

I/2-370

(Број захтева)

01.04.2010.

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молим, да сходно члану 46. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета" број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата: мр Саша (Радивоје) Марјановић

КАНДИДАТ: мр Саша (Радивоје) Марјановић

пријавио је докторску дисертацију под називом:

ИСПИТИВАЊЕ СТРУКТУРНИХ КАРАКТЕРИСТИКА И ТЕРМО-МЕХАНИЧКОГ РЕЖИМА ОБРАДЕ ЛЕГУРА У ТРОЈНОМ СИСТЕМУ Ag-Cu-Sn

Из научне области: металургија

Универзитет је дана 16. 05. 2008. године својим актом под: број 612-28/84/08 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која гласи: **ИСПИТИВАЊЕ СТРУКТУРНИХ КАРАКТЕРИСТИКА И ТЕРМО-МЕХАНИЧКОГ РЕЖИМА ОБРАДЕ ЛЕГУРА У ТРОЈНОМ СИСТЕМУ Ag-Cu-Sn**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

мр Саша (Радивоје) Марјановић

(име, име јединог од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 24.12. 2009. године, одлуком факултета под бр. VI/4-3/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије / звање / научна област / установа у којој је запослен

1. Др Драгослав Гусковић, ред. професор, прерађивачка металургија и метални материјали, Технички Факултет у Бору
2. Др Драгана Живковић, ред. професор, екстрактивна металургија и металуршко инжењерство, Технички Факултет у Бору
3. Др Десимир Марковић, ред. професор, прерађивачка металургија и метални материјали, Технички факултет у Бору
4. Др Слободан Стојадиновић, ред. професор, материјали, производња технологије, физичка металургија Материјала, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин

Научно-наставно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној 25. 03. 2010. године.



30. Декан Факултета

Проф. др Милан Антонијевић

Прилог:

1. Извештај комисије са предлогом
2. Акт наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било

На основу члана 44., 81. и 144. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној дана 25.03.2010. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се Реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији кандидата **мр Саше Марјановића**, дипл. инж. металургије, под називом: **"ИСПИТИВАЊЕ СТРУКТУРНИХ КАРАКТЕРИСТИКА И ТЕРМО-МЕХАНИЧКОГ РЕЖИМА ОБРАДЕ ЛЕГУРА У ТРОЈНОМ СИСТЕМУ Ag-Cu-Sn"**, који је сачинила Комисија у саставу: др Драгослав Гусковић, ред. проф., Технички факултет у Бору – ментор, др Драгана Живковић, ред. проф., Технички факултет у Бору, др Десимир Марковић, ред. проф., Технички факултет, Бор и др Слободан Стојадиновић, ред. проф., Технички факултет "Михајло Пупин" у Зрењанину.

II Одлуку доставити Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду ради давања сагласности на урађени Реферат.

Доставити:

- ВНО техничких наука Универзитета
- кандидату
- досијеу
- а/а

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА
ДЕКАН

Проф. др Милан Антонијевић

FAKULTET U BORU			
DOKLADJENO: 25.12.2009			
Org. jed.	Broj	Prilog	Vrednost
	VI/1-154		

Na osnovu odluke Nastavno-naučnog veća Tehničkog fakulteta u Boru br. VI-4/3-2 od 24.12.2009. godine, određeni smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Saše Marjanovića, dipl. inž. metalurgije, pod nazivom: ISPITIVANJE STRUKTURNIH KARAKTERISTIKA I TERMO-MEHANIČKOG REŽIMA OBRADJE LEGURA U TROJNOM SISTEMU Ag-Cu-Sn.

Nakon pregleda urađene doktorske disertacije, Komisija podnosi sledeći

I Z V E Š T A J

1. UVOD

Doktorska disertacija kandidata mr Saše Marjanovića, dipl. inž. metalurgije, pod nazivom ISPITIVANJE STRUKTURNIH KARAKTERISTIKA I TERMO-MEHANIČKOG REŽIMA OBRADJE LEGURA U TROJNOM SISTEMU Ag-Cu-Sn, urađena je na Katedri za prerađivačku metalurgiju Tehničkog fakulteta u Boru pod mentorstvom prof. dr Dragoslava Guskovića. Deo eksperimentalnih istraživanja izvršen je na Institutu za rudarstvo i metalurgiju u Boru, kao i na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu.

Doktorska disertacija je napisana na 84 strane teksta, sa 41 slikom, 17 tabela, i 163 literaturna navoda.

Nastavno-Naučno veće Tehničkog fakulteta u Boru i Veće naučnih oblasti tehničko-tehnoloških nauka Univerziteta u Beogradu prihvatili su temu doktorske disertacije mr Saše Marjanovića 17.04.2008. i 16.05.2008. godine, respektivno. Članovi komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme bili su prof. dr Dragoslav Gusković, prof. dr Dragana Živković i prof. dr Slobodan Stojadinović. Nastavno-Naučno veće Tehničkog fakulteta u Boru imenovalo je 24.12.2009. godine komisiju za pregled i ocenu doktorske disertacije u sastavu prof. dr Dragoslav Gusković, prof. dr Dragana Živković, prof. dr Desimir Marković i prof. dr Slobodan Stojadinović.

Doktorska disertacija pokriva naučnu oblast metalurgija – prerada metala u plastičnom stanju i fazne ravnoteže, a u užem domenu naučno je aktuelna u oblasti hladnog valjanja i termijske analize trokomponentnih bezolovnih lemnih materijala.

U današnje vreme je sve više zastupljena upotreba lemova za spajanje plemenitih i ostalih metala i legura. Zbog same prirode metala koji se lemi moraju se dobro poznavati karakteristike metala i legura koji se koriste kao materijali za lemове da bi dobijena celina u potpunosti odgovarala zahtevima.

Zbog niske cene i odličnih mehaničkih, fizičkih i hemijskih osobina, Pb-Sn legure predstavljaju lemne legure sa najširokom primenom u elektronici. Međutim, toksičnost legura na bazi olova je usloвила ubrzani industrijski razvoj novih bezolovnih lemnih materijala kako bi se što pre, i u potpunosti, izbacile iz upotrebe postojeće legure na bazi olova. Mnoga dosadašnja ispitivanja ukazuju da će novi bezolovni lemní materijali biti višekomponentne legure. U tom pogledu, utvrđeno je da legure na bazi srebra, bakra i kalaja imaju pogodне fizičke i mehaničke karakteristike. Ag-Cu-Sn sistem je izabran zbog svog izuzetnog tehnološkog značaja.

Mr Saša Marjanović rođen je 24.08.1971. godine u Boru. Osnovnu školu završio je u Boru, a srednju školu u Torontu (Kanada). Na Tehnički fakultet u Boru, Univerziteta u Beogradu, odsek metalurgija, upisao se školske 1989/1990. godine, gde je i diplomirao 1996. godine, sa prosečnom ocenom 9,85. Nakon diplomiranja ostaje da radi na Tehničkom fakultetu u Boru, od 01.05.1996. godine, najpre kao saradnik bez zvanja, zatim od 01.05.1997. godine kao asistent pripravní na predmetu Prerada metala u plastičnom stanju, i od 20.09.2001. godine kao asistent na predmetima Prerada metala u plastičnom stanju i Teorija prerade metala u plastičnom stanju, na katedri za prerađivačku metalurgiju. Magistarsku tezu, pod nazivom *Uticaj hladnog valjanja na osobine bimetala bakra sa aluminijumom i čelikom Č4571*, odbranio je 18.05.2001. godine.

U svom naučnom radu mr Saša Marjanović je objavljivao radove na domaćim i međunarodnim konferencijama, i učestvovao i izradi više stručnih projekata i studija. Iz oblasti na koju se odnosi doktorska disertacija kandidat je objavio 3 rada u međunarodnim časopisima, od kojih je jedan sa impakt faktorom (JCR lista).

2. OPIS DISERTACIJE

Doktorska disertacija mr Saše Marjanovića, pod naslovom: *Ispitivanje strukturnih karakteristika i termo-mehaničkog režima obrade legura u trojnom sistemu Ag-Cu-Sn*, sadrži rezime na srpskom i engleskom jeziku, sadržaj, sedam poglavlja i bibliografske reference.

Prvo poglavlje – *Uvod*, sadrži napomene o značaju bezolovnih lemnih materijala. Razvoj novih bezolovnih lemnih materijala se poslednjih godina ubrzava u cilju potpune zamene toksičnog olova i obezbeđenja standarda u okviru zaštite životne sredine. Obzirom da nijedna binarna legura nije adekvatna zamena Pb-Sn legurama, koje su dugo godina bile nezamenljivi lemní materijal u elektronskoj industriji, sve više pažnje se usmerava ka izučavanju višekomponentnih materijala. Kanalisani naporí brojnih evropskih istraživačkih institucija u cilju ispitivanja novih bezolovnih lemnih materijala, a u okviru COST 531 akcije, čiji je aktivni učesnik i katedra za Metalurško inženjerstvo Tehničkog fakulteta u Boru, do sada su dali veoma dobre rezultate. U skladu sa tim izložene su neke od

metoda za ispitivanje ovih materijala kako bi se ove legure što bolje upoznale i našle pravo mesto u industriji bezolovnih lemnih materijala.

Drugo poglavlje – *Pregled dosadašnjih istraživanja Ag-Cu-Sn ternarnog sistema* daje kratak hronološki osvrt na dosadašnje publikovane rezultate istraživanja u okviru sastavnih binarnih podсистема kao i samog ternarnog sistema. Prikazani su rezultati istraživanja na poljima konstrukcije faznih dijagrama, određivanja faznih ravnoteža i termodinamičkih veličina, definisanja kristalne rešetke i ispitivanja nekih fizičkih i mehaničkih karakteristika.

Treće poglavlje – *Cilj rada*, ukazuje na cilj i svrhu ove disertacije. U tom smislu rad je bio orijentisan na ponašanje trojne Ag-Cu-Sn legure prilikom plastične deformacije i promene strukturnih i mehaničkih karakteristika koje prate ovu deformaciju. Takođe, dat je doprinos eksperimentalnom i analitičkom određivanju faznih ravnoteža i termodinamičkih veličina u trojnom Ag-Cu-Sn sistemu.

Četvrto poglavlje – *Teorijske osnove*, definiše sve najbitnije pojmove u ovoj disertaciji i dodeljuje im upotrebnu vrednost, kako u svakodnevnom životu, tako i u industrijskim uslovima. Objašnjen je pojam lemovi, data je njihova podela u zavisnosti od temperature topljenja metala ili legure kojim se vrši spajanje (lemljenje) i navedeni su primeri pripadnika ove podele. Objašnjena je DTA metoda kojom se detektuju promene u uzorku, bilo egzotermne bilo endotermne, prilikom njegovog zagrevanja. Tako se mogu dobiti podaci o transformacijama koje su se odigrale, kao što su vitifikacija, kristalizacija, topljenje i sublimacija. Prikazana je i CALPHAD metoda, koja pruža mogućnost da se na osnovu optimiziranih termodinamičkih parametara za sastavne binarne sisteme izvrši tzv. termodinamičko predviđanje faznih ravnoteža u trojnom ili višekomponentnom sistemu. Tačnost na taj način proračunatih faznih dijagrama u najvećoj meri zavisi od jačine međuatomskih interakcija sastavnih komponenata, tj. od njihove sklonosti ka formiranju ternarnih intermedijatnih faza. Objašnjen je i model opštih rastvora, koji je korišćen za izračunavanje termodinamičkih osobina tečnog Ag-Cu-Sn ternarnog sistema, a koji je zasnovan na konceptu koeficijenta sličnosti, čija je prednost u tome da njegova upotreba ne zahteva prethodno određivanje da li je sistem simetričan ili ne, niti izbor simetričnih i asimetričnih komponenti u određenom ternarnom sistemu.

Peto poglavlje – *Eksperimentalni deo*, daje kompletnu sliku o izvedenom eksperimentu: detaljan opis upotrebljenog materijala, način i tok pripreme uzoraka, prikaz celog toka eksperimenta, kao i detaljan opis primenjenih metoda ispitivanja uzoraka. U vezi sa tim objašnjeni su principi ovih metoda, data je apratura sa kojom se izvode i prikazan je način primene u konkretnom eksperimentu.

Šesto poglavlje – *Rezultati i diskusija*, prikazuje ostvarene rezultate tokom svih ispitivanja sprovedenih u okviru ove disertacije, kako eksperimentalnih tako i teorijskih, i diskusije na rezultate.

Sedmo poglavlje – *Zaključak*, daje sažet prikaz ostvarenih rezultata iz ovog eksperimenta i ukazuje na moguće pravce daljih istraživanja u oblasti ispitivanja trokomponentnih bezolovnih lemnih sistema.

3. OCENA DISERTACIJE

U okviru ove disertacije izvršena su ispitivanja strukturnih karakteristika i termo-mehaničkog režima obrade legura iz trojnog Ag-Cu-Sn sistema. S obzirom da su ova istraživanja vršena na osnovu potrebe iznalaženja novih bezolovnih lemovi, ispitivanje strukturnih karakteristika i termo-mehaničkog

režima obrade se svodilo na određivanje odgovarajućih fizičkih i mehaničkih karakteristika, određivanje i praćenje promene strukture posle plastične deformacije, i termijsku analizu i određivanje termodinamičkih osobina ispitivanih uzoraka iz datog ternarnog sistema. Problematika je sama nametala potrebu za ispitivanjem velikog broja uzoraka tako da je celokupno istraživanje sprovedeno na tri serije uzoraka izabranih iz različitih delova faznog dijagrama ispitivanog sistema. Ostvareni su originalni doprinosi tokom ispitivanja mikrotvrdoće i elektroprovodnosti i određivanja termodinamičkih osobina tečnih legura iz Ag-Cu-Sn sistema.

U izradi doktorske disertacije korišćena je literatura koja se odnosi na pregled dosadašnjih istraživanja na poljima ispitivanja fizičkih i mehaničkih karakteristika, definisanja strukture, konstrukcije faznih dijagrama i određivanja termodinamičkih osobina sastavnih binarnih podсистema i samog trojnog Ag-Cu-Sn sistema. Posebna pažnja posvećena je literaturi koja se odnosi na probleme i nelogičnosti koji mogu nastati prilikom ispitivanja strukturnih karakteristika trokomponentnih bezolovnih leмова nakon sprovedene plastične deformacije. U izboru literature značajno mesto čine i brojni naučni radovi vezani za termodinamička ispitivanja ternarnih sistema. U tom smislu treba istaći da rezultati određivanja pojedinih termodinamičkih osobina ternarnog Ag-Cu-Sn sistema nisu do sada publikovani u dostupnoj literaturi.

Osnovni cilj istraživanja u okviru ove disertacije bio je što potpunije i preciznije determinisanje trojnog Ag-Cu-Sn sistema kao pripadnika grupe bezolovnih lemnih materijala, kako bi se proširile mogućnosti njegove upotrebe, naročito u industriji leмова. U skladu sa tim sprovedene su adekvatne naučne metode za ispitivanje leмова. Vršena su metalografska ispitivanja, ispitivanja tvrdoće po Vickers-u, ispitivanja mikrotvrdoće, ispitivanja metodama rendgenske difrakcije, ispitivanja električne provodnosti, DTA (diferencijalno-termijska analiza) i određivanje termodinamičkih osobina legura datog trojnog sistema. Primenjena je Calphad metoda, kojom je proračunat fazni dijagram trojnog sistema Ag-Cu-Sn na osnovu termodinamičkih parametara sadržanih u COST 531 bazi podataka. Za određivanje termodinamičkih osobina ovog sistema primenjen je Chou-ov model opštih rastvora, zasnovan na konceptu koeficijenta sličnosti, čija je prednost u tome da njegova upotreba ne zahteva prethodno određivanje da li je sistem simetričan ili ne, niti izbor simetričnih i asimetričnih komponenti u određenom ternarnom sistemu. Ispravnost ovog modela je već bila potvrđena u nekim praktičnim primerima, pa je s toga on izabran za proračun termodinamičkih osobina tečnog Ag-Cu-Sn sistema.

Rezultati ispitivanja koji su prezentovani u okviru ove disertacije i objavljenih radova koji prate disertaciju pokazuju da:

- metalografskim ispitivanjima legura potvrđeni su rezultati ranijih istraživanja da se nakon hladne plastične deformacije dobija usitnjena i usmerena struktura uz pregrupisanje zrna sekundarnih faza;
- ispitivanjima tvrdoće potvrđena su ranija istraživanja da hladna plastična deformacija uslovljava povećanje tvrdoće metala, usled deformacionog ojačavanja;
- analiza mikrotvrdoće pokazuje uglavnom više vrednosti nakon hladne plastične prerade, što je posledica grupisanja zrna sekundarnih faza velike tvrdoće (Ag_3Sn , Cu_3Sn) i deformacionog ojačavanja legura. Pad mikrotvrdoće, kod uzoraka iz dela sistema bogatog kalajem, se objašnjava padom vrednosti mikrotvrdoće faze sa najvećom mikrotvrdoćom u leguri (Cu_6Sn_5).

Sekundarna faza Cu_6Sn_5 ima veliki procenat kalaja (komponenta male tvrdoće, i kasnije kristališe od bakra), stoga se pad mikrotvrdoće nakon hladne plastične može donekle objasniti ponašanjem ove faze.

- ispitivanjem elektroprovodnosti potvrđena su ranija zapažanja da se pri plastičnoj preradi povećava električna otpornost, tj. opada električna provodnost usled obrazovanja velike gustine dislokacija, kao posledica plastične deformacije. Međutim, posle određenog stepena hladne plastične deformacije, kod uzoraka iz dela sistema bogatog kalajem, električna provodnost se povećava usled povećanog uticaja sekundarne faze dobre provodnosti (Ag_3Sn).
- Termijskom analizom, pomoću DTA, je praćeno termičko ponašanje ovih legura. Eksperimentalno određene temperature faznih prelaza su upoređene sa proračunatim faznim dijagramom ispitivanog ternarnog sistema i zapaženo je dobro međusobno slaganje. Ukupno je proračunato šest non-varijantnih reakcija: pet ternarnih kvazi-peritektičkih reakcija i jedna ternarna eutektička reakcija. Eksperimentalni rezultati ukazuju na postojanje reakcije faznog prelaza na temperaturi blizu $217,5^\circ\text{C}$, koja se slaže sa proračunatom temperaturom ternarne eutektičke reakcije. Takođe, kod većine ispitivanih uzoraka, uočen je označeni pik sa ekstrapoliranom onset temperaturom, koji odgovara proračunatoj kvazi-peritektičkoj reakciji na $349,5^\circ\text{C}$. Za većinu ispitivanih uzoraka eksperimentalno određene likvidus temperature su u saglasnosti sa proračunatim.
- Termodinamičkom analizom tečnih Ag-Cu-Sn legura, koristeći Chou-ov model opštih rastvora za predviđanje termodinamičkih veličina ternarnih legura prema poznatim termodinamičkim veličinama sastavnih binarnih sistema, izračunate su integralne ekscesne Gibbs-ove slobodne energije za petnaest izabranih preseka na 1473 K . Dalji proračun je uključio dobijanje parcijalnih molarnih Gibbs-ovih slobodnih energija, i konstruisani su dijagrami izo-aktivnih linija za sve tri komponente. Utvrđeno je da termodinamičke osobine sastavnih binarnih sistema definišu termodinamičko ponašanje legura ternarnog sistema, i da hemijski afiniteti između elemenata u binarnim sistemima ostaju i u ternarnim legurama, takođe.

Ostvareni rezultati ispitivanja verifikovani su u laboratorijskim uslovima i izradom dva diplomska rada, na Tehničkom fakultetu u Boru.

Na osnovu pregledane doktorske disertacije Komisija ocenjuje da je kandidat u potpunosti sposoban za samostalni naučni rad, što je dokazano i činjenicom da postoji veći broj naučnih radova u kojima se pojavljuje kao prvi autor, od kojih je jedan rad objavljen u časopisu sa JCR liste.

4. OSTAVRENI NAUČNI DOPRINOS

A. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Doprinos ove teze se ogleda u detaljnom i preciznom ispitivanju velikog broja legura iz trojnog Ag-Cu-Sn sistema koje do sada nisu ispitivane, a svojim povoljnim strukturnim, mehaničkim i električnim osobinama obezbeđuju sebi značajno mesto u industriji bezolovnih lemova.

Kod uzoraka iz dela sistema bogatog kalajem zapaženo je da nakon visokog stepena plastične deformacije dolazi do pada mikrotvrdoće. Delimičan uzrok ove pojave je grupisanje istorodnih zrna pri

hladnom plastičnom deformisanju. Naime, pre hladne plastične deformacije Cu_6Sn_5 sekundarna faza ima najveću vrednost mikrotvrdoće od svih prisutnih faza, ali ima nižu vrednost nakon plastične obrade. Za razliku od Cu_6Sn_5 , Ag_3Sn sekundarna faza pokazuje rast mikrotvrdoće, ali je ta vrednost niža i od veličine mikrotvrdoće Cu_6Sn_5 nakon valjanja. Na osnovu ove pojave i osobenosti kalaja da se izlučuje po granicama zrna (kasnija kristalizacija kalaja) može se objasniti najveća razlika mikrotvrdoće pre i posle valjanja, koja je evidentna kod svih uzoraka, a najizraženija kod $\text{Ag}_5\text{Cu}_{10}\text{Sn}$ uzorka.

Kod uzoraka iz dela sistema bogatog kalajem zapaženo je još da nakon plastične deformacije od oko 70% dolazi do rasta električne provodnosti usled toga što se prilikom valjanja vrši zaokretanje zrna uz grupisanje istorodnih zrna sekundarnih faza. Na ovaj način se povećava uticaj sekundarnih faza koje imaju dobru elektroprovodnost (Ag_3Sn).

Termijskom analizom, pomoću DTA, je praćeno termičko ponašanje ovih legura. Eksperimentalno određene temperature faznih prelaza su upoređene sa proračunatim faznim dijagramom (Calphad metoda) ispitivanog ternarnog sistema i zapaženo je dobro međusobno slaganje. Ukupno je proračunato šest non-varijantnih reakcija: pet ternarnih kvazi-peritektičkih reakcija i jedna ternarna eutektička reakcija. Eksperimentalni rezultati ukazuju na postojanje reakcije faznog prelaza na temperaturi blizu $217,5\text{ }^\circ\text{C}$, koja se slaže sa proračunatom temperaturom ternarne eutektičke reakcije. Takođe, kod većine ispitivanih uzoraka, uočen je označeni pik sa ekstrapoliranom onset temperaturom, koji odgovara proračunatoj kvazi-peritektičkoj reakciji na $349,5\text{ }^\circ\text{C}$. Za većinu ispitivanih uzoraka eksperimentalno određene likvidus temperature su u saglasnosti sa proračunatim.

Termodinmičkom analizom tečnih Ag-Cu-Sn legura, koristeći Chou-ov model opštih rastvora za predviđanje termodinamičkih veličina ternarnih legura prema poznatim termodinamičkim veličinama sastavnih binarnih sistema, izračunate su integralne ekscresne Gibbs-ove slobodne energije za petnaest izabranih preseka na 1473 K . Daljim proračunom su dobijene parcijalne molarne Gibbs-ove slobodne energije, i konstruisani su dijagrami izo-aktivnih linija za sve tri komponente. Utvrđeno je da termodinamičke osobine sastavnih binarnih sistema definišu termodinamičko ponašanje legura ternarnog sistema, i da hemijski afiniteti između elemenata u binarnim sistemima ostaju i u ternarnim legurama, takođe.

B. Kritička analiza rezultata istraživanja

U okviru ove disertacije izvršena su ispitivanja strukturnih karakteristika i termo-mehaničkog režima obrade nekih legura iz trojnog Ag-Cu-Sn sistema u cilju što kompletnijeg sagledavanja trojnog Ag-Cu-Sn sistema kao pripadnika grupe bezolovnih lemnih materijala, kako bi se proširile mogućnosti njegove upotrebe i našlo što adekvatnije mesto u tehnici i industriji, uopšte. Dobijeni rezultati najviše ukazuju na izbor legure u zavisnosti od mesta i načina buduće primene.

C. Očekivana primena rezultata u praksi

Primena rezultata disertacije može se očekivati prvenstveno u industriji lemova, naročito u elektronici i elektrotehnici. Praktična primena ovih rezultata se ogleda u pravilnom izboru legure za odgovarajuću namenu. Uzorci kod kojih se javio lom u toku plastične deformacije su krti i ne trpe više stepene deformacije. Legure kod kojih nakon određenog stepena plastične deformacije raste električna

provodnost pogodna su za električne sklopove koji trpe plastičnu deformaciju. Metodama rendgenske difrakcije određene su prisutne kristalne faze i semikvantitativno je određena njihova zastupljenost, kod ispitivanih uzoraka, što je bitno u izboru legure datog sastava, u zavisnosti od osobina i količine prisutnih kristalnih faza. Metalografskim ispitivanjima praćena je promena mikrostrukture nakon plastične deformacije, što ukazuje na ponašanje legura odgovarajućeg sastava nakon pretrpljene plastične deformacije, čime daje doprinos u pravilnom izboru legure. DTA metodom su određene prelazne reakcije ternarnih faza u ispitivanom sistemu i potvrđene na proračunatom faznom dijagramu, primenom Calphad metode. Poznavanje ovih reakcija i samog dijagrama stanja je od presudnog značaja u izboru legure odgovarajućeg sastava, u zavisnosti od prisutnih faza i reakcija koje se odvijaju, na odgovarajućim temperaturama.

Lista radova iz oblasti na koju se odnosi doktorska disertacija:

1. S. Marjanović, D. Manasijević, D. Živković, D. Gusković, *Prediction of Thermodynamic Properties of Ternary Cu-Ag-Sn System*, XXXVII Internacionalno Oktobarsko savetovanje, Donji Milanovac 2005.
2. S. Marjanović, D. Petrović, D. Gusković, *Ispitivanje strukturnih i mehaničkih karakteristika nekih Sn-Ag-Cu legura bogatih kalajem*, VII Savetovanje metalurga Srbije, TMF, Belgrade 2008.
3. S. Marjanović, B. Marjanović, D. Živković, D. Manasijević, D. Gusković, N. Štrbac, M. Trucić, *Characterization of some alloys in Ag-rich corner of Ag-Cu-Sn lead-free solder system*, 8th International Foundrymen Conference, Opatija, 5-7 June, 2008.
4. S. Marjanović, D. Gusković, B. Marjanović, *Structural characteristics of some alloys in Ag-Cu-Sn solder system*, XL Internacionalno Oktobarsko savetovanje, Sokobanja, 2008.
5. S. Marjanović, D. Gusković, M. Trucić, B. Marjanović, *Investigation of Mechanical and Structural Characteristics of Some Alloys in Ag-rich Corner of Ag-Cu-Sn System*, Journal of Mining and Metallurgy, vol. 43 (2) B, Bor (2007) 177-186, ISSN: 1450-5339, DOI:10.2298/JMMB0702177M
6. S. Marjanović, D. Manasijević, D. Minić, D. Živković, R. Todorović, *Thermal-analysis of some alloys in the Ag-Cu-Sn ternary system*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, vol 11 (2) (2009) 175-179, ISSN: 1454-4164 (JCR lista, IF: 0.577)
7. S. Marjanović, D. Manasijević, D. Živković, D. Gusković, D. Minić, *Calculation of thermodynamic properties for ternary Ag-Cu-Sn system*, RMZ – Materials and Geoenvironment, Vol. 56, No. 1 (2009) 30–37, ISSN: 1408-7073

Journal: JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS

Mark	Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
☐	J OPTOELECTRON ADV M	1454-4164	1474	0.577	0.587	0.074	673	2.8	8.5

[Cited Journal](#) [Citing Journal](#) [Source Data](#) [Journal Self Cites](#)
[CITED JOURNAL DATA](#)[CITING JOURNAL DATA](#)[IMPACT FACTOR TRENDS](#)[RELATED JOURNALS](#)

Journal Information ⓘ

Full Journal Title: JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS

ISO Abbrev. Title: J. Optoelectron. Adv. Mater.

JCR Abbrev. Title: J OPTOELECTRON ADV M

ISSN: 1454-4164

Issues/Year: 12

Language: ENGLISH

Journal Country/Territory: ROMANIA

Publisher: NATL INST OPTOELECTRONICS

Publisher Address: 1 ATOMISTILOR ST, PO BOX MG-5, BUCHAREST-MAGURELE 76900, ROMANIA

Subject Categories: MATERIALS SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY

[SCOPE NOTE](#)[VIEW JOURNAL SUMMARY LIST](#)[VIEW CATEGORY DATA](#)

OPTICS

[SCOPE NOTE](#)[VIEW JOURNAL SUMMARY LIST](#)[VIEW CATEGORY DATA](#)

PHYSICS, APPLIED

[SCOPE NOTE](#)[VIEW JOURNAL SUMMARY LIST](#)[VIEW CATEGORY DATA](#)

Eigenfactor™ Metrics

Eigenfactor™ Score

0.00526

Article Influence™ Score

0.113

Journal Rank in Categories: [JOURNAL RANKING](#)

Internet

100%

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Doktorska disertacija mr Saše Marjanovića posvećena je ispitivanju strukturnih karakteristika i termo-mehaničkog režima obrade legura iz trojnog Ag-Cu-Sn sistema, na osnovu potrebe iznalaženja novih bezolovnih lemnih materijala koji će zameniti postojeće, toksične, legure na bazi olova. S obzirom na cilj i svrhu, istraživanja su svedena na određivanje odgovarajućih fizičkih i mehaničkih karakteristika, određivanje i praćenje promene strukture posle plastične deformacije, termijsku analizu i određivanje termodinamičkih osobina ispitivanih uzoraka iz datog ternarnog sistema. Celokupno istraživanje sprovedeno je na tri serije uzoraka izabranih iz različitih delova faznog dijagrama ispitivanog sistema. Utvrđeni su originalni doprinosi tokom ispitivanja mikrotvrdoće i elektroprovodnosti i određivanja termodinamičkih osobina tečnih legura iz Ag-Cu-Sn sistema.

S obzirom da je ovaj sistem izabran kao pripadnik grupe lemnih materijala, primenjene su odgovarajuće naučne metode za ispitivanje leмова. Vršena su metalografska ispitivanja, ispitivanja tvrdoće po Vickers-u, ispitivanja mikrotvrdoće, ispitivanja metodama rendgenske difrakcije, ispitivanja električne provodnosti, DTA (diferencijalno-termijska analiza) i određivanje termodinamičkih osobina legura datog trojnog sistema. Primenjena je Calphad metoda kojom je proračunat fazni dijagram trojnog sistema Ag-Cu-Sn na osnovu termodinamičkih parametara sadržanih u COST 531 bazi podataka. Za određivanje termodinamičkih osobina ovog sistema primenjen je Chou-ov model opštih rastvora, zasnovan na konceptu koeficijenta sličnosti, čija je prednost u tome da njegova upotreba ne

zahteva prethodno određivanje da li je sistem simetričan ili ne, niti izbor simetričnih i asimetričnih komponenti u određenom ternarnom sistemu.

Glavni naučni doprinosi mr Saše Marjaovića, izloženi u ovoj disertaciji, su sledeći:

- Kod uzoraka iz dela sistema bogatog kalajem zapaženo je da nakon visokog stepena plastične deformacije dolazi do pada mikrotvrdoće usled pada vrednosti mikrotvrdoće faze sa najvećom mikrotvrdoćom u leguri (Cu_6Sn_5). Sekundarna faza Cu_6Sn_5 ima veliki procenat kalaja (komponenta male tvrdoće i kasnije kristališe od bakra).
- Kod uzoraka iz dela sistema bogatog kalajem zapaženo je još da nakon plastične deformacije od oko 70% dolazi do rasta električne provodnosti usled toga što se prilikom valjanja vrši zaokretanje zrna uz grupisanje istorodnih zrna sekundarnih faza. Na ovaj način se povećava uticaj sekundarnih faza koje imaju dobru elektroprovodnost (Ag_3Sn).
- Termijskom analizom, pomoću DTA, je praćeno termičko ponašanje ovih legura. Eksperimentalno određene temperature faznih prelaza su upoređene sa proračunatim faznim dijagramom (Calphad metoda) ispitivanog ternarnog sistema i zapaženo je dobro međusobno slaganje. Ukupno je proračunato šest non-varijantnih reakcija: pet ternarnih kvazi-peritektičkih reakcija i jedna ternarna eutektička reakcija. Eksperimentalni rezultati ukazuju na postojanje reakcije faznog prelaza na temperaturi blizu $217,5\text{ }^\circ\text{C}$ koja se slaže sa proračunatom temperaturom ternarne eutektičke reakcije. Takođe, kod većine ispitivanih uzoraka, uočen je označeni pik sa ekstrapoliranom onset temperaturom, koji odgovara proračunatoj kvazi-peritektičkoj reakciji na $349,5\text{ }^\circ\text{C}$. Za većinu ispitivanih uzoraka eksperimentalno određene likvidus temperature su u saglasnosti sa proračunatim.
- Termodinmičkom analizom tečnih Ag-Cu-Sn legura, koristeći Chou-ov model opštih rastvora za predviđanje termodinamičkih veličina ternarnih legura prema poznatim termodinamičkim veličinama sastavnih binarnih sistema, izračunate su integralne ekscresne Gibbs-ove slobodne energije za petnaest izabranih preseka na 1473 K . Daljim proračunom su dobijene parcijalne molarne Gibbs-ove slobodne energije, i konstruisani su dijagrami izo-aktivnih linija za sve tri komponente. Utvrđeno je da termodinamičke osobine sastavnih binarnih sistema definišu termodinamičko ponašanje legura ternarnog sistema, i da hemijski afiniteti između elemenata u binarnim sistemima takođe ostaju i u ternarnim legurama.

Rezultati prikazani u ovoj disertaciji predstavljeni su radovima na domaćoj i međunarodnim konferencijama, kao i u tri međunarodna časopisa (od kojih je jedan sa JCR liste) na kojima je kandidat prvi autor (reference broj 5, 6, 7).

Imajući u vidu naučni doprinos ove disertacije, kao i praktični značaj primene ispitivanih legura kao novih lemnih „ekoloških“ legura, na osnovu napred iznetih činjenica Komisija zaključuje da doktorska disertacija kandidata Mr Saše Marjanovića, dipl. inž. metalurgije, pod nazivom ISPITIVANJE STRUKTURNIH KARAKTERISTIKA I TERMO-MEHANIČKOG REŽIMA OBRADE LEGURA U TROJNOM SISTEMU Ag-Cu-Sn, ispunjava sve naučne i stručne uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju i da se može javno braniti. Zbog toga, sa zadovoljstvom predlažemo Nastavno-naučnom veću Tehničkog fakulteta u Boru da prihvati izveštaj Komisije o oceni predmetne disertacije i da kandidatu odobri njenu usmenu javnu odbranu.

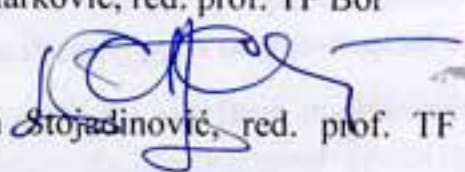
U Boru, 2010.

KOMISIJA:


1. Dr Dragoslav Gusković, red. prof. TF Bor


2. Dr Dragana Živković, red. prof. TF Bor


3. Dr Desimir Marković, red. prof. TF Bor


4. Dr. Slobodan Stojadinović, red. prof. TF „M. Pupin”
Zrenjanin