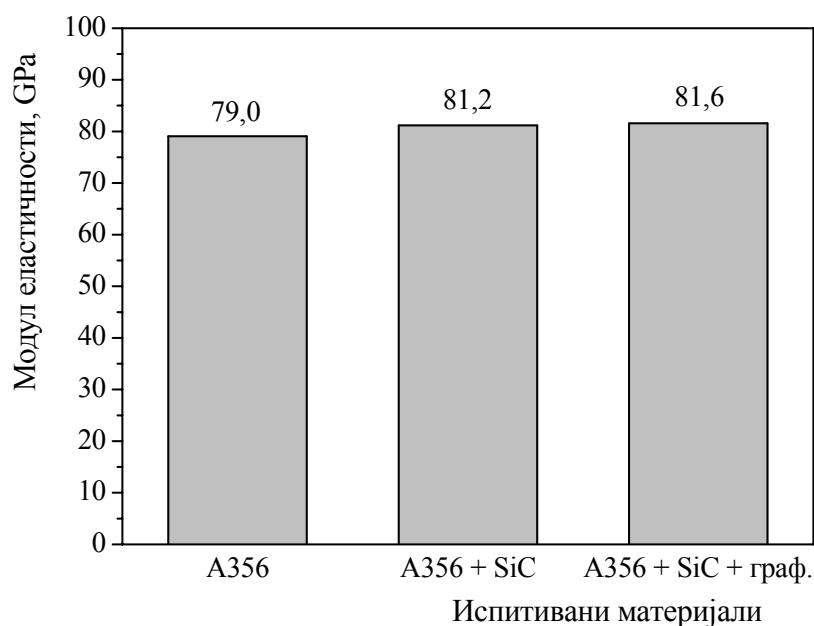
Структура хибридног композита (A356 легура + 10 мас. % SiC + 1 мас. % графита), приказана је на слици 2б. Може се видети да је ова структура слична структури класичног композита (сл. 2а). Меке честице графита нису задржале своју просечну величину (35 µm) током поступка добијања композита. Наиме, у процесу припреме (мешање са честицама SiC) дошло је до њихове ерозије и уситњавања. Ерозија ових честица је настављена при мешању током компокастинг поступка (судари са честицама SiC, честицама α фазе, активним делом мешача и зидом лонца). На слици 2б се могу уочити и крупније и ситније честице графита, као и слојеви графита.



Слика 2: Структура добијених композита (ОМ): (а) класични композит (A356 + SiC) и (б) хибридни композит (A356 + SiC + графит); приказани узорци су нагризани Келеровим (Keller) раствором (95 % H₂O + 2,5 % HNO₃ + 1,5 % HCl + 1 % HF)

Вредности добијених модула еластичности за испитиване материјале приказане су на слици 3. Анализом резултата модула еластичности се може видети да је инфилтрацијом честица ојачивача дошло до промена вредности модула еластичности композита у односу на основну легуру. Највише вредности модула еластичности показује хибридни композит (A356 + SiC + графит), затим класични композит (A356 + SiC), док је основна A356 легура, показала најнижу вредност модула еластичности. Ови резултати указују на чињеницу да је дошло до промене једне од основних карактеристика материјала – модула еластичности, који иначе зависи од јачине унутрашњих веза између атома самог материјала [20].

Механичке карактеристике везане за еластично-пластично понашање испитиваних материјала (границе течења и тврдоће) приказане су у табели 2. Прегледом табеле



Слика 3: Упоредне вредности модула еластичности испитиваних материјала: основне легуре (A356), класичног композита (A356 + SiC) и хибридног композита (A356 + SiC + графит)

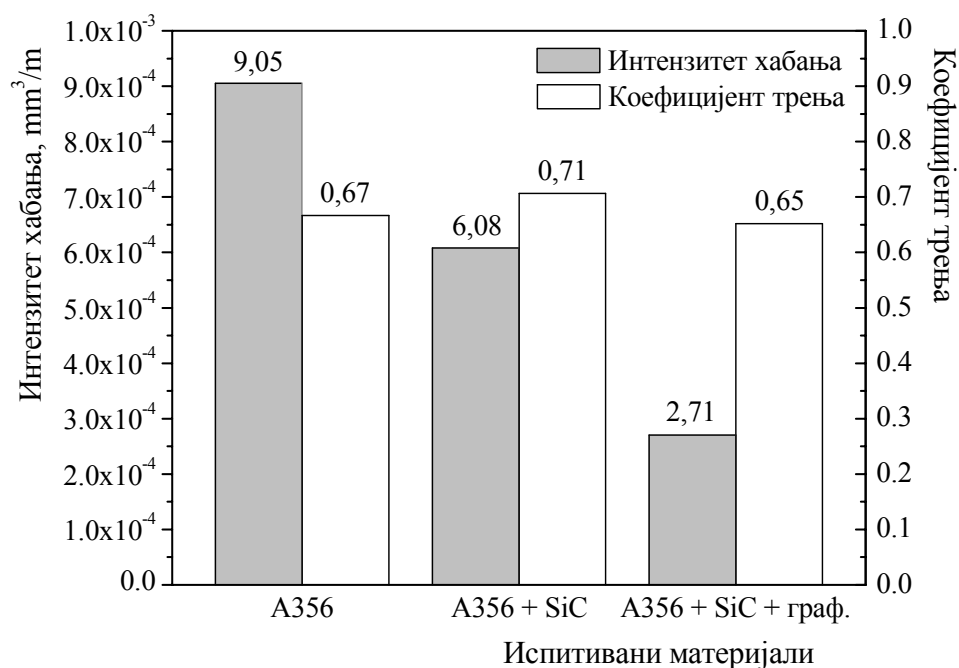
може се видети да распоред честица ојачивача, као и додатак графита, има знатно већи утицај на понашање материјала у области пластичне деформације него на понашање у области еластичне деформације. Додатком само честица SiC се уочава значајнији пораст тврдоће и напона на граници течења, док се са додатком честица SiC и графита заједно, наведене механичке карактеристике погоршавају.

Табела 2: Механичке карактеристике основне A356 легуре и добијених композита

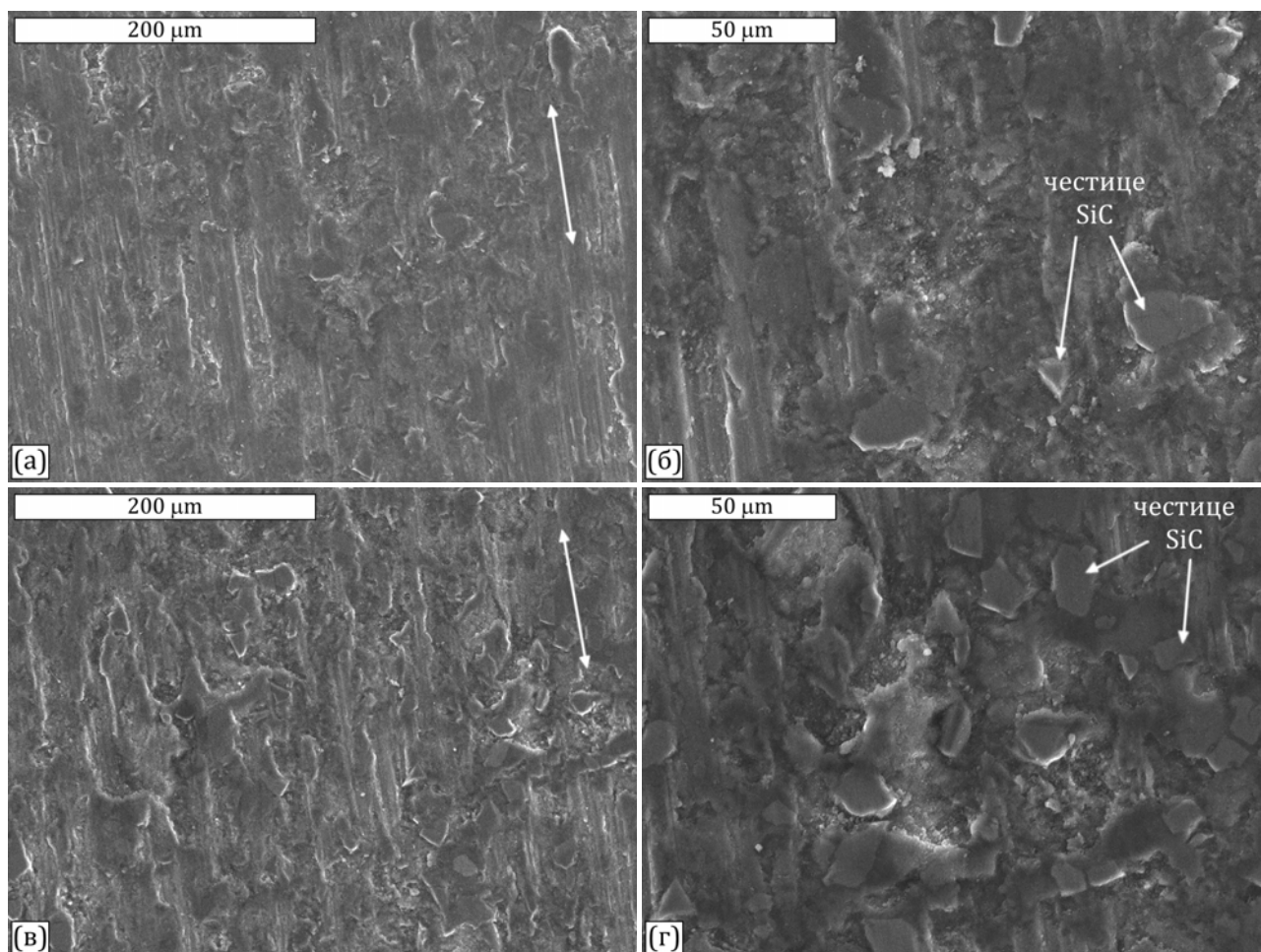
Материјал	Микротврдоћа (HV _{0,3})	Напон на граници течења (R _{p0,2}), МПа
A356 легура	65,8	190
Класични композит (A356 + SiC)	82,8	198
Хибридни композит (A356 + SiC + графит)	62,1	170

Будући да је намена и циљ овог техничког решења добијање двојног хибридног композита са добрим односом механичких и триболошки особина, резултати триболошких испитивања су ти који би требало да потврде сврсисходност производње и примене добијеног композита. Резултати испитивања триболошких карактеристика су упоређени са основном легуром (A356) и са композитом без графита – класичним композитом (A356 + SiC) и приказани су на слици 4.

Добијени интензитети хабања основне легуре (A356) и класичног композита (A356 + SiC) су били у корелацији са вредностима тврдоћа ових материјала, док је хибридни композит (A356 + SiC + графит) показао знатно мањи интензитет хабања у односу на очекивану вредност (имајући у виду вредност тврдоће сличну основној легури). Ово је посебно занимљиво с обзиром да је проценат графита у овом двојном композиту био мали (само 1 мас. %). Поједини аутори су дошли до сличних резултата са незнатно већим садржајем графита (3 %) у двојном композиту [21]. Овакви резултати се објашњавају на следећи начин: током клизања и уходавања долази до лома честица SiC, које су велике тврдоће (веће и од основног материјала и од спрегнутог материјала), а налазе се на самој површини материјала. Тако формирани делићи делују као абразионо средство (абразија три тела). У делу композита где се налази графит делићи SiC бивају



Слика 4: Интензитети хабања и коефицијенти трења испитиваних материјала: основне легуре (A356), класичног композита (A356 + SiC) и хибридног композита (A356 + SiC + графит); вредности коефицијента трења су дате за стационарни период (после 300 m)



Слика 5: Изглед похабаних површина добијених композита (СЕМ): (а) и (б) класични композит (A356 + SiC) и (в) и (г) хибридни композит (A356 + SiC + графит); правци клизања су означени двоструким стрелицама

знатно лакше утиснути у композит истискујући га на површину. Овим се истовремено смањују интензитет хабања и коефицијент трења, с обзиром да се истиснути графит даље „размазује“ по површини и делује као чврсто мазиво. Ови резултати су потврђени и анализом похабаних површина помоћу скенирајућег електронског микроскопа (сл. 5). У складу са претходно поменутом тврдњом су и добијени резултати коефицијента трења (сл. 4), чија вредност је била најнижа управо за двојни хибридни композит (A356 + SiC + графит).

6. Закључак и могућност примене техничког решења

Стратегијом научног и технолошког развоја Републике Србије за период од 2010. до 2015. године, нови материјали су идентификовани као један од седам националних приоритета. У истом документу се између осталог наводи и следеће (стр. 27): „Основни циљеви истраживања у области савремених материјала односе се на разумевање корелације између синтезе, процесирања и карактеристика материјала, као и опис структуре материјала, састава и својстава на атомском, молекуларном, микроскопском и макроскопском нивоу. Материјали имају мултидисциплинарни аспект и захтевају истраживања из области физике, хемије, математике, инжењерства, а најзначајнији изазови се налазе на границама основних области. Основни правци развоја савремених материјала су:

- иновативна примена постојећих материјала која треба да се базира на добром познавању структуре и својстава материјала и експлоатационих захтева;
- ...“

Предложеним техничким решењем се описује технологија добијања нових материјала – композита (класичног и хибридног) који показују знатно боље карактеристике у односу на основну легуру. Такође је извршена и приказана карактеризација нових материјала (структурна, механичка и триболошка), односно успостављена је веза између процесних и експлоатационих карактеристика. Део резултата из ових активности објављен је у угледном међународном часопису „Journal of Alloys and Compounds“ [16].

Како се из текста може јасно видети, приказано техничко решење примењено је на лабораторијском нивоу. Са друге стране, анализа сарадње институти – привредни субјекти у развоју нових технологија у развијеним земљама (нпр. „МИТ“ са разним привредним субјектима у САД, немачки институти са националном привредом, итд.) указује на чињеницу да је пре увођења неке нове технологије (али и значајније измене постојеће) уобичајена пракса да се прво израде математички и физички модели планираног технолошког поступка у институтима, а тек након тога да се изврши пренос лабораторијских модела на виши (индустријски) ниво. У том смислу, изложено техничко решење нуди параметре процеса са карактеристикама добијених материјала као доказом ваљаности тог поступка, односно нуди основ за пренос технологије са лабораторијског нивоа на полуиндустријски ниво (у овој фази развоја). У даљем развоју приказане технологије неопходна је сарадња стручњака више техничких профила (технолози и машински и електро инжењери) у смеру избора или пројектовања потребне опреме и увођења аутоматске регулације целог процеса тј. технологије.

7. Литература

- [1] A. Kearney, E.L. Rooy (Rev.): Aluminum foundry products, у: ASM Handbook, vol. 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM International, Metals Park, 1990, 123-151.

- [2] **A. Vencľ**, A. Rac, **I. Bobić**: Tribological behaviour of Al-based MMCs and their application in automotive industry, *Tribology in Industry*, 26, 3-4, 2004, 31-38.
- [3] P. Rohatgi: Cast aluminum-matrix composites for automotive applications, *JOM*, 42, 4, 1991, 10-15.
- [4] H. Ribes, M. Suery: Effect of particle oxidation on age hardening of Al-Si-Mg/SiC composites, *Scripta Metallurgica*, 23, 5, 1989, 705-709.
- [5] A. Daoud, W. Reif: Influence of Al₂O₃ particulate on the aging response of A356 Al-based composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 123, 2, 2002, 313-318.
- [6] J.B. Yang, C.B. Lin, T.C. Wang, H.Y. Chu: The tribological characteristics of A356.2Al alloy/Gr_(p) composites, *Wear*, 257, 9-10, 2004, 941-952.
- [7] S. Naher, D. Brabazon, L. Looney: Simulation of the stir casting process, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 2003, 567-571.
- [8] M. Rosso: Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties, *Journal of Materials Processing Technology*, 175, 1-3, 2006, 364-375.
- [9] R. Rahmani Fard, F. Akhlaghi: Effect of extrusion temperature on the microstructure and porosity of A356-SiCp composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188, 2007, 433-436.
- [10] 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, 7, 1972, 1925-1932.
- [11] M.C. Flemings: Behavior of metal alloys in the semisolid state, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 22, 5, 1991, 957-981.
- [12] 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, 2, 2009, 144-151.
- [13] S. Nagata: *Mixing: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, New York, 1975.
- [14] **И. Бобић**, **А. Венцл**, **М. Бабић**, **С. Митровић**, **Б. Бобић**: Технолошки поступак добијања композита са основом од AlSi7Mg0.3 (A356) легуре уз додатак ситних честица Al₂O₃ (битно побољшан постојећи производ или технологија), Машински факултет Универзитета у Крагујевцу, ТР-06/2010, 2010.
- [15] **A. Vencľ**, **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, 3, 2008, 159-170.
- [16] **A. Vencľ**, **I. Bobic**, S. Arostegui, **B. Bobic**, A. Marinković, **M. Babić**: Structural, mechanical and tribological properties of A356 aluminium alloy reinforced with Al₂O₃, SiC and SiC + graphite particles, *Journal of Alloys and Compounds*, 506, 2, 2010, 631-639.
- [17] **Б. Бобић**, **А. Венцл**, **М. Бабић**, **С. Митровић**, **И. Бобић**: Композити са добром отпорношћу на хабање добијени инфилтрацијом честица силицијум-карбида (SiC) и честица графита у основу од алуминијумске легуре A356, 31. међународна изложба Проналазака, нових технологија и индустријског дизајна „Проналазаштво-Београд 2011“, Београд, 23-27.05.2011, Каталог: категорија – нове технологије, 78-79.
- [18] **И. Бобић**, **М. Бабић**, **С. Митровић**, **А. Венцл**, **Б. Бобић**, Б. Тадић: Керамички лонац електроотпорне пећи за извођење компокастинг поступка (битно побољшан постојећи производ или технологија), Машински факултет Универзитета у Крагујевцу, ТР-08/2010, 2010.
- [19] T.C. Tszeng: The effects of particle clustering on the mechanical behavior of particle reinforced composites, *Composites Part B: Engineering*, 29, 3, 1998, 299-308.
- [20] G.E. Dieter: *Mechanical Metallurgy*, Mc Graw-Hill, New York, 1963.
- [21] S. Basavarajappa, G. Chandramohan, K. Mukund, M. Ashwin, M. Prabu: Dry sliding wear behavior of Al 2219/SiCp-Gr hybrid metal matrix composites, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 15, 6, 2006, 668-674.

Одлуком Истраживачко-стручног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 902/1 од 26.05.2011. године именовани смо за рецензенте техничког решења „Технолошки поступак добијања двојног хибридног композита са основом од А356 легуре алуминијума уз додатак 10 мас. % честица SiC и 1 мас. % честица графита“ аутора: др Илија Бобић, виши научни сарадник; др Александар Венцл, доцент; др Мирослав Бабић, редовни професор; др Слободан Митровић, доцент и мр Биљана Бобић, истраживач сарадник. На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Технолошки поступак добијања двојног хибридног композита са основом од А356 легуре алуминијума уз додатак 10 мас. % честица SiC и 1 мас. % честица графита“, реализовано 2011. године, приказано је на 10 страница формата А4, писаних фонтом величине 12 pt, „single“ проредом, садржи 5 слика и 2 табеле. Састављено је следећих поглавља:

1. Увод;
2. Опис проблема који се решава техничким решењем;
3. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења;
4. Суштина техничког решења;
5. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће слике и техничке цртеже);
6. Закључак и могућност примене техничког решења и
7. Литература.

Техничко решење припада областима: Материјали, Машинство, Ливарство.

Техничко решење је реализовано у оквиру рада не пројекту: ТР-35021 „Развој триболошких микро/нано двокомпонентних и хибридних самоподмазујућих композита“.

Основна полазна идеја за ово техничко решење прихваћена је и објављена у часопису „Journal of Alloys and Compounds“, односно презентована на међународној изложби „Проналазаштво-Београд 2011“:

1. A. Vencel, I. Bobic, S. Arostegui, B. Bobic, A. Marinković, M. Babić: Structural, mechanical and tribological properties of A356 aluminium alloy reinforced with Al₂O₃, SiC and SiC + graphite particles, Journal of Alloys and Compounds, 506, 2, 2010, 631-639.
2. Б. Бобић, А. Венцл, М. Бабић, С. Митровић, И. Бобић: Композити са добром отпорношћу на хабање добијени инфилтрацијом честица силицијум-карбида (SiC) и честица графита у основу од алуминијумске легуре А356, 31. међународна изложба Проналазака, нових технологија и индустријског дизајна „Проналазаштво-Београд 2011“, Београд, 23-27.05.2011, Каталог: категорија – нове технологије, 78-79.

Примена предложеног техничког решења очекивана је у предузећу „РАР“, Батајница (домаћа индустрија). За сада се примењује у Лабораторији за материјале у Институт за нуклеарне науке „Винча“ на лабораторијском нивоу.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Технолошки поступак добијања двојног хибридног композита са основом од А356 легуре алуминијума уз додатак 10 мас. % честица SiC и 1 мас. % честица графита“ јасно су приказали са теоријске и практичне тачке гледишта целокупан садржај овог техничког решења.

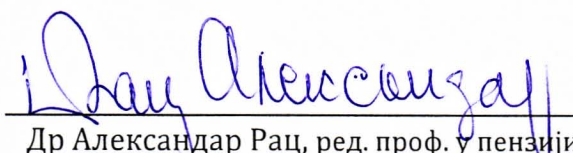
Циљ техничког решења био је да се освоје параметри добијања композита са основом легуре алуминијума А356 уз додатак честица SiC, као и додатак честица SiC и графита заједно (двојни хибридни композит). Као технологија за добијање ових композита одабран је тзв. компокастинг поступак, односно модификована варијанта овог поступка. Крајњи циљ техничког решења био је да се добију композити побољшаних механичких и триболошких карактеристика у односу на основну А356 легуру, са идејом да се ови материјали једном и практично примене.

Предложеним техничким решењем дат је подробан опис технологије добијања нових материјала – композита (класичног и хибридног). Такође је извршена и приказана карактеризација ових материјала (структурна, механичка и триболошка), односно успостављена је веза између процесних и експлоатационих карактеристика. Из техничког решења проистиче да обе врсте композита поседују знатно боље особине у односу на основну легуру. Посебан значај овог техничког решења састоји се у чињеници да хибридни композит упркос нешто нижим механичким особина показује изванредне триболошке карактеристике што је од великог значаја за практичну примену овог материјала.

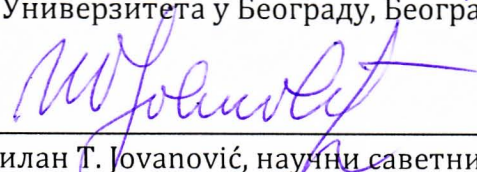
Постигнути резултати указују да су успешно освојени параметри добијања класичног и хибридног композита на основи легуре А356 што треба да омогући да се са лабораторијског нивоа изврши пренос технологије добијања прво на полуиндустријски ниво, а касније и услове индустријске производње, уколико постоји интерес тржишта за ову врсту материјала.

Са задовољством предлажемо да се резултати техничког решења „Технолошки поступак добијања двојног хибридног композита са основом од А356 легуре алуминијума уз додатак 10 мас. % честица SiC и 1 мас. % честица графита“ прихвате као ново техничко решење. категорије М84, пошто испуњава све услове прописане Прилогом 2. Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача.

У Београду, 03.06.2011. године



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



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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 902/3
ДАТУМ: 09.06.2011.

На основу захтева доц.др Александра Венцла од 19.05.2011. године и чл. 12.5 Статута Машинског факултета, Истраживачко стручно веће на седници од 09.06.2011. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се Техничко решење, под насловом: **„Технолошки поступак добијања двојног хибридног композита са основом од А356 легуре алуминијума уз додатак 10 мас.% честица SiC и 1 мас.% честица графита“**, чији су аутори: др Илија Бобић, др Александар Венцл, др Мирослав Бабић, др Слободан Митровић и др Биљана Бобић, а позитивну рецензију дали: др Александар Рац, ред.проф. у пензији и др Милан Јовановић, научни саветник, Институт за нуклеарне науке „Винча“.

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



ПРОДЕКАН
ЗА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКУ ДЕЛАТНОСТ


Проф.др Војкан Лучанин