



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР

19210 Бор, Зелени булевар 35
Тел:(030)436-826;факс:(030)435-175;E-mail:institut@irmbor.co.rs



**TEHNIČKO REŠENJE
(M82)**

**NOVI SHAPE - MEMORY MATERIJAL
NA BAZI BAKRA (Cu= 70 – 90%)
SA DODATKOM SREBRA I ALUMINIJUMA**

1. Autori tehničkog rešenja

Dr Zdenka Stanojević Šimšić, dipl.inž., naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Aleksandra Milosavljević, dipl.inž., viši naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Ana Kostov, dipl.inž., naučni savetnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

2. Naziv tehničkog rešenja

Novi shape-memory materijal na bazi bakra (Cu= 70 – 90%) sa dodatkom srebra i aluminijuma

3. Ključne reči

Shape-memory materijali, bakar, srebro, aluminijum

4. Tehničko rešenje proizašlo kao rezultat projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za 2018. godinu

Projekat br. TR34005: „Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju“, rukovodilac dr Ana Kostov, IRM Bor

5. Korisnik tehničkog rešenja

DOO „MARTENZIT“ Bor

6. Godina kada je tehničko rešenje kompletirano

2018. godina

7. Godina kada se tehničko rešenje primenjuje

2018. godina

8. Oblast i naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi

Materijali i hemijske tehnologije

9. Problem koji se rešava tehničkim rešenjem

Materijali koji pamte oblik imaju široku primenu kako u različitim granama industrije, tako i u kućnim uslovima. Efekat pamćenja oblika proučavan je kod mnogih binarnih i ternarnih legura, kao i kod čistih metala. Međutim, kao najčešće primenjivane izdvajaju se Nitinol (legura nikla i titana), legure na bazi bakra i železa. Nitinol ima najširu primenu zbog velikog stepena deformacije (do 8%), kao i odlične termičke stabilnosti i korozione postojanosti. Ipak, u smislu načina dobijanja, zbog reaktivnosti titana, imaju ograničenja, s obzirom na to da se topljenje mora vršiti u vakuumu. Komercijalnije legure u odnosu na nitinol su svakako legure na bazi bakra, s obzirom na to da su jeftinije i da se topljenje ne mora vršiti u zaštitnoj atmosferi. Uglavnom su to kombinacije bakra sa cinkom i aluminijumom ili aluminijumom i niklom. Za razliku od prethodnih, legure koje pamte oblik

na bazi železa imaju mogućnost deformacije samo do 4%. To su Fe-Mn-Si legure, koje se nakon samo male deformacije mogu vratiti u prvobitan oblik.

Dakle, legure na bazi bakra su svakako povoljniji izbor sa ekonomske tačke gledišta. Najviše ispitivana je legura bakra sa aluminijumom, sa dodatkom cinka ili nikla. Ove legure poseduju nešto slabije mehaničke osobine zbog krupnijeg zrna i veće elastične anizotropije, što se može korigovati bez narušavanja tzv. shape-memory efekta. To se može postići promenom brzine očvršćavanja, usitnjavanjem zrna, ili dodatkom nekog elementa kao npr. Zr, V, Ti, Cr, itd.

10. Problematika i stanje rešenosti u oblasti razvoja shape memory materijala na bazi bakra sa dodatkom srebra i aluminijuma u svetu i kod nas

Materijali na bazi bakra, kako čistog, tako i njegovih legura, imaju široku i multifunkcionalnu primenu, kako u svetu, tako i u našoj zemlji. Različita namena ogleđa se u primeni ne samo za potrebe različitih grana industrije, već i u medicinske svrhe.

Pojam efekta pamćenja oblika prvi put se sreće u radovima A.B. Greningena i V.G. Mooradiana iz 1938. godine. Greningen i Mooradian su pokazali da martenzitna faza kod bronze i legura bakra sa cinkom može da ostvari oblik i izgubi ga sa promenom temperature.

Međutim, fenomen pamćenja oblika nije privlačio veliku pažnju sve do šezdesetih godina dvadesetog veka kada je primećen u leguri Ni-Ti. Naime, 1962. godine W.J. Buehler pronašao je leguru Ni-45Ti, koja je nazvana nitinol, i danas je najpoznatija legura koja ispoljava efekat pamćenja oblika. Od tada do danas načinjen je bitan napredak u shvatanju prirode legura sa pamćenjem oblika.

Poslednjih desetak godina, ponovo je povećano interesovanje istraživača za legure koje pamte oblik, a naročito za legure na bazi bakra.

Veći broj autora posvetio je svoja istraživanja opisu tehnologija za dobijanje legura bakra koje pamte oblik. Pored opisa tehnologija za dobijanje ovih legura, dosta je ispitivana martenzitna struktura. Znatno broj istraživača bavio se proučavanjem uticaja pojedinih faktora na sposobnost pamćenja oblika u legurama na bazi bakra, a naročito sistema Cu-Zn-Al.

U svojim radovima Han i Kim, kao i Wei i Yang ukazali su da efekat starenja može u znatnoj meri da smanji sposobnost pamćenja oblika kod legura na bazi bakra. Poboľšanje se može postići efektom brzog očvršćavanja ovih legura (radovi Perkinsa, Scarsbrooka i Yamamotoa) ili pak precipitacijom α -faze (radovi Duana, Lena, Pelegrina i Loveya) čime se postiže stabilizacija martenzita. Thumann i Hornogen su pokazali da se reverzibilnost martenzitne transformacije menja u toku procesa izrade legura.

Veličina zrna je još jedan od bitnih faktora koji utiču na efekat pamćenja oblika. Obzirom da se ubrzani rast zrna negativno odražava na ciklično ponašanje transformacije polazna faza - martenzit, neki istraživači predlažu dodavanje četvrte komponente u sistemu Cu-Zn-Al u cilju smanjenja veličine zrna i usporavanja rasta zrna.

Većina istraživača koji su istraživali legure na bazi bakra sa sposobnošću pamćenja oblika, bazirali su svoj rad na ispitivanjima strukture martenzita, i uočavanju i sprečavanju negativnih uticaja na proces pamćenja oblika, reverzibilnost i cikličnost martenzitne transformacije. Znatno manji broj radova je iz oblasti koja se odnosi na definisanje temperatura martenzitnog preobražaja, koje su od značaja za proces pamćenja oblika u legurama na bazi bakra.

U našoj zemlji shape memory legurama bavio se i bavi tim iz Instituta za bakar Bor, danas Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor zajedno u saradnji sa Tehničkim fakultetom u Boru. U okviru tih istraživanja urađena je po jedna magistarska teza i doktorska disertacija.

11. Opis tehničkog rešenja

Iz grupe savremenih materijala različite namene izdvajaju se tzv. pametni materijali (engl. smart materials). Pametni materijali reaguju na uticaj okoline promenom nekih svojih osobina. U zavisnosti od promene spoljnih uslova, dolazi do promene osobina materijala (mehaničke, električne, strukturne). U zavisnosti od toga koja osobina se menja, razlikuje se više tipova takvih materijala. Svi oni su funkcionalni materijali, pa se tako iz te velike grupe izdvajaju tzv. shape-memory materijali, tj. materijali sa sposobnošću pamćenja oblika. Ovakvi materijali reaguju na termijski stimulans, tj. promenu temperature, a imaju mehanički odziv, tj. dolazi do promene njihovih mehaničkih osobina. Nakon deformacije, na određenoj temperaturi, materijal se vraća u svoj prvobitan oblik.

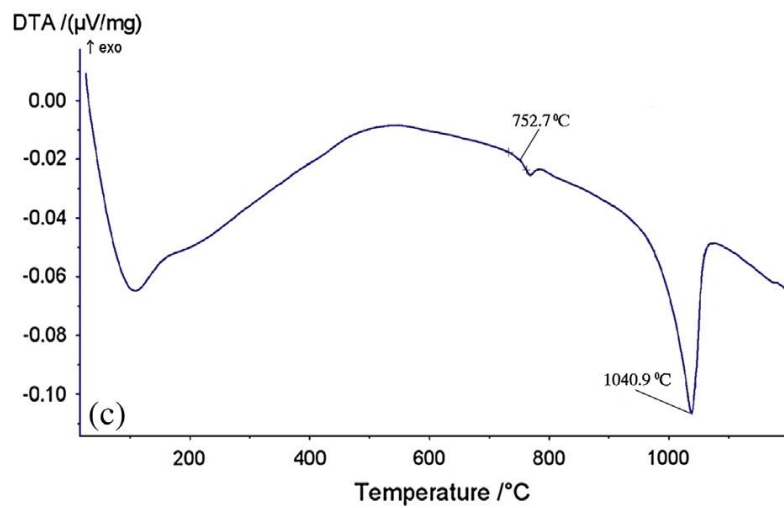
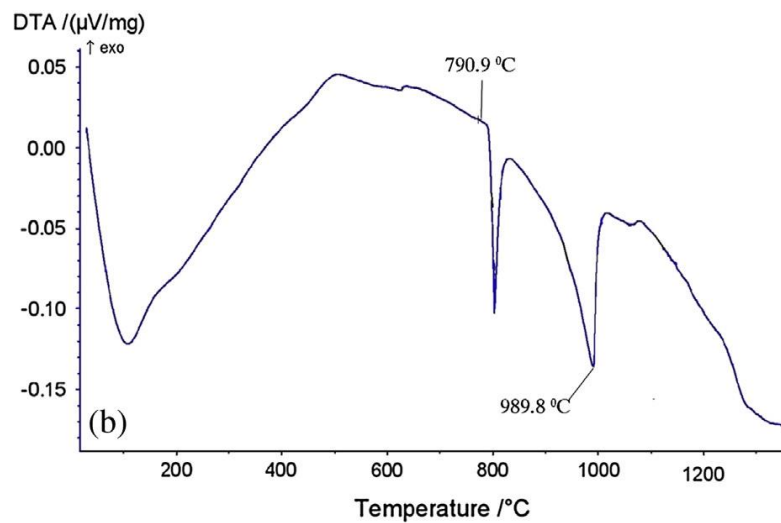
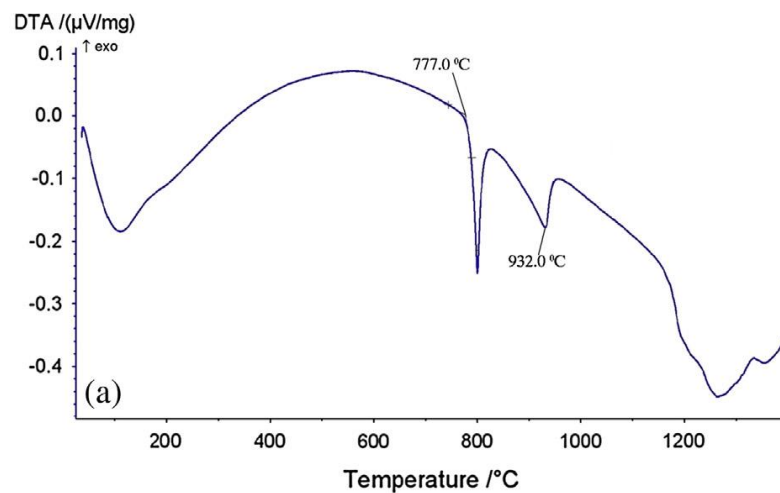
Predmet ovog tehničkog rešenja predstavlja novi shape memory materijal na bazi bakra sa dodatkom srebra i aluminijuma. U cilju ispitivanja martenzitne transformacije koja predstavlja suštinu ove vrste materijala, odabrani su uzorci sa 70, 80 i 90 % bakra i odgovarajućom koncentracijom srebra i aluminijuma. Svi uzorci su pripremljeni indukcijom topljenjem čistih metala u zaštitnoj atmosferi argona. Pripremljeni uzorci podvrgnuti su termijskim, strukturnim, mehaničkim i električnim ispitivanjima. Ovi sastavi kao i karakteristične DTA temperature prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Sastavi ispitivanih legura i njihove DTA temperature

	Sastav uzorka		DTA temperature (°C)	
	Al	Ag	solidus	likvidus
70% Cu	6	24	777	932
	12	18	770	927
	18	12	776	947
	24	6		
80 % Cu	4	16	790	952
	8	12	791	990
	12	8	789	1004
	16	4	909	1026
90 % Cu	2	8	758	1023
	4	6	753	1041
	6	4	972	1047
	8	2	992	1061

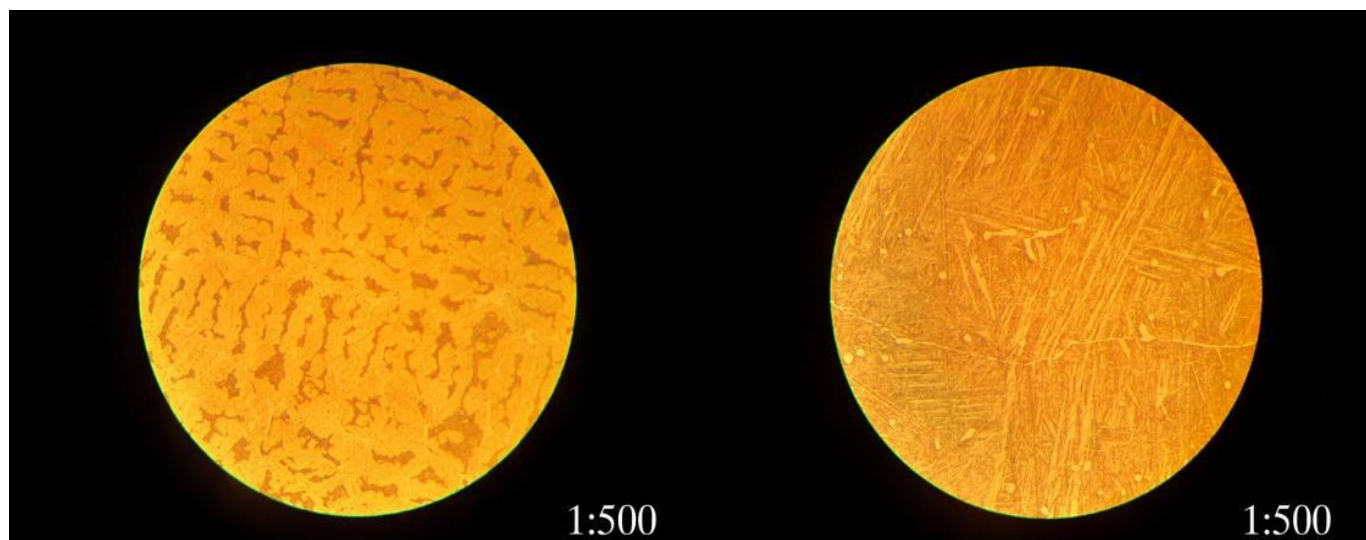
Na slici 1 prikazane su DTA krive zagrevanja za 3 odabrane legure sastava 70, 80 i 90 % Cu.

Suštinu ovog tehničkog rešenja ogleda se u razvijanju grupe materijala bogatih bakrom, a sa dodatkom srebra i aluminijuma, pa je shodno tome ovde dat prikaz karakteristika legura u livenom stanju. Iste su kasnije podvrgnute plastičnoj preradi i memorisanju oblika. Shape memory legure obično se dobijaju klasičnim metodama topljenja, livenja i prerađivanja. Legure koje poseduju martenzitnu strukturu imaju otežanu plastičnu preradu, koja se sastoji iz više ciklusa valjanja na toplo i izvlačenja na hladno, uz niz međufaznih žarenja, kako bi se od ingota određenih dimenzija dobile šipke i žice malih poprečnih preseka.



Slika 1. DTA krive za neke od ispitivanih uzoraka:
 a) $Cu_{70}Al_6Ag_{24}$; b) $Cu_{80}Al_8Ag_{12}$; c) $Cu_{90}Al_4Ag_6$

Na slici 2 prikazana je mikrostruktura livenih uzoraka legura na bazi bakra, dobijena optičkom mikroskopijom. Dat je prikaz dve legure sa istim sadržajem bakra (70%), dok sadržaj srebra i aluminijuma varira. Primećuje se da se kod legure Cu70Al24Ag6 (slika 2a) javlja martenzitna struktura, što je i očekivano obzirom na to da ovaj sastav pripada koncentracionom području postojanja β faze. Za razliku od nje, druga legura sa istim sadržajem bakra (slika 2b), ima dendritnu strukturu.



a) Cu70Al18Ag12

b) Cu70Al24Ag6

Slika 2. Mikrostruktura legura Cu-Al-Ag

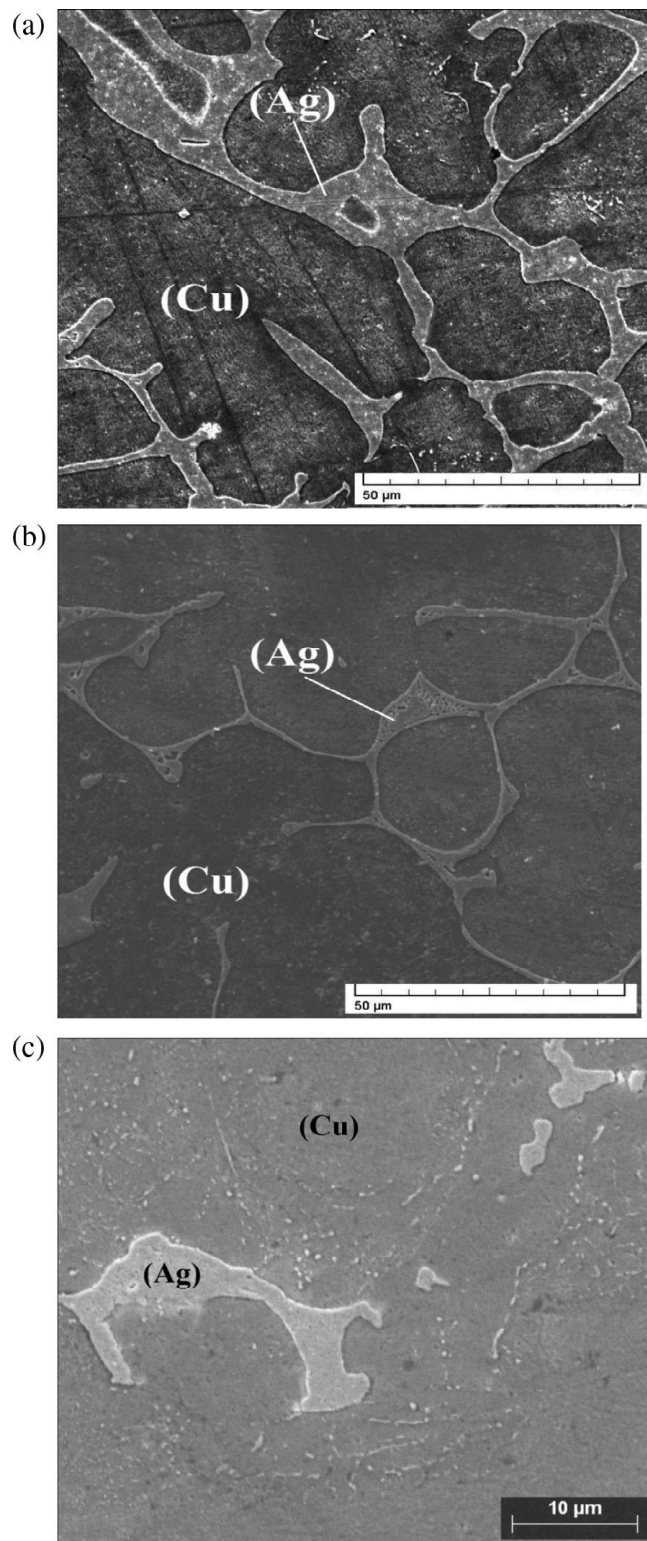
Na osnovu izvršene strukturne analize korišćenjem SEM-EDS metode, potvrđeno je postojanje svih očekivnih faza u ispitivanom Cu-Al-Ag sistemu. Izvršena analiza ukazuje da u strukturi ispitivanih uzoraka dominira prisustvo čvrstih rastvora na bazi srebra, bakra i aluminijuma. Čvrsti rastvor na bazi srebra (Ag), se uglavnom javlja u obliku precipitata oko zrna čija je osnova čvrsti rastvor na bazi bakra (Cu), dok je aluminijum raspršen po čitavoj zapremini legura. Ovakva struktura je posebno karakteristična za legure bogate na bakru, tj. legure u oblasti sa konstantnim sadržajem bakra 70, 80 i 90 at.%, respektivno, i promenljivim sadržajem srebra i aluminijuma.

SEM mikrostruktura odabranih ispitivanih legura prikazana je na slici 3.

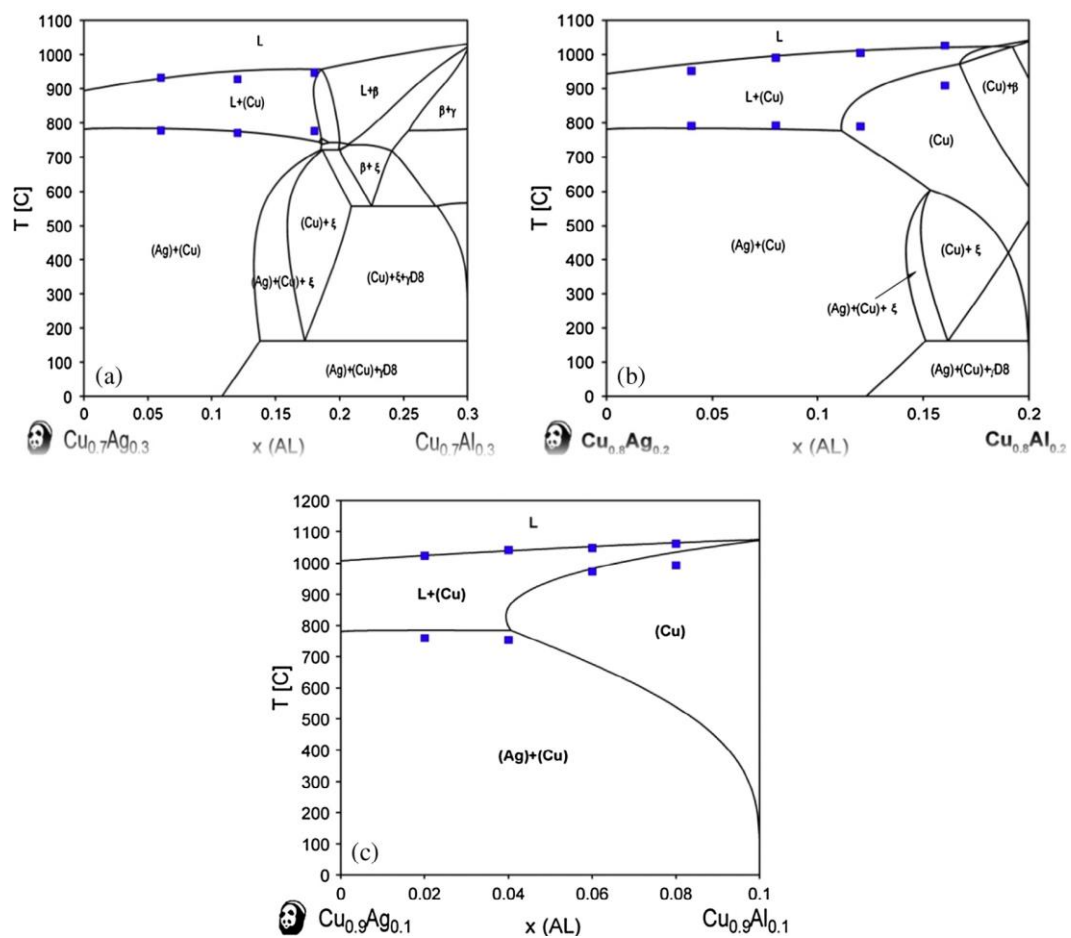
U cilju smanjenja broja eksperimenata kojima bi se pristupilo u daljem radu, izvršena je kalkulacija vertikalnih preseka sa 70, 80 i 90 % bakra, a na osnovu dobijenih eksperimentalnih podataka što je prikazano na slici 4.

Na osnovu izmerenih vrednosti za elektroprovodljivost i tvrdoću ispitivanih uzoraka, formirani su dijagrami zavisnosti ovih veličina od sadržaja aluminijuma (slike 5 i 6, respektivno).

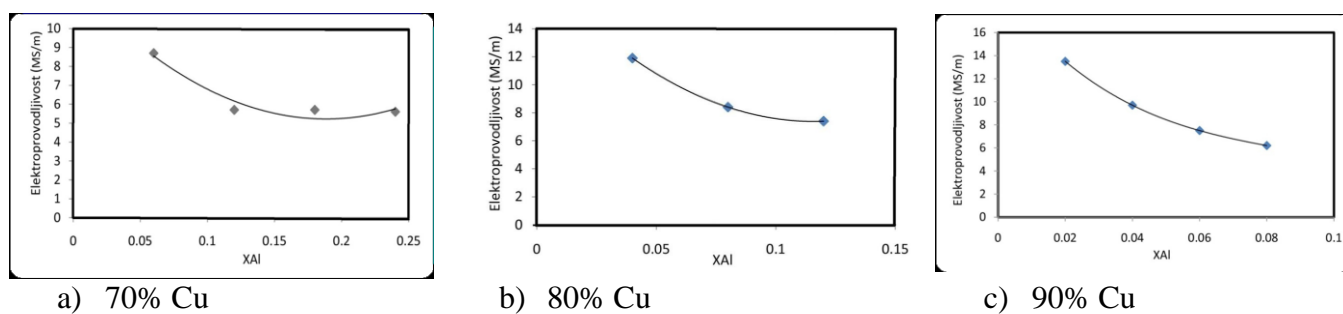
Zavisnosti elektroprovodljivosti pokazuju isti trend za sve grupe uzoraka (slika 5), dok kod tvrdoće grupa uzoraka sa 70% bakra pokazuje drugačije ponašanje u odnosu na one sa 80 i 90 % (slika 6), što predstavlja nadogradnju i u skladu je sa zaključkom izvedenim na osnovu prethodne karakterizacije ostalim metodama (DTA, SEM-EDS i optička mikroskopija).



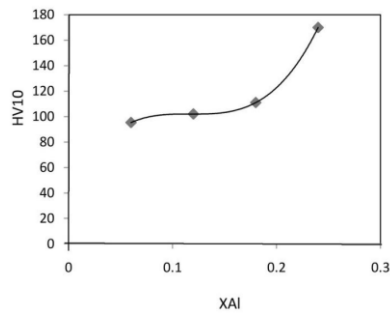
Slika 3. SEM mikrostruktura legura
a) Cu₇₀Al₁₂Ag₁₈; b) Cu₈₀Al₁₂Ag₈; c) Cu₉₀Al₄Ag₆



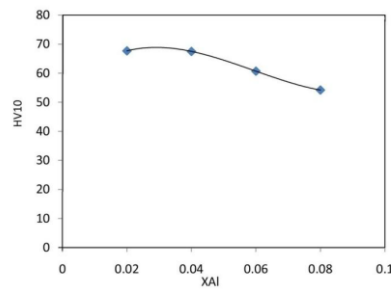
Slika 4. Proračunati vertikalni presecci pri sadržajima 70, 80 i 90 % Cu u poređenju sa eksperimentalno dobijenim temperaturama



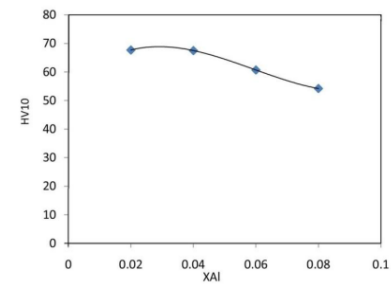
Slika 5. Elektroprovodljivost legura Cu-Al-Ag u zavisnosti od sadržaja aluminijuma



a) 70% Cu



b) 80% Cu



c) 90% Cu

Slika 6. Tvrdoća legura Cu-Al-Ag u zavisnosti od sadržaja aluminijuma

12. Tehnička dokumentacija

12.1. Zaključak

Tehničko rešenje: Novi shape-memory materijal na bazi bakra (Cu= 70 – 90%) sa dodatkom srebra i aluminijuma nastalo je kao rezultat rada na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja br. TR34005, pod nazivom „Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju“.

Novi materijal na bazi bakra (Cu= 70 – 90%) sa dodatkom srebra i aluminijuma predstavlja proširenje asortimana ekoloških multifunkcionalnih materijala, koji se mogu plasirati kako na domaće, tako i na inostrano tržište. Originalnost tehničkog rešenja se ogleda u originalnom hemijskom sastavu i modifikovanom tehnološkom postupku izrade, optimizovanom prema sopstvenim prethodnim i sadašnjim istraživanjima ekoloških legura, koja su podrazumevala uvećani obim laboratorijskih eksperimenata i sveobuhvatnu karakterizaciju dobijenih legura.

Takođe, stvorena je mogućnost rada na osvajanju novih materijala iz ove grupe za praktičnu primenu, kako u zameni bimetalnih materijala, tako i u konstrukciji uređaja koji bi koristili efekat pamćenja oblika.

Neposredni korisnik proizvedenog materijala je firma „Martenzit“ doo iz Bora.

12.2. Validan dokaz o primeni tehničkog rešenja (potvrda firme koja ga koristi)

Neposredni korisnik proizvedenog materijala je firma „Martenzit“ doo iz Bora. Potvrda firme je u prilogu ovog dokumenta.

12.3. Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog od autora pojedinačno

12.3.1. dr Zdenka Stanojević Šimšić

M82:

1. Branka Pešovski, Vladimir Cvetkovski, Danijela Simonović, **Zdenka Stanojević Šimšić**, Smiljana Jakovljević, Ljiljana Mladenović, Vesna Conić, Tehn. Reš. 2011. Nova proizvodna linija fleksibilnog postrojenja za proizvodnju soli i čistih hemikalija, br IV/8.5 od 06.12..2011. Projekat TR 34004: Razvoj ekoloških i energetski efikasnijih tehnologija za Proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije.

2. Vladimir Cvetkovski, Vesna Conić, Suzana Dragulović, **Zdenka Stanojević Šimšić**, Branka Pešovski, Danijela Simonović, Dana Stanković, Zoran Vaduvesković, Nova proizvodna linija

za dobijanje bakar sulfata solventnom ekstrakcijom rudničkih voda, Projekat TR 34004: Razvoj ekoloških i energetski efikasnijih tehnologija za Proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije.

3. Silvana Dimitrijević, Suzana Dragulović, **Zdenka Stanojević Šimšić**, Aleksandra Ivanović, Vojka Gardić, Radmila Marković, Biserka Trumić, Elektrolitička rafinacija bakarnih anoda sa nestandardnim oblikom elektroda, br. T3/2012, Projekat TR 34024: Razvoj tehnologija za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz čvrstog otpada Srbije do visokokvalitetnih proizvoda.

4. Vladimir Cvetkovski, Vesna Conić, Suzana Dragulović, **Zdenka Stanojević Šimšić**, Danijela Simonović, Silvana Dimitrijević, Zorica Ljubomirović, Nova proizvodna linija za proizvodnju bakra solventnom ekstrakcijom rudničkih voda, br. T1/34004-2012. Projekat TR 34004: Razvoj ekoloških i energetski efikasnijih tehnologija za Proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije.

M 83:

1. Silvana Dimitrijević, Vlastimir Trujić, Suzana Dragulović, Radmila Marković, Vesna Conić, Biljana Madić, **Zdenka Stanojević Šimšić**, Reciklaža bakra i srebra iz posrebranih mesinganih kućišta kombinacijom pirometalurških, elektrometalurških i hemijskih postupaka, br. T1/2012. Projekat TR 34024: Razvoj tehnologija za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz čvrstog otpada Srbije do visokokvalitetnih proizvoda.

2. Suzana Dragulović, Silvana Dimitrijević, Biserka Trumić, Mirjana Šteharik, **Zdenka Stanojević Šimšić**, Vesna Conić, Aleksandra Ivanović, Dobijanje srebro-jodida iz srebra dobijenog reciklažom sekundarnih sirovina, br. T2/2015, Projekat TR 34024: Razvoj tehnologija za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz čvrstog otpada Srbije do visokokvalitetnih proizvoda

12.3.2. dr Ana Kostov

M82:

1. Aleksandra Milosavljević, **Ana Kostov**, Dragana Živković, Duško Minić, Radiša Todorović, Ekološki bezolovni lemovi tipa Ag3-15In7-35Sn90-50, tehničko rešenje – novi lemni materijal, Projekat MNTR br. TR 19011, 2008-2010.

2. Lidija Gomidželović, Dragana Živković, **Ana Kostov**, Nadežda Talijan, Ekološki bezolovni lem Au17.5In17.5Sb65, tehničko rešenje – novi lemni materijal, Projekat MNTR br. TR 19011, 2008-2010.

3. Aleksandra Milosavljević, **Ana Kostov**, Dragana Živković, Nadežda Talijan, Aleksandar Grujić, Radiša Todorović, Ekološki bezolovni lemovi tipa Ag3-6In10,5-21Cu1,5-3Sn85-70, tehničko rešenje – novi lemni materijal, Projekat MNTR br. TR 19011, 2008-2010.

4. Aleksandra Milosavljević, **Ana Kostov**, Dragana Živković, Nadežda Talijan, Radiša Todorović, Ekološki bezolovni lemovi tipa Cu5-1In45-9Sn50-90, tehničko rešenje – novi lemni materijal, Projekat MNTR br. TR 19011, 2008-2010.

5. **Ana Kostov**, Dragana Živković, Radiša Todorović, Aleksandra Milosavljević, Lidija Gomidželović, Emina Požega, Ljubinka Todorović, Napredni shape memory CuZnAl materijal za multifunkcionalnu primenu, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPN br. TR34005, 2011.

6. Radiša Todorović, **Ana Kostov**, Aleksandra Milosavljević, Ljubinka Todorović, Specijalni lem CuZnSnSiMn za tvrdo lemljenje čeličnih delova, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPN br. TR34005, 2012.

7. Lidija Gomidželović, **Ana Kostov**, Dragana Živković, Nadežda Talijan, Vladan Čosović, Radiša Todorović, Novi materijal: ekološki bezolovni lemovi tipa Au2-8Ga25-40In12-48Sb25-40, Projekti MPN br. TR34005 i ON172037, 2012.

8. Radiša Todorović, **Ana Kostov**, Aleksandra Milosavljević, Ljubinka Todorović, Novi materijal od visokočistog bakra sa srebrnim jezgrom u obliku dvoslojne žice za primenu u medicini, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPNTR br. TR34005, 2013.

9. **Ana Kostov**, Aleksandra Milosavljević, Radiša Todorović, Novi materijal Ag₃In₇Sn₉₀ za primenu u računarskoj tehnici, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPNTR br. TR34005, 2014.

10. Radiša Todorović, **Ana Kostov**, Aleksandra Milosavljević, Ljubinka Todorović, Nova proizvodna linija za proizvodnju elektroda za navarivanje čija je plastična prerada otežana, tehničko rešenje – nova proizvodna linija, Projekat MPNTR br. TR34005, 2015.

11. Ljubiša Balanović, Dragana Živković, Dragan Manasijević, Lidija Gomidželović, **Ana Kostov**, Aleksandra Mitovski, Duško Minić, Radiša Todorović, Višekomponentni ekološki Sn-Zn-Ga i Sn-Zn-Ga-Al lemovi, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPNTR br. ON172037, 2015.

M85:

1. Emina Požega, Svetlana Ivanov, Lidija Gomidželović, **Ana Kostov**, Aleksandra Milosavljević, Marijana Jovanović, Program za modeliranje procesa boriranja, Projekat MPNTR br. TR34005, 2013.

12.3.3. dr Aleksandra Milosavljević

M82:

1. **Aleksandra Milosavljević**, Ana Kostov, Dragana Živković, Duško Minić, Radiša Todorović, Ekološki bezolovni lemovi tipa Ag₃-15In₇-35Sn₉₀₋₅₀, tehničko rešenje – novi lemn materijal, Projekat MNTR br. TR 19011, 2008-2010.

2. **Aleksandra Milosavljević**, Ana Kostov, Dragana Živković, Nadežda Talijan, Aleksandar Grujić, Radiša Todorović, Ekološki bezolovni lemovi tipa Ag₃-6In_{10,5}-21Cu_{1,5}-3Sn₈₅₋₇₀, tehničko rešenje – novi lemn materijal, Projekat MNTR br. TR 19011, 2008-2010.

3. **Aleksandra Milosavljević**, Ana Kostov, Dragana Živković, Nadežda Talijan, Radiša Todorović, Ekološki bezolovni lemovi tipa Cu₅-1In₄₅-9Sn₅₀₋₉₀, tehničko rešenje – novi lemn materijal, Projekat MNTR br. TR 19011, 2008-2010.

4. Ana Kostov, Dragana Živković, Radiša Todorović, **Aleksandra Milosavljević**, Lidija Gomidželović, Emina Požega, Ljubinka Todorović, Napredni shape memory CuZnAl materijal za multifunkcionalnu primenu, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPN br. TR34005, 2011.

5. Radiša Todorović, Ana Kostov, **Aleksandra Milosavljević**, Ljubinka Todorović, Specijalni lem CuZnSnSiMn za tvrdo lemljenje čeličnih delova, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPN br. TR34005, 2012.

6. Radiša Todorović, Ana Kostov, **Aleksandra Milosavljević**, Ljubinka Todorović, Novi materijal od visokočistog bakra sa srebrnim jezgrom u obliku dvoslojne žice za primenu u medicini, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPNTR br. TR34005, 2013.

7. Ana Kostov, **Aleksandra Milosavljević**, Radiša Todorović, Novi materijal Ag₃In₇Sn₉₀ za primenu u računarskoj tehnici, tehničko rešenje – novi materijal, Projekat MPNTR br. TR34005, 2014.

8. Radiša Todorović, Ana Kostov, **Aleksandra Milosavljević**, Ljubinka Todorović, Nova proizvodna linija za proizvodnju elektroda za navarivanje čija je plastična prerada otežana, tehničko rešenje – nova proizvodna linija, Projekat MPNTR br. TR34005, 2015.

M85:

1. Emina Požega, Svetlana Ivanov, Lidija Gomidželović, Ana Kostov, **Aleksandra Milosavljević**, Marijana Jovanović, Program za modeliranje procesa boriranja, Projekat MPNTR br. TR34005, 2013.

PRILOG za tačku 12.2:

Potvrda firme Martenzit doo Bor