



**NOVO TEHNIČKO REŠENJE PRIMENJENO NA NACIONALNOM
NIVOU
(M 82)**

**LEGURE SISTEMA $\text{Cu}_{0.5}\text{Ag}_{0.5}\text{-Al}$ KAO NOVI MATERIJALI
KOJI PAMTE OBLIK**

Podnosilac zahteva:

Dr Aleksandra Milosavljević, dipl. ing. met., viši naučni saradnik

Bor, novembar, 2018.



NAZIV ZAPISA „Техничка и развојна решења“	VRSTA : 0. MAT.DOK.:	Oznaka:
---	-------------------------	---------

Datum: 2018-11-13

Grupa M80: „Техничка решења“**Kategorija: „Ново техничко решење применено на националном нивоу“****Rezultat: M82****1. Autori решења:**

Dr Zdenka Stanojević-Šimšić, naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Dr Ana Kostov, naučni savetnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Dr Aleksandra Milosavljević, viši naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Dr Emina Požega, istraživač saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

E-mail: zdenkassh@irmbor.co.rs**2. Naziv tehničkog решења – Ново техничко решење применено на националном нивоу:**Legure sistema $Cu_{0.5}Ag_{0.5}-Al$ kao novi materijali koji pamte oblik**3. Ključne reči:**Ternarni sistem Cu-Al-Ag, legure sistema $Cu_{0.5}Ag_{0.5}-Al$, efekat pamćenja oblika**4. Za koga je решење radeno:**

DOO „MARTENZIT“, Bor

5. Godina kada je решење kompletirano:

2018. godina

6. Godina kada je počelo da se primenjuje i od koga:

2018. godine, DOO „MARTEZIT“, Bor

7. Oblast i naučna disciplina na koju se техничко решење odnosi:

Техничко решење pripada oblasti Materijali i hemijske tehnologije.

8. Problem koji se техничким решењем rešava:

Legure ternarnog sistema Cu-Al-Ag spadaju u materijale koji se mogu primenjivati u medicini, bioinženjeringu, elektronici, elektrotehnici, mašinstvu, zlatarstvu, itd.

Praktična primena ispitivanih legura koje pamte oblik ternarnog sistema Cu-Al-Ag, koje po svom hemijskom sastavu pripadaju oblasti $Cu_{0.5}Ag_{0.5}-Al$ vertikalnog preseka ovog sistema, ostvarena je kroz dobijanje poluproizvoda od ovog materijala u obliku valjkastih odlivaka



пречника $\varnothing 7\text{mm}$, који се даље у фирми DOO „MARTEZIT“, у Boru користе у производњи готових производа.

9. Stanje rešenosti tog problema u svetu:

Visok nivo tehničko - tehnološkog razvoja uslovljava sve veću potrebu za novim materijalima čije bi specijalne karakteristike ispunjavale sve složenije zahteve kako industrije, tako i drugih oblasti koje omogućavaju kvalitetniji, a time i komforniji način života ljudi danas. U ovu grupu materijala spadaju i legure sa efektom pamćenja oblika (engl. SMA –Shape Memory Alloys), koje pored sposobnosti pamćenja oblika i pseudoelastičnosti, poseduju čitav niz osobina koje ih čine pogodnim za primenu u elektronici, elektrotehnici, kosmičkim tehnologijama, bioinženjeringu, medicini, itd.

Pojave vezane za efekat pamćenja oblika prvi put pominje nekoliko istraživača još tridesetih godina XX veka poput švedskog istraživača Olander-a, zatim Greningen-a i Mooradian-a, a četrdesetih godina prošlog veka Kurdymov je proučavajući martenzitnu strukturu, uočio kod bronze vezu između visokotemperaturne β faze i martenzitne strukture pri brzom hlađenju i kristalografiju martenzita kod čelika.

Sva prethodno pomenuta istraživanja i otkrića fenomena pamćenja oblika kod legura bila su sporadična sve do šezdesetih godina prošlog veka, kada je ovaj fenomen primećen u tada novodobijenoj leguri Ni-Ti nazvanoj Nitinol. Za otkriće ove legure, kao i fenomena pamćenja oblika kod nje, zaslužan je W.J. Buehler sa saradnicima, koji je fokusirajući svoja istraživanja na dobijanje materijala (metala), po fizičkim i mehaničkim osobinama pogodnog za izradu kosmičkih letelica, otkrio leguru Ni-45Ti (Nitinol). Takođe su, na predlog ovog istraživača i njegovih saradnika, pojave vezane za fenomen pamćenja oblika nazvane efekat pamćenja oblika – shape memory effect. Danas se praktična primena ovih legura vezuje za aeroindustriju, automobilsku industriju, robotiku, biomedicinu, kao i čitav niz komercijalnih proizvoda. U medicini se primenjuju razni proizvodi u ortopediji, vaskularnoj, neuro i kardiohirurgiji.

Može se reći da je nakon ovog otkrića nastao preokret, fenomen pamćenja oblika je izazivao sve veće interesovanje istraživača koji su svoja istraživanja usmeravali ka proučavanju kako strukture, prvenstveno martenzitne, termodinamičkih karakteristika i drugih osobina, tako i ka razvijanju tehnologija proizvodnje legura koje pamte oblik.

Krajem sedamdesetih godina XX veka javlja se interesovanje za legure koje pamte oblik na bazi bakra. Od tog vremena do danas urađen je veliki broj istraživanja i publikovano puno radova i studija vezano za termodinamiku, kinetiku, strukturu, mehaničke i električne osobine dvokomponentnih, trokomponentnih i višekomponentnih legura na bazi bakra koje ispoljavaju efekat pamćenja oblika. Danas su najviše u upotrebi legure sistema Cu-Zn-Al i Cu-Al-Ni, ali se intenzivno radi i na dobijanju i razvoju upotrebe drugih legura na bazi bakra sa čitavim nizom drugih elemenata.

U poslednjih petnaestak godina, usled visokog tehničko – tehnološkog razvoja i potreba tržišta, pre svega automobilske i naftne industrije, kao i robotike, pojavila se potreba za legurama koje pamte oblik sa visokim temperaturama faznih transformacija (engl. HTSMA - shape memory alloys with high transformation temperatures). Za ove legure je karakteristično da je temperatura početka transformacije martenzita u polaznu fazu iznad 120°C u uslovima bez naprezanja. Ovi



materijali, u koje spadaju legure na bazi sistema Co-, Fe–Mn–Si-, Cu–Al–Ni-, Ni–Mn-, Ni–Al–Ti (Pt, Pd, Au), se još uvek praktično ne primenjuju zbog problema koji se javljaju poput stabilizacije martenzita, dekompozicije polazne faze, krtosti, oksidacije, itd. Tokom poslednjih nekoliko godina je pažnja istraživača usmerena na legure sistema Ni–Ti–Zr i Ni–Ti–Hf, uglavnom zbog niske cene sirovina.

10. Opis tehničkog rešenja:

10.1. Uvod

Tehničko rešenje je proizašlo kao rezultat projekta TR34005: „**Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju**“, u okviru koga je planirano dobijanje legura koje pamte oblik na bazi Cu-Al.

Legure sa efektom pamćenja oblika, (engl. SMA –Shape Memory Alloys), podrazumevaju specijalne materijale koje karakterišu dve jedinstvene osobine - fenomen pamćenja oblika i pseudoelastičnost. Upravo ove karakteristike čine ove materijale aplikativnim i interesantnim za istraživanje već nekoliko decenija unazad imajući u vidu mogućnost njihove primene u tehnici, elektronici, energetici, medicini, bioinženjeringu, kosmičkoj tehnologiji, itd.

Legure sa efektom pamćenja oblika pripadaju grupi savremenih materijala poznatih pod nazivom „pametni materijali“. Za ove materijale je karakteristično da reaguju na uticaj okoline, odnosno, u zavisnosti od promene spoljnih uslova, dolazi do promene osobina materijala (mehaničkih, električnih, strukturnih). Promena temperature predstavlja taj spoljašnji faktor pod čijim uticajem dolazi do strukturnih promena.

Efekat pamćenja oblika („*shape memory effect*“) može da se definiše kao sposobnost nekih plastično deformisanih metala i legura da pri zagrevanju uspostave prvobitni oblik usled potpunog ili približno potpunog iščezavanja deformacije. U ovim legurama se, pod određenim uslovima, odvija tzv. termoelastična martenzitna transformacija koja dovodi do pojave određenih makroskopskih efekata, pri kojoj se fenomen pamćenja oblika može ispoljiti u jednosmernom efektu pamćenja oblika, dvosmernom efektu pamćenja oblika ili pseudoelastičnošću.

Najznačajnije i najpoznatije legure koje ispoljavaju efekat pamćenja oblika su legure na bazi nikla i titana, kao i na bazi bakra. Legure na bazi Ni-Ti karakteriše izražena sposobnost pamćenja oblika, ali i visoka cena i komplikovan način proizvodnje, što ipak nije ograničavajući faktor za njihovu primenu u vojnoj industriji, medicini, robotici, itd. Legure na bazi bakra su jeftinije i mogu se proizvesti na jednostavniji i ekonomičniji način što ih, uz odgovarajuće termičke, mehaničke i druge osobine, čini pogodnim za primenu u tehnici, energetici, kosmičkoj tehnologiji, medicini, bioinženjeringu, itd. Tako je, pored navedenih, do danas dobijen i ispitivan veliki broj legura različitih binarnih, ternarnih i višekomponentnih sistema poput: Ag-Cd, Au-Cd, Cu-Sn, Cu-Al-Ag, Cu-Al-Ag-Mg, Cu-Al-Au, Cu-Ag-Au, Cu-Au-Zn, Cu-Zn-Ga, Ni-Al, Ti-Ni-Cu, Ni-Ti-Nb, Ti-Pd-Ni, In-Ti, In-Cd, itd.

10.2. Suština, opis i karakteristike tehničkog rešenja

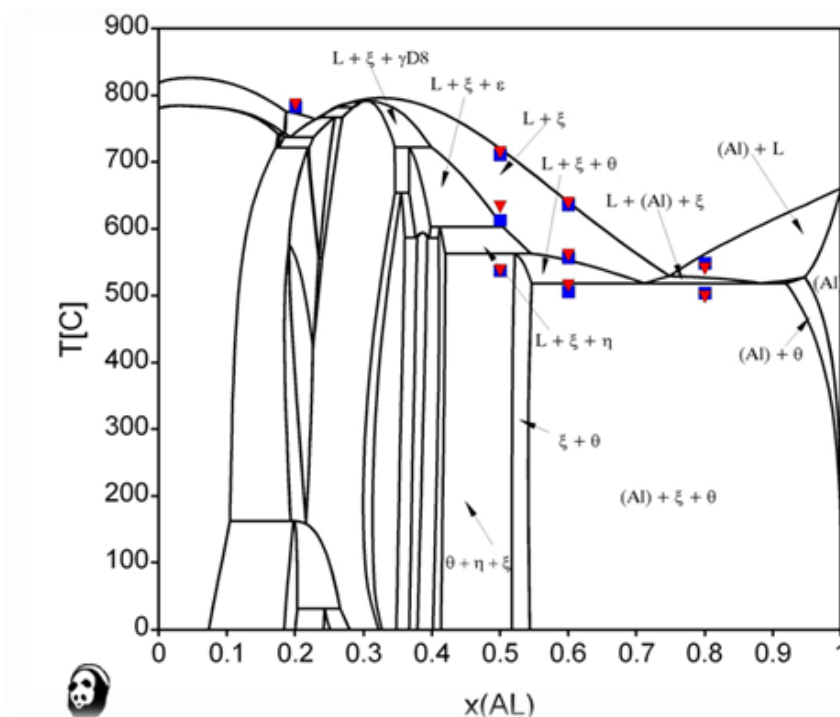
U cilju primene legura Cu-Al-Ag ternarnog sistema u svojstvu odgovarajućih naprednih multifunkcionalnih materijala, izvršena je karakterizacija odabranih legura koje po svom hemijskom sastavu pripadaju oblasti vertikalnog preseka Cu_{0.5}Ag_{0.5}-Al. Za legure ovog ternarnog sistema karakterističan je fenomen pamćenja oblika, pseudoelastičnost kao i biokompatibilnost

što ih pored ostalog čini pogodnim i za primenu u medicini odnosno bioinženjeringu. Ove legure spadaju u netoksične materijale, što je u skladu i sa zakonskom regulativom o ukklanjanju svih toksičnih metala.

U okviru istraživanja legura Cu-Al-Ag ternarnog sistema u svojstvu odgovarajućih naprednih multifunkcionalnih materijala, odabrane su legure koje po svom hemijskom sastavu (tabela 1), pripadaju oblasti vertikalnog preseka $\text{Cu}_{0,5}\text{Ag}_{0,5}\text{-Al}$ (slika 1).

Tabela 1. Sastav ispitivanih legura ternarnog sistema Cu-Al-Ag

Oznaka uzorka	X_{Cu}	X_{Al}	X_{Ag}
D1	0,4	0,2	0,4
D2	0,25	0,5	0,25
D3	0,2	0,6	0,2
D4	0,1	0,8	0,1

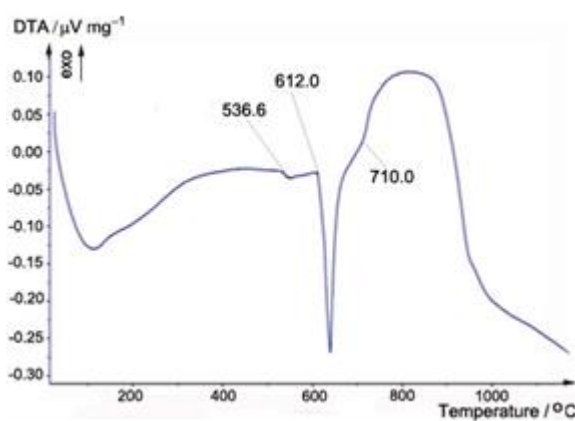


Slika 1. Vertikalni presek $\text{Cu}_{0,5}\text{Ag}_{0,5}\text{-Al}$ sistema Cu-Al-Ag pri odnosu Cu:Ag=1:1 upoređen sa rezultatima termijske analize (agenda: plavi kvadrati - zagrevanje; crveni trouglovi - hlađenje)

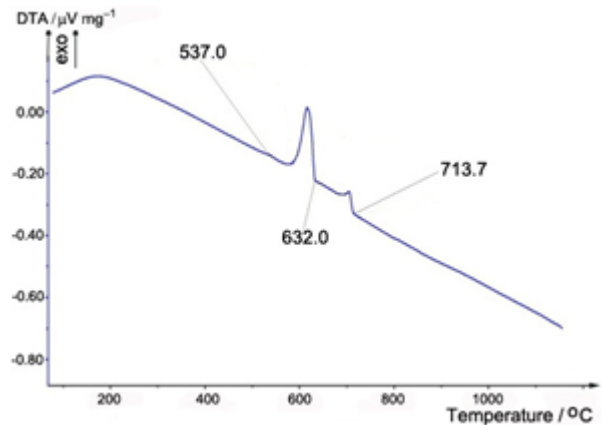
Za pripremu legura izabranih sastava korišćeni su čisti metali - Cu, Al, Ag, čistoće veće od 99,99 mas%. Uzorci su pripremljeni indukcionim topljenjem čistih metala u zaštitnoj atmosferi argona. Ukupan gubitak mase pripremljenih ingota bio je manji od 1 mas%.

U toku ispitivanja odabranih legura izvršena je strukturna i termijska analiza kao i određivanje mikrotvrdoće i tvrdoće uzoraka. Ispitivanja su vršena na livenim legurama poznatim i pod nazivom „as-cast“ legure.

Ispitivanje i određivanje temperatura faznih transformacija vršeno je primenom diferencijalne termijske analize (DTA). Ispitivani uzorci su nakon homogenizacije zagrevani i hlađeni brzinom zagrevanja i hlađenja od 10°C/min pri čemu su dobijene krive zagrevanja i hlađenja, (slika 2 i 3), na osnovu kojih su određene karakteristične temperature faznih transformacija prikazane u tabeli 2.

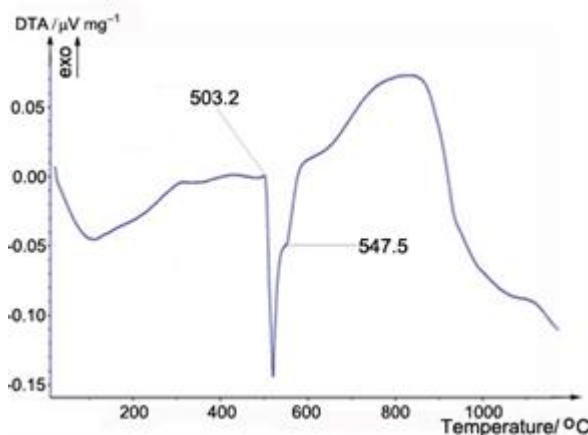


a)

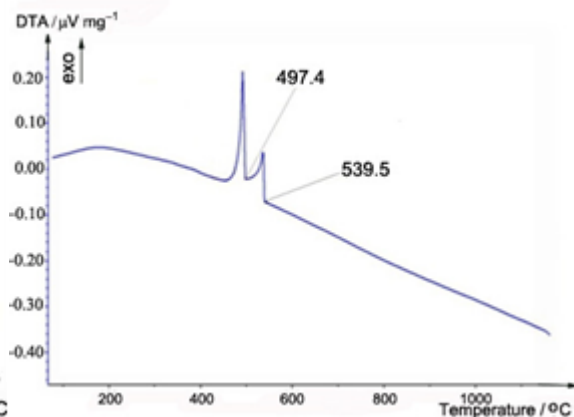


b)

Slika 2. DTA krive a) zagrevanja i b) hlađenja legure $Cu_{25}Al_{50}Ag_{25}$ (uzorak D2)



a)



b)

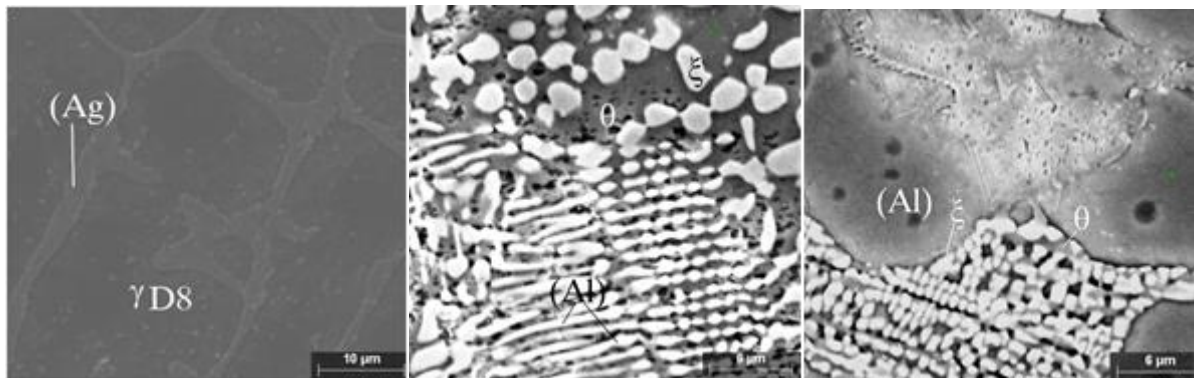
Slika 3. DTA krive a) zagrevanja i b) hlađenja legure $Cu_{10}Al_{80}Ag_{10}$ (uzorak D4)

Tabela 2. DTA rezultati ispitivanih uzoraka

Nominalni sastav uzoraka (at.%)			Temperatura faznih transformacija (°C)					
Al	Cu	Ag	Solidus		Druge fazne transformacije		Likvidus	
			Zagrevanje	Hlađenje	Zagrevanje	Hlađenje	Zagrevanje	Hlađenje
20	40	40	-	-	-	-	781,6	785,0
50	25	25	536,6	537,0	612,0	632,0	710,0	713,7
60	20	20	504,8	514,0	556,0	560,0	630,0	638,0
80	10	10	503,2	497,4	-	-	547,5	539,5

Mikrostruktura uzoraka je određena korišćenjem optičke mikroskopije i SEM-EDS analize, pri čemu su uzorci legura pripremljeni na standardni način, ispolirani i nagrizeni.

SEM snimci ispitivanih legura prikazani su na slici 4.



a) Uzorak D1 ($Cu_{40}Al_{20}Ag_{40}$) b) Uzorak D3 ($Cu_{20}Al_{60}Ag_{20}$) c) Uzorak D4 ($Cu_{10}Al_{80}Ag_{10}$)

Slika 4. SEM fotografije ispitivanih uzoraka

Kod legura iz oblasti vertikalnog preseka Cu:Ag=1:1 se javljaju različiti oblici strukture. Kod legure $Cu_{40}Al_{20}Ag_{40}$ (uzorak D1), osnovu zrna čini $\gamma D8$ faza dok se oko zrna javlja čvrsti rastvor aluminijuma (Al), u obliku precipitata. Kod eutektičke legure sastava $Cu_{20}Al_{60}Ag_{20}$ (uzorak D3), aluminijum odgovara svetloj fazi u lamelarnom obliku formiranom tokom eutektičkog očvršćavanja, dok se kod legure sastava $Cu_{10}Al_{80}Ag_{10}$ (uzorak D4) javlja kao osnova zrna. SEM-EDS metodom je potvrđeno i postojanje svetle ξ i θ faze.

Rezultati merenja tvrdoće ispitivanih uzoraka duž vertikalnog preseka Cu:Ag=1:1 su prikazani u tabeli 3. Pri merenju tvrdoće su korišćena opterećenja 10 i 20 kg. Iz tabele 3, se vidi da su izmerene tvrdoće vrlo visoke, ali se sa porastom sadržaja bakra uočava pad ovih vrednosti. U saglasnosti sa činjenicom da su za različite uzorke korišćena različita opterećenja, može se zaključiti da je maksimalna vrednost tvrdoće izmerena kod legure Cu₂₅Al₅₀Ag₂₅ (uzorak D2) pri opterećenju od 20 kg, dok je najmanja vrednost tvrdoće izmerena za leguru Cu₄₀Al₂₀Ag₄₀ (uzorak D1).

Tabela 3. Rezultati merenja tvrdoće ispitivanih uzoraka preseka Cu:Ag=1:1

Oznaka uzorka	Uzorak	HV
D1	Cu ₄₀ Al ₂₀ Ag ₄₀	99,3 (HV20)
D2	Cu ₂₅ Al ₅₀ Ag ₂₅	322 (HV20)
D3	Cu ₂₀ Al ₆₀ Ag ₂₀	324 (HV10)

Korišćeno opterećenje pri merenju mikrotvrdoće uzoraka je iznosilo 100 g. Rezultati merenja mikrotvrdoće ispitivanih uzoraka su predstavljeni u tabeli 4. Maksimalna vrednost mikrotvrdoće je dobijena za leguru Cu₂₅Al₅₀Ag₂₅ (uzorak D2), a za leguru Cu₄₀Al₂₀Ag₄₀ (uzorak D1), najmanja vrednost.

Tabela 4. Rezultati merenja mikrotvrdoće uzoraka za presek Cu:Ag=1:1

Oznaka uzorka	Uzorak	HV0.1			
		Merno mesto 1	Merno mesto 2	Merno mesto 3	Srednja vrednost
D1	Cu ₄₀ Al ₂₀ Ag ₄₀	99	169	114	128
D2	Cu ₂₅ Al ₅₀ Ag ₂₅	323	371	381	358
D3	Cu ₂₀ Al ₆₀ Ag ₂₀	271	299	371	314

10.3. Zaključak

Prikazano tehničko rešenje, „Legure sistema Cu_{0.5}Ag_{0.5}-Al kao novi materijali koji pamte oblik“, nastalo je kao rezultat rada na projektu finansiranom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, iz oblasti tehnološkog razvoja, br. TR34005, pod nazivom: „Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju“.



U cilju primene legura Cu-Al-Ag ternarnog sistema u svojstvu odgovarajućih naprednih multifunkcionalnih materijala, izvršena je karakterizacija odabranih legura koje po svom hemijskom sastavu pripadaju oblasti vertikalnog preseka $\text{Cu}_{0.5}\text{Ag}_{0.5}\text{-Al}$ u čemu se i ogleda originalnost tehničkog rešenja. Za legure ovog ternarnog sistema karakterističan je fenomen pamćenja oblika, pseudoelastičnost kao i biokompatibilnost što ih čini pogodnim i za primenu u medicini, bioinženjeringu, elektronicu, elektrotehnici, zlatarstvu, itd. Ove legure spadaju u netoksične materijale, što je u skladu i sa zakonskom regulativom o uklanjanju svih toksičnih metala.

Praktična primena ispitivanih legura koje pamte oblik sistema Cu-Al-Ag, koje po svom hemijskom sastavu pripadaju oblasti $\text{Cu}_{0.5}\text{Ag}_{0.5}\text{-Al}$ vertikalnog preseka ovog ternarnog sistema, ostvarena je kroz dobijanje poluproizvoda od ovag materijala u obliku valjkastih odlivaka prečnika $\varnothing 7\text{mm}$, koji se dalje u firmi DOO „MARTEZIT“ u Boru, koriste u proizvodnji gotovih proizvoda.

11. Tehnička dokumentacija

11.1. Validan dokaz o primeni tehničkog rešenja

U prilogu.

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

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 Šteharnik, **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

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.

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 lemnii 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 Ag3-6In10,5-21Cu1,5-3Sn85-70, tehničko rešenje – novi lemnii 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 lemnii 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.



Dr Emina Požega:

M82:

1. 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.

M85:

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

ZAHVALNOST

Ovo tehničko rešenje je proizašlo kao rezultat rada na projektu br. TR34005 koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.