

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNIČKI FAKULTET U BORU

Radiša S. Peri

**ISPITIVANJE OJAČAVANJA
STARENJEM
LEGURNA SISTEMA Au-Ag-Cu
ZA PROIZVODNJU NAKITA**

doktorska disertacija

Bor, 2014.

UNIVERSITY OF BELGRADE

TECHNICAL FACULTY BOR

Radiša S. Peri

**INVESTIGATION OF AGE-HARDENING
OF ALLOY SYSTEMS Au-Ag-Cu
FOR JEWELRY PRODUCTION**

Doctoral Dissertation

Bor, 2014.

KOMISIJA ZA PREGLED I ODBRANU DOKTORSKE DISERTACIJE

- 1.- Mentor: Dr Dragoslav Guskovi , red. prof. - Univerzitet u Beogradu, Tehni ki fakultet u Boru;
- 2.- lan: Dr Desimir Markovi , red. prof. – Univerzitet u Beogradu, Tehni ki fakultet u Boru;
- 3.- lan: Dr Svetlana Ivanov, van. prof. – Univerzitet u Beogradu, Tehni ki fakultet u Boru;
- 4.- lan: Dr Slobodan Stojadinovi , red. prof. – Univerzitet u Novom Sadu, Tehni ki fakultet „Mihajlo Pupin” u Zranjaninu;
- 5.- lan: Dr Branimir Jovan i evi , red. prof. – Univerzitet u Beogradu, Hemijski fakultet u Beogradu;

Datum odbrane: _____, u _____

Posebna zahvalnost porodici, na iskazanoj podršci pri izradi rada: supruzi Magdaleni, sinovima Ivanu i Radetu, snahama Dragani i Katarini, i unuku Konstantinu.

Veliku zahvalnost izražavam sledećim osobama za pruženu pomoć prilikom izrade rada:

- 1.- Prof. dr Dragoslavu Gusković u, dipl.ing.metalurgije, na savetima i podršci prilikom izrade rada, kao i na konačnom uobličenju rada;*
- 2.- Dr Zoranu Karastojković u, dipl.ing.metalurgije, dipl.ing. Zorici Kovačević i prof. dr Milesi Srećković , na pruženoj saradnji pri objavljivanju stručnih radova, kao i pomoć i pri tehničkoj obradi uzoraka za ispitivanje;*
- 3.- Prof. dr Desimiru Marković u, prof. dr Slobodanu Stojadinović u, prof. dr Svetlani Ivanov i prof. dr Branimiru Jovanović u, na pruženoj podršci i savetima prilikom izrade rada;*
- 4.- Prof. dr Mirjani Rajić i -Vujasinović , prof. dr Svetlani Nestorović , prof. dr Nadeždi Talijan, i dr Vladanu Petrović u na pruženoj tehničkoj pomoći i savetima prilikom izrade rada;*
- 5.- Gospođi Lidiji Vujošević i gospodinu Dušanu Vujošević u, kolegama zlatarima na pruženoj podršci prilikom izrade rada;*
- 6.- Gospodinu Zoranu Milić u, gospođi Dragani Peri -Novačić i gospođi Danijeli Prljinić , radnicima firme „PERI &PERI ”&Co. d.o.o., na pruženoj pomoći i pri tehničkoj obradi slika i skica kao i prevodu i usaglašavanju teksta, razne jezike sadržine i obrade, sa srpskim jezikom;*
- 7.- Svim radnicima firme „PERI &PERI ”&Co. d.o.o., na pruženoj tehničkoj podršci i pomoći prilikom izrade disertacije.*

Radiša S. Peri

APSTRAKT

Proizvesti nakit od komada istog zlata, iziskuje znanja iz različitih oblasti nauke, po ev od metalurgije, fizičke hemije, mašinstva, preko medicine, pa do nauke o dizajnu i estetskim zahtevima, pri tome uvek uključuju i istoriju umetnosti. Sa stanovišta metalurgije, u disertaciji su razmotreni i eksperimentalno istraženi neki od veoma značajnih, ali nedovoljno izučenih aspekata, vezanih za pojedine faze proizvodnje nakita od legura na bazi zlata i srebra.

Predmet ovog rada usmeren je na izučavanje, definisanje i optimizaciju najznačajnijih uticajnih parametara na finalna svojstva i kvalitet višekomponentnih legura sistema Au-Ag-Cu, u okviru istraživanja relacije: hemijski sastav – termička obrada – mikrostruktura – tvrdoća – električna provodljivost. Sve ovo zahteva multidisciplinarni pristup problemima proizvodnje nakita, posebno što nakit ispunjava potrebe ovekova za lepim.

Proučavane su tri grupe legura, shodno zakonskoj regulativi u Republici Srbiji, i potrebama tržišta. Legura „žute“ boje je Au₅₈₅Ag₉₀Cu₂₆₄Zn₆₁, legura „bele“ boje je Au₅₈₅Ag₆₅Cu₂₇₇Zn₁₆Pd₅₇, kao i legura srebra Ag₉₂₅Cu₇₅. Dodatno legiranje osnovnog trojnog Au-Ag-Cu sistema, urađeno je u cilju poboljšanja fizičko-mehaničkih osobina, kao što su tvrdoća legure, obradivost, sposobnost legure za razne oblike plastične deformacije, sposobnost za lemljenje i zavarivanje, itd. Kako u raznim stadijumima proizvodnje nakita, posebno u toku termičke i/ili mehaničke obrade dolazi do značajnih i višestrukih strukturnih promena, koje utiču i na boju materijala, a koje još uvek nisu dovoljno istražene, deo istraživačke pažnje posvećen je i usklađivanju istraživanih procesnih parametara sa očekivanom bojom ispitivanih legura.

Posebna pažnja, u eksperimentalnom delu rada, usmerena je na istraživanje režima termičke obrade u procesu starenja, na temperaturama koje su niže od temperature rekristalizacije, u cilju utvrđivanja uticaja temperature i vremena, u odabranom ispitnom intervalu, na mikrostrukturu i fazne promene, koje su u direktnoj vezi sa ojačavanjem istraživanih sistema legura. Pojava strukturnih promena u kristalnoj rešetki legura, na granici faznih promena u vrstom stanju $(\text{Au,Ag,Cu}) \rightarrow (\text{Ag,Au}) + (\text{Cu,Au})$, fenomen „ureno-neureno“ (formiranje urenih rešetki: AuCuI, AuCuII, Au₃Cu i AuCu₃), pojava dvojnika žarenja, kao i drugih mikrostrukturnih promena, dovodi do toga da se značajno povećava tvrdoća u ovim legurama. Pored navedenih promena, takođe dolazi i do povećanja tvrdoće žarenjem na temperaturi starenja, usled pojave precipitacije, kako po granicama zrna, tako i u samom zrnju, zajedno sa nagomilavanjem i košenjem dislokacija, koje su nastale hladnom deformacijom, i koje pokušavaju da se oslobode, dovodeći do košenja spoljne energije. Ojačavanje istraživanih legura u procesu starenja proučeno je sistematskim ispitivanjem promene vrednosti tvrdoće, u odnosu na početno stanje, kao i na stanje nakon izvršene rekristalizacije.

Treba posebno ista i da je , za razliku od do sada publikovanih istraživanja u kojima je oja avanje starenjem vršeno u dugom vremenskom periodu (deset i više asova) istraživanje procesa oja avanja starenjem u ovom radu, sprovedeno u tzv. realnom vremenu, u intervalu od 15 min do 60 min., što je sa gledišta primene u proizvodnom procesu, ekonomski znatno prihvatljivije.

Na osnovu obrade i uporedne analize dobijenih eksperimentalnih rezultata, nedvosmisleno je utvrđeno da postoji takva ka na dijagramu: temperatura – vreme – tvrdoća, na kojoj se postižu maksimalno poboljšana svojstva, za svaku istraženu leguru sa osnovom sistema Au-Ag-Cu. Oja avanje, odnosno povećanje tvrdoće, je prevashodno izraženo kod legura sa komponentama koje kristališu po površ.c.k. rešetki, uključujući i cink koji kristališe po g.p.h. rešetki.

Mikrostrukturnom analizom, optičkom mikroskopijom kao i skenirajućom elektronskom mikroskopijom – SEM, utvrđeno je da je došlo do pojave dvojnika pri žarenju na temperaturi starenja, kao i pojave precipitata po granicama zrna, što je direktno uticalo na oja avanje istraživanih legura sistema Au-Ag-Cu. Proučavanje mikrostrukture i mikrostrukturnih promena u procesu termičke obrade istraživanih višekomponentnih legura, dodatno je potpomognuto mikro X-ray analizom, korišćenjem EDS analize, koja je omogućila identifikaciju hemijskog sastava formiranih dvojnika i precipitata, određivanjem relativnog udela konstitutivnih elemenata i njihove distribucije.

ključne reči: legure zlata 585, legure srebra 925, zlato, srebro, starenje, oja avanje, mikrostruktura, kristalno srećivanje, otvrdnjavanje precipitacijom, urećivanje, optička mikroskopija, SEM, EDS, tvrdoća, električna provodljivost, laser;

Naučna oblast: Metalurško inženjerstvo

Užana naučna oblast: Preradićka metalurgija

UDK: 669.215'22'3.017.13:621.78]:739(043.3)

ABSTRAKT

It takes knowledge of different parts of science to produce jewelry out of one piece of pure gold, starting from metallurgy, physical chemistry, mechanical engineering, through medicine, all to science of design and esthetical demands, always including the history of art. From the point of view of metallurgy, in this paper some of very important, but not enough examined aspects, that are connected to single phases of production of jewelry of gold and silver alloys, were considered and experimentally investigated.

The subject of this paper was directed to research, define and optimization of the most important parameters that inflect on final properties and quality of multicomponent alloys of Au-Ag-Cu system, in terms of investigation of relation: chemical composition – thermal – processing – hardness – electrical conductivity. All of this demands multidisciplinary approach to the problem of production of jewelry, especially, because the jewelry fulfills the needs of a man of beautiful.

Three types of alloys were studied, according to law norms of the Republic of Serbia, and needs of the market. Alloy of „yellow“ color is Au₅₈₅Ag₉₀Cu₂₆₄Zn₆₁, alloy of „white“ color is Au₅₈₅Ag₆₅Cu₂₇₇Zn₁₆Pd₅₇, and silver alloy is Ag₉₂₅Cu₇₅. An additional alloying of basic ternary system was performed in order to improve physical – mechanical properties, such as strength of alloy, workability, ability of alloy to different kinds of plastic deformation, ability to soldering and welding, etc. As in different stages of jewelry production, especially during thermal and/or mechanic processing significant and multiple structural changes occur, changes that inflect on color of the material, and are not investigated enough; a part of this research was dedicated to coordination of investigated processing parameters with expected color of investigated alloys.

Special attention, during the experimental part of the paper, was directed on investigation of regime thermal treatment in process of ageing, on temperatures below the temperature of recrystallization, in order to establish the inflection of temperature and time, i chosen investigation interval, on microstructure and phase changes, that are directly connected to age-hardening of investigated alloy's systems. Occurrence of structural changes in crystal lattice of alloys, on borders of phase changes in solid state ($(Au,Ag,Cu) \rightarrow (Ag,Au) + (Cu,Au)$), phenomena of „ordered – disordered“ (forming of ordered lattices: AuCu I, AuCu II, Au₃Cu and AuCu₃), occurrence of twinning of annealing as well as other micro structural changes, bring to significant increasement in strength of this alloys. Beside these changes, there is also increasement in hardness by annealing on temperature of ageing, due to phenomena of precipitation both on borders of grains, and inside the grains, and also due to inhibition of dislocations, that now tend to release by bringing in the external energy. Hardening of investigated alloys during

the process of ageing was followed by systematic examination of change of hardness value, related to initial state, and also to the state after the recrystallization.

It must be underlined that, in difference to papers publicized by now where age – hardening was conducted in a long time period (ten and more hours), age – hardening in this paper was conducted in so called real time, the interval of 15 min to 60 min, that from the point of view of application in production process, is much more economically acceptable.

Based on interpretation and comparative analysis of experimental results, it was established that there has to be a point at the diagram: temperature – time – hardness, where maximally improved properties for every investigated alloy with base of Au-Ag-Cu system are achieved. Hardening, that is increasement of hardness, is primarily expressed in alloys with components that crystallize with f.c.c. lattice, also including zinc that crystallize with g.p.h. lattice.

By micro structural analysis, by optical microscopy as wel as by scanning electronic microscopy – SEM, it was noticed that there was the occurrence of twinings during annealing on ageing temperature, and also occurrence of precipitation in grain borders, that directly inflected on hardening of investigated alloys of Au-Ag-Cu system. Investigation of microstructure and micro structural changes during the proces of thermal treatment of investigated multicomponent alloys was additionally helped by micro X-ray analysis, by using of EDS analises, that enabled the identification of chemical composition of formed twinings and precipitations, by determination of relative part of constituent elements and their distribution.

Key words: 585 gold alloys, 925 silver alloys, gold, silver, ageing, strengthening, microstructure, crystal ordering, hardening by precipitation, ordered-disordered, optical microscopy, SEM, EDS, hardness, electrical conductivity, laser;

Scientific field: Metallurgical Engineering

Scientific discipline: Manufacturing Metallurgy

UDK: 669.215'22'3.017.13:621.78]:739(043.3)

ASTRATTO

Produrre gioielli da un pezzo di oro grezzo, richiede conoscenze di diversi campi di scienza, iniziando con metallurgia, chimica fisica, meccanica, attraverso medicina, fino a design e domande estetiche, includendo sempre anche la storia dell'arte. Dal punto di vista di metallurgia, in questa tesi sono stati presi in considerazione e sperimentati alcuni aspetti molto importanti ma non sufficientemente studiati, e legati a singole fasi di produzione dei gioielli di leghe d'oro e d'argento.

Il tema di questa tesi è diretto allo studio, definizione ed ottimizzazione di più significativi parametri che influenzano le proprietà finali e la qualità di leghe multicomponenti del sistema Au-Ag-Cu, nel campo di ricerca di relazione: struttura chimica – trattamento termico – microstruttura – durezza – conduttività elettrica. Tutto questo richiede un approccio multidisciplinare al problema di produzione dei gioielli, specialmente perché essi soddisfano l'esigenza dell'uomo di bello.

Sono stati studiati i tre tipi di leghe, secondo le leggi della Repubblica di Serbia, ed esigenze del mercato. La lega color „giallo“ e' $Au_{585}Ag_{90}Cu_{264}Zn_{61}$, quella color „bianco“ e' $Au_{585}Ag_{65}Cu_{277}Zn_{16}Pd_{57}$, mentre la lega d'argento e' $Ag_{925}Cu_{75}$. Una legazione aggiuntiva del sistema ternario di base Au-Ag-Cu, e' stata eseguita con lo scopo di migliorare le proprietà fisico – meccaniche, come la durezza di lega, lavorazione, abilità per varie forme di deformazione plastica, abilità per saldatura, etc. Visto che in diversi stadi di produzione, specialmente durante trattamenti termici e/o meccanici, succedono significativi e multipli cambiamenti strutturali, che influenzano il colore di materiale, ma non sono abbastanza studiati, una parte di ricerca e' stata dedicata anche a coordinazione di esaminati parametri di processo con colore aspettato di lega in esame.

Un'attenzione speciale, nella parte sperimentale della tesi, e' stata data allo studio di regime di trattamento termico durante il processo di invecchiamento, a temperature che sono al sotto di temperature di ricristallizzazione, con lo scopo di definire influenza di temperatura e tempo, nell'intervallo di esaminazione scielto, a microstruttura e cambiamenti di fase, che sono direttamente legati a indurimento di esaminati sistemi di leghe. Comparsa di cambiamenti strutturali in reticolo cristallino delle leghe, sul limite di cambiamenti di fase in stato solido ($(Au,Ag,Cu) \rightarrow (Ag,Au) + (Cu,Au)$), il fenomeno „ordinato – disordinato“ (la formazione di reticoli ordinati: AuCu I, AuCu II, Au_3Cu e $AuCu_3$), fenomeno di gemellaggio di temprazione, assieme agli altri cambiamenti microstrutturali, porta a significativo aumento di durezza in queste leghe. Oltre a cambiamenti elencati, succede anche l'aumento di durezza con temprazione sulla temperatura di invecchiamento, a causa di fenomeno di precipitazione come nei limiti di grano, così anche all'interno di grano, causato anche da frenata di dislocazione, e che tendono di liberarsi con apporto di energia esterna. Indurimento di leghe esaminate nel processo di invecchiamento e' stato seguito con esaminazione sistematica di

cambiamenti di valore di durezza, in confronto sia allo stato di partenza, e allo stato dopo di ricristallizzazione completata.

Bisogna sottolineare che, a differenza di altri studi pubblicati dove indurimento con invecchiamento e' stato eseguito in intervallo di tempo prolungato (dieci e piu' ore) in questa tesi esaminazione di processo di indurimento con invecchiamento e' stata condotta in cosiddetto tempo reale, in intervallo da 15 minuti a 60 minuti, che, dal punto di vista di applicazione in processo di produzione, e' economicamente piu' accettabile.

In base ad elaborazione ed analisi comparativa dei risultati ottenuti con sperimentazioni, e' stato determinato inequivocabilmente che esiste un punto sul diagramma: temperatura – tempo – durezza, in quale si raggiungono proprieta' migliorate al massimo per ogni lega esaminata con la base di sistema Au-Ag-Cu. Indurimento, cioe' aumento di durezza, e' espresso innanzitutto in leghe con componenti che cristallizzano su reticolo f.c.c., includendo lo zinco che cristallizza con reticolo g.p.h.

Con un'analisi microstrutturale, con la microscopia ottica ed anche elettronica – SEM, e' stata notata comparsa di gemellaggio durante temprazione sulla temperatura di invecchiamento, cosi' come il fenomeno di precipitazione nei limiti di grano, che la direttamente influenzato indurimento di leghe in questione del sistema Au-Ag-Cu. Lo studio di microstruttura e di cambiamenti microstrutturali durante il processo termico di leghe multicomponenti in esame, e' stato aiutato da micro X-ray analisi, usando EDS analisi che permette di identificare la composizione chimica di gemellaggi formati e di precipitazioni, specificando la parte relativa di elementi costitutivi e la loro distribuzione.

Parole chiave: lega d'oro 585, lega d'argento 925, oro, argento, invecchiamento, rinforzamento, microstruttura, ordinamento di cristallo, indurimento per precipitazione, ordinato – disordinato, microscopia ottica, SEM, EDS, indurimento, conduttivita' elettrica, laser;

Campo scientifico: Ingegneria metallurgica

Dosciplina scientific: Produzione metallurgica

UDK: 669.215'22'3.017.13:621.78]:739(043.3)

й, , й й
й
й
й
()
60 , 15
й.

: - - , й й
Au-Ag-Cu. ,

й , й
й .
й , й й й
й й - , й й
Au-Ag-Cu.
й

X-ray , , й
й
: 585, 925, ,
, , ,
, й, - ,
; , , , ,

:
:
: 669.215*22*3.017.13:621.78]:739(043.3)

S A D R Ź A J

1.- UVOD	Str.	1.-
2.- ZAKONSKA REGULATIVA		4.-
3.- TROJNI DIJAGRAM STANJA Au-Ag-Cu		5.-
3.1.- Istorijske postavke izrade trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu I procesa ojaavanja starenjem		5.-
3.2.- Dvojni dijagrami stanja		6.-
3.2.1.- Nastajanje superstrukture u Au-Cu legurama		10.-
3.3.- Konstrukcija trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu		16.-
3.4.- Optičke osobine i boje legura Au-Ag-Cu		25.-
3.4.1.- Optičke osobine plemenitih metala		25.-
3.4.2.- Boje legura trojnog sistema Au-Ag-Cu		29.-
3.5.- Uticaj dodatnih legirajućih elemenata na osobine legura Au-Ag-Cu		35.-
3.5.1.- Legure na bazi Au-Ag-Cu-Zn sistema		35.-
3.5.2.- Legure na bazi Au-Ag-Cu-Pd sistema		38.-
4.- ELEKTRICNA PROVODLJIVOST METALA		40.-
5.- LASER U PROIZVODNJI NAKITA		43.-
6.- EKSPERIMENTALNI DEO		46.-
6.1.- Predmet i cilj istraživanja		46.-
6.2.- Izbor legura za ispitivanje		48.-
6.3.- Priprema uzoraka za ispitivanja		50.-
6.3.1.- Topljenje metala – izrada legura		50.-
6.3.2.- Topljenje i livenje u kokile		52.-
6.3.3.- Izrada lima i uzoraka za ispitivanje		53.-
6.4.- Metalografska ispitivanja		57.-
6.4.1.- Skenirajuća elektronska mikroskopija – SEM		57.-
6.5.- Merenje tvrdoće metodom po Vickersu (Vickers) HV0.25		59.-
6.6.- Merenje električne provodljivosti		61.-
6.7.- Rezultati ispitivanja		61.-
6.7.1.- Rezultati ispitivanja legure „L-1” – Au ₅₈₅ Au ₉₀ Cu ₂₆₄ Zn ₆₁		61.-
6.7.1.1.- Rezultati merenja tvrdoće HV0.25		61.-
6.7.1.2.- Rezultati merenja električne provodljivosti		64.-
6.7.1.3.- Rezultati metalografskog ispitivanja		65.-
6.7.1.4.- Iskustveni rezultati		69.-
6.7.2.- Rezultati ispitivanja legure „L-2” – Au ₅₈₅ Ag ₆₅ -Cu ₂₇₇ Zn ₁₆ Pd ₅₇		70.-
6.7.2.1.- Rezultati merenja tvrdoće HV0.25		70.-

6.7.2.2.- Rezultati merenja elektri ne provodljivosti	73.-
6.7.2.3.- Rezultati metalografskog ispitivanja	74.-
6.7.3.- Rezultati ispitivanja legure „L-3” – Ag925Cu75	80.-
6.7.3.1.- Rezultati merenja tvrdo e HV0.25	81.-
6.7.3.2.- Rezultati merenja elektri ne provodljivosti	83.-
6.7.3.3.- Rezultati metalografskog ispitivanja	84.-
6.7.4.- Rezultati ispitivanja SEM/EDS	92.-
6.7.4.1.- Rezultati ispitivanja SEM/EDS legure „L-1” – Au585Ag90Cu264Zn61	93.-
6.7.4.2.- Rezultati ispitivanja SEM/EDS legure „L-2” – Au585Ag65Cu277Zn16Pd57	98.-
6.7.4.3.- Rezultati ispitivanja SEM/EDS legure „L-3” – Ag925Cu75	101.-
6.7.5.- Rezultati ispitivanja laserom, legure „L-1” – Au585Ag90Cu264Zn61	104.-
7.- DISKUSIJA	109.-
8.- ZAKLJU AK	120.-
9.- Literatura	124.-
10.- PRILOZI	135.-
◦ - Biografija	156.-
◦ - Prilog br.1	157.-
◦ - Prilog br.2	158.-
◦ - Prilog br.3	159.-
◦ - Prilog br.4	161.-

1.- UVOD

„Molim, dakle, da žene u pristojnom odijelu, sa stidom i poštenjem da ukrašavaju sebe, ne pletenicama, ni zlatom, ili biserom, ili haljinama skupocijenim. Nego dobrijem djelima kao što se pristoji ženama koje se obe avaju pobožnosti, žena na miru da u i sa svakom pokornoš u” - (I Posl.Pavla Timotiju, 2,9-11) [1].

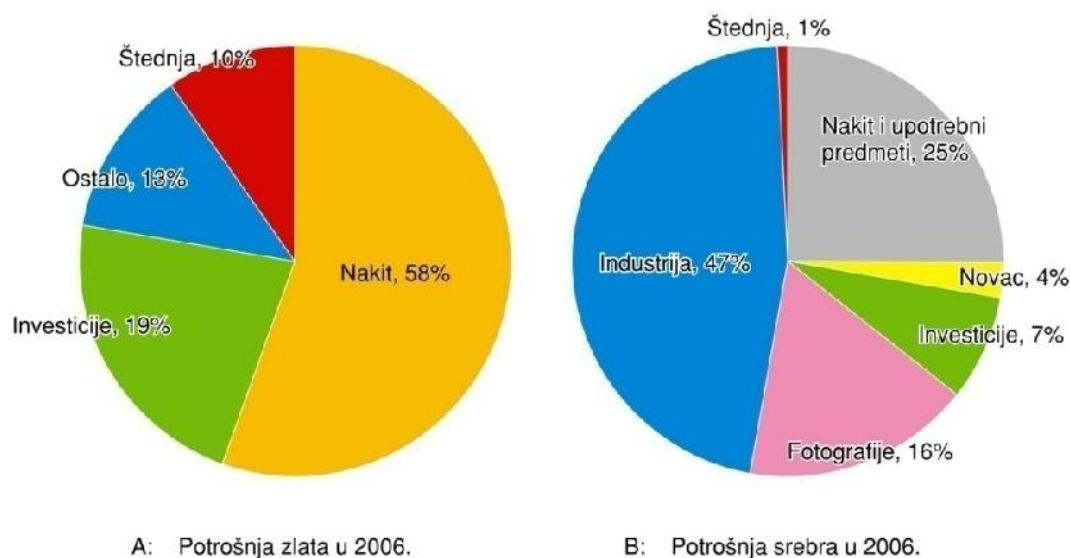
Ovako je Sveti Pavle govorio Timotiju u svojoj I Poslanici. Ali, dobro je što ni rimski moralisti, kao ni rani hriš anski propovednici, nisu uspeli da odvrate žene da u kosi, na ušima, oko vrata ili na prstima, nose skupoceni nakit [2]. Naprotiv, posebno je zlatarsvo na kraju antike, kao zanatstvo, doživelo veliki zamah, a religija ranih hriš ana nije mogla, a u stvari ni želela da nametne skromnost, koja bi spre avala razvoj umetni kih tradicija u izradi nakita. Nakit, posebno od legura zlata i srebra, predstavlja specifi an izraz duhovne i materijalne kulture svakog naroda ili etni ke grupe, budu i da su njegova svojstva utilitarne, religijske ili estetske prirode [3].

Od osvita ljudske civilizacije, pa sve do danas zlato i srebro su dva, ako ne najtraženija, a ono najprivla nija elementa Periodnog sistema elemenata. Po etak izrade proizvoda od zlata i srebra u Evropi, pretpostavlja se, datira više hiljada godina pre nove ere, do perioda procvata takozvane kulture „Egejskog sveta”. Zatim, istorija prati ovaj zanat preko zlatara Stare Gr ke, Rimskog carstva, Srednjeg veka i do današnjih dana. Poznato je, da je veliki mislilac anti kog sveta, Arhimed (278. – 212. g.p.n.e.), svoj uveni „Arhimedov zakon“ otkrio, zahvaljuju i tome što jedan od vladara toga vremena, nije verovao zlataru, ve je od u enog oveka zatražio proveru, da li je majstor – izra iva „krune”, izvršio pravilno legiranje i utrošio ta nu koli inu zlata koju je vladar predvideo. Svo znanje o izradi nakita, do sredine XIX veka, prenošeno je „s’ kolena na koleno”, po sistemu „crne kutije” [4], i bilo je poznato uskom krugu ljudi. Usled toga, i velike vrednosti zlata i srebra kao istih metala, a potom i u nakitu, etika i moral izra iva a nakita mora se u društvu postaviti na najviši nivo.

Zlato je usled svoje visoke otpornosti na koroziju, definisano kao osnova za kvalitet plemenitih metala, te se predlaže kao osnovni materijal ili kao površinska zaštita na radovima i ornamentima koji treba da izdrže test vremena. Karakteristi na boja zlata, izdvaja ga iz monotonije sivila ve ine drugih metala, uz izuzetak bakra, cezijuma, i sl. Ove osobine zlata, uz retkost nalaženja, kvalifikuju zlato kao plemeniti metal [5], a da predmet posmatranja bude i njegova velika gustina. Zbog toga je, u ve ini država sveta, zlato postalo osnova za monetarnu snagu, i sredstvo rezerve, jedne države.

U razvoju industrije, zlato i srebro imaju veliku primenu, posebno u elektronici, usled svoje odli ne elektroprovodljivosti, a istovremeno odli ne hemijske pasivnosti, u optici zbog odli ne refleksije infracrvene svetlosti, a onedavno u organskoj hemiji zbog kataliti kih svojstava zlatnih nano- estica. I pored toga, zlato se najve im delom

koristilo, a i danas se koristi, za proizvodnju nakita, dok je srebro više koriš eno u industriji provodnika. Koli ina zlata koja se koristi za proizvodnju nakita, je 58 – 60 %, na globalnom nivou [6], od godišnje proizvodnje svih današnjih rudnika zlata, dok se to za srebro ne može re i, jer se njegova proizvodnja od oko 25 %, na globalnom nivou, koristi u proizvodnji nakita [7].



Slika 1.- Prikaz potrošnje zlata (A), i srebra (B), na svetskom nivou u 2006. godini [7]

Trojni dijagram stanja, Au-Ag-Cu, predstavlja osnovni fazni dijagram za razumevanje legura za proizvodnju nakita i zubarskih/dentalnih legura, a prou ava se u poslednjih, oko 100 godina. Najviše je prou avan, i najviše je radova ura eno u industriji legura za zubarsku industriju. To saznanje je više primenjivano u legurama za proizvodnju nakita sa ve im sadržajem zlata, misli se na fino u 750/1000 i više, nego u legurama fino e 585/1000. To je trojni sistem od posebnog zna aja, koji dobija od dvojnog sistema Ag-Cu, solvus površinu granice rastvorljivosti u vrstom stanju, višefazno podru je (*miscibility gap*), a sklonost ka nastajanju sre enih faza od sistema Au-Cu [8]. Oba ova mehanizma, razdvajanje faza na Ag-bogatu i Cu-bogatu fazu, kao i atomsko sre ivanje unutar Cu-bogate faze, mogu da daju leguru sa tako željenom osobinom: otvrdnjavanje starenjem – *age-hardening* [9]. Otvrdnjavanje starenjem se uglavnom ostvaruje kao posledica sre ivanja atoma pojedinih faza, usled pojave taloga po granicama zrna, usled spinodalne dekompozicije u zavisnosti od sastava legura, kao i stvaranjem dvojnika prilikom žarenja legura sa komponentama koje poseduju površ.c.k. rešetku. Pored otvrdnjavanja, materijal i nakon starenja mora da poseduje potrebne osobine vrsto e i elasti nosti potrebnih u proizvodnji nakita. Ukoliko je materijal isuviše krt, pojedini elementi, kao što su „zatvara i” i sl., ne mogu da izdrže svakodnevna naprezanja prilikom eksploatacije, i dolazi do pojave naprsline ili loma. Zbog toga je važno da se

kontrolirše proces faznih transformacija za bilo koju leguru, što zahteva poznavanje temperature promene, i vreme trajanja promene [10].

Za etak razvoja proizvoda od belog zlata, što se najviše odnosi na zubne legure, je oko 1900. godine, kada je i izvedeno prvo legiranje zlata sa platinom da bi se dobila tvr a legura [9]. Me utim, taj trend je trajao do, oko 1926. godine kada je platina postala skuplja od zlata, pa su proizvedene legure sa niklom i paladijumom, koje su bile daleko jeftinije. Legure sa sadržajem nikla su od 1980. godine, zakonima EU (direktive) [11], zabranjene, iz razloga alergijskih reakcija velikog broja kupaca na nikl, tako da su danas dozvoljene legure belog zlata isklju ivo sa paladijumom.

Proizvodi od legura Ag-Cu, koriste se u istom periodu od kada i Au-Cu, jer su ova tri elementa sli nih fizi ko hemijskih osobina [12], i spadaju u istu grupu Periodnog sistema elemenata, odnosno u Prvu b (I b) grupu. Srebro je veliku primenu našlo u elektronskoj industriji [13], zbog svojih odli nih fizi ko-mehani kih osobina u smislu elektro i termi ke provodljivosti, i dobre korozi one postojanosti, a tako e i u industriji nakita, posebno kao legura Ag925Cu75.

Cilj ovog rada je da doprinese fundamentalnom sagledavanju trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, kao i sagledavanje legura ovog sistema za proizvodnju nakita, koriste i važe u zakonsku regulativu [14], koja dozvoljava mas. sadržaj Au-585‰ i Ag-925‰. Odabir metoda ispitivanja je takav da se kroz promene mikrostrukture, koriš enjem opti ke mikroskopije kao i skeniraju e elektronske mikroskopije – SEM zajedno sa ispitivanjem hemijske analize EDS/EDX, i tvrdo e, mogu utvrditi i promene koje se dešavaju na atomskom nivou legura. Akcenat je stavljen na ispitivanje reakcija faznih preobražaja u vrstom stanju, kao posledica primene termi ke obrade starenjem i drugih oblika termi ke obrade, a od uticaja predhodne plasti ne prerade u istraživanim legurama zlata i srebra za proizvodnju nakita. Posebno su obra ene naj eš e koriš ene legure u Srbiji: „žuto zlato – 585”, „belo zlato – 585” i „srebro – 925”. Tako e, u radu se naro ito prou ava dobijanje kako polufabrikata, tako i gotovih proizvoda, sa odgovaraju om homogenom strukturom i optimalnim fizi ko-hemijskim i mehani kim osobinama, kako bi eksploatacioni vek proizvoda bio, prakti no, neograni en.

Ispitivanje i izradu ovog rada finansira firma P.D.P.P. „PERI &PERI ”&Co. d.o.o., koja je jedan od proizvo a a nakita u Srbiji. Svi uzorci koji su ispitivani u ovom radu proizvedeni su u firmi „PERI &PERI ” i mogu se smatrati reprezentativnim izborom od legura „žutog“ i „belog” zlata, kao i legura srebra, koje su danas dostupne na tržištu. Sva koriš ena vremena žarenja su izvedena u realnom vremenu, tako da se uvek mogu primeniti u bilo kom procesu proizvodnje nakita.

2.- ZAKONSKA REGULATIVA

Zakonska regulativa o proizvodima od legura plemenitih metala, uklju uju i i legure iz sistema Au-Ag-Cu, predvi ena je *Zakonom o kontroli predmeta od dragocenih metala*, [14], kojim su prihva ene i sve odredbe zakona EU [11], koji se odnose na plemenite metale.

Platinu, zlato, paladijum i srebro, zakon prihvata kao plemenite metale, dok su ostali elementi prisutni u legurama, samo kao legiraju i elementi.

Zakonom je predvi ena *fino a*, što ustvari predstavlja masu plemenitog metala, sadržanog u ukupnoj masi legure, izražena u hiljaditim delovima. Vrednost predvi ene *fino e*, tj. postojanje mogu nosti proizvodnje su 950, 840, 750 i 585, za legure zlata, i 950, 925 i 800, za legure srebra. Proizvodnja i prodaja nakita od legura zlata, preko 95%, je fino e 585, dok je preko 95% legura srebra, fino e 925 [5]. Usled toga su za istraživanje u ovom radu odabrane legure zlata 585 i („belo“ i „žuto“ zlato) i legura srebra 925.

Zakon ne poznaje boje legura zlata, ve samo *fino u*, a boja zavisi isklju ivo od legiraju ih elemenata. Boja nakita se prilago avava potrebama tržišta, i u skladu sa time proizvodi se legura sa potrebnim legirnim elementima. Zakon je u saglasnosti sa zakonima EU, u smislu zabrane koriš enja kadmijuma u legurama za lemljenje, zbog taloženja u organizmu proizvo a a i korisnika proizvoda, kao i zabrane upotrebe nikla, usled alergijskih pojava.

3.- TROJNI DIJAGRAM STANJA Au-Ag-Cu – dosadašnja istraživanja

3.1.- Istorijske postavke izrade trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu i procesa oja avanja starenjem

Prou avanje kompleksnih višekomponentnih legura sa osnovom zlata, vezano je najviše za zubne legure, i aktivno se prou ava poslednjih 90-100 godina [15]. U prošlom veku veoma malo su izu avane legure za proizvodnju nakita, kako zbog visokih cena nakita, samim time i slabog interesovanja istraživa a. Znanje je, kao što je ve naglašeno, prenošeno po sistemu „crne kutije” [4], tako da se ustvari svo znanje o izradi nakita svodilo na majstorsko znanje.

Zlato je jedan od najstarijih materijala koji se koristi u zubnoj praksi, kao i izradi nakita, prvo zbog svoje hemijske pasivnosti i otpornosti na koroziju u kiseloj sredini, a i zbog svoje lepe žute boje. Od Egip ana, Feni ana i Etruraca, preko Stare Gr ke i Rimljana, pa sve do kraja XIX veka, svo znanje i rad u ovoj oblasti, svodilo se, mahom, na majstorsko znanje.

Krajem XIX veka u SAD je koriš en zlatni novac, koji je bio tada u opticaju, i koji je bio slede eg sastava: 90,0 mas.% Au i 10,0 mas.% Cu [16]. Me utim, ova legura je jako mekana i nema dovoljno vrsto e za razne zubne aplikacije, ali se mogla koristiti u izradi nakita.

Po etkom XX veka, cena platine je bila niža od cene zlata, i tada je pokušano, a potom i nastavljeno legiranje zlata sa platinom. Kasnije, posle 1920. godine, cena platine je postala viša od cene zlata, ali je nastavljeno sa ovom praksom, obzirom da je poznata ekstremna hemijska stabilnost platine u ustima, kao i dobre mehani ke osobine, uklju uju i vrsto u, plasti nost i elasti nost.

S.S. Dental Manufacturing Company, u SAD, 1905-1906. godine, prvi put je postavila na tržište legure Au-Pt-Ag-Cu, kod kojih se pojavio efekat pove anja tvrdo e starenjem [16]. Mišljenje je tada postojalo, da je do ove pojave došlo usled formiranja AuCu – super-rešetke. Interesantan je podatak, da je otvrdnjavanje starenjem u zubarskoj praksi ra eno tako rano, obzirom da je A.Wilm, objavio rad o fenomenu otvrdnjavanja kod legura Al-Mg posle kaljenja sa visoke temperature, tek 1906. godine [17].

Coleman je 1926. godine [18], uspeo da proizvede zlatne legure, koje je podelio u etiri grupe, u zavisnosti od sadržaja zlata i platine, kao i prema mehani kim osobinama, i to: I grupa - „meke”, II grupa - „srednje”, III grupa - „tvrde” i IV grupa - „ekstra tvrde”, a što je postalo osnova za tadašnju *American Dental Association* 's. Legura IV, je još tada odre ena za termi ki tretman otvrdnjavanja, tj. otvrdnjavanje starenjem.

Napredak u metalurgiji, kao i ekonomski pokazatelji, doveli su do rezultata, da postoji širok izbor Au-Ag-Cu osnovnih legura, koje e biti na raspolaganju, kako zubarima, tako i proizvo a ima nakita – zlatarima. Godine 1926, u velikom broju evropskih

država, uklju uju i tu i tadašnju Rusiju, uvedene su mere i oznake za koli inu zlata u leguri [19]. Tada je postavljen karatni sistem, po kome isto zlato od 100,0 mas.% Au, sadrži 24 uslovnih jedinica – karata. Odavde sledi da legura fino e 1 karat sadrži: $100,0/24 = 4,166$ mas.% Au. Drugi sistem mere zlata u leguri je metri ki sistem, po kome je sadržaj zlata u leguri ozna en brojem delova mase od 1000 delova (oznake u promilima). Veza izme u ova dva sistema mere je da 1 karat = 41,66 ‰.

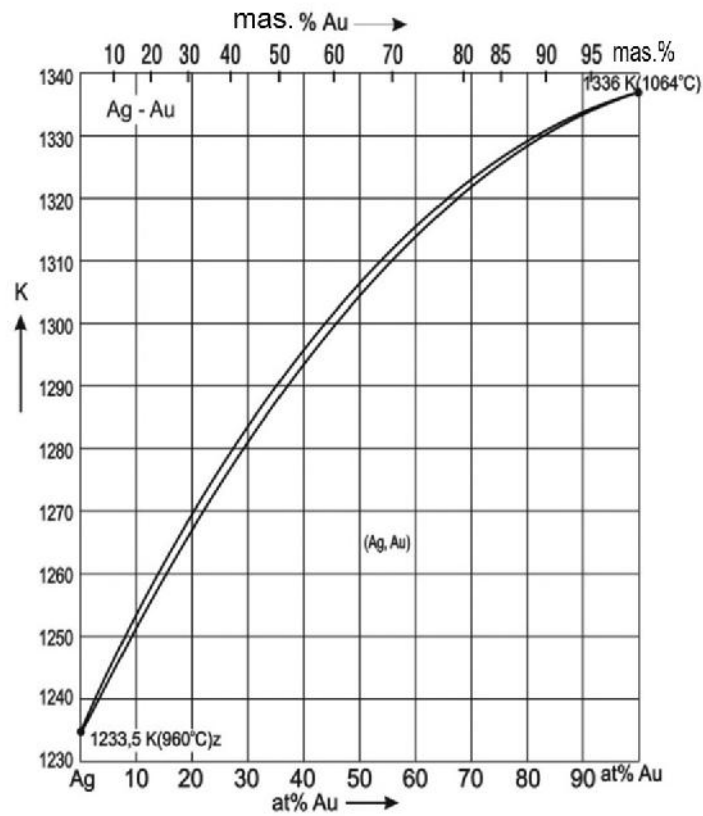
3.2.- Dvojni dijagrami stanja

Prou avanje trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, zahteva prethodnu obradu dvojnih dijagrama stanja: Au-Ag, Ag-Cu i Au-Cu, koji ustvari predstavljaju osnovu i polazne postavke trojnog dijagrama, i koji su prikazani na sl.2, 3 i 4.

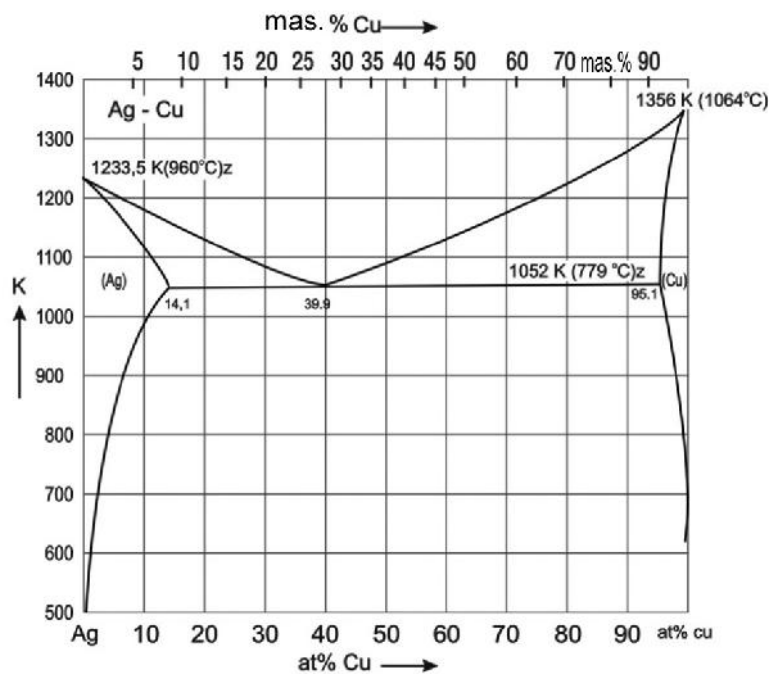
Zlato, srebro i bakar, su elementi koji pripadaju I b – grupi Periodnog sistema elemenata. Osobine ovih elemenata, zajedno sa osobinama cinka i paladijuma, koji se ovde koriste kao legiraju i elementi, pri proizvodnji nakita, za izradu nakita razli itih boja, kao i drugih zahtevanih osobina, prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1.- Osnovne fizi ke osobine elemenata koji se koriste pri izradi legura [20]

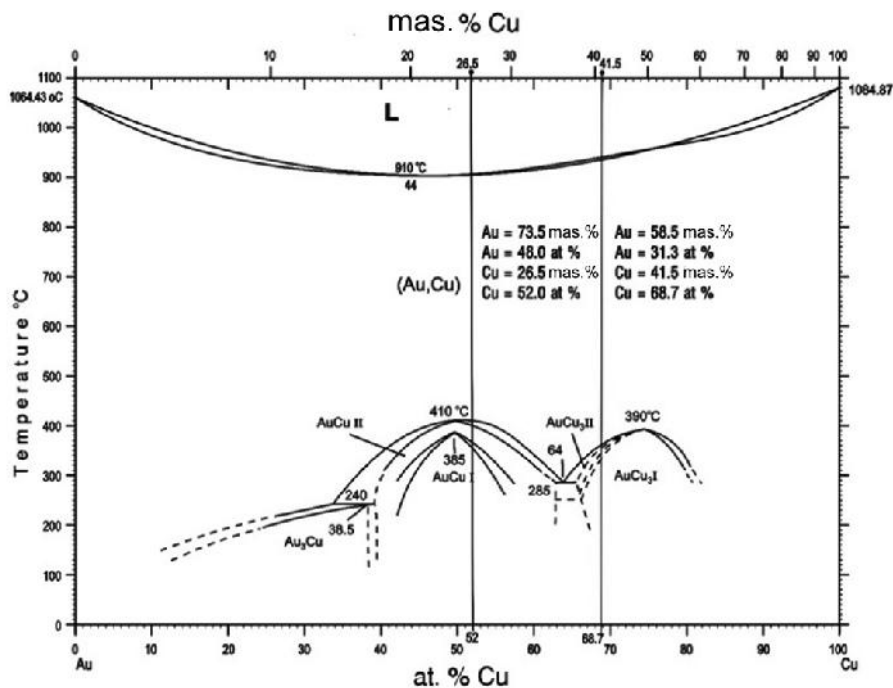
Red. Br.	Osobina	Au	Ag	Cu	Zn	Pd
1	Atomski broj	79	47	29	30	46
3	Grupa	Ib	Ib	Ib	IIb	VIIIb
4	Atomski prečnik, pm	144.2	144.5	127.8	133.5	137.6
5	Gustina, g/cm ³	19.32	10.50	8.96	7.133	12.00
6	Kristalna rešetka	pov.c.k.	pov.c.k.	pov.c.k.	$\frac{g.p.h}{c/a} > 1.633$	pov.c.k.
7	Temperatura topljenja °C	1064.43	961.93	1083.00	419.6	1552.00
8	Boja	zlatna	srebrna	Crveno/ružičasta	plavičasta	bela metalna
2	Atomska masa	196.97	107.87	63.546	65.39	106.42



Slika 2.- Dvojini dijagram stanja Ag-Au [6]



Slika 3.- Dvojini dijagram stanja Ag-Cu [6,22]



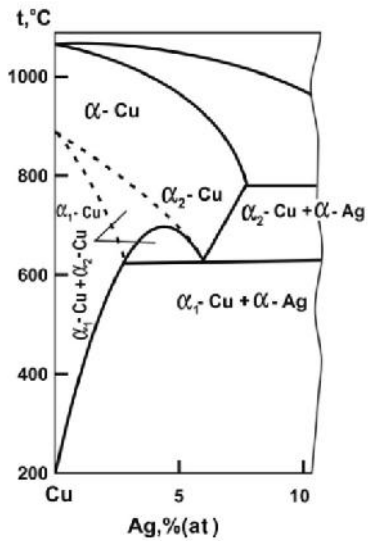
Slika 4.- Dvojni dijagram stanja Au-Cu [23]

U dvojnomoj sistemu Au-Ag, slika 2, postoji potpuna me usobna rastvorljivost komponentata u vrstom stanju, obrazuju i neprekidan niz vrstih rastvora. Kao što je i prikazano, linije likvidusa i solidusa ujedna eno se snižavaju od ta ke topljenja zlata, 1064°C (1337K), pa do ta ke topljenja srebra, 960°C (1223K) [19]. Legure Au-Ag, poseduju dobre livne osobine, kao i otpornost ka oksidaciji [19,26], veoma su mekane i plasti ne. Tehni ka primena ovih legura, zbog svojih tehni kih karakteristika, [27], niske vrednosti R_p 215 kg/mm², pri 50 – 60 at.% Ag, i pri relativnom izduženju 40 – 50 %, relativno je ograni ena. Mala gama boja i mala vrsto a (slaba otpornost na kidanje), ne dozvoljavaju koriš enje ove legure ni u zubarstvu, a ni u zlatarstvu. Upotreba ovih legura ograni ena je na tehniku kontakata. Za potrebe u zubarstvu i zlatarstvu, koriste se višekomponentne legure koje sadrže pre svega bakar i cink, kao neplemenite, a tako e paladijum i platinu, kao plemenite metale.

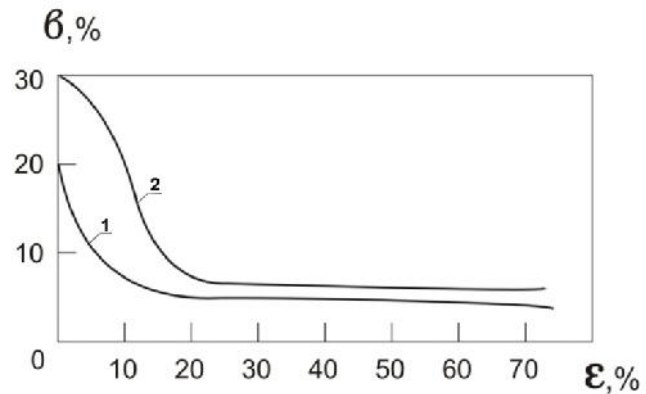
Dijagram stanja Ag-Cu, smatra se od strane velikog broja istraživa a [24], prostim eutekti kim dijagramom, sa ograni enom rastvorljivoš u komponenti u vrstom stanju, prikazanim na slici 3. Me utim, autori radova [25], na osnovu ispitivanja, smatraju da postoji eutektoidni preobražaj, sa strane bogate bakrom, pri 630 – 640 °C, pri približno 6,0 at. % Ag, i što je prikazano na slici 5.

Dvokomponentne legure Ag-Cu, sa strane bogate srebrom, poseduju visoku plasti nost, koja se oštro snižava pri stepenu hladne deformacije od 20%, ali zatim malo zavise od stepena deformacije, slika 6, [19]. Uticaj hladne deformacije na osobine od koje zavisi vrsto a, pokazuje da kod legura Ag-Cu, slika 7 [7], postoji od 8,0 – 10,0 mas. % Cu,

dok kod legura koje sadrže eutektikum (30,0 – 50,0 mas. % Cu), granica te enja u žarenom i deformisanom stanju, prakti no ne zavisi od sadržaja Cu, slika 8, [19].

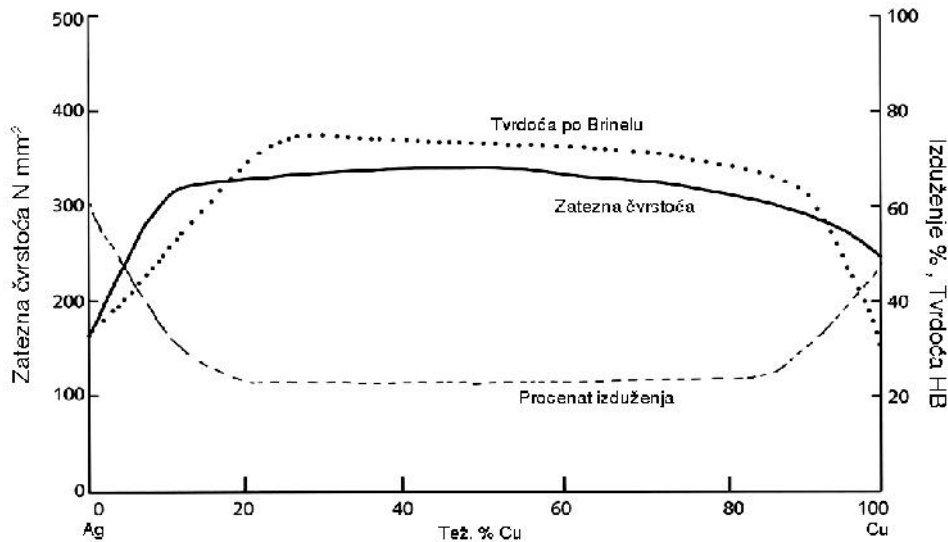


Slika 5.- Dvojni dijagram stanja Ag-Cu. sa strane bogate bakrom, po rez. [19,25]



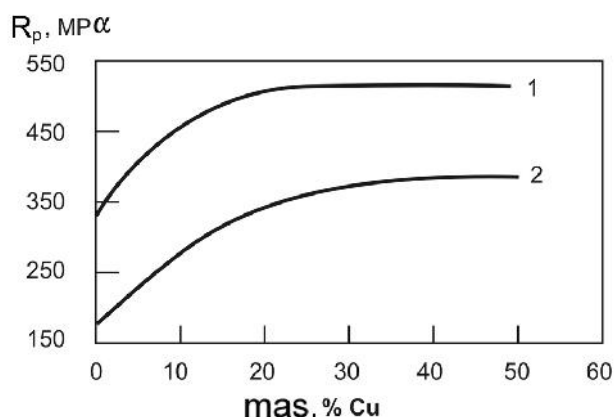
Slika 6.- Zavisnost relativnog izduženja , od stepena hladne deformacije:

1.- Ag-28,0 mas % Cu; 2.- Ag-7,5 mas. % Cu [19]



Slika 7.- Uticaj sastava na mehane ke osobine Ag-Cu legura [7]

Zna ajna zavisnost rastvorljivosti bakra u srebru, u vrstom stanju, u zavisnosti od temperature, odre uje mogu nost oja anja legura bogatih srebrom, kao rezultat raspada presi enog vrstog rastvora srebra pri starenju. Na osnovu ovoga, legure sa razli itim sadržajem bakra razli ito se i ponašaju. Maksimalno oja anje postiže se kod legura sa sadržajem 7,5 mas. % Cu.



Slika 8.- Zavisnost granice te enja, R_p , u zavisnosti od sadržaja bakra u legurama Ag-Cu, [19]:

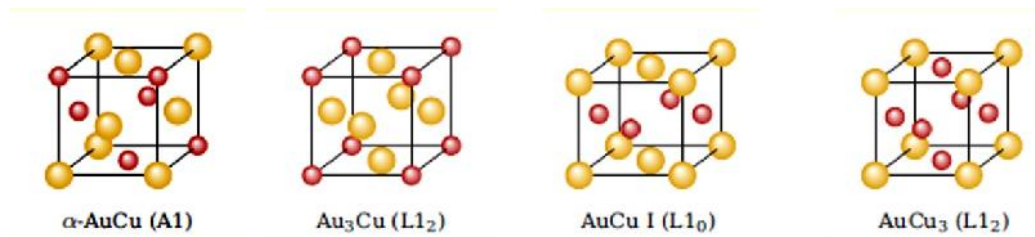
- 1.- hladno deformisana kriva, $\epsilon = 49\%$
- 2.- žareni materijal

Dvojni dijagram stanja Au-Cu, prikazan na slici 4, pored dijagrama Au-Ag i Ag-Cu, tako e je jedan od konstitutivnih dijagrama pri izradi trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu. Dvojni dijagram stanja Au-Cu, sli an je dijagramu Au-Ag, u zoni likvidus-solidus, ali su promene u vrstom stanju složenije [19, 23]. Zlato i bakar se potpuno mešaju u te nom stanju, grade i niz rastvora, sa minimalnom ta kom topljenja od 910°C , i 44,0 at. % Cu [23], tj. na oko 80,0 mas. % Au. Ispod linije solidusa, komponente Au i Cu, grade neprekidan niz vrstih rastvora [28], od potpunog o vrš avanja legure, minimalne temperature solidusa oko 910°C , pa sve do oko 410°C , kada dolazi do pojave karakteristi nih struktura sre ivanja, i to u obliku superstrukture: Au_3Cu , AuCu i AuCu_3 , što ovaj dijagram ini daleko složenijim u odnosu na dijagram stanja Au-Ag. Istraživanja ra ena kod legura Au-Cu, su najviše usmeravana u ispitivanje zubnih legura, sa velikom koli inom zlata, 85,0 mas % Au (65,0 – 75,0 at. % Au), kao i delimi no kod legura za nakit sadržaja 75,0 mas. % Au (18-ct), dok je to kod legura sa 58,5 mas. % Au (14-ct) malo ili nimalo ra eno.

3.2.1.- Nastajanje superstrukture u Au-Cu legurama

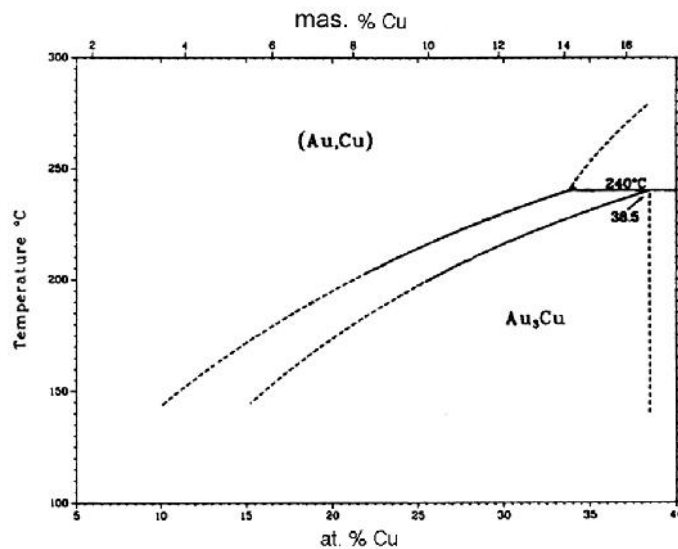
Kao što se vidi sa dijagrama stanja Au-Cu, komponente grade neprekidan niz vrstih rastvora, te postoji potpuna rastvorljivost u vrstom stanju, tj. prisutan je samo – vrsti rastvor sa komponentama Au i Cu. Obe komponente kristališu povr.c.k. rešetkom, i tu dolazi do nastajanja supstitucijskog vrstog rastvora, sa statisti kim rasporedom atoma na odre enim mestima u povr.c.k. rešetki.

Super rešetke, koje se pojavljuju, nakog laganog žarenja ispod 410°C su: Au_3Cu , AuCu kao i AuCu_3 , normalno u zavisnosti od koli ine zlata i bakra u leguri. Na Slici 9, prikazan je stehiometrijski sastav nesre ene – (Au,Cu), kao i tri sre ene strukture.



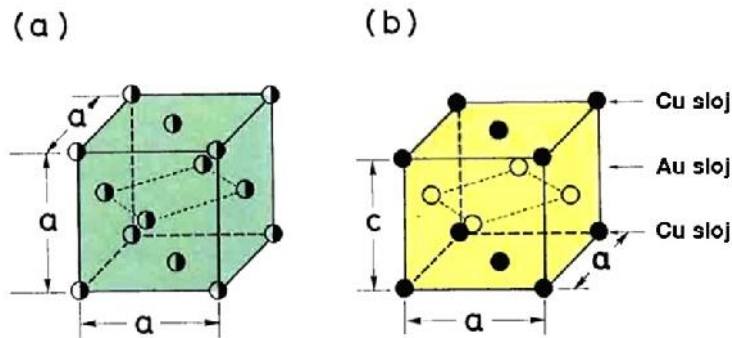
Slika 9.-Jedini na rešetka nesre enog vrstog rastvora (Au,Cu) , i tri stehiometrijske sre ene strukture Au,Cu legura. Simetrija/tip superstrukture prikazana je u zagradama, [6]

Struktura Au_3Cu , pojavljuje se do sadržaja od 38,5 at. % Cu (17,3 mas. % Cu), što ustvari predstavlja leguru sa velikom koli inom zlata, preko 82,7 mas. % Au, a koja se ne koristi, ni u zubarstvu, ni u proizvodnji nakita, tako da u ovom radu ne e biti obra ivana. Interesantno je pomenuti da se ovde pojavljuje, pri sadržaju od 38,5 at. % Cu, i manje, pojava peritektoidnog postupka sre ivanja strukture u obliku Au_3Cu [29]. Na slici 10, prikazan je deo oblasti dijagrama Au-Cu, na kome je vidljiva transformacija (Au,Cu) u Au_3Cu [30].



Slika 10.- Detalj granice faza $(Au,Cu)/Au_3Cu$, eksperimentalno ura ena,[23]

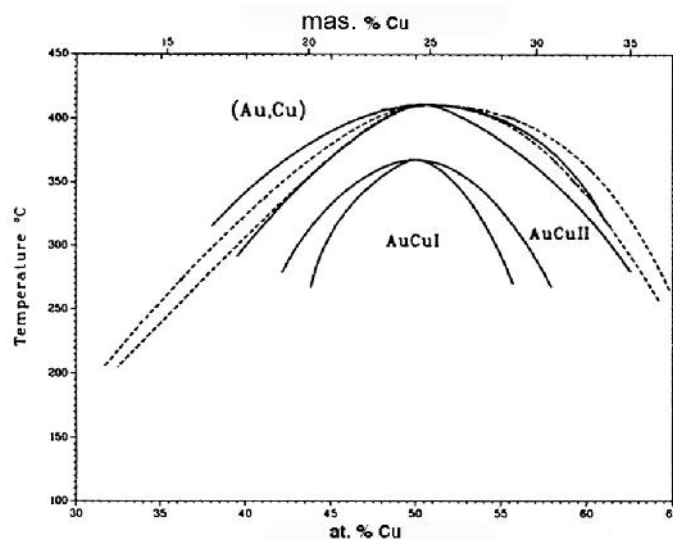
Mogu i izgled rešetke – (Au,Cu) vrstog rastvora, prikazan je i na slici 11. Na slici 11 su prikazane paralelno kristalne rešetke – (Au,Cu) , kao i sre ene rešetke AuCu I.



Slika 11.- Šematski prikaz nastanka AuCu I – superstrukture, [6,16]:

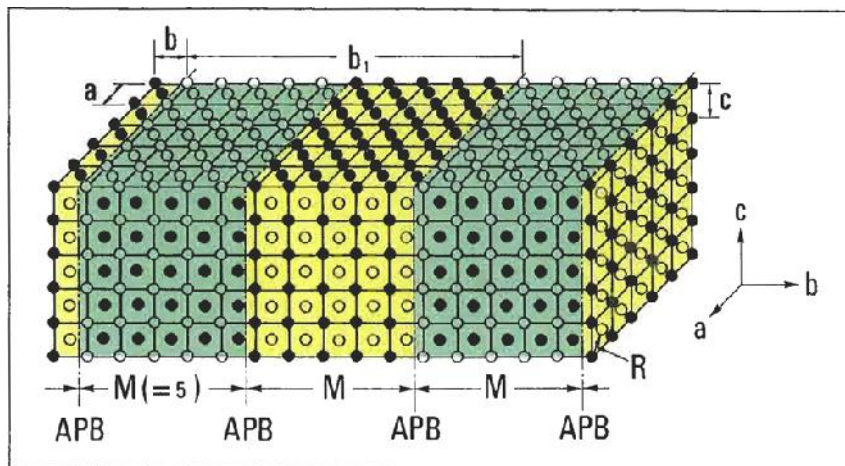
- a) Prikaz površ.c.k. rešetke (Au,Cu) , sa statisti kom raspodelom atoma
- b) Jedini na elija AuCu I – super rešetke, koja poseduje površ.c.t – rešetku (površinski centriranu tetragonalnu, $c/a=0.92$). Svetli krugovi predstavljaju atome Au, dok su tamni krugovi atomi Cu

U leguri Au-Cu, vrsti rastvor poseduje povr.c.k. rešetku, i stabilan je do 410 °C (683K), kao što je i prikazano na slici 12, [23]. Na nižoj temperaturi pojavljuju se dve komplikovane kristalografske strukture, [31, 32], (AuCu I i AuCu II). Na nižoj temperaturi, ispod 385 °C (658K) stabilna je sre ena faza po površ.c.t. rešetki AuCu I, gde su naizmeni no (002) ravni zauzete bilo atomima zlata ili atomima bakra, a što je prikazano na slici 11,b. Zbog razli itih atomskih pre nika mikrokonstituenata, sre ivanje je dovelo do toga da je došlo do iskrivljenja rešetke i da je površ.c.k. rešetka prešla u iskrivljenu površ.c.t.



Slika 12.- Detalj transformacije $(Au,Cu)/AuCu II$, granice faza dobijene eksperimentalnim rezultatima, [23,31,32]

Izme u 410 °C i 385 °C, i dalje prate i dijagram sa slike 12, stabilna je ortorombi na struktura AuCu II, [16], koja se kao elija sastoji od deset jedini nih tetragonalnih AuCu I rešetki [33,34], prikazana na slici 13.



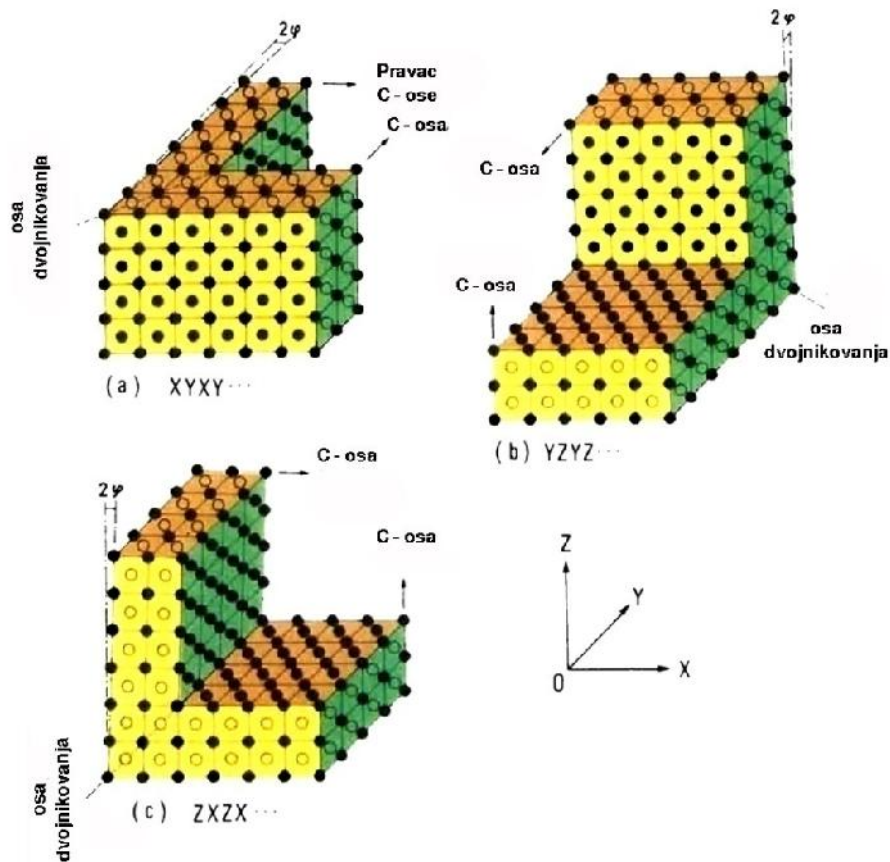
Slika 13.- Ure enje granice antifaznog polja – domena u dugoj periodi stvaranja rešetke – AuCu II. Prazni i puni krugovi predstavljaju atome Au i Cu – pojedina no, [16, 34]

Ovih deset jedini nih tetragonalnih elija AuCu I, pore anih u pravcu b – ose, na slici 13 prikazane dimenzijom „b₁”, ure ene su tako da su prvih pet identine, a drugih pet tako e me usobno identine, pri emu je atom Au zamenjen sa atomom Cu, ta no na polovini ove tzv. „duge elije”. Dakle, struktura je sub-podeljena na domene, koji su ozna eni sa „M”, a mesto promene naziva se antifaza, odnosno to je antifazna promena. Granice domena, tj. antifaza je paralelna sa [100] pravcem i ima periodi nost na pet jedini nih elija u pravcu b-ose [16,35]. Prilikom rasta elija AuCu II dolazi do pove anja vrstoe dvojnih Au-Cu legura, posebno u predelu oko 48,0 at. % Au (73,5 mas. % Au), a što je vezano za legure zlata fino e 750 ‰. Rastom elije AuCu II, dolazi do smenjivanja po c-osi, u rešetki AuCu I, a time i do zakrivljenja ravanske rešetke, te na taj na in dolazi do stvaranja dvojnika, a što je prikazano na slici 14, [16,36].

Sa slike 14 se vidi da je granica dvojnika paralelna sa ravni (101)_{tet}, i da se smenjivanje po „c” osi izvodi na tri na ina i to prema rasporedu pakovanja atoma Au i Cu:

- a) XYXY.....,
- b) YZYZ....., i
- c) ZXZX.....

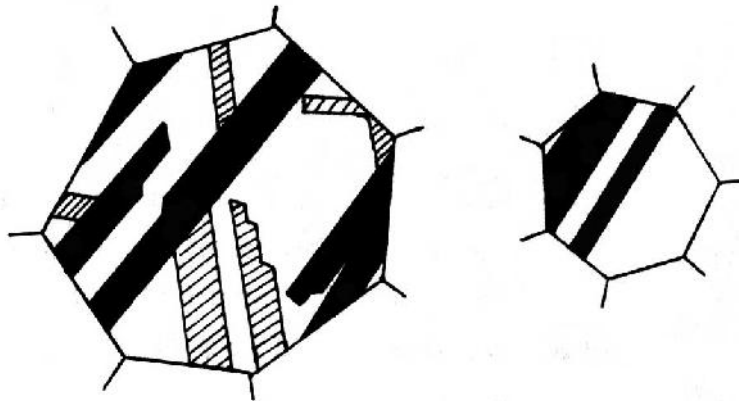
Pojava dvojnika žarenja u mikrostrukтури, esto se zapaža u obliku mnogobrojnih traka, koje prolaze od jednog do drugog kraja zrna, ije su granice prave i me usobno paralelne [28,37]. Ova pojava se zapaža kod ve ine metala i legura koji kristališu po povr.c.k. rešetki, a što je šematski prikazano na slici 15.



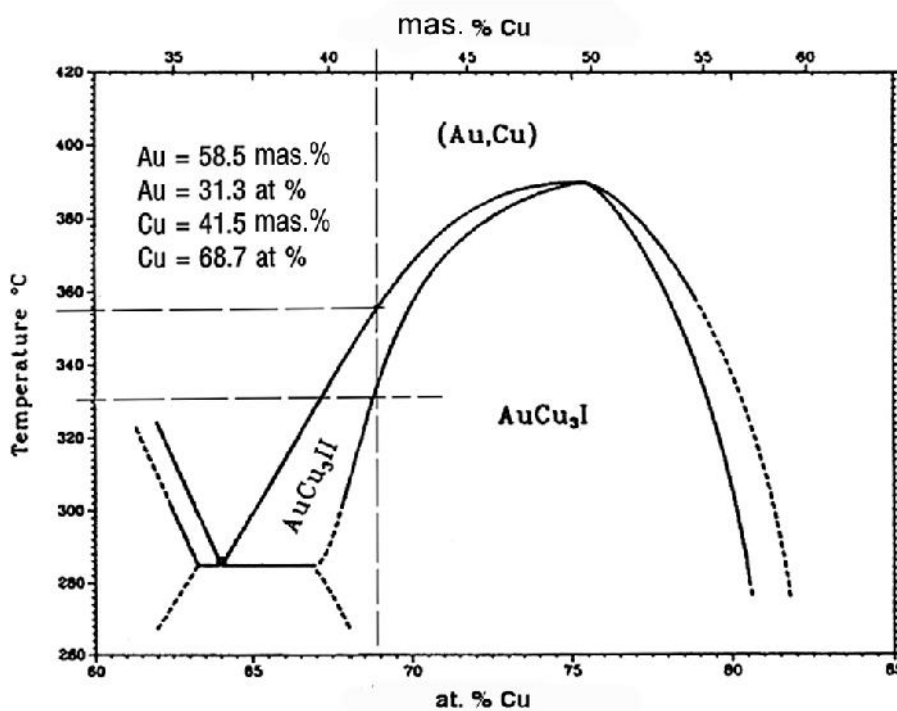
Slika 14.- Povezanost AuCu I – kristalne super-rešetke, sa nastajanjem dvojnika, u tri varijante,[16]

Uticao legiranja razli itim elementima, na oblast domena antifazne strukture, tj. na veli inu domena, je jedno od najinteresantnijih pitanja iz ove oblasti. Efekat dodavanja 16 razli itih elemenata, u razli itim koncentracijama, na veli inu domena antifaze kod AuCu II, prou avano je koriš enjem elektronske difrakcione tehnike [30]. Pri ovom prou avanju došlo se do zaklju ka, da legiranje sa Ni, Pd, Ag ili Ge, kod ravnotežnog Au-Cu, izaziva porast domena AuCu II – faze, sa pove anjem koncentracije legiraju ih elemenata, dok se legiranjem sa Al, Ga, In, Sn, Mn i Zn, dolazi do smanjenja domena. Konstatovano je, tako e, da promena veli ine domena kod AuCu II – faze, u velikoj je zavisnosti od broja valentnih elektrona po atomu legiranih elemenata.

Za ispitivanje faznih promena na temperaturama starenja, za legure fino e 585%, saglasno dijagramu stanja Au-Cu prikazanom na slici 16, najvažniji je deo fazne transformacije: $(Au,Cu) \rightarrow AuCu_3$.



Slika 15.- Šematski prikaz traka dvojnika žarenja u površ.c.k. zrnju metala, nakon žarenja [18]



Slika 16.- Detalj transformacije (Au,Cu)/AuCu₃-granice faza, dobijene eksperimentalnim rezultatima, [23,32]

Stehiometrijska ta ka $_{(Au,Cu)} AuCu_3 I$, je na oko 25,0 at.% Au i 390 °C. Eutektoidna ta ka transformacije je na 36,0 at.% Au i 284 °C [23]. Linija 585 ‰, sa 31,9 at.% Au (58,5 mas.% Au) i 68,7 at.% Cu (41,5 mas.% Cu), prikazane su na slici 16, a transformacija je $_{(Au,Cu)} AuCu_3 II_{(360\text{ }^\circ\text{C})} AuCu_3 I_{(330\text{ }^\circ\text{C})}$.

Kristalna struktura AuCu_3 (I)-faze formira prototip $L1_2$ -tip ure ene kubne strukture, u kojoj je na uglovima rešetke Au, koja je površinski centrirana sa Cu atomima. Kristalna struktura AuCu_3 (II), je sastavljena od 18 kristalnih rešetki AuCu I, sa granicom antifaznog domena nakon 9 kristalnih jedinica, [23]. AuCu_3 II je prelazni oblik od $_{(\text{Au,Cu})}$ do AuCu_3 I.

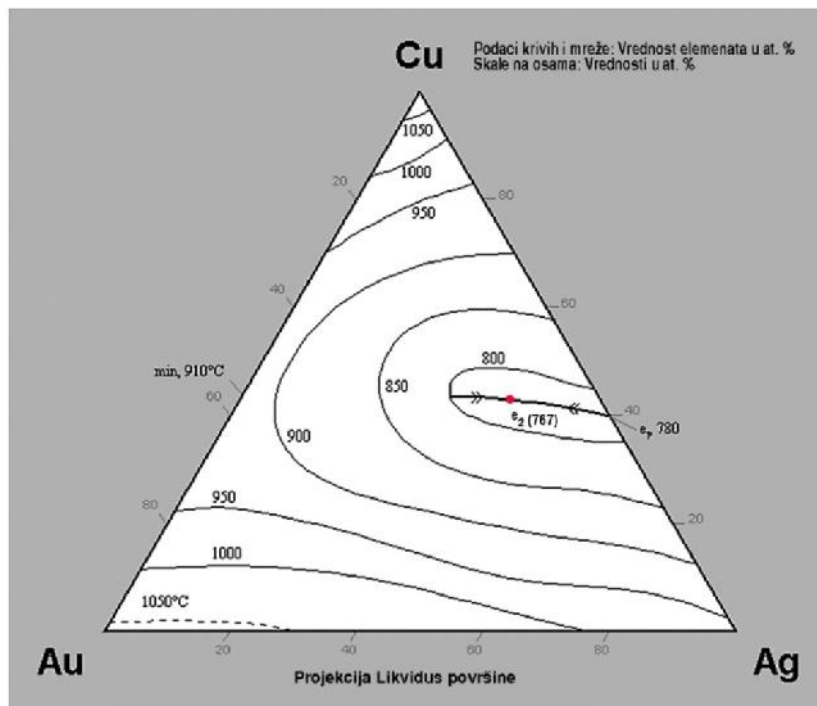
3.3.- Konstrukcija trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu

Pored toga što je prou avanje i poznavanje dvojnih dijagrama stanja veoma važno u prou avanju faznih transformacija, za odre ivanje kvaliteta legure a potom i kvaliteta proizvoda [38], potrebno je i poznavanje trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu. Koriš enje tro- i više – komponentnih legura u proizvodnji nakita je neophodno, da bi se dobile dobre mehani ke osobine, a pri tome nijednog momenta ne zaboravljaju i, da je kod nakita, jedna od najvažnijih komponenti za dobar plasman, lep izgled i lepa i prijatna boja proizvoda [39,40]. Usled složenosti trokomponentnih legura, iz razumljivih razloga, iste su manje izu avane od dvokomponentnih legura.

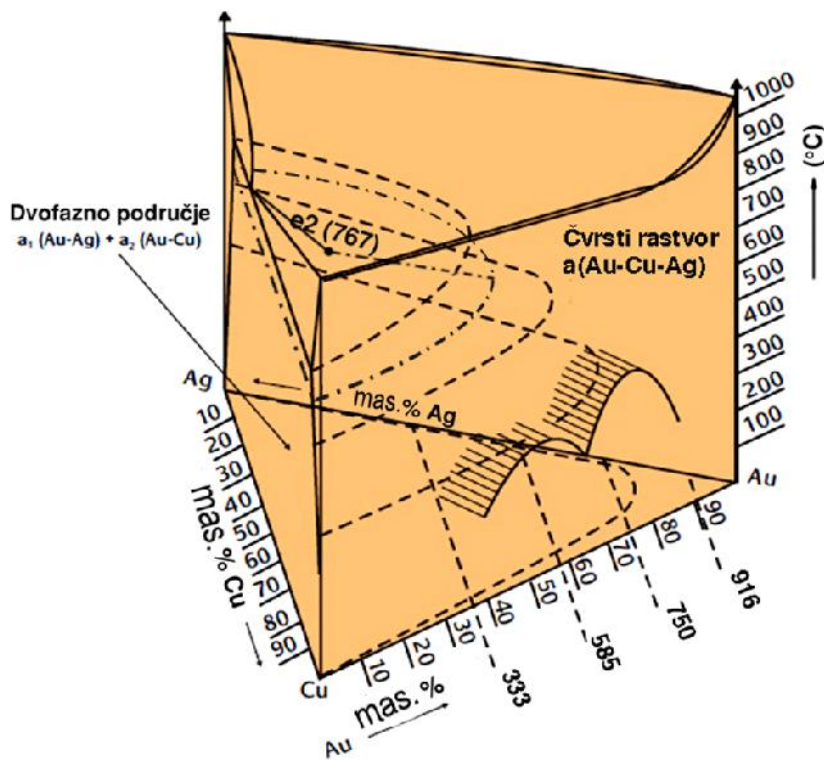
Kao što je poznato, zlato može da se legira sa velikim brojem metala i nemetala [19], ali kada su u pitanju legure za izradu nakita, onda su to uglavnom legure koje poti u iz sistema Au-Ag-Cu.

Trokomponentne legure Au-Ag-Cu sistema, odlikuje potpuna rastvorljivost u te nom stanju, i prili no velika rastvorljivost u vrstom stanju, prate i odgovaraju e dvojne dijagrame stanja, koji su osnova ovog trojnog dijagrama stanja. Najniža ta ka topljenja je trojni eutektikum, pri temperaturi od $767\text{ }^\circ\text{C}$, sastava 14,0 at.% Au, 43,0 at. % Ag, 43,0 at. % Cu, prikazan na slici 17. Eutekti ka ta ka trojnog dijagrama Au-Ag-Cu [41], pomera se, dodavanjem zlata, prema uglu bogatim zlatom, sa po etkom od eutekti ke ta ke dijagrama stanja Ag-Cu, sa slike 3. Dvofazni minimum kod likvidus linije Au-Cu dijagrama stanja, koji se nalazi na temperaturi od $910\text{ }^\circ\text{C}$ [23], projektuje se u trojni dijagram stanja, a na kraju prelazi u monovarijantan eutektikum, koji se završava u eutekti koj ta ki dvojnog Ag-Cu dijagrama stanja, na temperaturi od $780\text{ }^\circ\text{C}$.

Radi lakšeg sagledavanja ravnotežnog dijagrama stanja trokomponentnih legura Au-Ag-Cu, ura en je i prikazan na slici 18, prostorni izgled trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, u ne tako detaljnom nacrtu [7]. Na dijagramu su nazna eni preseci, iskazani u promilima, za najvažnije zlatarske legure. Sigurno, da je u jednom ovakvom prostornom dijagramu, teško, i skoro nemogu e predstaviti sve mogu e faze i reakcije njihovog nastanka, pa je tako i u ovom slu aju. Me utim, poznavanje i tuma enje prostornog trojnog dijagrama stanja je od velike pomo i u razumevanju ponašanja legiranjem, kako sa teorijskog tako i sa prakti nog zna aja. Za razjašnjenje pojedinih faznih promena, koriste se vertikalni preseci trojnog dijagrama, sa pregledom tzv. kvazi-binarnih dijagrama, kao i horizontalni preseci, dobijeni eksperimentalnim putem na konstantnoj temperature.

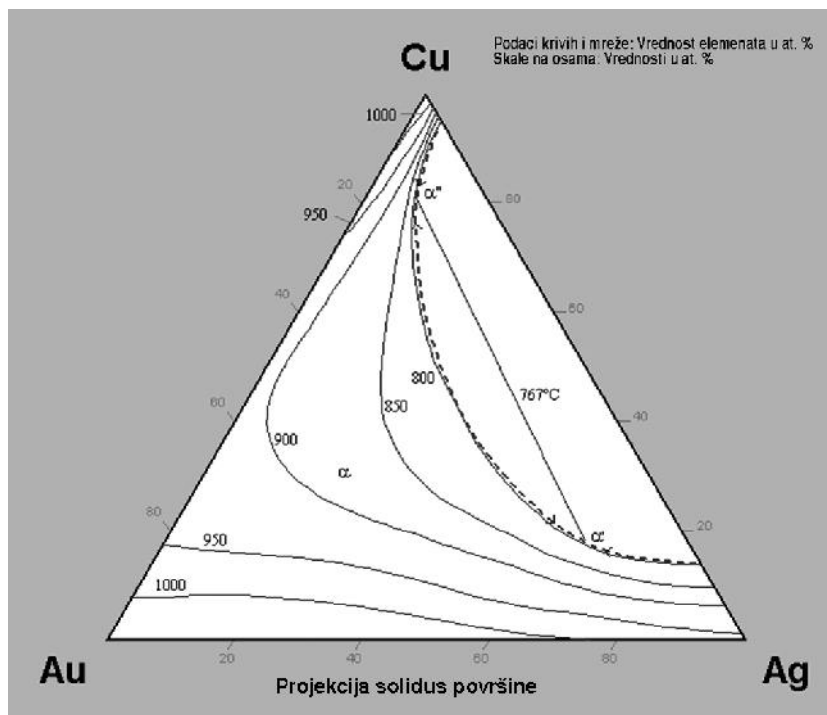


Slika 17.- Temperature izotermi površine likvidusa u trojnom sistemu Au-Ag-Cu [7,15]



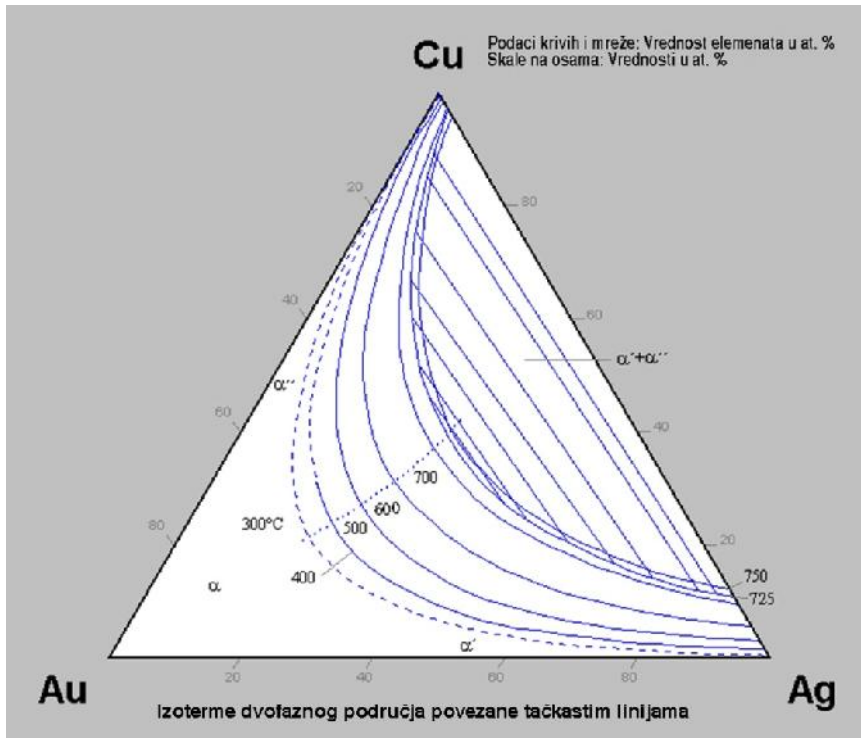
Slika 18.- Prostorni izgled trojnog ravnotežnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu [7]

Na slici 19, prikazana je solidus površina sa odgovaraju im izotermalnim linijama, kao i temperature za o vrš avanje trojnih legura, a koje su van poluloptastog dvofaznog prostora $(Ag,Au) + (Cu,Au)$, koji nastaje iz (Au,Ag,Cu) - jednofaznog podru ja , na 800 °C, a što je kriti na temperatura vezne linije, izme u linije likvidusa i (Ag,Cu) , [42,43]. Kriti na linija povezivanja za (Ag,Cu) , kao i minimum solidusa prikazan je na 767 °C. Ovaj prostor je veoma važan za pojavu starenja legura kao i o vrš avanja starenjem, jer u ovom prostoru dolazi do faznih transformacija u vrstom stanju.

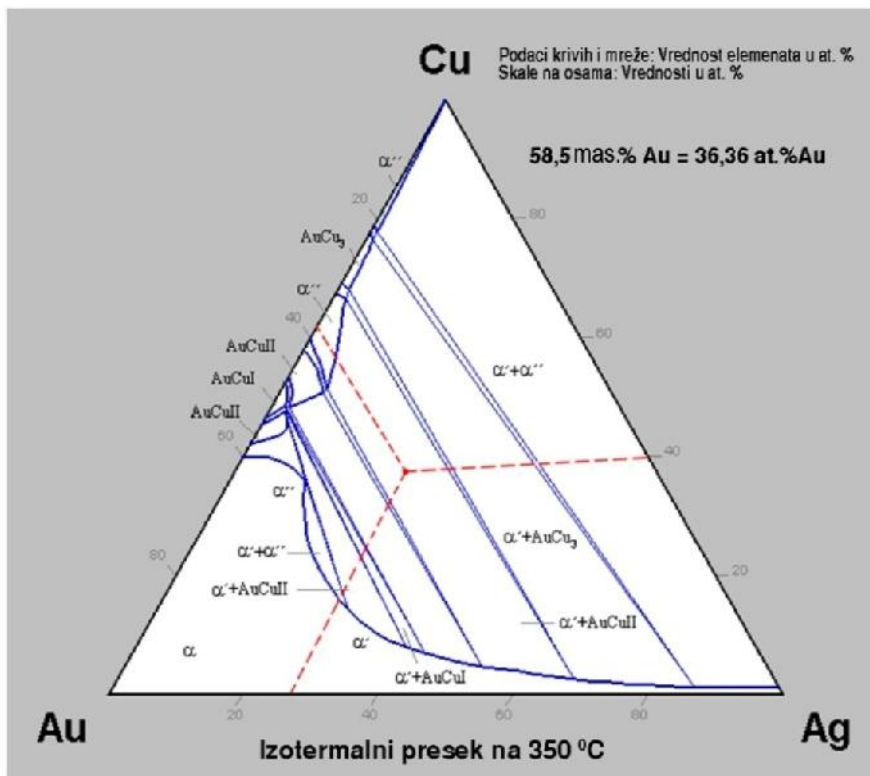


Slika 19.- Solidus površina trojnog dijagrama stanja, Au-Ag-Cu, [15]

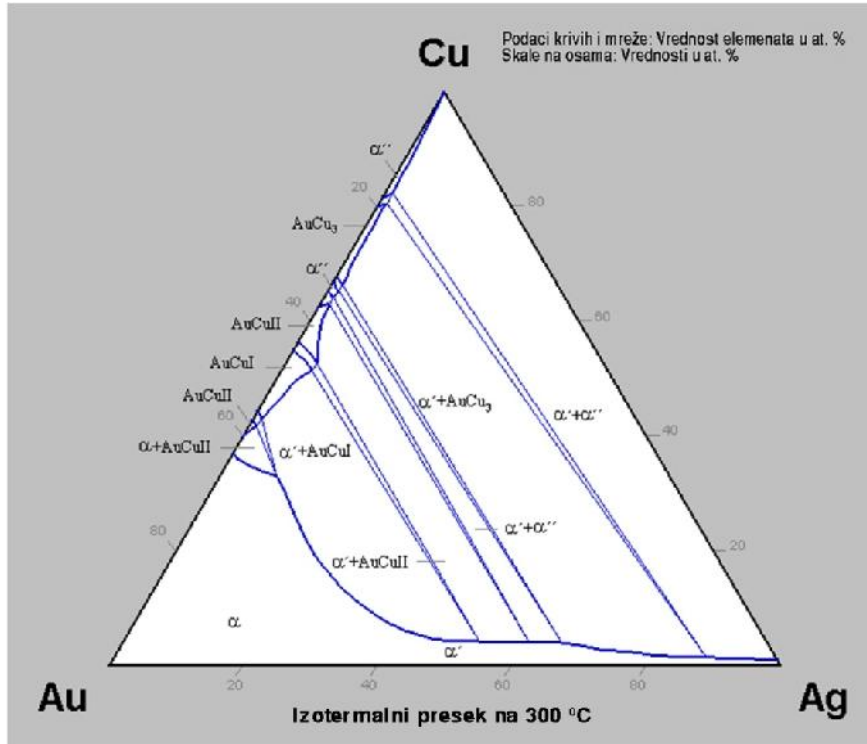
Dvofazni prostor, $(Ag,Cu) + (Au,Ag,Cu)$, proteže se u prostoru trojnog dijagrama stanja, formiraju i solvus površinu, ije je po etno stanje, ustvari, dvofazno polje, $(Ag,Cu) + (Au,Ag,Cu)$, Ag-Cu dvofaznog dijagrama stanja [41,44]. Oblik ovog prostora prikazan je na slici 20, sa izotermama od 750 °C do 300 °C. Na ovoj slici je prikazana povezanost izme u ovih linija sa ta kastom linijom [45]. Treba napomenuti da izoterma na 300 °C, nije uzela u obzir reakciju sre ivanja, koja se odvija ispod 400 °C, izotermalne linije, na temperaturi nižoj od 725 °C, nisu paralelne sa linijama dvojnog $(Ag,Cu) + (Au,Ag,Cu)$, Ag-Cu dijagrama stanja, ali lagano naginju i padaju ka uglu zlata (Au).



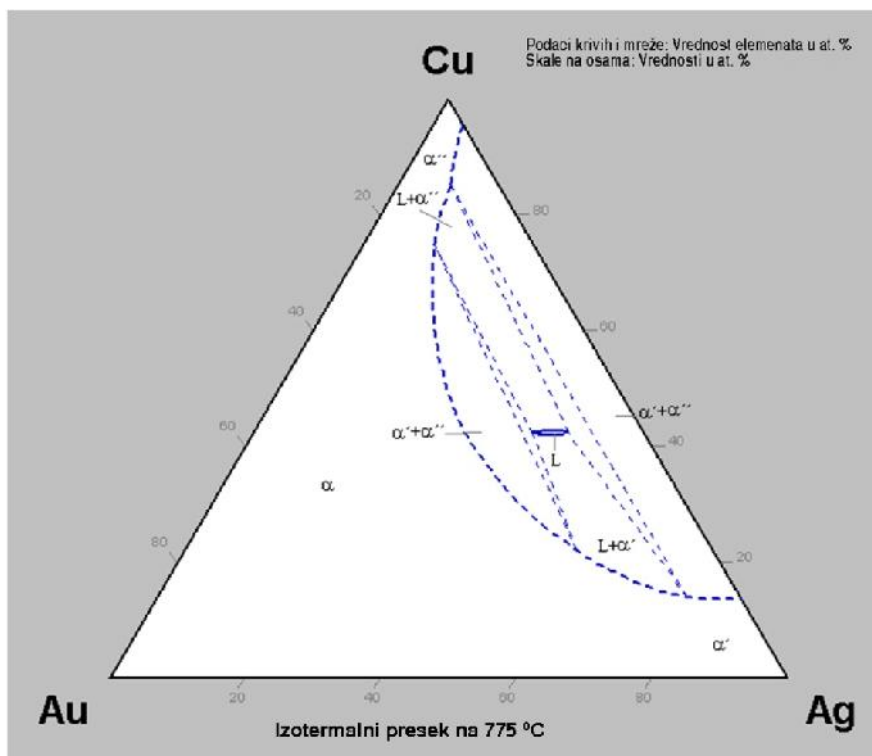
Slika 20.- Izoterme dvofaznog područja, povezane tačkastim linijama, [15]



Slika 21.- Izotermalni presek na 350 °C [15]

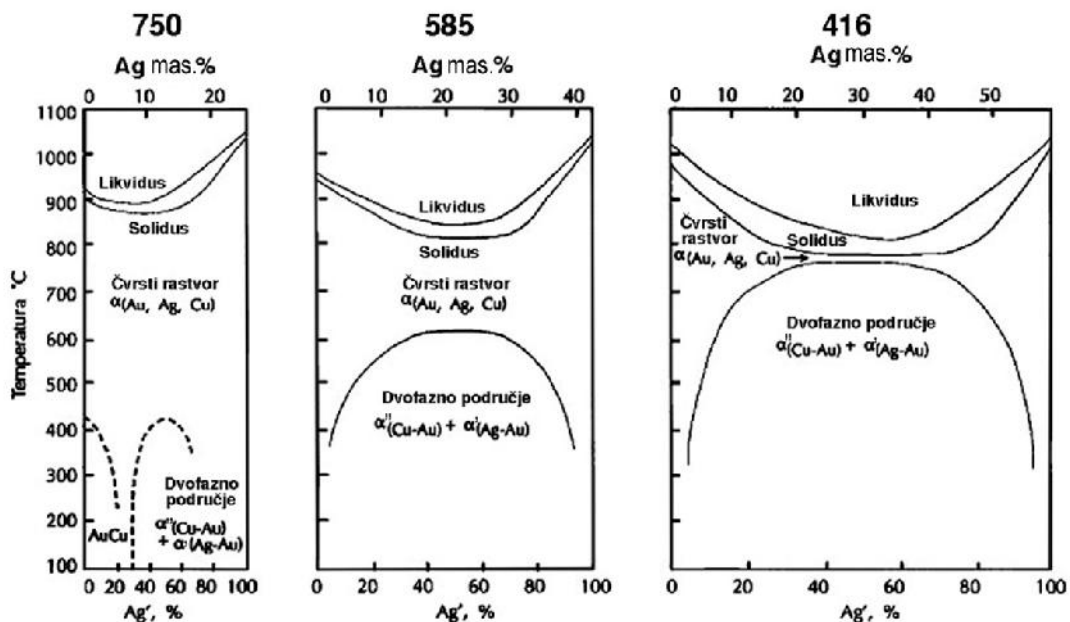


Slika 22.- Izotermalni presek na 300 °C, [15]



Slika 23.- Izotermalni presek na 775 °C, [15]

Izotermalni preseki trojnog dijagrama, na temperaturama od 300 °C i 350 °C, prikazani su na slikama 21 i 22 [15]. Izotermalni preseki, ustvari prikazuju rastvorljivost nesre enog – vrstog rastvora, kao i ‘+ “ – dvofaznog podru ja, koji sa sre enom fazom, AuCu i AuCu₃, koegzistiraju u ravnoteži na niskoj temperaturi. Na temperaturama, koje su iznad 350 °C ne postoje fazne promene u vrstom stanju koje stvaraju sre enu fazu, ali se promene u vrstom stanju dešavaju sve do eutektike temperature, koja je na minimumu likvidus površine, tj. na $e_2 = 767$ °C, što je i prikazano na slici 17, kao i slici 23, koja ustvari, predstavlja izotermalni presek na 775 °C, neposredno iznad trojne eutektike ta ke.



Slika 24.- Šematski kvazi-binarni dijagram, vertikalni presek konstantne fino e kod Au-Cu-Ag dijagrama stanja, [40]

U cilju boljeg razjašnjenja prelaska iz $(Au, Ag, Cu) \rightarrow (Ag, Au) + (Cu, Au)$, dvofazno podru je, na slici 24, prikazani su kvazi – binarni dijagrami, tj. vertikalni presek trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, sa konstantnim sadržajem Au, za pojedine tipove legura sa promenljivim koli inama Ag i Cu, a koji odgovaraju za nakit fino e 750 ‰, 585 ‰ i 416 ‰. Sigurno da ovde ne može da se prikažu i promene u sre ivanju, jer bi to bilo suviše komplikovano.

Koncentracija Ag i Cu, na apscisi, određuje sastav legure, koriste i parametre Ag' [40], prema slede oj relaciji:

$$Ag' = \{[Ag(mas.\%)]/[Ag(mas.\%) + Cu(mas.\%)]\} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

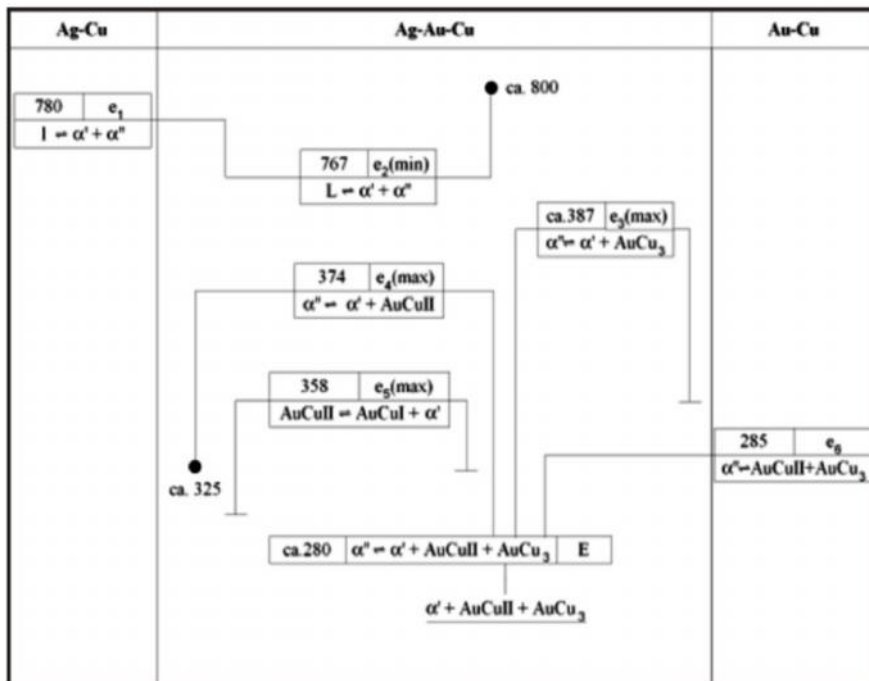
Na osnovu ove jedna ine (1), legure za proizvodnju nakita definišu se i razmatraju na osnovu zahtevane finoe, i parametra Ag' , a na osnovu dvofaznog područja, sa slike 24, i parametra Ag' , proizlaze tri tipa legura, [40]:

- Tip I, u kojoj se Ag' kre e od 0 do 10 % ili oko 90 do 100% , koje postoje kao homogeni vrsti rastvori na svim temperaturama, ispod linije solidusa. Ove legure su mekane i u žarenom stanju ne dolazi do pove anja tvrdo e.
- Tip II, u kojoj se Ag' kre e u opsegu od 10 do 25 %, ili oko 75 do 90%, koje postoje kao homogeni vrsti rastvori na temperaturama iznad dvofaznog područja, ali, ukoliko je lagano hla enje, ravnoteža na sobnoj temperaturi $'_{(Ag-Au)}$ dovodi do pojave precipitata u Ag – bogatoj leguri i $''_{(Cu-Au)}$ u Cu – bogatoj leguri. Ovaj tip II legure, postaje umereno mekan u žarenom stanju, ali otvrdnjavanje starenjem se ostvaruje izdvajanjem taloga – precipitata.
- Tip III, u kojoj je Ag' u opsegu od oko 25 do 75 %. Legure ovog tipa su homogeni vrsti rastvori iznad dvofazne oblasti, ali ukoliko se lagano hlade do ravnotežne sobne temperature, dolazi do razlaganja na dve faze: $'_{(Ag-Au)} + ''_{(Cu-Au)}$. Legure ovog tipa su pove ane tvrdo e i pri hla enju na vazduhu, i za iste je otežano izvesti gašenje. Ove legure otvrdnjavaju starenjem, jer dolazi do fenomena sre ivanja faza.

U saglasnosti sa slikama 17 do 23, kao i sa opisom istih, može se prikazati tabela sa šemom ravnotežnih reakcija koje se pojavljuju u trojnom dijagramu stanja Au-Ag-Cu.

Kod trojnog dijagrama prikazano je pet ravnotežnih ta aka, a što je i posebno opisano u tabeli 2: $e_{2(min)}$ - eutekti ko o vrš avanje trokomponentne legure, $e_{3(max)}$ – dekompozicija povr.c.k. $'' - ''$ vrstog rastvora, oboga enog sa Cu, u $' - ''$ vrsti rastvor, oboga en srebrom i sre eni $AuCu_3$, i tako e, e_4 – dekompozicija povr.c.k. $'' - ''$ vrstog rastvora, u $' - ''$ vrsti rastvor i sre eni $AuCu II$; $e_{5(max)}$ – eutektoidna dekompozicija ortorombi ne $AuCu II$ u povr.c.t sre eni $AuCu I$ i povr.c.k. $' - ''$ oboga enu sa Ag; Na kraju, u ta ki E, eutektoidna dekompozicija povr.c.k. $''$ u povr.c.k. $'$, kao i sre eni $AuCu II$ i $AuCu_3$, [46].

Tabela 2.- Tabelarni i šematski prikaz ravnotežnih ta aka u dvojnim, Au-Cu i Ag-Cu, kao i u trojnom, Au-Ag-Cu, dijagramu [15, 42, 43]

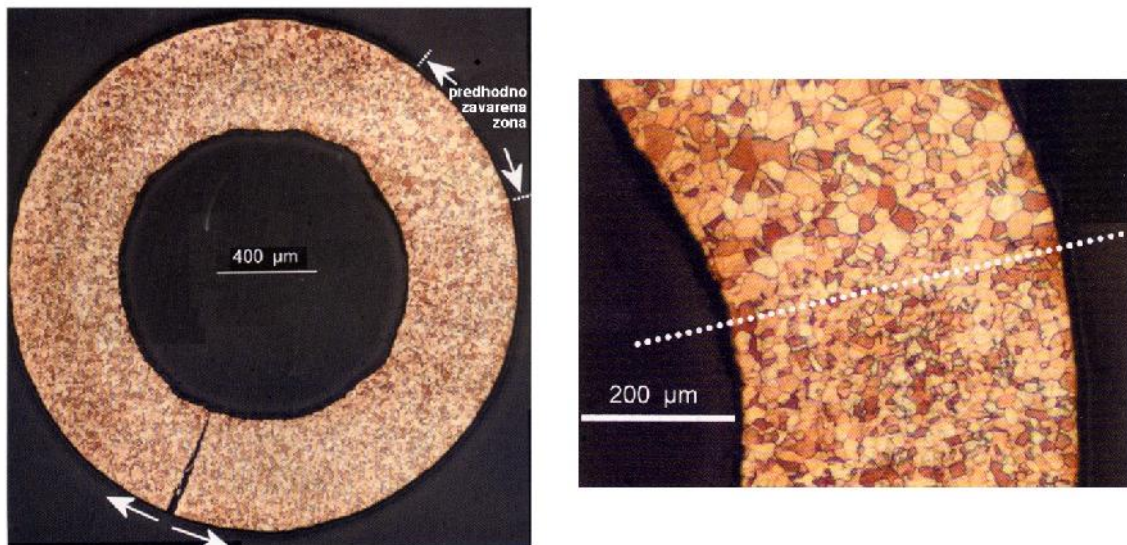


Reakcija	T(°C)	Tip	Faza	Sastav (at%)		
				Au	Ag	Cu
$L \rightleftharpoons \alpha' + \alpha''$	767	$e_{2(\min)}$	L	14	~ 43	~ 43
			α'	~ 16	~ 66	~ 18
			α''	~ 11	~ 8	~ 81
$\alpha'' \rightleftharpoons \alpha' + \text{AuCu}_3$	387	$e_{3(\max)}$	α''	22.5	2.0	74.5
			α'	19.8	77.7	2.5
			AuCu_3	25.6	1.0	73.4
$\alpha'' \rightleftharpoons \alpha' + \text{AuCu II}$	374	$e_{4(\max)}$	-	-	-	-
$\text{AuCu II} \rightleftharpoons \text{AuCu I} + \alpha'$	358	$e_{5(\max)}$	-	-	-	-
$\alpha'' \rightleftharpoons \alpha' + \text{AuCu II} + \text{AuCu}_3$	~ 280	E	-	-	-	-

Svi prikazani delovi trojnog dijagrama, od slike 17 do slike 23, uklju uju i i tabelu 2, predstavljaju male delove jedne velike celine, tj. trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, koji su dobijeni mahom eksperimentalnim metodama od strane velikog broja istraživa a [15]. Hemijska stabilnost Au-Ag-Cu legura, predstavlja osnovu izrade legura za izradu nakita, sa konstantnim sadržajem Au od 58,5 mas.%, što iznosi od 31,2 at.% do 43,5 at.% Au. Legure koje se koriste za proizvodnju nakita, trebalo bi da poseduju visoku otpornost na koroziju, posebno u elektrolitu, koji postoji prilikom eksploatacije proizvoda, a to je , ove ji znoj“ [47,48]. Pored otpornosti na koroziju, koje poseduju

ovakvi proizvodi, potrebno je, u finalnim proizvodima, ostvariti žarenje na temperaturama starenja, da bi se, pored ostalog, izbegla zaostala naprežanja u proizvodima, koja su nastala usled razli ite vrste obrade, a samim time i nastajanjem razli ite veli ine zrna, kao i do nastajanja naponske korozije, koja je naj eš e interkristalnog tipa [49], kada i naj eš e dolazi do naprslina po granicama zrna, a što posebno uti e na vek trajanja proizvoda.

Pojava interkristalne korzije usled zaostalih naprežanja, nastaje kod proizvoda legure zlata, ukoliko žarenje zbog uklanjanja zaostalih napona, kao i starenje, nije adekvatno izvedeno i na vreme. Prikaz na slici 24/1, predstavlja jedan od ovakvih slu ajeva, pri emu je vidljiva razlika u krupno i zrna na liniji zavarivanja, (b), što izaziva pojavu unutrašnjih napona u materijalu pri eksploataciji, kada može do i do pojave interkristalne korozije i pojava naprslina, (a).



a).-

b).-

Slika 24/1.-Napukao popre ni presek cevi, legure 585, usled popre nih i zaostalih naprežanja. Cev je varena TIG postupkom, prikazano strelicom, pri emu se vidi razlika u veli ini zrna (a), i uve ani deo na mestu vara, gde dolazi do zaostalih naprežanja u materijalu (b), [50]

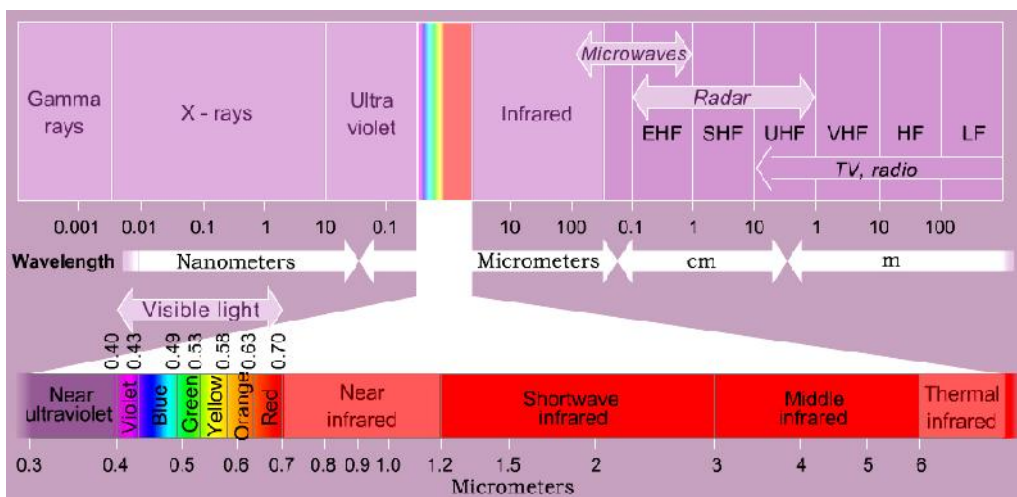
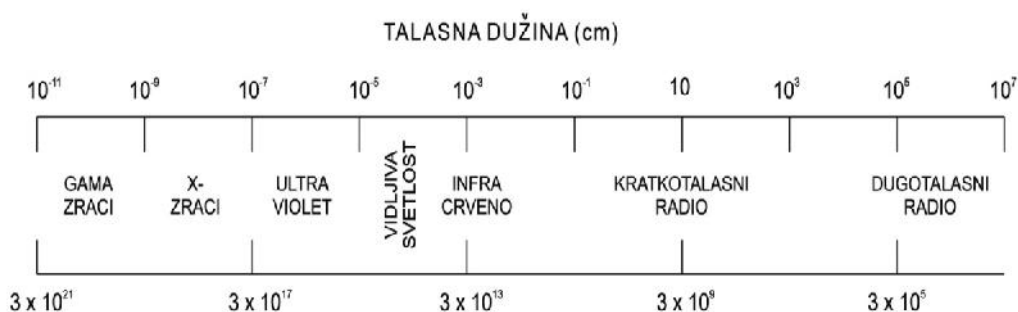
Na osnovu navedenog, konstrukcija trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, predstavljena je parcijalno, sa mogu noš u prou avanja pojedinog dela dijagrama, prema teku oj potrebi. Obzirom da je ve ina ovih dijagrama ura ena eksperimentalno, i, kao što je ve re eno, od strane velikog broja istraživa a, dalji rad na izradi trojnog dijagrama, zahteva konstantni rad i prou avanje.

3.4.- Opti ke osobine i boje legura Au-Ag-Cu

3.4.1.- Opti ke osobine plemenitih metala

Na skali vrednosti talasnih dužina elektromagnetnih talasa, talasna dužina vidljive svetlosti zauzima veoma mali prostor. U tabeli 3, šematski je prikazana približna talasna dužina i oblasti frekvencije kod razli itih elektromagnetnih talasa, dok je na slici 25, uve an pojas vidljive svetlosti, i prikazan u manjim jedinicama da bi bio uo lživiji.

Tabela 3.- Približna talasna dužina i oblasti frekvencije kod razli itih elektromagnetnih talasa, [51]



Slika 25.- Zra enje vidljive svetlosti, [52]

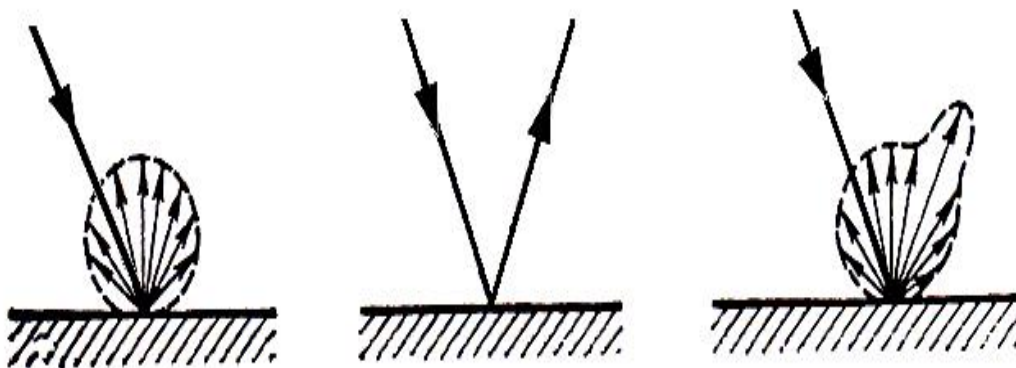
Bela svetlost, ustvari, predstavlja mešavinu svih vidljivih boja, tj. svih onih boja za koje je normalno oko osetljivo. Me u ovim bojama crvena ima najve u talasnu dužinu, od približno $7,60 \times 10^{-5}$ cm, dok ljubi asta ima najmanju talasnu dužinu, od približno $3,85 \times 10^{-5}$ cm [51]. Vrednosti za talasne dužine svih ostalih vidljivih boja, nalaze se izme u ovih grani nih vrednosti.

Priroda svetlosti je veoma složena, i u prou avanju problema svetlosti prihvata se da je svetlost dualne prirode: talas – estica, tj. pokazuje talasnu i korpuskularnu prirodu.

Najvažnije opti ke osobine metala, u ovom slu aju vezano za plemenite metale, su: boja legure za izradu nakita i reflektivnost metala.

Boju doživljavamo tako, što se elektromagnetni talasi, od kojih je sastavljeno belo svetlo, selektivno mešaju, uklju uju i; absorpciju, refleksiju, refrakciju i rasejanje [53]. Formiranje boje kod metala i njihovih legura, neposredno je povezano sa elektronskom strukturom, kako osnovnog metala tako i legiranih elementa. Potrebna boja legure, ostvaruje se dodavanjem legiranih elemenata. Naprimera, dodavanjem paladijuma, dobija se fina bela boja legure, pove anjem koli ine bakra u odnosu na srebro, dobija se crvenkasta boja legure, itd., o emu e posebno biti re i u slede im ta kama.

Druga veoma važna opti ka karakteristika, vezano za plemenite metale i legure, je reflektivnost, [19]. Plemeniti metali sa svoje površine reflektuju veliki procenat upadne svetlosti, a samim time i energije lasera. Koeficijent refleksije predstavlja osnovu za primenu laserske tehnike prilikom postupka zavarivanja laserskim snopom pri proizvodnji nakita [54-56]. Takva refleksija se odvija na jedan od prikazanih oblika sa slike 26.



a).-

b).-

c).-

Slika 26.- Oblici refleksije sa površine: a) difuzno, b) ogledalasto, i c) kombinovano; [55]

Obzirom da se u proizvodnji nakita sve više uvode savremeni postupci obrade, od kojih je jedan i zavarivanje laserom, to se javlja potreba sagledavanja reflektivnosti i na in smanjenja koeficijenta reflektivnosti, da ne bi dolazilo do rasipanja energije, [54,57].

Bez obzira na talasnu prirodu, idealna refleksija svetlosti naj eš e se posmatra koriš enjem jedne linije, prikazano na slici 26 b), što je matemati ki najjednostavnije. Preostala dva slu aja, difuzno i kombinovano rasejanje, slika 26 a) i c), su mnogo složenija za analizu.

Koeficijent refleksije (R), predstavlja odnos intenziteta reflektovanog (I_R) i upadnog svetlosnog zraka – po etnog intenziteta (I_0), tj. $R = I_R / I_0$. Odavde proizlazi da, što je ve i koeficijent refleksije to e biti ve a i reflektivnost metala. Kada se koeficijent refleksije (R) razmatra koriš enjem tzv. realnog ,(n), i imaginarnog, (k), indeksa prelamanja, što se izvodi i dokazuje u optici, [19,58], onda se za normalan upadni snop, vrednost refleksije izražava u obliku:

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \dots\dots\dots(2)$$

U jednostavnijem odnosu izme u koeficijenta reflektivnosti (R) i indeksa prelamanja (n) u vakumu ili vazduhu postoji relacija, kada je $k = 0$:

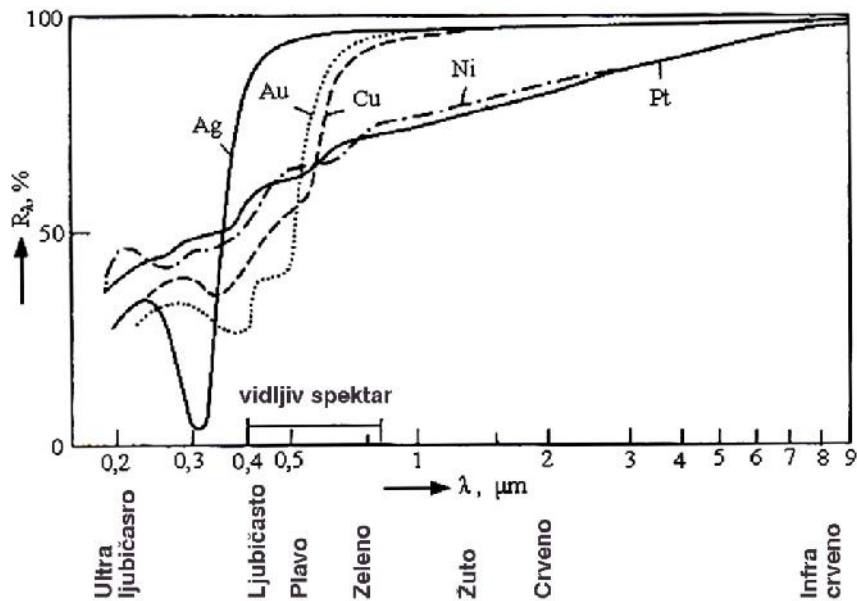
$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \dots\dots\dots(2a)$$

Kod plemenitih metala reflektivnost je reda veli ine 0,9 – 0,95. Neprozra nost metala dovodi do velike reflektivnosti. Radi sagledavanja odnosa, npr. kod vrlo prozra nog materijala – dijamanta, koeficijent $n = 2,41$, za $k = 0$, dobija se $R = 0,17$, a to zna i da se 17% reflektuje.

Koeficijent refleksije zavisi od talasne dužine upadnog svetlosnog snopa, što je prikazano na slici 27. Kako se koeficijent refleksije menja u zavisnosti od talasne dužine svetlosnog snopa, tako e se menjati i reflektivnost, te zato treba posmatrati koeficijent refleksije (R) u širem opsegu talasnih dužina.

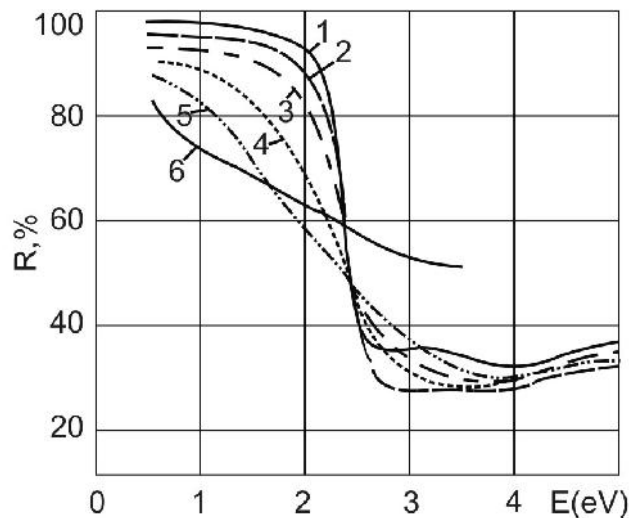
Krive promene koeficijenta refleksije u zavisnosti od talasnih dužina, za zlato i bakar, imaju veoma sli an karakter i sli ne vrednosti, dok srebro pokazuje izražen minimum pri raspodeli talasnih dužina oko 0,3 μm . Nadalje, pri $\lambda > 0,3 \mu\text{m}$, najpre srebro, a zatim i zlato i bakar pokazuju nagli rast refleksivnosti.

Nikl i platina imaju sli nu prirodu ponašanja, kada se posmatra zavisnost refleksije od talasne dužine. Nikl je, ina e, jedan od metala koji se koristi kod metalnih ogledala ili reflektora, i to je razlog njegovog pojavljivanja na slici 27.

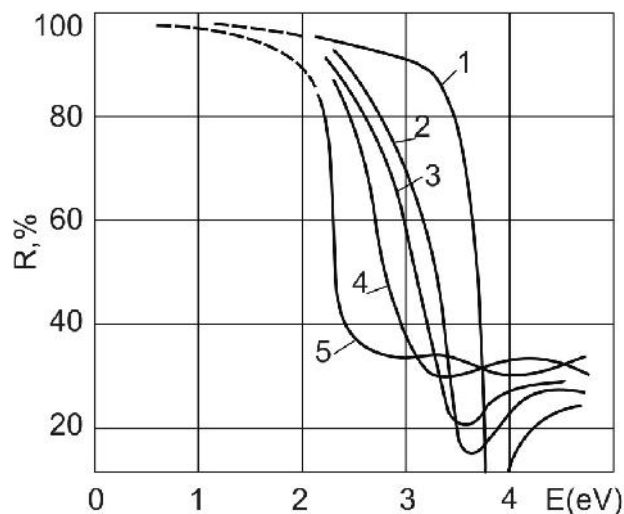


Slika 27.- Zavisnost koeficijenta refleksije (R) u širem opsegu talasnih dužina svetlosnog snopa, mereno upravno na površinu plemenitih metala i nikla [59,60]

U vidljivom delu spektra, u intervalu od oko $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$, najveće vrednosti se javljaju kod srebra, zatim kod zlata, bakra, nikla i platine. Pri većim talasnim dužinama, oko $10 \mu\text{m}$, vrednosti refleksija svih navedenih metala postaju identične i po obliku i po vrednosti, [54, 61].



Slika 28.- Zavisnost koeficijenta refleksije (R) od energije zračenja (E), kod legura sa različitim sadržajem paladijuma: 1 – isto zlato; 2 – Au + 5 at.% Pd; 3 – Au + 10 at.% Pd; 4 – Au + 20 at.% Pd; 5 – Au + 30 at.% Pd; 6 – ist paladijum, [19]



Slika 29.- Zavisnost koeficijenta refleksije (R) od energije zra enja (E), kod legura sa razli itim sadržajem srebra: 1 – isto srebro; 2 – Ag + 5 at.% Au; 3 – Ag + 10 at.% Au; 4 – Ag + 50 at.% Au; 5 – isto zlato, [19]

Boja zlata zna ajno se menja legiranjem. U ve ini slu ajeva, promena boje zlata legiranjem, ne može da se objasni teorijom prelaska elektrona iz d-zone u nepopunjenu zonu provodljivosti, odnosno na osnovu predstave o zonskom prelasku elektrona. Primer refleksije kod legura zlata sa paladijumom i srebrom, koji su približno iste boje, a i približno iste elektronske konfiguracije [20]. Na slici 28 prikazana je zavisnost reflektuju ih sposobnosti legura Au-Pd od energije zra enja, sa ime je povezana jarka boja zlata. Kao što se vidi iz slike 28, dodatak paladijuma smanjuje reflektuju e sposobnosti, a samim time i strmost krivih. Energetske karakteristike krivih pri ovome se u osnovi zadržavaju. Kao rezultat dodatka paladijuma brzo dolazi do obezbojenja zlata.

Zna ajno, na drugi na in dolazi do promene boje zlata pri legiranju srebrom, slika 29. Ta ka sniženja reflektuju e sposobnosti, sa pove anjem sadržaja srebra, premešta se od veli ine, karakteristi ne za isto zlato do veli ine karkteristi ne za isto srebro, tj. u stranu ve ih energija.

3.4.2.- Boje legura trojnog sistema Au-Ag-Cu

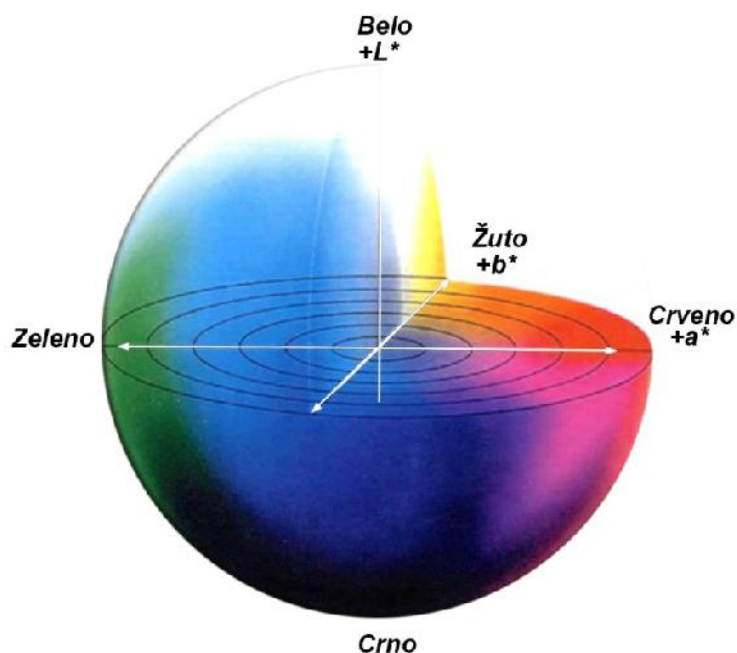
Zlato se od davnina koristi za izradu dekorativnih predmeta, i boja zlata igra veoma važnu ulogu u ovoj oblasti primene. Bogata i plemenita žuta boja zlata plenila je i bila atraktivna za ove anstvo, više od 3.000 godina pre nove ere pa do danas [62].

Zlato i bakar su elementi koji poseduju i pokazuju boju. Usled ovih osobina, legure zlata mogu da poseduju veliki opseg boja, u zavisnosti od legirnih dodataka.

U proizvodima industrije za proizvodnju nakita, boja legure igra veoma važnu ulogu, posebno u ranijem periodu, koja je procenjivana individualno, od proizvođača do proizvođača. Međutim, danas više to nije moguće, jer je ljudsko oko subjektivno. Postoje slučajevi, kada se boja određuje slučajno, posebno pri izboru legura u proizvodnji i popravci nakita. Takvi slučajevi su danas fabrički i zahtevaju objektivna i precizna merenja boje. Čak i male varijacije u boji su znak neprofesionalnosti i lošeg kvaliteta, i posebno danas, može biti veoma skupo za proizvođača nakita.

Potreba za tačnim određivanjem boje dovela je do različitih sistema, uređenih da bi se pravilno procenile boje. MUNSSELL sistem opisuje boju koristeći tri koordinate, koji se i dalje oslanja na ljudsko oko, a boje su opisane vizuelnim upoređivanjem sa standardnim uzorcima i pronalaženjem najbližih, [39,63].

Odbor udruženja zlatara i kujundžija Amerike, odredio je referentni sistem za određivanje boje, tzv. CIELAB sistem, [39,64]. Ovaj sistem je u prednosti, nad MUNSSELL sistemom, jer opisuje boju matematički, [65], bez intervencije ljudskog oka, i sastavni je deo u sistemu američkog društva za ispitivanje boja i izgleda materijala.



Slika 30.- Koordinate boja u sistemu CIELAB, [66]

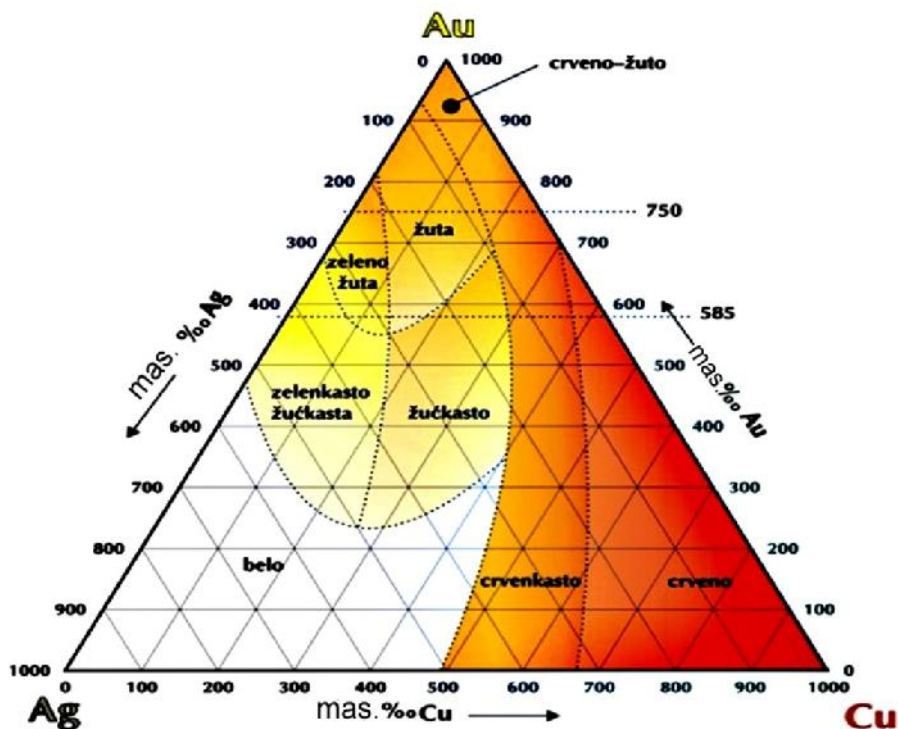
Na slici 30, prikazan je sistem za određivanje boje po CIELAB sistemu, gde se vrednost boje određuje kao $C^2_{(chroma)} = a^2 + b^2$, dok je svetlost boje konstantna veličina, koja se kreće od „bele” do „crne” boje.

DIN sistem, se koristi kao Evropska referenca za boje zlata, i zasniva se na fizi koj boji koja se upore uje sa standardnom bojom uzoraka. Nedostaci ovog sistema su da identifikacija boja zavisi od oka, a postoji i problem kod legiranja niže fino e, npr. „333” ili „416”, usled tzv. „vremenske senke”, koja je rezultat reakcije legure sa sredinom, [39].

Za proizvodnju nakita koriste se legure u velikom dijapazonu boja. Metalurški posmatrano, dobijanje boje legura zlata, klasifikuje se u tri kategorije:

- Trojni dijagram stanja Au-Ag-Cu i veza izme u boje i sastava;
- Boje intermetalnih jedinjenja;
- Obojeni površinski oksidni slojevi.

Trojni dijagram stanja Au-Ag-Cu, na kome je prikazana veza izme u boje legure i sastava, i koji predstavlja osnovu za prou avanje legura za nakit, prikazan je na slici 31.



Slika 31.- Trojni dijagram stanja Au-Ag-Cu, sa prikazom odnosa sastava legure i boje, u mas. %, [67]

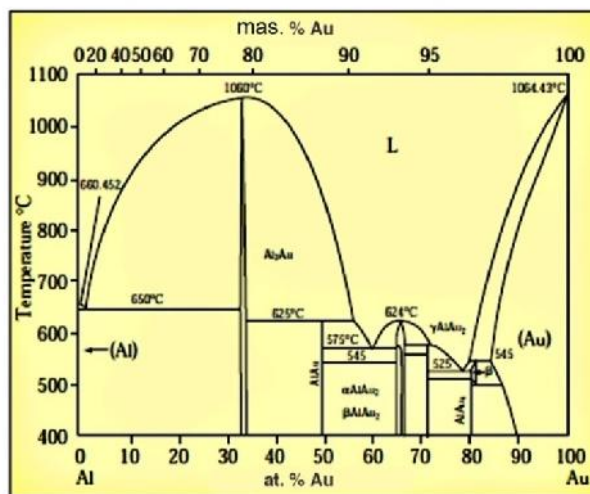
Varijacije boje od žute, crvene i zelene mogu se dobiti u razli itom odnosu Au:Ag:Cu. Veliki broj nijansi i boja u Au-Ag-Cu sistemu, može se dobiti samo od varijacija komponenti, kao što je i prikazano na slici 31. Pove anjem koli ine bakra, dobija se crvenkasta (reddish) nijansa legure, dok dodavanje srebra ini leguru zelenkastom (greenish).

„Belo” zlato je tako e zasnovano na Au-Ag-Cu dijagramu stanja, ali bela boja proizilazi kao rezultat legiranja sa elementima koji poseduju osobinu da daju belu boju kao što su Ni, Pd ili Mn. Legiranje sa raznim elelmentima u trojnom Au-Ag-Cu sistemu, tako e se koristi za poboljšanje mehani kih osobina, liva kih osobina, tvrdo e, itd.

Dodavanjem Zn, do 15,0 mas.%, u legure Au-Ag-Cu sistema, može se promeniti crvena boja legure bogate sa bakrom do crvenkasto-žute ili tamno-žute [41,66]. Ove legure karakteriše i dobra obradivost. Dodatak Zn uti e na odnos sre eno-nesre eno kod AuCu, kao i na veli inu dvofazne oblasti, ‘ + ’, a samim time i na karakteristike otvrdnjavanja starenjem legura, [68,69]. Odnos izme u sastava i boje razvijen je za legure fino e „585” koje sadrže cink [70].

Legure „belog” zlata, u industriji za proizvodnju nakita, razvijene su kao zamena za platinu. Danas se najviše koriste za ugradnju dragog kamena (*diamond setting*), za izradu visoko kvalitetnog nakita visoke otpornosti, za žuto-bele zlatarske proizvode, i sl. Legure „belog” zlata koje se koriste u industriji su, danas, najviše na bazi Au-Pd-Ag, kao i više-komponentne legure na bazi Au-Ag-Cu-Zn-Pd. Nikl je koriš en kao legirni elemenat za dobijanje belog zlata, unazad dve do tri godine, ali je zakonima EU zabranjen zbog pojave alergije kod korisnika (ta ka 3). Legiranje sa cinkom i paladijumom u radu je posebno obra eno, usled njihovog uticaja na proces otvrdnjavanja starenjem, kao i uticaja na druge promene u trojnom dijagramu stanja Au-Ag-Cu.

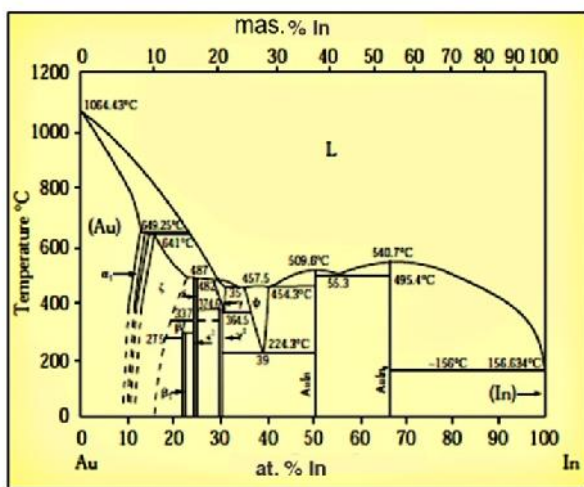
Intermetalna jedinjenja su specijalna grupa materijala, sa osobinama koje se razlikuju od osobina pojedina nih metala, koji su u sastavu jedinjenja [21]. Intermetalna jedinjenja su obi no krta, što ih ini, u tradicionalnom smislu proizvodnje nakita, prakti no neupotrebljivim, ali mogu da se koristi kao ukras na nakitu, kao intarzija, „nugget”, i sl.



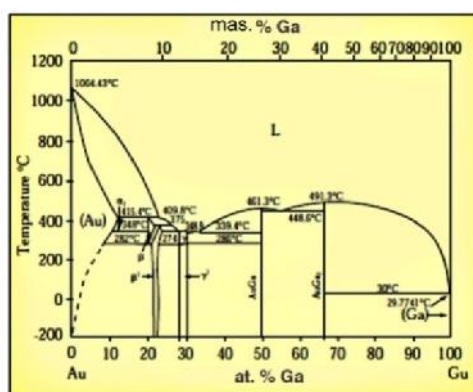
Slika 32.- Dvojni dijagram stanja Al-Au, [39]

Najpoznatije me u njima je jedinjenje $AuAl_2$, koje se formira sa 79,0 mas.% Au i 21,0 mas.% Al, [9]. $AuAl_2$ ima višu ta ku topljenja od svojih komponenata, kao što je i prikazano na slici 32, što ukazuje da su komponente termodinami ki stabilne. Jedinjenje se odlikuje prelepom ljubi astom bojom. Pojava ovog jedinjenja, koje je veoma krto, naziva se „ljubi asta kuga”. Me utim, i pored toga što je ovo jedinjenje krto, ljubi asto zlato je stabilno jedinjenje i ne dezintegriše se termi kom obradom, [39].

Dva druga intermetalna jedinjenja koja proizvode obojene legure su $AuIn_2$ – sa jasno plavom bojom, i $AuGa_2$ – sa blago plavom bojom.



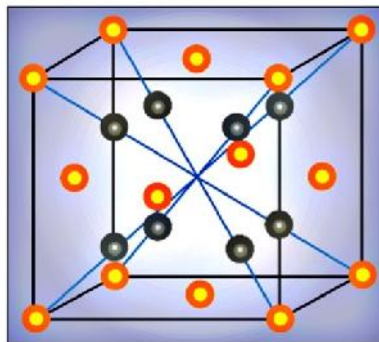
a).-



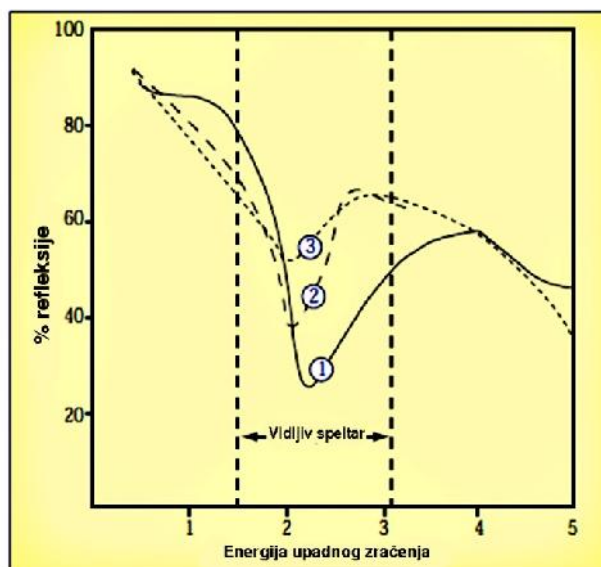
b).-

Slika 33.- Dvojni dijagram stanja Au-In, a), i Au-Ga, b), [39]

Na slici 33 prikazani su dvojni dijagrami stanja, Au-In, a), i Au-Ga, b). $AuIn_2$, intermetalno jedinjenje formirano je sa 46,0 mas.% Au, a $AuGa_2$ sa 58,5 mas.% Au. Oba jedinjenja imaju sli nu kristalnu strukturu, kao i jedinjenja zlata ljubi aste boje, koja se zasniva na prototipu rešetke CaF_2 , što je i prikazano na slici 34.



Slika 34.- Kristalna struktura CaF_2 – prototip za $AuAl_2$, $AuIn_2$ i $AuGa_2$, [39]



Slika 35.- Zavisnost koeficijenta refleksije (R), od energije zračenja (E) kod intermetalnih jedinjenja: 1 - $AuAl_2$, 2 - $AuIn_2$, 3 - $AuGa_2$, [39]

Intermetalna jedinjenja se, prema mnogim osobinama, ponašaju kao isti metali, što omoguava da se izrauna strukturni opseg. Refleksija, u sredini vidljivog spektra, se nalazi u minimumu, i ponovo raste u delu ljubiastog spektra, daju i raznovrsnost boja, u svakom slučaju [39,70,71]. Slika 35 prikazuje refleksiju kao funkciju energije zračenja – upadne svetlosti za $AuAl_2$, $AuIn_2$ i $AuGa_2$.

Opisane boje legure Au-Ag-Cu, imaju zajedničku karakteristiku, da je ista nijansa boje po celom poprečnom preseku. U potrazi za raznim bojama nakita, koristi se još jedna tehnika, a to je formiranje sloja oksida na površini legure, u različitim bojama, prilikom termičke obrade na vazduhu. Obzirom da zlato ne menja boju na vazduhu, koristi se osobina što legiraju i elementi imaju nizak oksidacioni otpor, koji sa različitim hemijskim agensima formira oksidni sloj. Oksidni sloj je kao film na površini, i ima ograničenu debljinu, tako da može da se veoma lako pohaba prilikom eksploatacije.

Kalijum sulfid, K_2S , poznat kao „sumporna džigerica”, koristi se za legure zlata sa veoma malom količinom bakra, pri čemu mogu da se dobiju varijacije boje od braon do crne, [72].

U praksi su poznati i drugi slučajevi, kada se dobijaju žarenjem i oksidacijom na raznim temperaturama, dobijaju se različite nijanse boja nakita od legure zlata. Rutenijum i rodijum daju lepu i bogatu safirno-plavu boju. Železo i nikl daju lepi plavo-zeleni oksidni sloj, dok se kobaltom dobija približno crna boju, itd. Otpornost na habanje povećava se dodatkom hroma, pri čemu tanki oksidni sloj Cr_2O_3 daje zeleno-maslinastu boju.

Znanje i tehnologija, stalno streme ka novim izazovima, da bi se našlo rešenje za neke nove boje legura, a samim time, i uvo enje laserske tehnologije u obradu proizvoda zlatarske industrije.

3.5.- Uticaj dodatnih legiraju ih elemenata na osobine legura Au-Ag-Cu

Prikazati potpuni uticaj dodatnih legiraju ih elemenata i primesa na promene osobina trokomponentnih legura sistema Au-Ag-Cu, je obiman rad, i izašao bi van ove disertacije. U radu e biti obuhva eni oni elementi koji se naj eš e koriste za dobijanje legure odre ene boje, koja se koristi za proizvodnju nakita. U ovom slu aju su to legure sa dodatkom cinka, za dobijanje legure žute boje, kao i sa dodatkom paladijuma za dobijanje legure bele boje.

Na tehnološke osobine legura za proizvodnju nakita iz sistema Au-Ag-Cu, veliki uticaj imaju i primese, koje prema važe em standardu (GOST 6835-72)[12,19], ne mogu da budu, ukupno ve e od 0,28mas.%. Strogo je ograni eno prisustvo naj eš e pojavljivanih elemenata kao primesa u legurama za izradu nakita, i to: olovo, antimon, bizmut i železo. U procesu proizvodnje legura za proizvodnju nakita mogu da se pojave kao primese: aluminijum, kalaj, silicijum, fosfor i sumpor, koji tako e imaju uticaj na karakteristike legura.

Izrada lemova za proizvodnju nakita, stavlja pred proizvo a e nakita, pored drugih legiranih elemenata, i posebne zahteve, kao što su: niska ta ka topljenja, dobra te lživost, boja identit na sa bojom osnovne legure, odgovaraju a vrsto a, i sl., što zahteva posebnu tehni ko-tehnološku obradu, te ovim radom, kompletna obrada ove problematike ne bi bila mogu a.

3.5.1.- Legure na bazi Au-Ag-Cu-Zn sistema

Uticaj cinka na legure Au-Ag-Cu sistema je višestrukog karaktera, i može da se karakteriše kao:

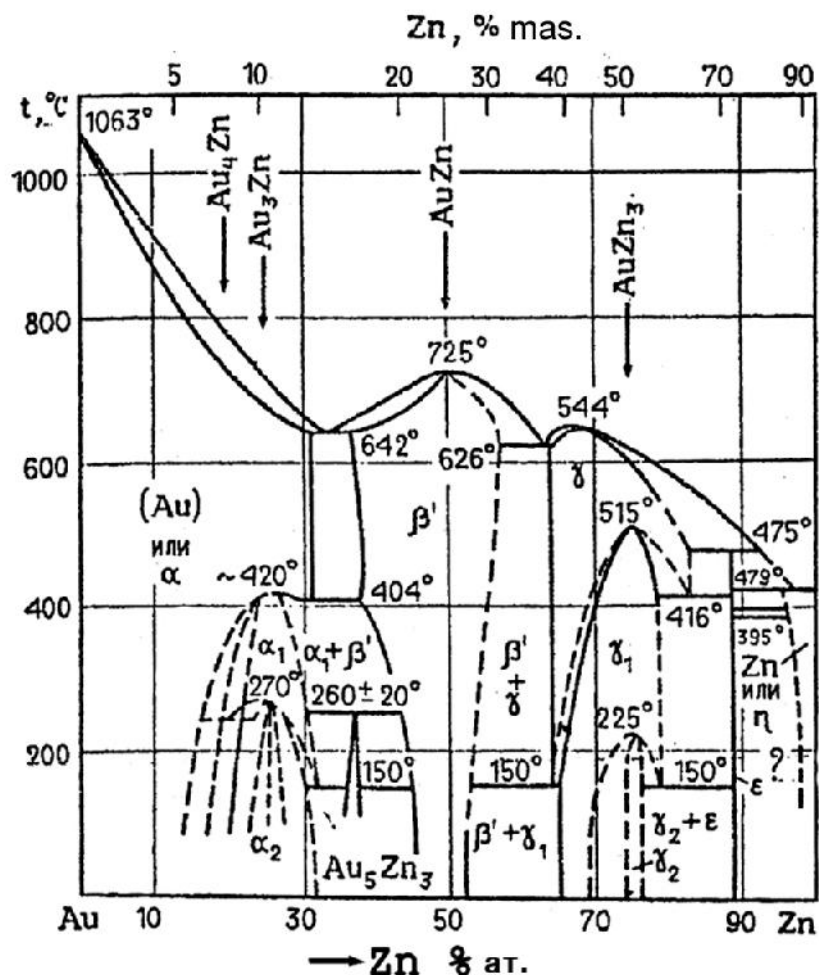
- Uticaj na kvalitet legure;
- Uticaj na boju legure.

Boja i kvalitet, kod legura Au-Ag-Cu-Zn sistema, su u direktnoj zavisnosti od koli ine pojedinih legiranih elemenata, obzirom da je matrica legure 58,5 mas.%Au.

Uticaj cinka na kvalitet Au-Ag-Cu legura, ogleda se u tome, da na primer, dodavanje do 0,5 mas.% Zn, kod stomatoloških legura kao i legura za proizvodnju nakita, dovodi do toga da se ubrzava proces disperzionog otvrdnjavanja a prilikom topljenja i livenja dolazi do dezoksidacije [19].

Sa pove anjem sadržaja cinka u leguri, dolazi do uticaja na temperaturu preobražaja iz jednofazne u dvofaznu oblast, (Au,Ag,Cu) \rightarrow $(Ag,Au)^+$ (Cu,Au) , uti u i na smanjenje dvofazne oblasti [19,73], a što je prikazano na slici 24.

Uvo enje cinka u koli ini do 15,0 mas.% [9,74], koji mo že biti prisutan u Au-Ag-Cu-Zn, zlatnim legurama za proizvodnju nakita, smatra se da u ovim legurama obavlja ulogu modifikatora, tj. u metalurškom smislu usitnjavanje kristalnih zrna prilikom livenja.



Slika 36.- Dvojni dijagram stanja Au-Zn, [19]

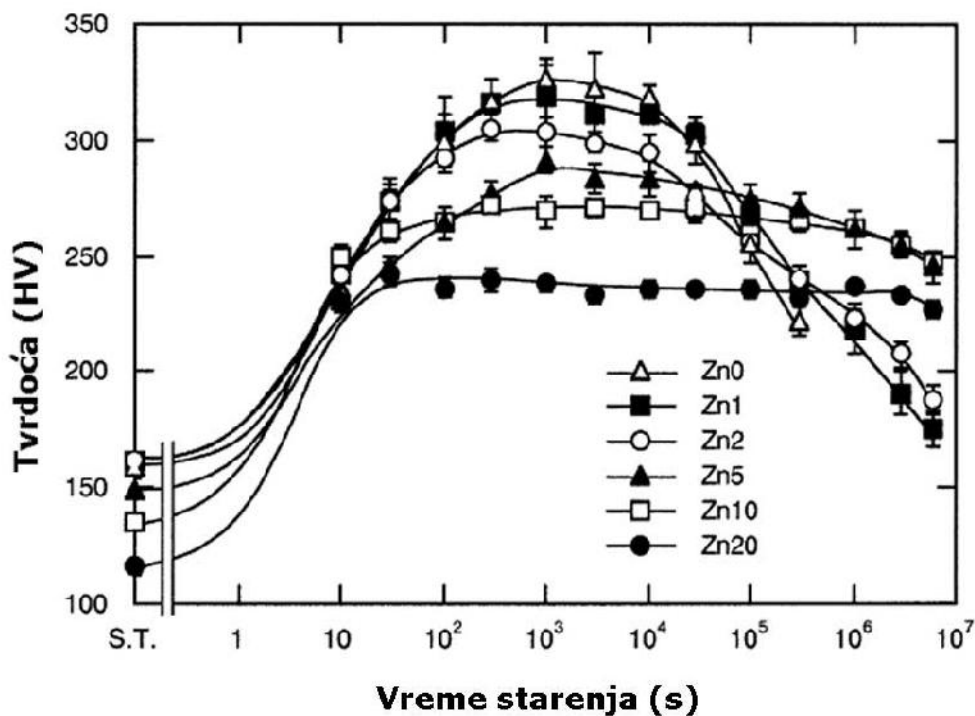
Na slici 36, prikazan je dvojni dijagram stanja Au-Zn, onako kako je danas prihva en [19]. Kao što se vidi sa dijagrama, maksimalna rastvorljivost cinka u zlatu je oko 33,0 at.%, dok je rastvorljivost zlata u cinku max. 4,5 at.%. U sistemu se obrazuje pet hemijskih jedinjenja, tako da prilikom legiranja treba obratiti pažnju na koli inu cinka kao legirnog elementa.

Odnos izme u boje i sastava Au-Ag-Cu legura, prikazan je na slici 31, i to od zlatno- žute boja u uglu bogatim zlatom, preko srebrne boje u uglu bogatim srebrom, do bakarno-crvene boje u uglu bogatim bakrom. Kao što se i vidi sa same slike, bakarno-

crvena boja, nije samo dominantna u uglu bogatim bakrom, ve i najve im delom na bo noj liniji od ugla bogatim bakrom do ugla bogatim zlatom.

injenica, da su ove legure u crvenoj i crvenkastoj oblasti, da bi postale žu kaste (yellowish), dodaje se u praksi cink, prilikom eksploatacije. Legiranje cinkom, što može biti do 15,0 mas.%, ima tendenciju da smanji nerastvorljivu dvofaznu oblast vrstog rastvora ($(Ag,Au) + (Cu,Au)$), sa slike 24, ali i u trojnom dijagramu stanja, što je vidljivo sa slike 18. Prouzrokovanjem suženja i smanjenja visine u dvofaznoj oblasti, na svakom delu sa konstantnim sadržajem zlata, dovodi do toga da Au-Ag-Cu-Zn legure su mekše od sli nih Au-Ag-Cu legura, u žarenom stanju, i u stanju otvrdnjavanja precipitacijom, [40].

Poznato je da cink, koji kristališe po g.p.h. – rešetki, zbog pre nika atoma, koji ulazi u opseg $\pm 14,0\%$ veli ine ostalih pre nika atoma u leguri,[21], da bi došlo do supstitucijskog vrstog rastvora, po tom osnovu ulazi u rešetku AuCu I, koja je površ.c.t. rešetka, i pakuje se po ravni (002) u kristalnoj površ.c.k. – rešetki, po kojoj kristališu svi ostali legiraju i elementi, [33,75]. Ulaskom cinka u AuCu – površ.c.t rešetku, dolazi do smanjenja domena, prikazano na sl.13, što dovodi do stabilizacije ovih struktura, AuCu I i AuCu II, [30].



Slika 37.- Krive otvrdnjavanja starenjem za legure sa matricom Au-50,0 at.%, Zn – na slici, Cu – resto, $t_{const.} = 250^{\circ}C$, u zavisnosti od vremena starenja, [76]

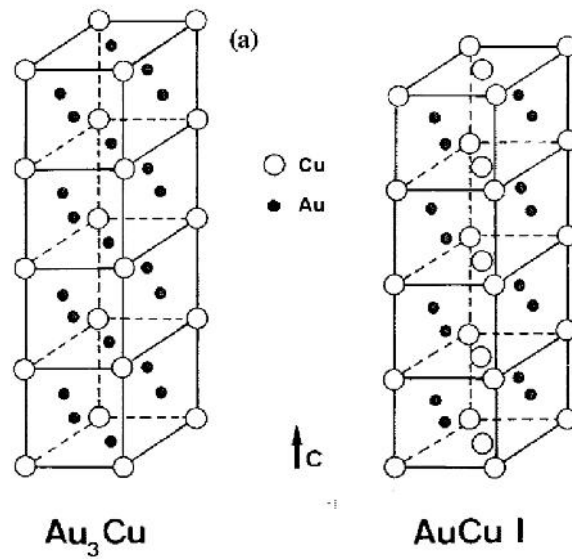
Slika 37 prikazuje promene tvrdo e pri razli itom sadržaju cinka kod pseudo-binarne legure AuCu-Zn [76], pri konstantnoj temperaturi od 250°C, a pri razli itom vremenu trajanja starenja. Dodavanje cinka ravnotežnom AuCu, pove ava brzinu starenja, ali se na taj na in izbegava prestarevanje [68,76].

3.5.2.- Legure Au-Ag-Cu-Pd sistema

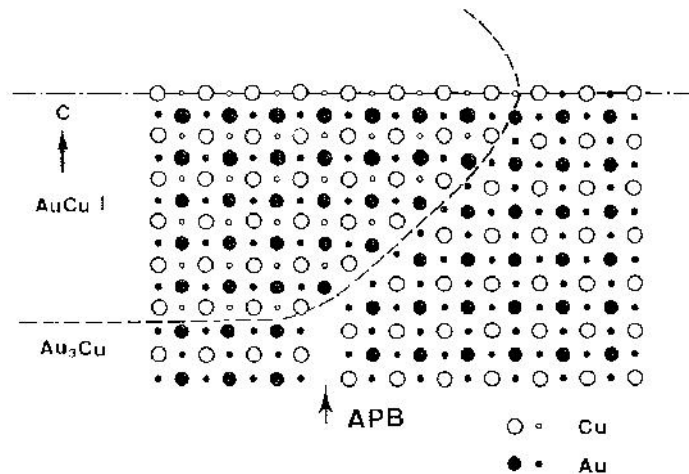
Do 2002. godine, prakti no sa prelaznim periodom od 2002. do 2004. godine, kada su usvojeni Zakoni o zabrani legiranja niklom, usled utvr ivanja pojave alergije na nikel, [4,77], za dobijanje legure, tzv. „belo” zlato, u zlatarstvu je otpo elo legiranje sa paladijumom. Legure paladijuma sa prelaznim elementima, se relativno lako dobijaju u amorfnom stanju, metodom brzog hla enja iz rastopa [78,79]. Legure zlata sa paladijumom su koriš ene i ranije, tokom dvadesetog veka, ali naj eš e kao zubne legure, i to naj eš e iz razloga što je skupa platina zamenjena jeftinijim paladijumom.

Kod legura Au-Ag-Cu-Pd sistema sa dodatkom cinka, otvrdnjavanje usled starenja postiže se u sistemima Au-Cu i Ag-Cu, [80]. U Au-Cu sistemima o vrš avanje legure se ostvaruje stvaranjem AuCu I, sre ene strukture, što je i delom objašnjeno u ta .3.2.1 – rada, pri emu je re eno da se na ravni (002) površ.c.k. rešetke naizmeni no smenjuju ili svi atomi zlata ili svi atomi bakra, [16, 81]. Obzirom da je, veli ina atoma zlata i bakra razli ita, dolazi do stvaranja i krivljenja rešetke. Ovim na inom, pove anjem sre ene oblasti posebni mehanizam dovodi do stvaranja dvojnika, slika 14, [16,33]. U Ag-Cu sistemu, legure otvrdnjavaju zahvaljuju i mehanizmu faznog razdvajanja, usled ega dolazi do stvaranja dvofaznog podru ja tokom procesa starenja, [80].

Uvo enjem paladijuma i cinka u trojne legure Au-Ag-Cu, dolazi do veoma kompleksnih promena u strukturi materijala, [82,83]. U toku prou avanja mehanizma otvrdnjavanja usled starenja [80], kod legura Au-Ag-Cu sa paladijumom i cinkom, pri starenju na 400°C, došlo je do spinodalnog razlaganja po etne () faze na ‘-bogatu srebrom i “-bogatu bakrom, što je dovelo do naglog pove anja tvrdo e, i vidno odloženog omekšavanja zbog ujedna ene fine spinodalne strukture, [84]. Tako e je pri starenju ovih legura u opsegu od 200°C do 500°C, [82], došlo do stvaranja metastabilne AuCu I plo aste strukture koja sadrži Pd, i što je dovelo do vidnog otvrdnjavanja. Tako e je prona eno da, kod legura koje sadrže relativno ve u koli inu paladijuma, odgovaraju om termi kom obradom dolazi do prelaska deformacije sa sre ene AuCu I u sre enu Au₃Cu fazu, [81].



Slika 38.- Šematski prikaz etiri jedini ne elije Au_3Cu -super rešetke i $AuCu I$ -super rešetke, (odnos c/a prikazan je u razmeri),[79]



Slika 39.- Šematski prikaz jednog $AuCu I$ – taloga u Au_3Cu – matrici, za odnos $c/a = 0.9$. (Veliki krugovi su na nivou „0”, dok su mali krugovi na nivou „1/2”), [79]

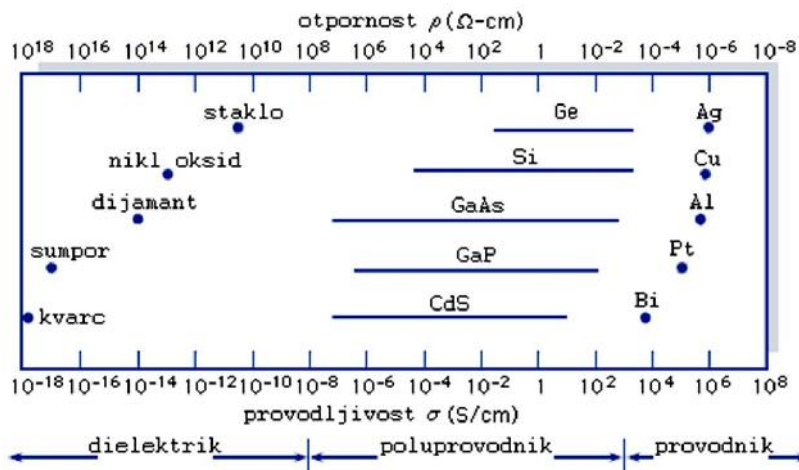
Kao primer, kod zubnih legura, sa visokim sadržajem zlata, i relativno visokim sadržajem paladijuma, stvaranjem Au_3Cu – plo ica, kao matrica legure, $AuCu I$ se pojavljuje kao talog, koji je koherentan sa matricom, dovodi do zna ajnog naprezanja, što daje veliki doprinos pri otvrdnjavanju legura starenjem, [80-84]. Na slici 39, šematski je prikazan $AuCu$ – talog u matrici Au_3Cu , pri emu je odnos $c/a = 0.9$ [81]

Granica antifaznog domena (APB), se automatski generiše, u obliku kontinuiteta atoma bakra, duž centra taloga (precipitata), kao što je i prikazano na sl.39, što ustvari predstavlja koherentnost taloga sa matricom.

4.- ELEKTRI NA PROVODLJIVOST METALA

Jedna od veoma važnih osobina materijala je lako a sa kojom materijal provodi elektri nu struju, odnosno specifi na elektri na otpornost materijala ($\Omega \cdot m$). U praksi se za izražavanje elektri nih osobina materijala esto koristi i specifi na elektri na provodljivost (m^{-1}) ili (Sm^{-1}), koja predstavlja recipro nu vrednost specifi ne elektri ne otpornosti. Njena vrednost zavisi od niza inilaca (sastav i struktura materijala, temperatura, pritisak, vlažnost, itd.).

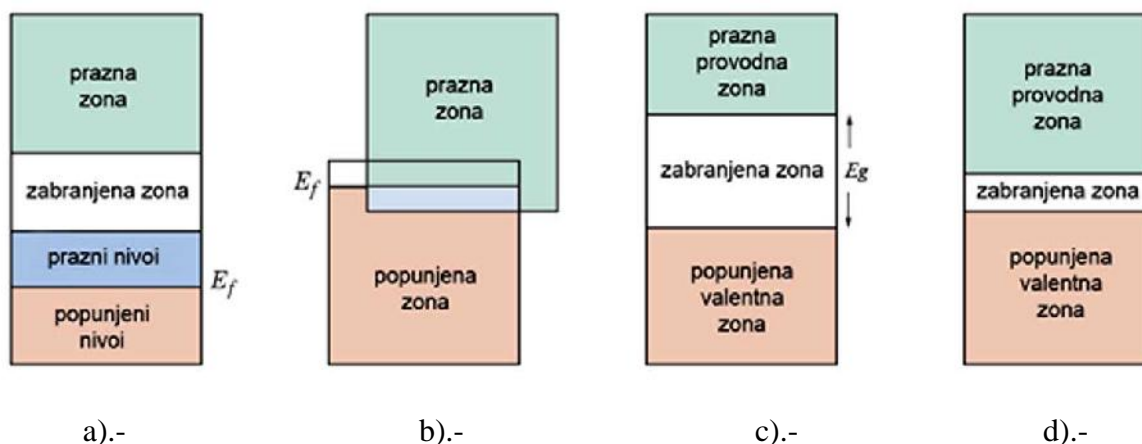
Prema vrednosti specifi ne elektri ne provodljivosti, odnosno otpornosti, može se izvršiti podela materijala na: provodnike, poluprovodnike i dielektrike (izolatore). Na sobnoj temperaturi i ostalim normalnim uslovima specifi na elektri na provodljivost dielektrika je od 10^{-10} do 10^{-20} (m^{-1}), poluprovodnika od 10^{-6} do 10^4 (m^{-1}) i provodnika od 10^4 do 10^8 (m^{-1}). Najve u grupu provodnih materijala ine metali i njihove legure, ija je elektri na provodljivost reda veli ine 10^7 (m^{-1}). Na slici 40, prikazane su vrednosti specifi ne elektri ne provodljivosti (otprnosti) za nekoliko odabranih materijala [85]



Slika 40.- Specifi na elektri na provodljivost (otpornost) nekoliko materijala, [86]

Elektri na provodljivost, kod ve ine istih materijala poti e od kretanja elektrona unutar materijala, pod uticajem spoljašnjeg elektri nog polja. Prakti no, kod svih provodnih i poluprovodnih materijala kao i ve ine dielektrika, elektri na provodljivost je direktno zavisna od broja raspoloživih elektrona koji mogu da u estvuju u procesu provo enja. Broj ovih elektrona zavisi e od raspodele elektrona po energetskeim nivoima, kao i na ina na koji su ovi nivoi popunjeni. Koncept, koji se zasniva na energetskeim stanju elektrona uvodi pojam energetskeih zona (traka) elektrona, koje nastaju, cepanjem energetskeih nivoa elektrona pod uticajem susednih atoma i direktno zavisi od

me u atomskog rastojanja. Na slici 41 prikazane su etiri strukture energetskih zona koje se mogu razlikovati na temperaturi od 0K, [87].



Slika 41.- Struktura energetskih zona materijala u vrstom stanju na 0K, [87]

Prva prikazana struktura, slika 41 a), koja je tipična za metale, sadrži delimično popunjenu energetsku zonu, a energija koju poseduju elektroni iz popunjenog energetskog nivoa na 0K, naziva se Fermijeva energija ili Fermijev nivo, E_f . Druga struktura, slika 41 b), takođe je karakteristična za metale, u kojima se popunjena i prazna energetska zona preklapaju. U provodniku elektroni u estvuju samo slobodni elektroni tj. elektroni sa energijom većom od energije Fermijevog nivoa. Obzirom da se odmah iznad poslednjeg popunjenog nivoa, E_f , nalaze prazni energetske nivoi, potrebna je veoma mala količina energije da bi elektroni slobodni, odnosno i slabom električnom polju je dovoljno da ekscitira veliki broj elektrona u provodnu zonu.

Treća i četvrta struktura na slici 41 c) i d), su slične i sastoje se iz potpuno popunjene valentne zone i prazne provodne zone, koje su razdvojene zabranjenom energetskom zonom. Kod dielektričnih materijala, pri temperaturama bliskim apsolutnoj nuli, zabranjena energetska zona širine nekoliko elektron volt (obično > 2 eV) razdvaja u potpunosti popunjenu valentnu zonu od potpuno prazne provodne zone. Da bi se elektroni oslobodili atomskih veza i postali slobodni kod dielektrika, tj. da bi prešli iz valentne u provodnu zonu, potrebno im je predati relativno veliku energiju. To predstavlja, da pri relativno normalnoj veličini električnog polja u dielektričnom materijalu ne postoje slobodni elektroni, pa su, usled te osobine, ovi materijali izolatori.

Širina zabranjene energetske zone, kod poluprovodnika je različita od nule, ali je manja nego kod dielektrika. Na slici 41 d), vidi se da je kod poluprovodnika, na apsolutnoj nuli (0K), valentna zona potpuno popunjena dok je provodna zona potpuno prazna. To odgovara strukturi dielektrika, pa na niskim temperaturama poluprovodnici imaju dielektrična svojstva. Sa porastom temperature poluprovodnih materijala, neki od valentnih elektrona dobijaju toplotnu energiju, koja je veća od širine zabranjene

energetske zone i postaju slobodni. Pošto se ovakvi elektroni mogu usmereno kretati, a i pod dejstvom slabog elektri nog polja, oni e provoditi elektri nu energiju.

Zlato kao plemeniti metal poseduje visoku vrednost elektri ne provodljivosti, odnosno samo srebro i bakar imaju ve u elektri nu provodljivost po jedinici zapremine [88], ali se njegova prednost, u odnosu na pomenute metale, ogleda u izuzetnoj otpornosti na koroziju i oksidaciju. Navedene osobine su uticale na injenicu da je zlato postalo nezaobilazan i veoma zna ajan materijal za razvoj najsavremenijih i visokopouzdanih tehnoloških rešenja u elektronici i komunikacijama [88]. Primena zlata u elektri nim kontaktorima osigurava dobru i pouzdanu vezu, te se zlato koristi za povezivanje razli itih i skupih elektronskih, audio, video i USB kablova.

Primena zlata u izradi elektri nih kontakata je tako e zna ajna, posebno za izradu klizaju ih kontakata koji rade u vlažnim sredinama ili drugoj vrsti korozionih atmosfera. Posebno je zna ajno za izradu elektro-kontakata u skupim i zahtevnim ure ajima, kao što su kompjuteri i komunikaciona oprema za specijalnu namenu, naro ito u vazduhoplovnoj i kosmi koj tehnologiji [88].

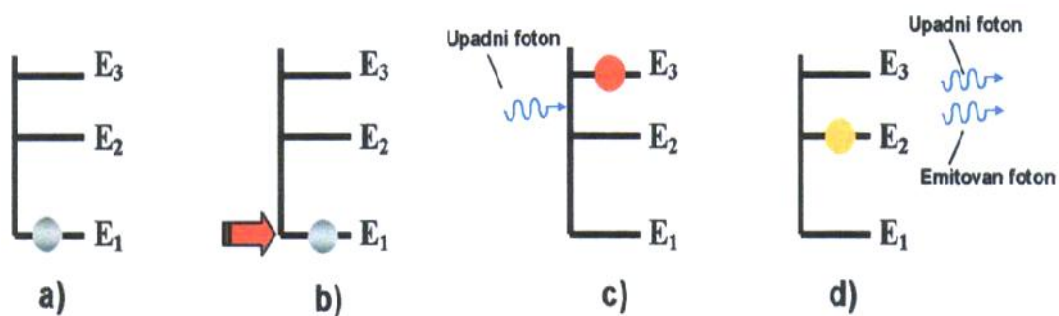
Zlato se u elektronici primenjuje kao legura sa drugim plemenitim metalima, kao što su Pt, Rh, Pd, Ag, a tako e i sa bakrom. Zbog svojih elektri nih osobina, otpornosti na koroziju kao i izrazite duktilnosti, i injenice da je ekološki veoma prihvatljivo, nije štetno po ovekovo zdravlje i okolinu [89], zlato je, bez obzira na visoku cenu, našlo veliku primenu u poluprovodni koj tehnologiji, ili u obliku tankih filmova ili za povezivanje u poluprovodni kim ure ajima finim zlatnim žicama, tzv. „wire bonding“.

Iako je u ovom radu težište sprovedenih istraživanja na legurama Au-Ag-Cu, prvenstveno za primenu u zlatarskoj industriji, eksperimentalni deo istraživanja obuhvatio je i ispitivanje elektri ne provodljivosti legura, obzirom na zna aj zlata i legura sistema Au-Ag-Cu, za primenu u elektrotehnici i elektronici.

5.- LASER U PROIZVODNJI NAKITA

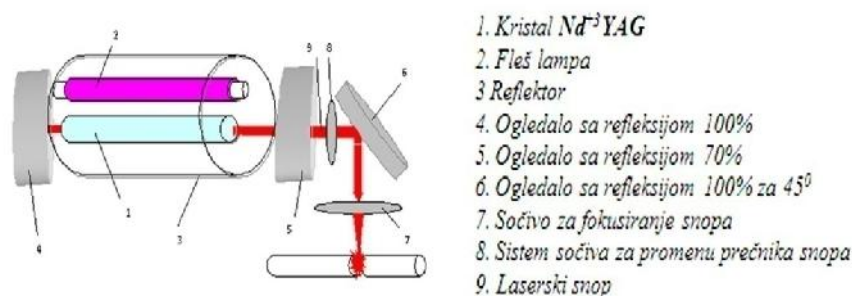
Re LASER je akronim za „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ (Poja avanje svetlosti stimulisanim energijom radijacije), i proizvodi laserski zrak, koji je izvor konzistentne i monohromatske svetlosti, koja može biti jasno fokusirana sa obezbe ivanjem jake i kontrolisane toplote na limitiranu zonu proizvoda. Naj eš e koriš eni tip lasera u proizvodnji nakita je tipa $Nd^{+3}YAG$ (Kristal: *Yttrium Aluminium Garnet*, u koji su uklju eni joni *Neodimijuma* – Nd^{+3}).

Nastanak laserskog zra enja i dobijanja laserskog snopa, vezuje se za kvantne procese koji se javljaju u fizici atomskih i molekularnih procesa [90]. Emitovanje laserskog snopa nastaje kao posledica prelaska elektrona sa jednog višeg, na drugi niži nivo.



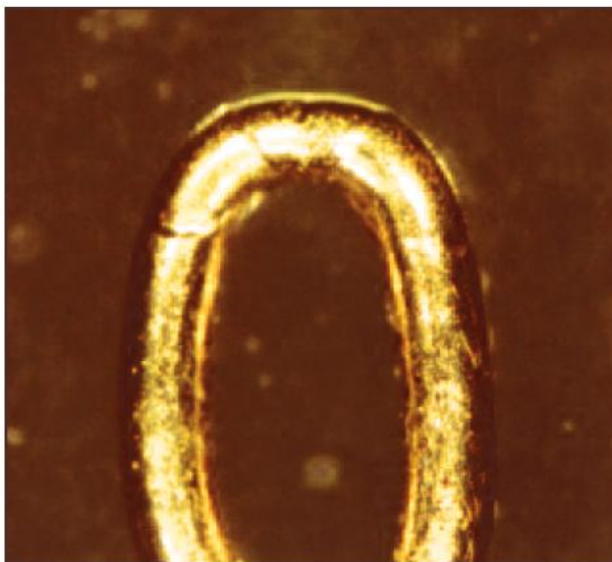
Slika 5.1.- Nastanak laserskog zra enja stimulisanim emitovanjem fotona

Na slici 5.1 a) predstavljeno je polazno energetsko stanje atoma. U stanju slika 5.1b), na atom se deluje nekom energijom, i prelazi u pobu eno stanje, slika 5.1c) [91-93]. Oslobo anjem dva fotona, slika 5.1d) atom se vra a u niže energetsko stanje. Ponavljanjem procesa nastaje lan ana reakcija, pri enu se emituje veoma koherentan svetlosni snop, tzv. laserski snop.

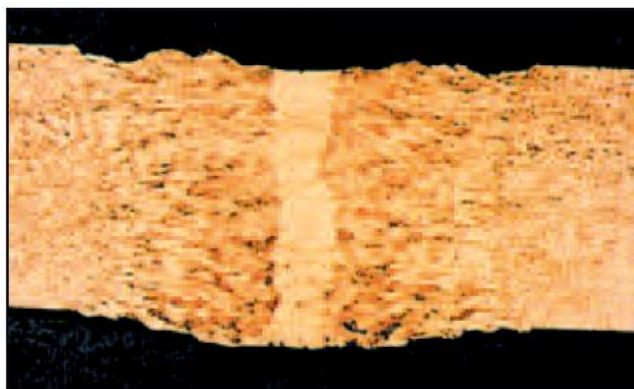


Slika 5.2.- Šematski prikaz laserskog ure aja za zavarivanje [94]

Lasersko zavarivanje je posebno dobilo na zna aju u proizvodnji nakita, kao ure aj za zavarivanje alkica pri proizvodnji lanaca [95]. Razvojem opreme za lasersko zavarivanje, postale su mogu e i razne druge delatnosti u proizvodnji nakita, kao što su: popravke i sli ne intervencije na nakitu, pri vrš ivanje i privarivanje delova za naknadno lemljenje gotovih proizvoda, i sl.



Slika 5.3.- Alkica lanca, u zlatu fino e 750/1000,zavarena laserom [95]



Slika 5.4.- Opti ka mikrofotografija osnove prstena zavarene laserom [95]

Laseri za zavarivanje u zlatarstvu su pulsiraju i i relativno male snage. Sistem od više ogledala fokalizuje zrak i daje mu oblik, i koji je idealan, ukoliko je u zoni zavarivanja cilindri nog oblika. Na taj na in se pove ava dubina polja delovanja za nekoliko milimetara, što nadokna uje varijacije koje su posledica ru nog pozicioniranja komada. Prenosivi laserski aparati, za zavarivanje u proizvodnji nakita, imaju ugra en stereoskopski mikroskop sa rešetkom, za pozicioniranje mesta za zavarivanje.

Promenljive veli ine, prilikom laserskog zavarivanja, su: napon pri stvaranju impulsa (V), vremenu trajanja impulsa (ms), frekvencija (Hz) i fokus (numeri ka vrednost) [94].

Pove avanjem napona, pove ava se dubina penetracije zraka u metal, dok se pove anjem impulsa pove ava ukupna energija impulsa i lateralno gubljenje toplote. Pove anjem pre nika zraka, pove ava se lateralno gubljenje toplote pre nego penetracije.

Velika refleksija zlata i legura zlata za proizvodnju nakita, može stvoriti probleme prilikom zavarivanja laserom. Laser Nd⁺³YAG, najpogodniji je za ove uslove, ali je u nekim slu ajevima potrebno pove ati apsorpciju zatamnivanjem zone delovanja.

Zvarivanje laserom nudi mnoge prednosti, u odnosu na zavarivanje i lemljenje plamenom:

- °- Obzirom da se van zone vara stvara mala koli ina toplote, može se izvesti var u neposrednoj blizini kamena, tj. na drža ima kamena na nakitu - „krapna“;
- °- Za zavarivanje nije neophodan dodatni materijal: elektrode, lem, i sl.;
- °- Izvršioc može rukama držati komade za zavarivanje, te se može re i da je potrebno mnogo manje alata za pridržavanje i pri viš ivanje. Ruke se uvla e kroz otvore sa strane ure aja, pa se i ruke i proizvod nalaze u unutrašnjosti aparata;
- °- Zagrevanje je lokalizovano i može se izvesti više zavarivanja na jednom mestu bez straha da e se predhodno ura eni varovi otopiti;
- °- Ukolko se koristi dodatni materijal, to je ista legura kao i sam proizvod, tako da se ne može pojaviti problem razli ie fino e ili neujedna enosti boje. Ovo je posebno važno u slu ajevima legura zlata visoke fino e, 900/1000 i više, za koje ne postoje odgovaraju e legure za lem;
- °- Osnova prstena može biti zavarena laserom, slika 5.4, ali zbog dobijanja dovoljne debljine, kao i poliranja koje sledi, neophodno je više slojeva vara;
- °- Iskustvo je pokazalo da su laserski varovi otporniji i duktilniji od klasi nih, i da je njihova poroznost niska ili jednaka nuli;
- °- Zavarivanjem laserom izbegavaju se problemi toksi nosti, koji su posledica nekih komponenata legura, kao što npr. kadmijim, i sl;

Pri zavarivanju laserom postoje i nedostaci u proizvodnji nakita. Kod zavarenih spojeva dolazi do pojave mehuri a metala na mestu vara, koji se naknadno moraju ukloniti brušenjem i poliranjem. Sa izuzetkom proizvodnje lanaca, teško se prilago ava serijskoj proizvodnji. U nekim slu ajevima pozicija sastava onemogu ava operaciju spajanja, jer se lasersko zavarivanje odvija na „liniji vidljivosti“, [95].

6.- EKSPERIMENTALNI DEO

6.1.- Predmet i cilj istraživanja

Opšte je poznato da je osnovna namena nakita za upotrebu kao modnog detalja. Koriš enjem nakita, pokazuje se društveni položaj, imovno stanje, a prou avaju i umetni ki nivo nakita, može se utvrditi i stepen obrazovanja vlasnika, kulturni nivo, i to od pre oko 3000 - 4000 godina pa do danas.

Postoji uvreženo mišljenje, uklju uju i i veliki broj inženjera i tehni ara, da samo „teška industrija“ poseduje najsloženije tehnologije. Me utim, za izradu nakita, iji su delovi sitni i malih dimenzija, da bi savršeno izgledali, potrebno je uklju iti stru njake raznih profila, i to: dizajna, metalurgije, mašinstva, površinske zaštite, i druge. Tako e je potrebno, a danas se i primenjuje, najsavremenija oprema sa kompjuterskim upravljanjem, po ev od opreme za obradu i preradu metala, pa sve do lasera. Proizvodnja nakita predstavlja izuzetan skup složenih tehnologija obrade, kakav se retko sre e kod nekih drugih proizvoda, bilo iz tehnike ili iz obi nog života.

Nakit je prilikom eksploatacije izložen jednoj agresivnoj sredini - „ljudskom znoju“, koji je približnog sastava: 5 delova $C_2H_4O_2$ (sir etna kiselina), 5 delova NaCl (kuhinjska so) i 100 delova H_2O (voda), i kiselog je karaktera, što može negativno da uti e na pojavu naprslina na proizvodu, a i na sam vek trajanja proizvoda, [47-49]. Atmosferski uticaj okoline, tako e negativno uti e na rok trajanja nakita [96], koji u sadejstvu sa ljudskim znojem, stvara još agresivnija jedinjenja.

Nakon obrade plasti nom deformacijom i drugim oblicima mehani ke obrade, kao i lemljenjem i zavarivanjem, u proizvodu i dalje postoje unutrašnji naponi, tzv. zaostali naponi. Zaostali naponi se definišu kao naponi koji ostaju u nekom materijalu ili proizvodu nakon proizvodnje i obrade, bez prisustva spoljašnjih sila ili termi kih razlika u unutrašnjosti [28,97]. Zaostali naponi se definišu, tako e, i u zavisnosti od mesta nastanka, kao naponi: I vrste – makroskopski zaostali naponi, II vrste – zaostali naponi me u zrnima ili III vrste – zaostali naponi koji deluju na atomskom nivu, i koji su uvek štetni, jer uvek dovode do naprslina i lomova kako u materijalu tako i u gotovom proizvodu.

Ispitivanje trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, još uvek je u toku, i još uvek nije dovoljno istražen. Promene dijagrama na temperaturama ispod $400^{\circ}C$, odnosno na temperaturama starenja, kada nastaju strukturni preobražaji u vrstom stanju, su nepoznanica u svetu nauke. Proces zagrevanja i hla enja, prilikom izrade predmeta od legura zlata, su redovno prisutni, i sa ovim parametrima treba biti veoma osetljiv i pažljiv, jer mogu dovesti do naprslina u gotovom proizvodu, od transkristalnih do vidljivih golim okom.

Trojni sistem Au-Ag-Cu, je sistem legura od posebnog zna aja, kod koga se stvara spoj dvofaznog podru ja od dvojnih Ag-Cu legura, kao i sklonost ka nastajanju sre enih faza

od sistema Au-Cu. Oba mehanizma, razdvajanje faza (u Ag-bogatu i Cu-bogatu fazu), kao i atomsko sre ivanje (unutar Cu-bogate faze), mogu da daju legure sa toliko željenom osobinom, otvrdnjavanje starenjem.

Materijal koji poseduje mogu nost za otvrdnjavanje starenjem, nudi prednost da, mašinski ili ru no ura en zlatarski proizvod od mekane i lako plasti no-obradive legure dobijene raznim oblicima plasti ne i termi ke obrade, nakon izrade se putem jednostavne termi ke obrade, prevede u proizvod koji je tvr i i otporniji. Me utim, ak i u gotovom proizvodu materijal treba da poseduje zahtevane osobine u smislu odgovaraju e elasti nosti, i ostalih mehani kih osobina, obzirom na potrebe pri eksploataciji, [98].

Cilj istraživanja u radu, (ta ka 2), pored doprinosa fundamentalnog prou avanja trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, je i odre ivanje optimalnih tehnoloških parametara za dobijanje kvalitetnih proizvoda. Cilj ovog rada, je tako e, uzimaju i u obzir vrednost, kako ekonomsku tako i emocionalnu, da se dobije proizvod sa maksimalnim vekom trajanja, tj. prakti no neograni enim vekom trajanja, sa osobinama koje se posebno zahtevaju od legura za proizvodnju nakita, a to je, odli an estetski efekat.

Legure zlata koje mogu da termi ki o vrš avaju starenjem igraju veoma važnu ulogu u zubarstvu – stomatologiji, a sve više i u proizvodnji nakita. Za pove anje tvrdo e starenjem odgovorni su, kako sre enost kristalne strukture, tako i pojava taloga (precipitata), ija kompleksnost još uvek nije dovoljno razjašnjena. Ovo i nije iznena uju e, obzirom da je dosta teško objasniti mehanizam otvrdnjavanja složenih legura sa etiri ili pet komponenti.

U eksperimentalnom delu koriš ene su razli ite savremene analiti ke metode i tehnike, da bi se uradila:

°- analiza mikrostrukture za sve tipove istraživanih sistema više-komponentnih legura na bazi zlata i na bazi srebra, ura ena je konvencionalnom metodom opti ke mikroskopije za uzorke u po etnom stanju - „O.S.“, uzorke sa maksimalno ostvarenom tvrdo om u procesu starenja i za uzorke izložene procesu starenja na temperaturi rekristalizacije;

°- analiza mikrostrukture primenom visoko – rezolutivne skeniraju e elektronske mikroskopije (SEM), vršena je sa reprezentativnim uzorcima istraživanih sistema legura, odnosno na uzorcima na kojima su postignuti maksimalni rezultati o vrš avanja u procesu starenja;

°- analiza hemijskog sastava za reprezentativne uzorke ra ena je primenom energo – disperzione spektrometrijske analize (EDS), tj. mikro analiza na posmatranoj površini popre nog preseka ispitnih uzoraka legura.

U radu je posebna pažnja usmerena na promene tvrdo e istraživanih sistema legura, kao posledica mikrostrukturnih promena, u realnom vremenu, na temperaturama od sobne

pa do temperature rekristalizacije. Pod realnim vremenom podrazumeva se vreme koje se naj eš e primenjuje u termi koj obradi u proizvodnom procesu a to je, za proizvode debljine do 1 mm, do maksimalno 60 min.

Tako e je prou ena i promena elektri ne provodljivosti istraživanih legura, što može da dá dobar uvid u promene u samom materijalu, u okviru relacije: hemijski sastav – režim termomehani ke obrade – mikrostruktura.

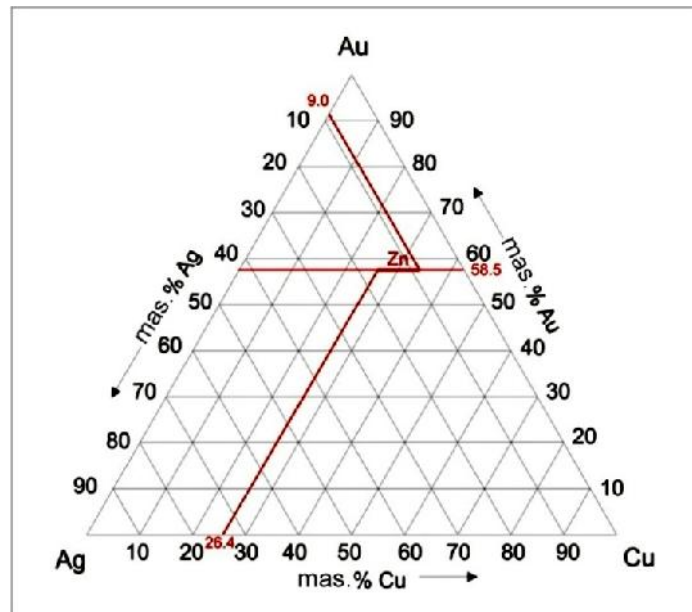
Sa posebnom pažnjom, su predstavljeni i razmatrani rezultati metalografskih ispitivanja kao i rezultati ispitivanja SEM ure ajem, odnosno mikrostrukturne analize, za sve tipove legura koje su prou avane u radu. Razmotren je uticaj mikrostrukturnih promena na mehani ka i elektri na svojstva najvažnijih višekomponentnih sistema legura na bazi zlata i srebra.

6.2.- Izbor legura za ispitivanje

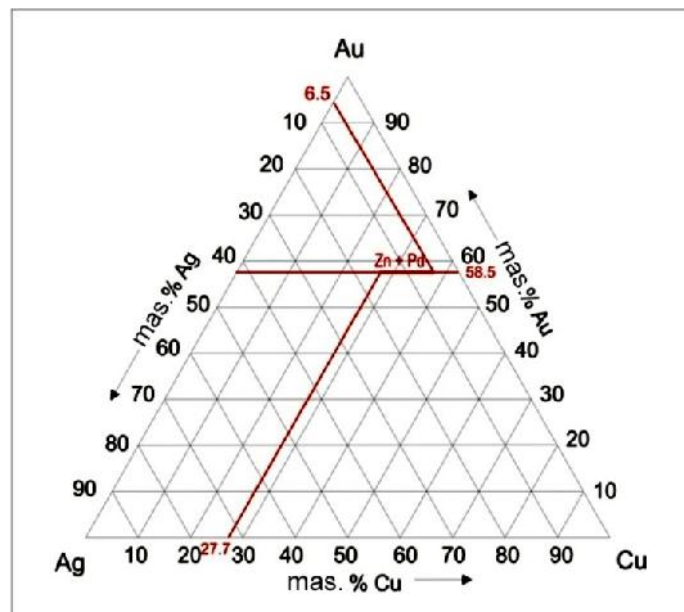
Za ispitivanje su odabrane legure koje naj eš e koristi ve ina proizvo a a nakita pri masovnoj proizvodnji [5]. Saglasno potrebama tržišta u Republici Srbiji odabrana su tri tipa legure naj eš e koriš ene, od kojih je jedna „žute“ boje, druga „bele“ boje a jedna je legura srebra (ta . 4.4.2.), [66,67]. Sastav ovih legura prikazan je u tabeli 3, iz koje se vidi sadržaj pojedinih elemenata u masenim udelima (mas.%), i to kako za legure zlata, tako i za leguru srebra. Sve tri legure se nalaze na trojnom dijagram stanja Au-Ag-Cu;

Tabela 3.- Sastav i oznake legure za ispitivanje

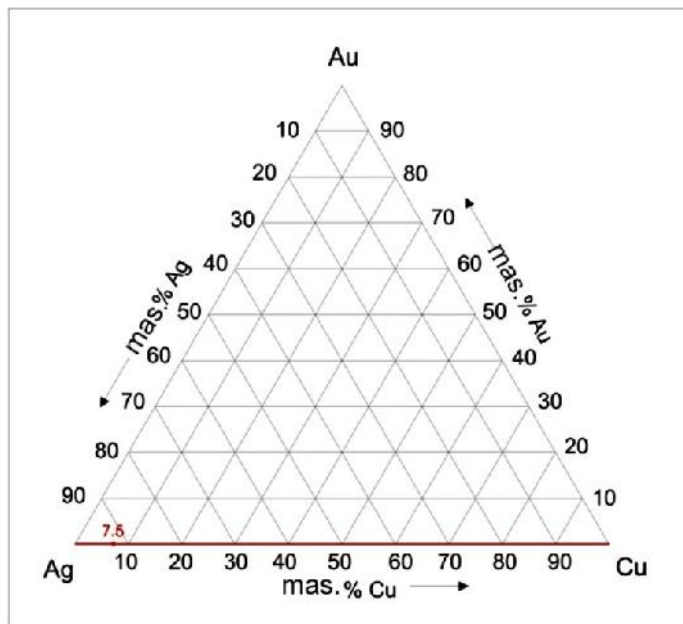
Oznaka legure	Sastav legure, Mas. %					Boja	Primedba
	Au	Ag	Cu	Zn	Pd		
L-1	58,5	9,0	26,4	6,1		„žuta“	
L-2	58,5	6,5	27,7	1,6	5,7	„bela“	
L-3		92,5	7,5			„srebro“	



Slika 42.- Pložad legure „L-1“ na trojnom dijagramu stanja Au-Ag-Cu,[5]



Slika 43.- Položad legure „L-2“, na trojnom dijagramu stanja Au-Ag-Cu, [5]



Slika 44.- Položaj legure „L-3”, na trojnom dijagramu stanja Au-Ag-Cu, [5]

Na slici 42 prikazan je položaj legure „L-1“, na trojnom dijagramu stanja Au-Ag-Cu, na slici 43 prikazan je položaj legure „L-2“, dok je na slici 44 prikazan položaj legure „L-3“ (tabela 3). Legure „L-1“ i „L-2“, nalaze se na liniji „585“ (58,5 mas.% Au), i kao što je prikazano na slikama 42 i 43, izme u srebra i bakra do 100,0 mas.%, ura eno je legiranje cinkom, odnosno cinkom i paladijumom. Legura „L-3“ nalazi se na ivici trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, odnosno na dijagramu Ag-Cu (slika 3).

6.3.- Priprema uzoraka za ispitivanje

6.3.1.- Topljenje metala – izrada legura

Topljenje, izrada i livenje legura plemenitih metala su, kao i u proizvodnji svih ostalih metalnih proizvoda, prve tehnološke operacije, bez obzira na to kakav e biti finalni proizvod.

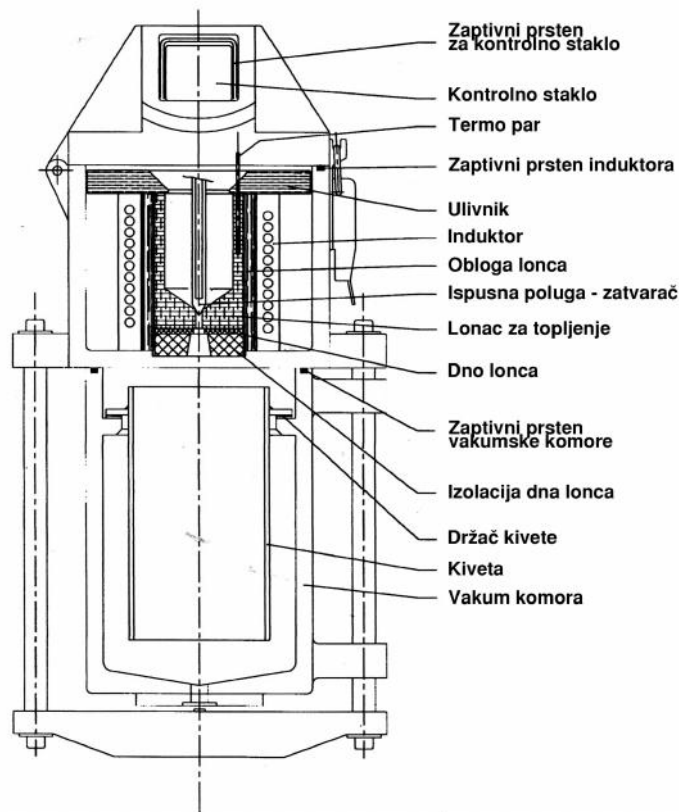
Kao polazni materijal za izradu legura „585“, za ispitivanje u radu, kao i u samoj proizvodnji, koristi se zlato fino e 999/1000, koje se dobija rafinacijom iz sekundarnih sirovina. Druga komponenta su predlegure poznatog sastava i proizvo a a, i to:

- Za dobijanje legure „L-1“ - „žutog“ zlata, predlegura oznake YE145TW – LEGOR group – Italy [99];
- Za dobijanje legure „L-2“ - „belog“ zlata, predlegura oznake NF 504 – LEGOR group – Italy [99].
- Za izradu legure „L-3“ - srebro fino e 925/1000, kao polazna sirovina koristi se srebro fino e 999/1000, dobijeno rafinacijom iz sekundarnih sirovina koje se legira sa elektroliti kim bakrom, dobijenim iz proizvodnje RTB-a Bor.

Zagrevanje, topljenje i izrada legure izvodi se u indukcionoj pe i, u liva kom loncu, u atmosferi azota, tj. bez prisustva kiseonika, a zatim se izliva direktno iz grafitnog lonca u hladnu vodu, da bi se dobile sitne granule, max. veli ine do $\text{Ø}5\text{-}7$ mm, koje se kasnije koriste, kako za livenje po voštanim modelima u istoj pe i, tako i za livenje ingota u eli nim kalupima, koji se koriste za dobijanje limova i traka valjanjem, [100].

Na slici 45, prikazan je šematski presek indukcione pe i, za topljenje i izradu legure. Iste pe i se primenjuju i za livenje nakita po topivim voštanim modelima po sistemu vakuum – pritisak. Vakuum se proizvodi vakuum pumpom, dok se pritisak stvara azotom iz boce.

Priprema legure se izvodi u indukcionoj pe i u struji azota, pri emu se postiže brzo i isto zagrevanje, a ne sme se zanemariti ni mali odgor skupih plemenitih metala, [101]. Odgor je posebno važan da se izbegne usled lako topivih metala, u ovom slu aju je to cink, što bi uticalo negativno na pove anu koli inu plemenitih metala u leguri, a samim time i na ekonomiju proizvodnje. Potrebna temperatura za topljenje naj eš ih legura zlata za proizvodnju nakita je oko 1000°C , i to je u ovakvoj pe i lako ostvarljivo. Radne temperature topljenja i livenja su nešto više od navedene, što je dobro i poznato u metalurškoj praksi.

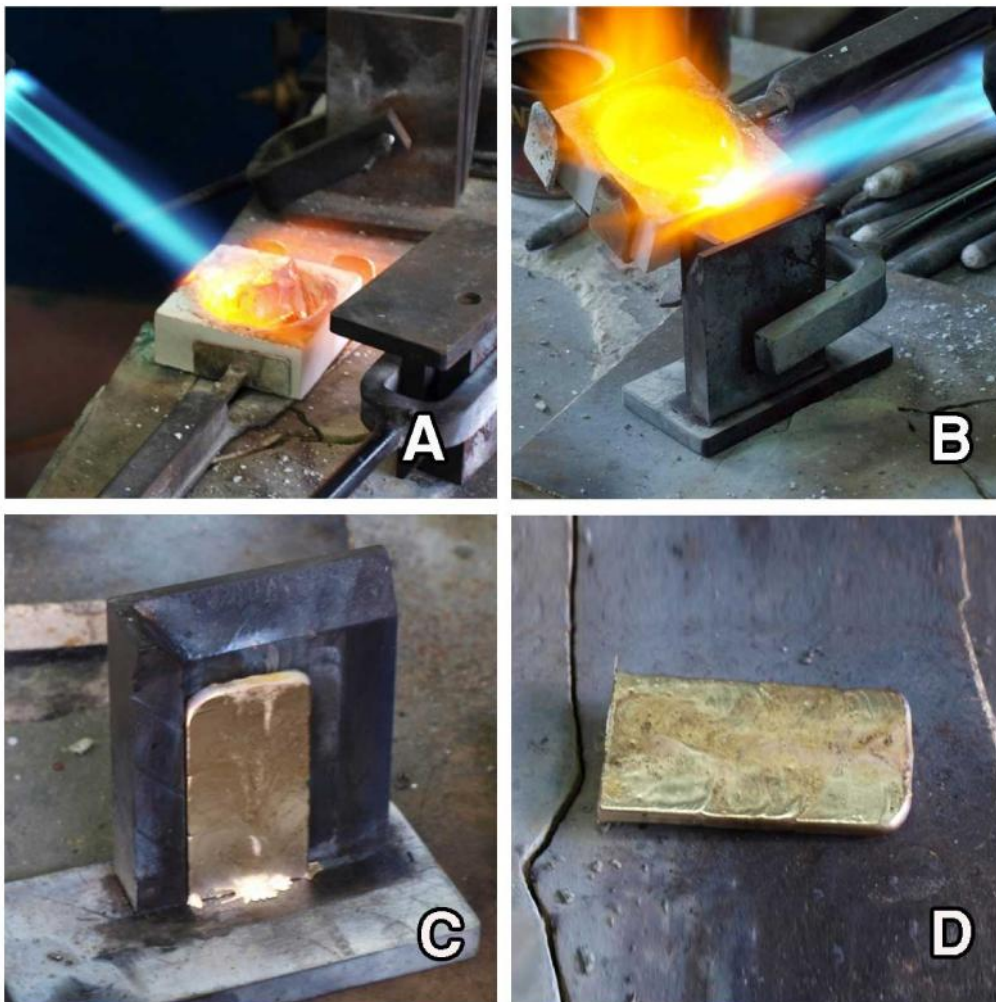


Slika 45.- Vertikalni šematski presek indukcione vakuum-pritisak pe i koriš ene za dobijanje legure, [100]

6.3.2.- Topljenje i livenje u kokile

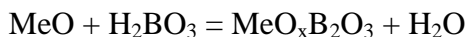
Topljenje i livenje u kokile, prikazano na slici 46, izvodi se sa propan-butan plamenom (ku ni gas), uz dodatak komprimovanog vazduha. Svakako da je ovaj na in izvodljiv u svakoj zlatarskoj radionici, a ima mogu nost izrade i od minimalnih koli ina legure. Problemi kod gasnog zagrevanja se javljaju usled nemogu nosti odrzavanja konstantne temperature sistema, ali se to nadokna uje iskustvom izvršioca.

Pokrivka koja se koristi pri topljenju u kerami kim posudama u gasnoj atmosferi je smeša H_3BO_3 – borne kiseline i soli borne kiseline $Na_2B_4O_7$ – natrijumtetraborat, poznatog trgova kog naziva, boraks.



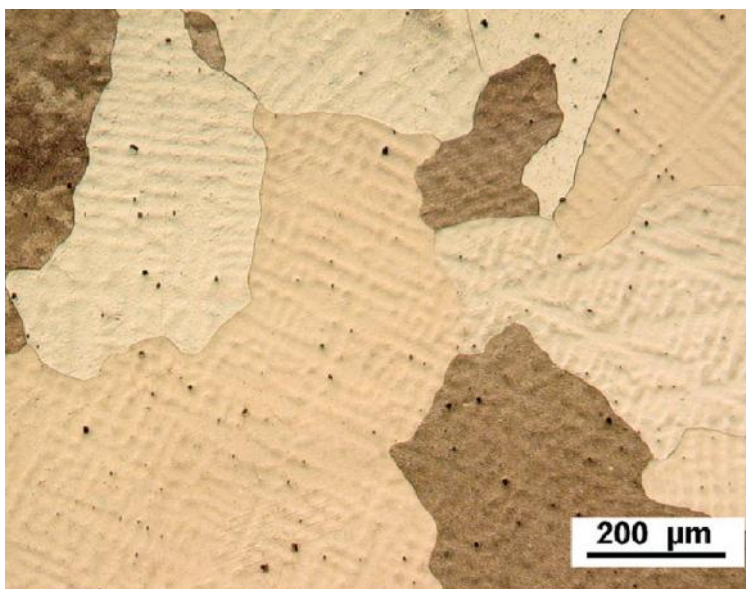
Slika 46.- Gasno topljenje i livenje u kokili: A) Topljenje legure u kerami koj posudi i predgrevanje kokile. B) Izlivanje te nog metala u eli nu kokilu. C) Odlivak – ingot u kokili. D) Odlivak nakon kristalizacije i va enja iz kokile

Hemijske reakcije koje se dešavaju prilikom rafinacije na površini te nog metala su:



U toku procesa topljenja, usled opasnosti od oksidacije legure, konstantno se stvara pokrивka od smeše boraksa i borne kiseline na površini metala, u iskustvenim koli inama, [5].

Odlivak – ingot veli ine 70 x 45 mm i po etne visine $h_0 = 4,5$ mm, iz kokile, koristi se za dobijanje limova i traka, valjanjem u hladnom stanju [4,102].



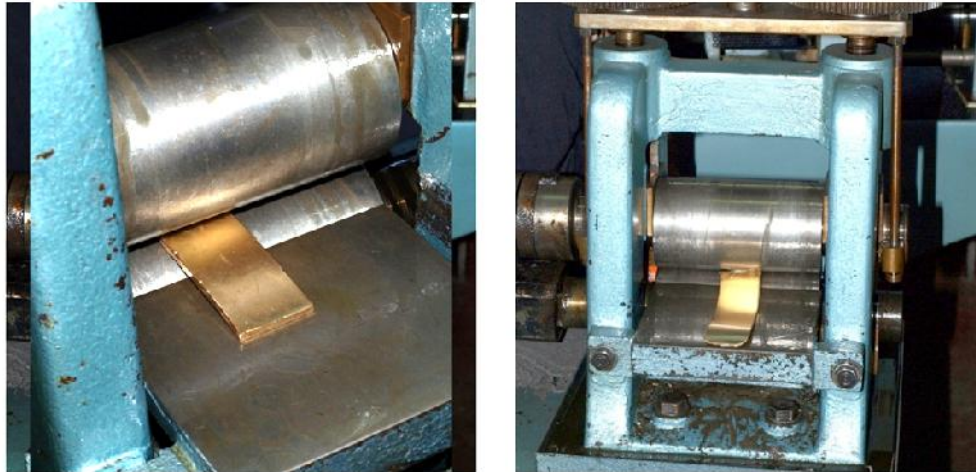
Slika 47.- Dendritna struktura legure zlata, Au750Ag139Cu103Zn8, odlivene u kokili, nagriženo u vrelom vodenom rastvoru 5%KCN + 5% amonijumpersulfata, [103,104]

Na slici 47 prikazan je metalografski snimak (optička mikrografija) odlivene legure zlata u kokili [95], koja prikazuje izraženu dendritnu strukturu, a koja je karakteristična za odlivke i drugih metala i legura. Struktura može da bude i druga ija, u zavisnosti od tretiranja rastopa pre izlivanja, stanja i temperature kokile, vrste premaza, kao i drugih mnogobrojnih liva kih parametara, [21,56].

6.3.3.- Izrada lima i uzoraka za ispitivanje

Svi uzorci koji su ispitivani u radu, ra eni su od lima debljine $h_z = 0,5$ m, valjanjem iz ingota, ta . 6.3.2. Valjanje se izvodi na valja kom duo stanu, poštuju i zakone prerade metala plasti nom deformacijom [105-107]. Ingoti, kao odlivci, su retko, ili skoro nikada, sami sebi cilj, ve se ovaj deo dalje prera uje deformacijom. Jedan od najzastupljenijih oblika dalje prerade u zlatarstvu je hladno valjanje. Valjanje odlivaka,

odnosno dobijanje limova i traka, u zlatarstvu se isklju ivo izvodi u hladnom stanju. Tako dobijeni limovi i trake, radi izrade gotovih proizvoda, naknadno se deformišu (savijanjem, dubokim izvla enjem, prosecanjem, i sl.), na istima se izvodi lemljenje i zavarivanje, brušenje, poliranje, i tako dalje. Svaka dalja obrada izaziva odre ene promene u materijalu, bilo da je odre eno oja anje ili otpuštanje.



a).-

b).-

Slika 48.- Valjanje limova na valja kom duo-stanu, sa ulazne strane (a), i izlazne strane (b)

Na slici 48, prikazan je valja ki duo stan, koji se koristi u zlatarskoj proizvodnji, slede ih karakteristika: $\text{Ø}85$ i $L = 160$ mm, reverzibilan sa hidrauli nim podmazivanjem.

Plan provlaka za dobijanje trake za izradu za ispitivanje u radu, ne razlikuje se ni u emu od dobijanja trake za redovnu proizvodnju, završne debljine $h_2 = 0,5$ mm, prikazan je u tabelama 4 i 5, i isti je za sve tri legure, koje su koriš ene, obzirom da su sli nih plasti nih osobina [5].

Tabela 4.- Plan provlaka predhodnog valjanja

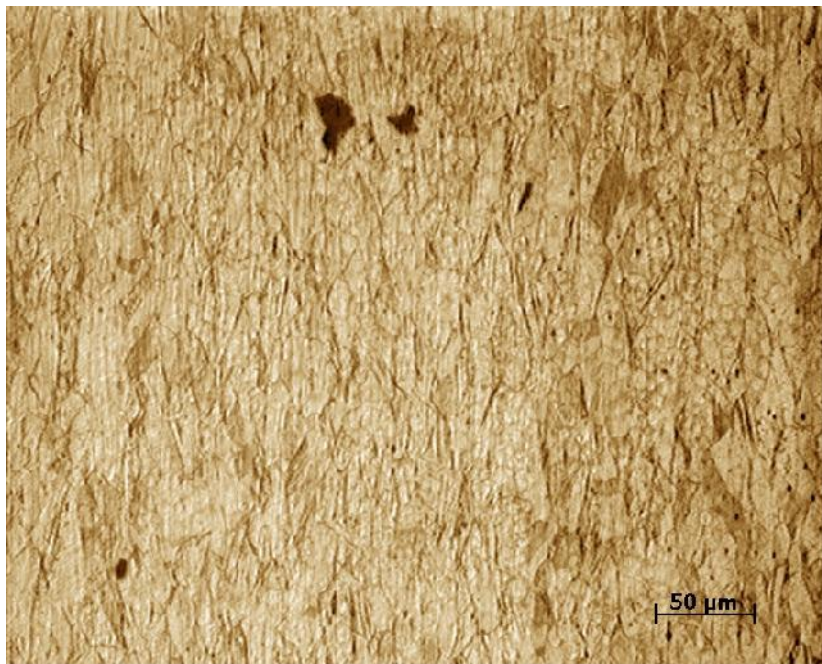
Redni broj provlaka	1	2	3	4	5	6
Početa debljina, h_0 (mm)	4.5	3.8	3.2	2.7	2.2	1.8
Završna debljina, h_1 (mm)	3.8	3.2	2.7	2.2	1.8	1.5
Redukcija po provlaku, (%)	15.5	15.7	15.6	18.5	18.1	16.6
Ukupna redukcija, (%)	15.5	28.8	40.0	51.1	60.0	66.6

Kao što je prikazano u tabeli 4, ukupna predhodna deformacija iznosi $\epsilon_1 = 66,6\%$. Nakon valjanja izvršeno je rekristalizaciono žarenje, prema slede im parametrima: $t = 680^\circ\text{C}$, $\tau = 1/2\text{h}$, [4, 108].

Završno valjanje, iji opis sledi, izvedeno je prema planu provlaka, tabela 5, odnosno od $h_1 = 1,5 \text{ mm}$ do $h_z = 0,5 \text{ mm}$, pri emu je, tako e, ostvaren stepen deformacije $\epsilon_z = 66,6 \%$.

Tabela 5.- Plan provlaka završnog valjanja

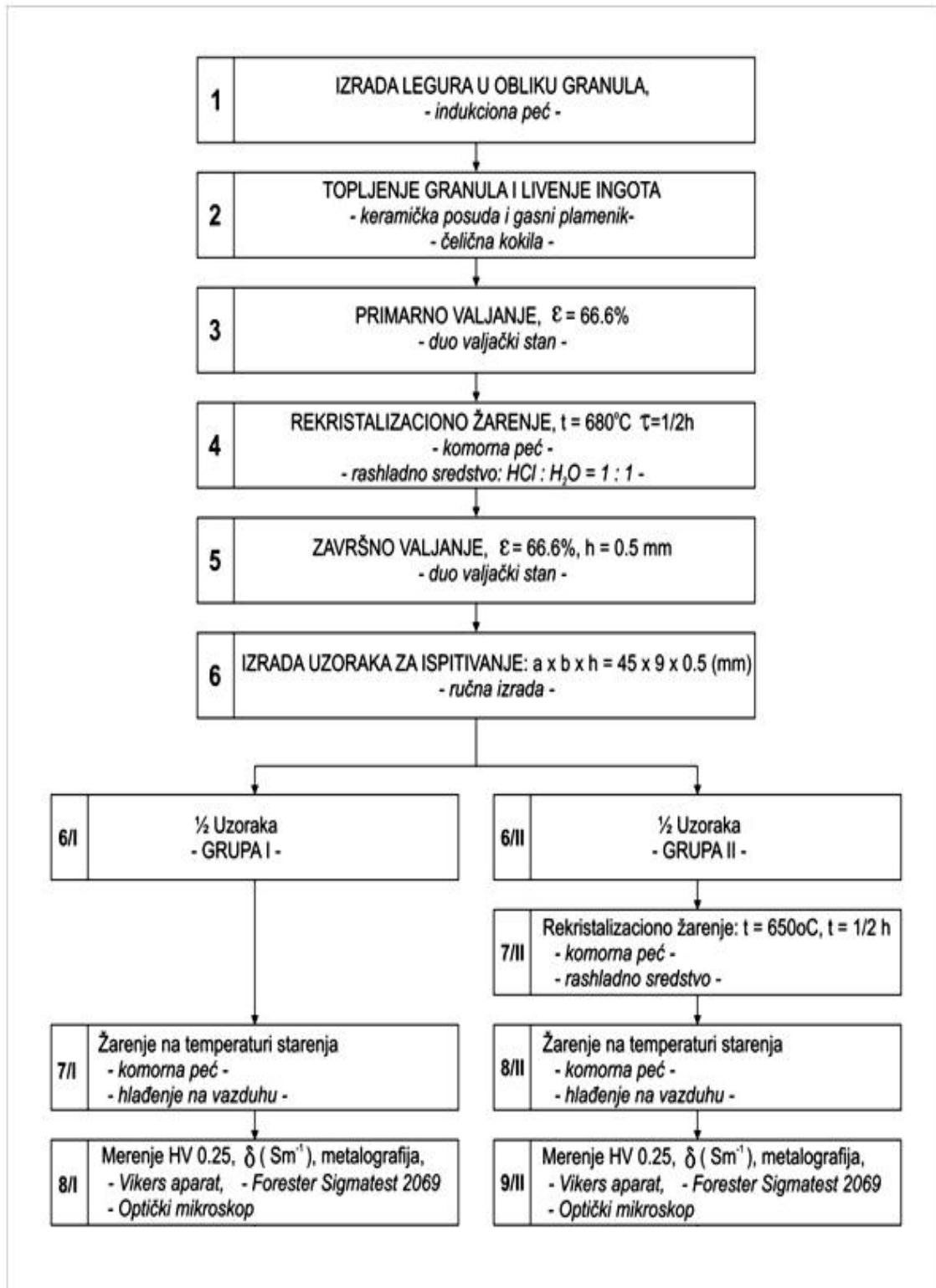
Redni broj provlaka	1	2	3	4	5	6	7
Početna debljina, h_0 (mm)	1.50	1.25	1.05	0.85	0.71	0.60	0.55
Završna debljina h_1 (mm)	1.25	1.05	0.85	0.71	0.60	0.55	0.50
Redukcija po provlaku, (%)	16.6	16.0	19.0	16.4	15.4	8.30	9.00
Ukupna redukcija (%)	16.6	30.0	43.3	52.6	60.0	63.3	66.6



Slika 49.- Opti ka mikrografija uzorka legure zlata „585/1000”, žute boje, u pravcu valjanja, stepen deformacije $\epsilon_z = 66,6\%$; uve anje $\times 200$; nagrivanje: kao na slici 47

Nakon završnog valjanja pristupa se isecanju uzoraka iz dobijenih limova, slede ih dimenzija: $a \times b \times h = 45 \times 9 \times 0,5$ (mm), i to za svaku leguru posebno, prema tabeli 3.

Tabela 6.- Tok izrade uzoraka i eksperimenata



Pripremljeni uzorci svake pojedina ne legure zatim se dele u dve grupe, u koli ini po 1/2 uzoraka, i završna priprema se izvodi na slede i na in, prikaz u tabeli 6:

- **Grupa I:** Uzorci se termi ki predhodno ne obra uju, odnosno ispitivanje starenjem se izvodi na uzorcima u hladno valjanom stanju;
- **Grupa II:** Uzorci se termi ki predhodno obra uju na na in da se izvrši rekristalizaciono žarenje pojedine legure na $t = 680^{\circ}\text{C}$ u vremenu $t = 30$ min, i gašenje koje se vrši u rashladnom sredstvu, u rastvoru $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O} = 1:1$;

Sa ovakvim uzorcima, posebno za grupu I i posebno za grupu II, za sva tri tipa legure, izvodi se ispitivanje starenjem na temperaturama, koje su niže od temperature rekristalizacije, u razli itom vremenskom trajanju.

Temperature koje se koriste za starenje pojedinih uzoraka su od $t = 50^{\circ}\text{C}$ pa do 600°C , u temperaturnom razmaku od $t = 50^{\circ}\text{C}$, dok su vremena od $t = 15$ min, 30 min i 60 min. To su realna vremena, kao i temperature, koje se mogu koristiti i primenjivati u procesu proizvodnje.

6.4.- Metalografska ispitivanja

Proizvodnja nakita iziskuje primenu razli itih oblika prerade plemenitih metala i razli ite oblike termi ke obrade. Da bi se, kao kona an rezultat rada u fabrici za proizvodnju nakita, dobio proizvod, prakti no, neograni enog roka trajanja, potrebno je poznavanje raznih oblasti nauke, kao što su: kristalografija sistema klizanja, teorija legiranja, odvijanje faznih transformacija, teorija elasti nosti i/ili plasti nosti, nauke o materijalima, kao i ostalih primenjenih režima prerade metala, uklju uju i i režime termi ke obrade. Kona ni zaklju ak o najboljem tehnološkom postupku u proizvodnji, uzimaju i u obzir ve nazna ene oblasti nauke, da e i metoda ispitivanja metalografskom analizom, koriš enjem bilo svetlosnog ili elektronskog mikroskopa. Metalografska analiza je esto od presudnog zna aja za opis stanja materijala, prou avanjem mikrostrukturnih promena, [111,112].

Metalografskom analizom se odre uju i promene koje nastaju u materijalu prilikom termi ke obrade, i kako te iste promene uti u na strukturu i kvalitet materijala, [21,115].

Odabir uzoraka za metalografsku analizu u ovom radu, izvršen je tako, da su odabrani uzorci: a) sa polaznim tehnološkim parametrima, oznake „O.S.”- *original states* (po etno stanje), b) sa maksimalnom vrednoš u tvrdo e postignutom starenjem, i c) sa vrednoš u maksimalno predvi ene temperature starenja, za pojedine legure, kao i za pojedine oblike prethodne termo-mehani ke obrade.

6.4.1.- Skeniraju a elektronska mikroskopija – SEM

Skeniraju i elektronski mikroskop (*Scanning Electron Microscopy – SEM*), je vrsta elektronskog mikroskopa, pomo u koga se dobija slika – mikrofotografija visoke rezolucije površine uzorka. Usled na ina na koji se slika formira, SEM snimci imaju karakteristi ni trodimenzionalni izgled i daju mogu nost izu avanja strukture površine uzoraka [113]. Glavna osobina ovog mikroskopa je da se objekat može posmatrati

direktno u reflektovanom snopu elektrona sa znatno boljom rezolucijom nego kod obi nog mikroskopa. Obzirom da je energija reflektovanih elektrona veoma bliska energiji upadnih, dobijena slika donekle predstavlja i dubinu uzorka. Slika uzorka se može formirati i od sekundarnih elektrona, ali, kako je energija ovih elektrona veoma mala, oni dolaze sa male dubine od svega nekoliko nanometara, pa je i dobijena slika, ustvari, prava slika površine. Ukoliko je mikroskop opremljen odgovaraju im detektorima za energodisperzionu spektroskopiju (EDS) ili talasno disperzionu mikroskopiju (WDS), može se izvršiti i istovremena hemijska mikroanaliza posmatranog dela površine uzorka. Odgovaraju im podešavanjem detektora, tako da on reaguje na odre enu talasnu dužinu (odre enog elementa), može se formirati slika i od karakteristi nog X-zra enja, i ona ustvari predstavlja raspodelu odgovaraju eg elementa po ispitivanoj površini (*EDS, EDX – Energy Dispersive Spectroscopy X – ray analysis*), [114].

U tipi nom skeniraju em elektronskom mikroskopu, elektroni su emitovani od strane katode od volframa ili lantanheksaborida (LaB_6), i ubrzani u pravcu anode, alternativno, elektroni mogu biti emitovani i preko emisije polja (field emission – FE). Energija elektronskog snopa je obi no u opsegu od nekoliko stotina eV do 100 keV. Elektronski snop je fokusiran pomo u jednog ili dva kondenzatorska so iva u veoma mali pre nik snopa veli ine od 0.4 do 5 nm. Snop prolazi kroz parove skeniraju ih kalemova ili parova deflektorskih plo a u opti koj koloni, obi no u objektivu koji skre e snop horizontalno i vertikalno tako da on skenira pravougaoni deo površine uzorka. Pri interakciji snopa primarnih elektrona sa uzorkom, elektroni gube energiju uzastopnim ponovljenim rasejanjem i apsorpcijom unutar zapremine u obliku kapljice koja se naziva interakciona zapremina. Veli ina ove zapremine unutar uzorka može biti ispod 100 nm do 5 μm , i ona zavisi od energije primarnih elektrona, atomskog broja elementa iji uzorak se posmatra kao i od gustine uzorka. Razmena energije izme u elektronskog snopa i uzorka rezultuje emisijom elektrona i elektromagnetnog zra enja koji se mogu detektovati i upotrebiti za formiranje slike.

Uzorci za SEM moraju obavezno da budu elektroprovodni, jer se neprovodni uzorci pod dejstvom snopa elektrona stati ki naelektrišu i pomeraju snop, pa izgleda kao da snop beži sa mesta koje se posmatra. Da bi mogli da se posmatraju neprovodni uzorci, na njih je potrebno napariti provodni sloj od ugljenika ili metala koji ne remeti topologiju uzorka.

Elektronski snop pomo u koga se vrši posmatranje je odre en dijametrom, divergencijom i strujom, a parametri snopa se biraju u zavisnosti od odabrane metode formiranja lika, tipa uzorka i željenog uve anja.

6.5.- Merenje tvrdo e metodom po (Vickers) Vikersu HV0.25

Pod pojmom tvrdo e, podrazumeva se fizi ka osobina – otpor, kojim se suprotstavlja jedno telo ka prodiranju drugog tela u njegovu površinu.

Tvrdo a se može odrediti stati kim, dinami kim i specijalnim metodama.

Kod stati kih metoda sila utiskivanja postepeno raste do maksimalne vrednosti. Kod dinami kih ispitivanja sila na utiskiva u se ostvaruje udarom, ili se pak tvrdo a odre uje na osnovu elasti nog odskoka utiskiva a od površine koja se ispituje, [109].

Za merenje tvrdo e tankih limova, debljine = 0,5 mm, pri emu sila utiskivanja može da bude promenljiva veli ina, najbolja je stati ka metoda po Vikersu.

Tvrdo a po Vikersu se definiše kao koli nik sile, kojom se deluje na dijamantski utiskiva oblika piramide, sa uglom pri vrhu od 136°, i površine otiska utiskiva a, vidljivog preko uveli avaju eg stakla, na površini predmeta koji se meri.

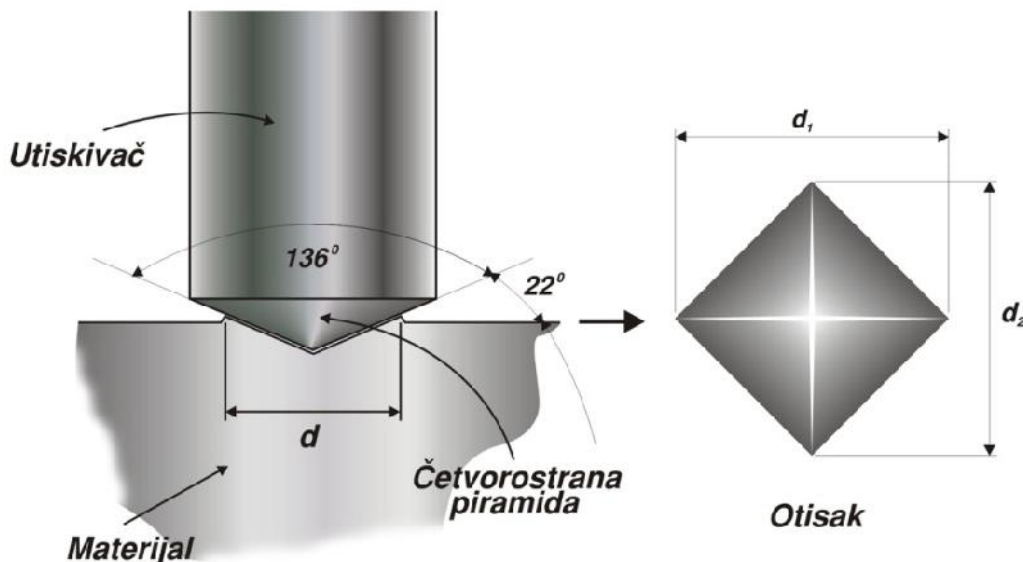
$$HV = F/A = (2F\sin 136^\circ/2)/d^2 = 1,854F/d^2 \text{ (daN/mm}^2\text{)}, \text{ gde je:}$$

F – sila utiskivanja u, daN,

A – površina otiska u obliku etvorostrane piramide sa kvadratnom osnovom u, mm².

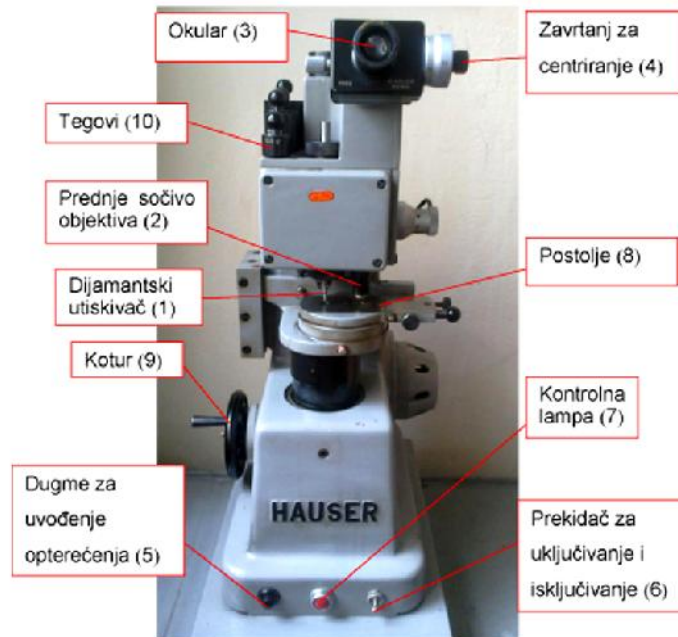
$$A = d^2/2\cos 22^\circ = d^2/2\sin(136/2)^\circ,$$

d – dijagonala otiska u, mm.



Slika 50.- Šema merenja tvrdo e po Vikersu, [109];

Na slici 50, šematski je prikazana stativna metoda merenja tvrdoće po Vickersu.



Slika 51.- Opšti izgled aparata za merenje mikrotvrdoće;

U zavisnosti od uređaja za merenje tvrdoće izbor opterećenja se prilagođava proizvođaču uređaja se tvrdoća određuje. Na slici 51, prikazan je izgled uređaja za ispitivanje tvrdoće po Vickersu, na kome su vršena ispitivanja u ovom radu.

Na ovom uređaju može da se odabere opterećenje dijamantskog utiskivača, za merenje tvrdoće sa malim opterećenjima od 100, 150, 200, 250, 500 i 1000 g. Za ispitivanje svih uzoraka u radu, odabrano je i korišćeno konstantno opterećenje od 250 g, tj. tvrdoća je izražena kao HV0.25, prema standardu EN ISO 6507-1:2011.

Potrebno vreme utiskivanja u površinu uzorka materijala treba da obezbedi ravnomerni prirast sile do odabrane vrednosti. Ovo vreme nanošenja sile iznosi, prema standardu, od 10 – 15 s. Za slučaj prekoračenja ovog vremena neophodno je naznačiti u oznaci.

Do izvesne granice, tvrdoća je direktno proporcionalna zateznoj vrsti i materijala, tako da se na osnovu promene tvrdoće, mogu izvesti zaključci i o drugim mehaničkim osobinama materijala, kao što su σ_m , σ_v , i sl. Za pojedini tip materijala, u praksi postoje, naročito za elike, uporedne tabele tvrdoće i zatezne vrste, [110].

Rezultati merenja tvrdoće, HV0.25, za pojedine legure koje su projektovane za obradu u ovom radu, prikazani su u priložima rada, dok su dijagrami zavisnosti promene tvrdoće od promene temperature i vremena starenja, prikazani kao rezultati merenja za pojedine legure.

6.6.- Merenje elektri ne provodljivosti



Slika 52.- Ure aj „Foerster Sigmatest 2.069”;

Za merenje elektri ne provodljivosti prou avanih legura koriš en je instrument „Foerster Sigmatest 2.069”, koji je predvi en za ispitivanje metala i legura koje ne poseduju feromagnetne osobine, prikazan je na slici 52. Elektri na provodljivost se odre uje merenjem promene kompleksne impedance merne sonde. Pre nik merne sonde je 8 mm, a merni opseg od 0.5 do 65 MS/m (1% - 112% IACS). Uzimaju i u obzir malu debljinu uzoraka za merenje je izabrana radna frekvencija od 960 kHz.

Elektri na provodljivost je merena u tri ta ke sa obe strane uzoraka, koji su predhodno izra eni, kao što je opisano u ta . 6.3.

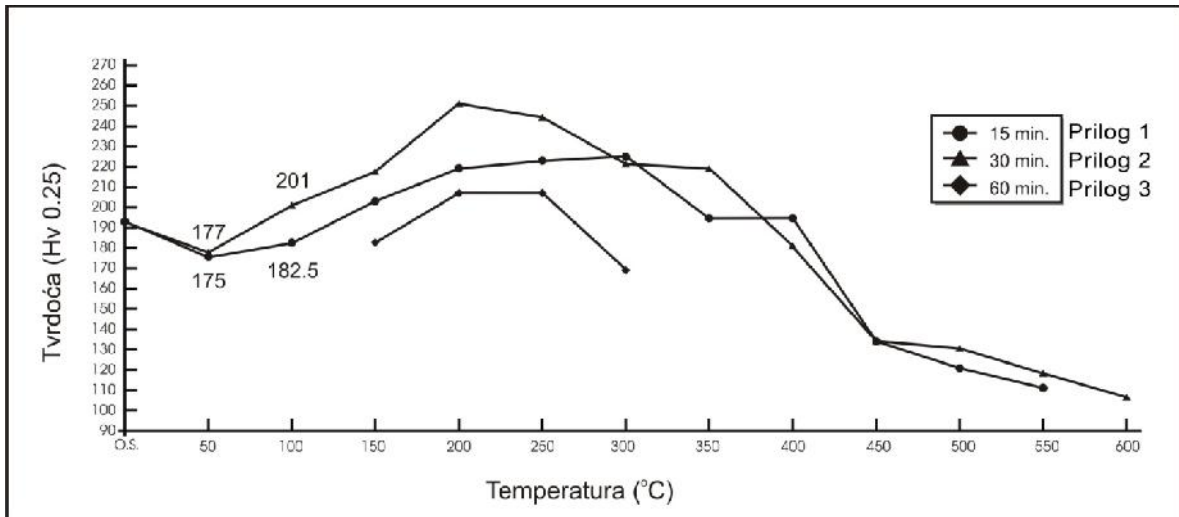
Rezultati merenja elektri ne provodljivosti uzoraka pojedinih legura prikazani su u prilogima disertacije, dok su dijagrami promene elektri ne provodljivosti u zavisnosti od temperature starenja prikazani u rezultatima merenja za pojedine legure.

6.7. - Rezultati ispitivanja

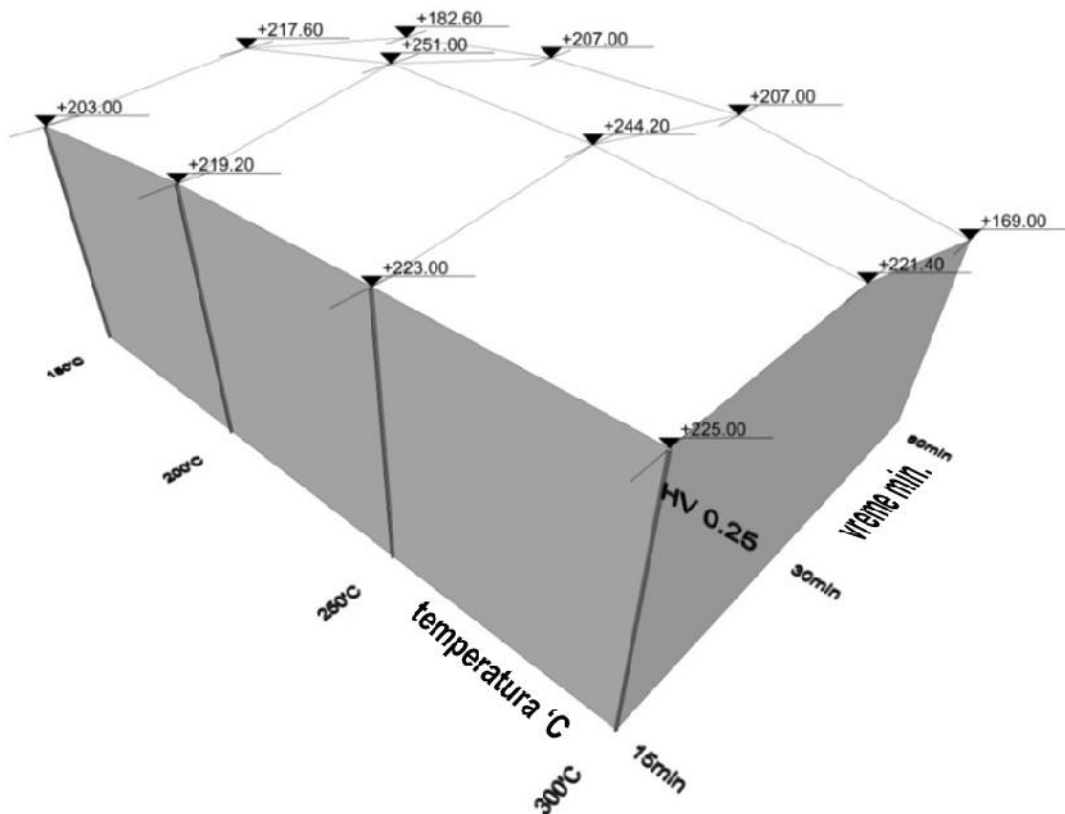
6.7.1.- Rezultati ispitivanja legure „L-1” – Au585Ag90Cu264Zn61

6.7.1.1.- Rezultati merenja tvrdo e HV0.25

Dijagrami promene tvrdo e, u zavisnosti od temperature starenja, za leguru „L-1”, grupe I i II (ta . 6.3.3), prikazani su na slikama 53 – 56, [33,37,68,117], a na osnovu rezultata merenja tvrdo e na uzorcima (prilog 1 do prilog 6), što je i ozna eno neposredno na svakoj slici ponaosob.



Slika 53.- Dijagram promene tvrdo e HV0.25 u zavisnosti od temperature starenja za leguru „L-1“- Grupa I

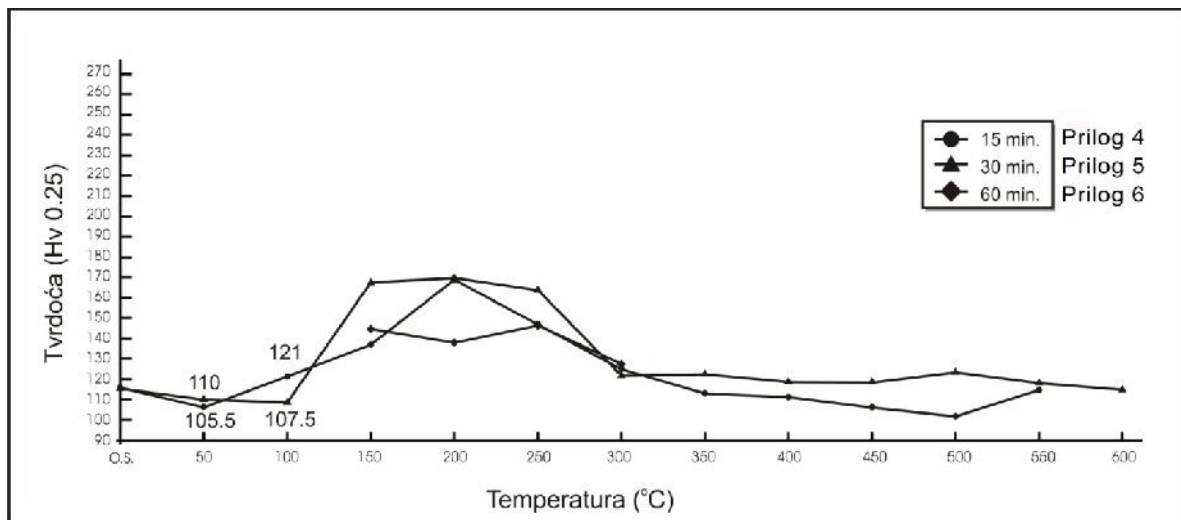


Slika 54.- Prostorni dijagram promene tvrdo e, HV0.25, u zavisnosti od temperature i vremena starenja, za leguru „L-1“- grupa I

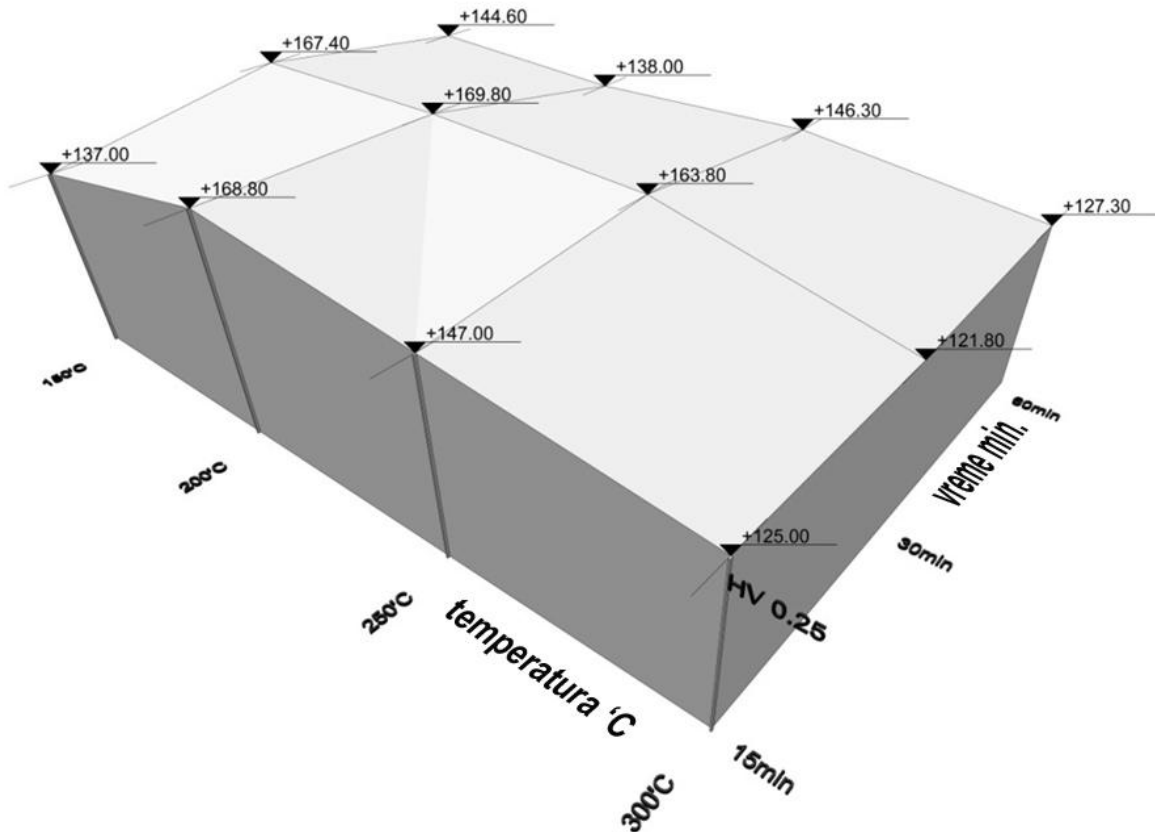
Na slici 53, prikazani su dijagrami promene tvrdo e u zavisnosti od temperature starenja, za razli ita vremena trajanja procesa. Po etna ta ka za dijagrame je „O.S.” na apscisi dok je na ordinati, vrednost HV0.25 za materijal u polaznom stanju pre starenja („O.S.” – *original states*), a potom su uzorci žareni/stareni na temperaturi od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa pove anjem temperature od po $t = 50^{\circ}\text{C}$, i to za vreme starenja od 15 min i 30 min. Vreme starenja od 60 min, koriš eno je za temperaturu od 150°C do 300°C , sa ciljem da se bolje sagleda ponašanje materijala kao i promene tvrdo e, obzirom da je u ovom temperaturnom opsegu dostignuta maksimalna tvrdo a.

Na slici 54, prikazan je deo dijagrama sa slike 53, i to u opsegu temperature od $t = 150^{\circ}\text{C}$ do 300°C . Na ovoj slici je predstavljen prostorni dijagram promene tvrdo e u zavisnosti od temperature i vremena starenja. Izrada ovakvog dijagrama je zna ajna usled mogu nosti sagledavanja promene tvrdo e koje nastaju oko jedne ta ke, u ovom sluaju maksimalne tvrdo e 251,00 HV0.25.

Slika 55, kao i slika 56, tako e prikazuju leguru „L-1”, s’tim što je po etno stanje uzoraka, grupa II (ta .6.3.3), odnosno svi uzorci su nakon hladne deformacije žareni na temperaturi rekristalizacije za ovu leguru [4], tj. na 680°C , u vremenu od 1/2 h, i gašeni u rashladnom sredstvu. Obzirom da se radi o istoj leguri, maksimalna tvrdo a je postignuta u istom temperaturnom opsegu kao i na slici 53, tj. od 150°C do 300°C , tako da je i prostorni dijagram ura en za isti temperaturni opseg starenja i vreme trajanja procesa.



Slika 55.- Dijagram promene tvrdo e, HV0.25, u zavisnosti od temperature starenja za leguru „L-1”- grupa II



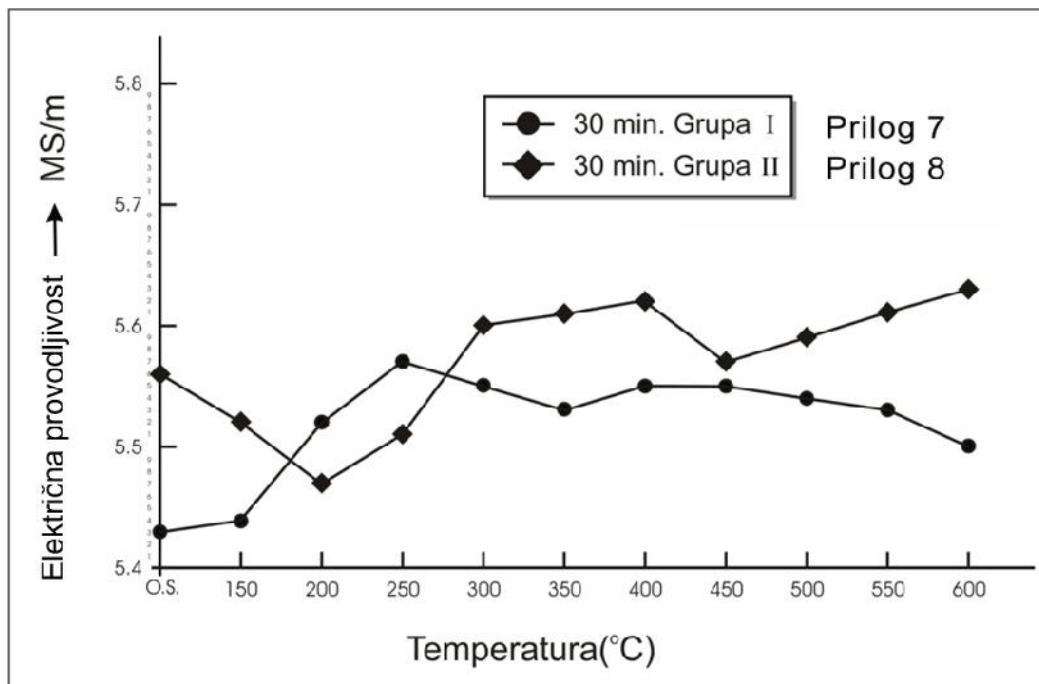
Slika 56.- Prostorni dijagram promene tvrdo e, HV0.25, u zavisnosti od temperature i vremena starenja, za leguru „L-1”- Grupa II

6.7.1.2.- Rezultati merenja elektri ne provodljivosti

Dijagram promene elektri ne provodljivosti, u zavisnosti od temperature starenja, prikazan je na slici 57, i to za leguru „L-1”, grupe I, kao i grupe II, za vreme držanja na temperaturi starenja od 30 min. Ovo vreme je uzeto, obzirom da su u vremenu od 30 min postignute maksimalne vrednosti izmerene tvrdo e. Rezultati merenja elektri ne provodljivosti, na osnovu kojih su ura eni dijagrami, prikazani su u priložima 7 i 8.

Rezultati su prikazani za „O.S.”, i to za temperature od $t = 150^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa promenom od $t=50^{\circ}\text{C}$. Za temperaturu starenja od 50°C i 100°C , rezultati nisu prikazani, obzirom da nisu pokazali promene u odnosu na polazno stanje „O.S.”.

Bez obzira što se ove legure ne koriste kao provodnici, kao što je i re eno u ta . 4, ocena promene provodljivosti materijala u zavisnosti od temperature starenja, pruži e mogućnost sagledavanja promena u strukturi legure, obzirom da se legure sli nih karakteristika koriste u elektrotehnici i elektronici, posebno u ure ajima savremene komunikacije.



Slika 57.- Dijagram promene elektri ne provodljivosti u zavisnosti od temperature starenja za leguru „L-1”, grupe I i grupe II

6.7.1.3.- Rezultati metalografskog ispitivanja

Rezultati metalografskog ispitivanja opti kom mikroskopijom, za leguru „L-1”, za pojedine ekstremne rezultate prikazani su na slikama od 58 do 63. Saglasno dobijenim rezultatima merenjem tvrdo e i elektri ne provodljivosti, odabrani su uzorci na kojima je ura ena metalografska analiza opti kom mikroskopijom. Na slikama su prikazani rezultati, kako za prethodnu obradu hladnom deformacijom – grupa I, tako i za prethodnu obradu rekristalizacionim žarenjem – grupa II. Uo ava se razlika u mikrostrukturi materijala, sa razli itim vrednostima tvrdo e, kao i sa razli itim oblicima prethodne obrade i obrade starenjem.

Male dimenzije uzoraka za ispitivanje, kao i samih proizvoda, zahtevaju posebnu pripremu svakog uzorka zatapanjem u tvrde smole, a potom pripremu prema potrebama materijala, [112,115,116].

Odabir uzoraka za ispitivanje opti kom mikroskopijom, izvršen je na na in, da su odabrani uzorci sa polaznim tehnološkim parametrima, zatim sa maksimalno postignutom vrednoš u tvrdo e/ vrsto e, i na kraju su uzorci žareni na temperaturi rekristalizacije (ta . 6.4.).



Slika 58.- Uzorak „L-1”- grupa I; Ta ka: „O.S.”-193.00HV0.25; Po etna ta ka na dijagramu sl.53, hladno-valjani lim sa stepenom deformacije = 66,6%; uve anje: x200. Iizdužena zrna u pravcu deformacije valjanjem



Slika 59.- Uzorak „L-1”; grupa I. Elementi obrade: temperatura $t = 200^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvorena tvrdo a 251.00HV0.25, na sl. 53 i 54; maksimalno ostvorena tvrdo a na dijagramu. Uve anje: x200. Izražena usmerenost zrna u pravcu valjanja, sa istaknutom pojavom dvojnika žarenja



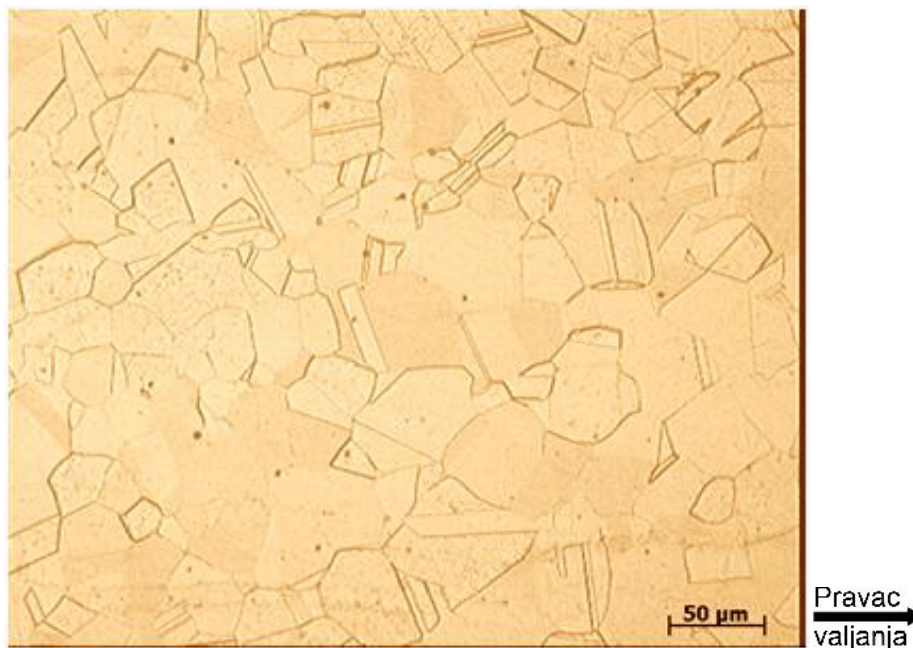
Slika 60.- Uzorak „L-1”; grupa I. Elementi obrade: temperatura $t = 550^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvorena tvrdo a 118.20HV0.25, sl.53. Uve anje: x200. Završena rekristalizacija uzorka sa sl. 58, sa veoma finom sitnoznom strukturom koja se javlja rekristalizacionim žarenjem nakon hladne deformacije



Slika 61.- Uzorak „L-1”, grupa II, ta ka: „O.S.” – 115.40HV0.25, po etna ta ka na dijagramu sl.55. Krupnozrna kompleksna struktura etvorokomponentne legure. Obrada uzorka prema ta . 6.3.3



Slika 62.- Uzorak „L-1”, grupa II; Elementi obrade: temperatura $t = 200^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvarena tvrdo a 169,80HV0.25, sl.55 i 56. Uve anje: $\times 200$. Maksimum ostvarene tvrdo e na dijagramu, sa krupnozrnom strukturom i sa velikim brojem dvojnika žarenja



Slika 63.- Legura „L-1”, grupa II. Elementi obrade: temperatura $t = 550^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvarena tvrdo a 118,20HV0.25, sl. 55. Uve anje: $\times 200$. Struktura veoma sli na strukturi sa slike 61; krupnozrna struktura žarenog stanja kompleksne etvorokomponentne legure, pogodna za dalju obradu hladnom deformacijom

6.7.1.4.- Iskustveni rezultati

U proizvodnji nakita, veliku važnost zauzimaju iskustveni rezultati, posebno u završnoj obradi nakita. Za savršen izgled nakita, potrebno je da proizvod nakon završne obrade bude ogledalastog sjaja, što se postiže odgovaraju om završnom obradom proizvoda, uz prethodno izvršenu odgovaraju u pripremu, u smislu, ostvarivanja žarenjem takve strukture, koja e proizvodu dati željene osobine.



a).-



b).-

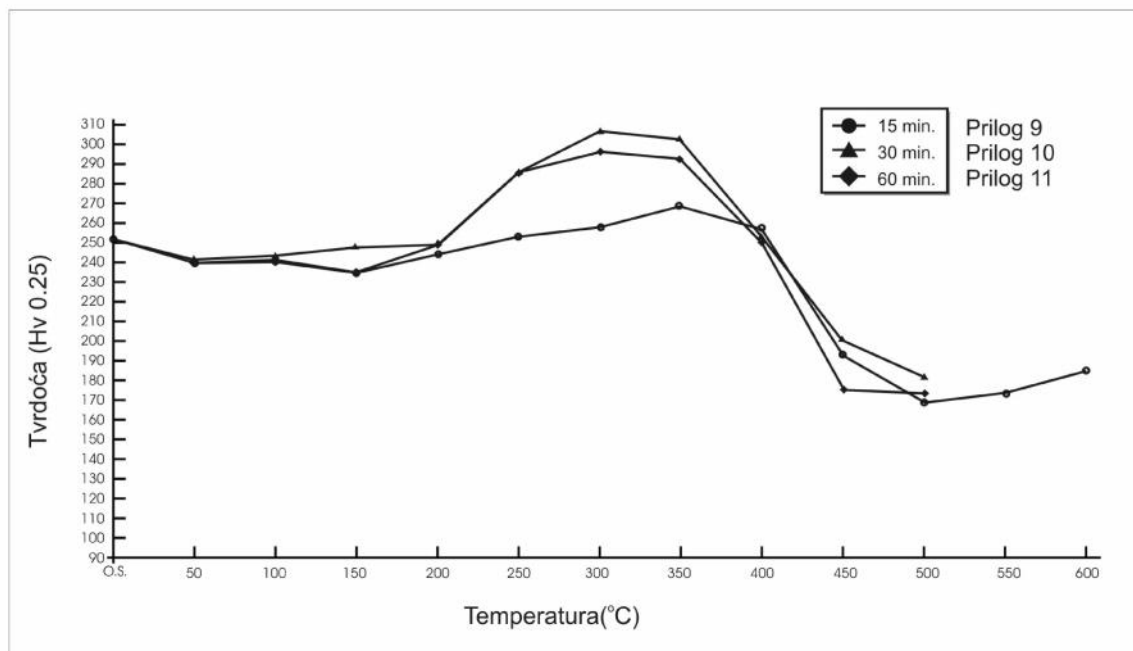
Slika 64.- Proizvodi dobijeni dubokim izvla enjem od legure „L-1”, pre završnog žarenja a), i polirano nakon žarenja starenjem na $t = 200^{\circ}\text{C}$, $i = 30 \text{ min}$, hladeno na vazduhu b)

Na slici 64, prikazane su uporedno makrofotografije proizvoda dobijenih dubokim izvla enjem, i to odmah nakon dubokog izvla enja (a), kao i nakon žarenja starenjem na $t = 200^{\circ}\text{C}$, u vremenu od $t = 30$ min, pri emu su dobijeni proizvodi ogledalastog sjaja (b), što predstavlja i cilj u proizvodnji nakita, [5,118].

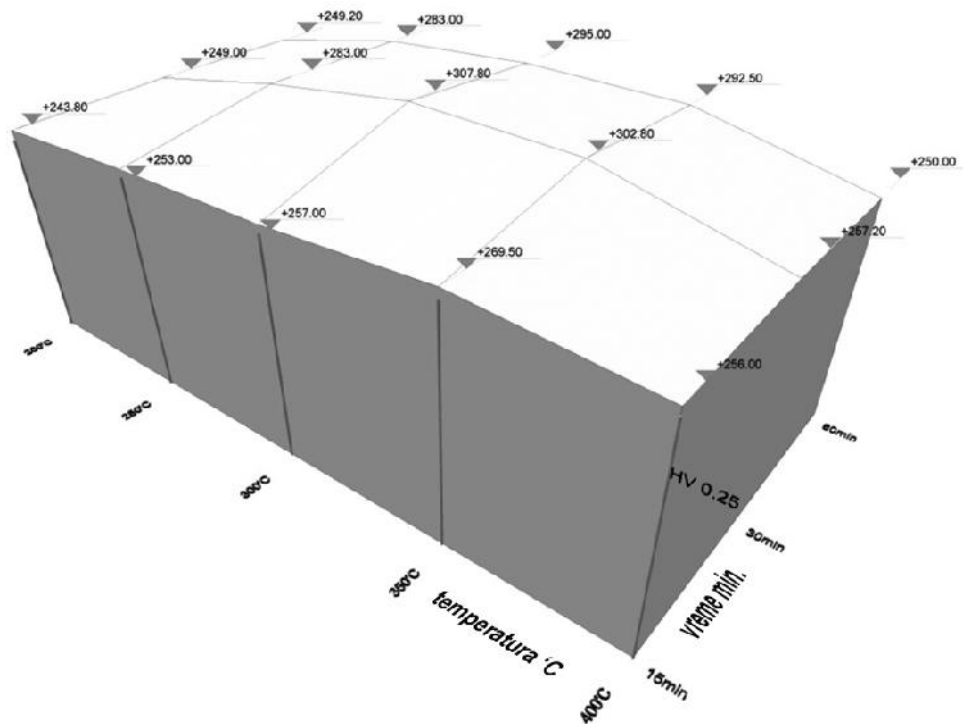
6.7.2.- Rezultati ispitivanja legure „L-2” – Au585Ag65Cu277Zn16Pd57

6.7.2.1.- Rezultati merenja tvrdo e HV0.25

Dijagrami promene tvrdo e, u zavisnosti od temperature starenja za leguru „L-2”, tzv. „belo” zlato, za obrade grupe I i II (ta . 5.3.3), prikazane su na slikama 65 do 69. Rezultati merenja tvrdo e, na osnovu kojih su konstruisani dijagrami sa ozna enih slika prikazani su tabelarno u prilozima, i to od priloga br.9 do priloga br.14, a što je neposredno ozna eno na pojedinim slikama.



Slika 65.- Dijagram promene tvrdo e, HV0.25, u zavisnosti od temperature starenja za leguru „L-2”, grupa I, „belo zlato”

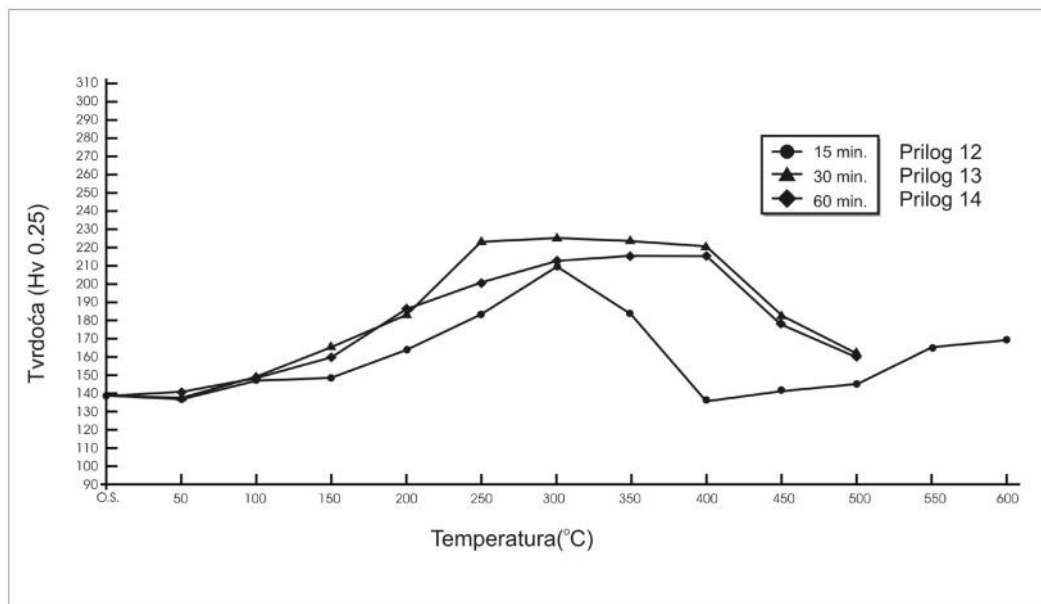


Slika 66.- Prostorni dijagram promene tvrdo e, HV0.25, za temperaturni interval od $t = 200^{\circ}\text{C}$ do 400°C , za vreme trajanja procesa od 15 min, 30 min i 60 min, za leguru „L-2” – grupa I (deo slike 65)

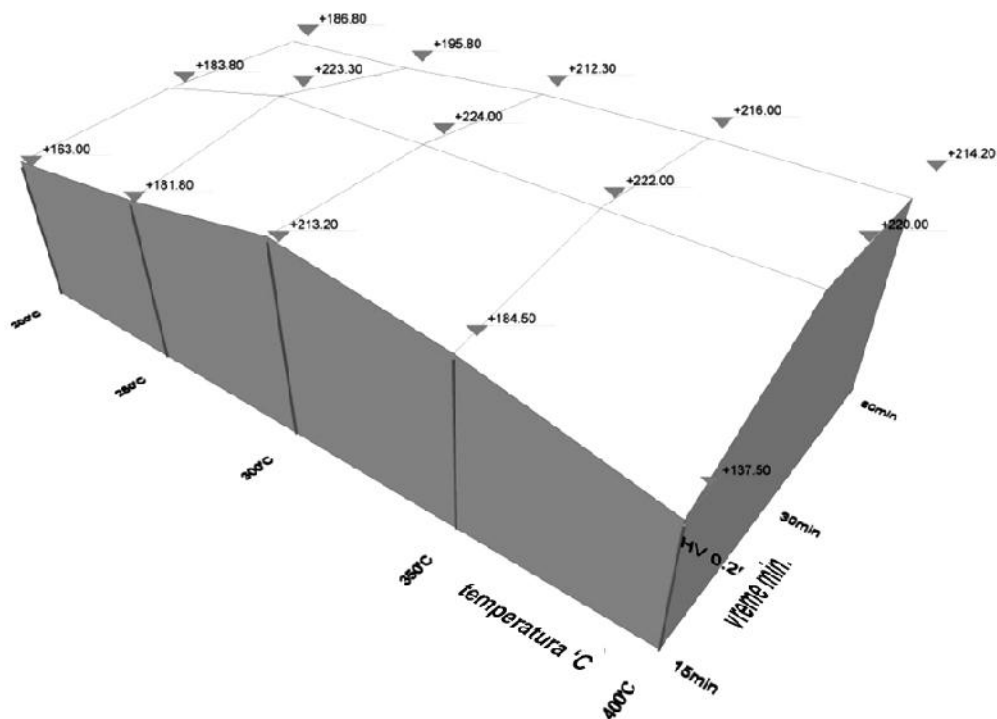
Slika 65 prikazuje tri uporedna dijagrama promene tvrdo e, u zavisnosti od temperature starenja, a za razli ita vremena trajanja procesa: $t = 15$ min, 30 min i 60 min, što je na slici prikazano razli itim oblicima ta aka kojima je ozna ena pojedina tvrdo a.

Po etna ta ka dijagrama promene tvrdo e, na horizontalnoj osi, je ta ka „O.S.“, dok je na vertikalnoj osi vrednost od 251,00HV0.25. Uzorci koji su koriš eni za izradu dijagrama sa slike 65 i 66, pripadaju po obradi grupi I, potom su žareni na temperaturi starenja od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa $t = 50^{\circ}\text{C}$, i to za vreme $t = 15$ min, dok je za vreme od $t_1 = 30$ min i 60 min, žarenje vršeno na temperaturi starenja do $t = 500^{\circ}\text{C}$, sa ciljem da se sagleda ponašanje materijala, za leguru „L-1“, u delu kada se ostvaruje maksimum pove anja tvrdo e, a što je u ovom temperaturnom opsegu to i postignuto.

Na slici 66 prikazan je deo dijagrama sa slike 65, u temperaturnom opsegu od $t_1 = 200^{\circ}\text{C}$ do 400°C , i to prostorni dijagram promene tvrdo e u zavisnosti od temperature starenja i vremena držanja. Izrada ovakvog dijagrama zna ajna je, kao što je ve naglašeno u radu, da bi se sagledalo ponašanje materijala u okolini jedne ta ke, tj. postignute maksimalne tvrdo e, za ovu leguru „L-1“ to je 307,80HV0.25, a za temperaturu od 300°C , kao i vreme trajanja procesa od 30 min.



Slika 67.- Dijagram promene tvrdo e, HV0.25, u zavisnosti od temperature starenja, za leguru „L-2” – obrada grupa II („belo zlato”)

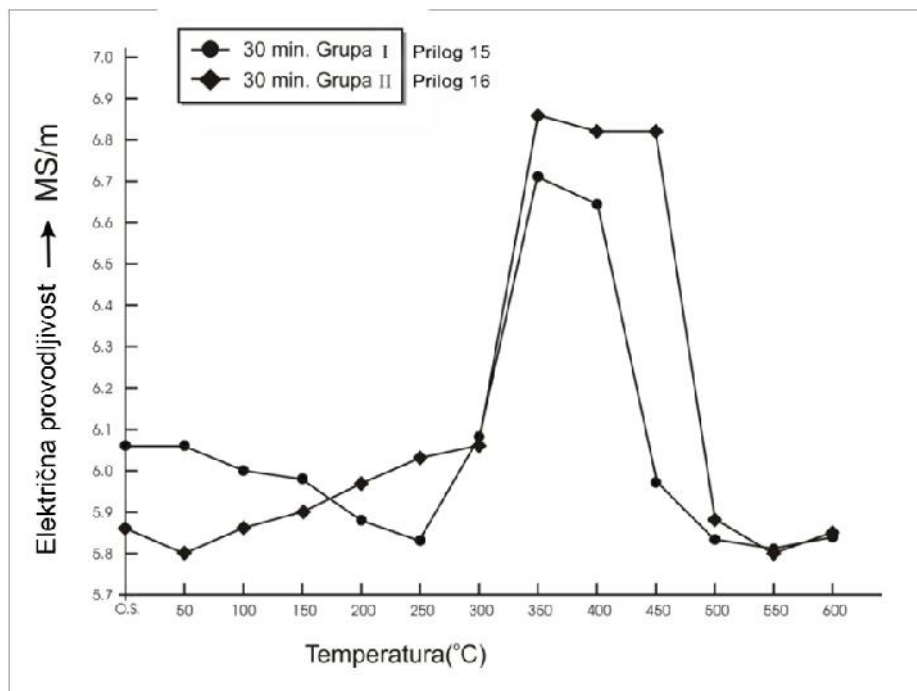


Slika 68.- Prostorni dijagram promene tvrdo e, HV0.25, za tempraturni interval od 200°C do 400°C, za vreme trajanja procesa od 15 min, 30 min i 60 min, za leguru „L-2”-grupa II (deo slike 67)

Slike 67 i 68, tako e, prikazuju leguru „L-2, tzv. „belo” zlato, s‘tim što je polazno stanje uzoraka predstavljeno u grupi II (ta .6.3.3), odnosno, svi uzorci su nakon hladne deformacije, a pre žarenja na temperaturi starenja, žareni na temperaturi rekristalizacije [4], tj. na $t = 680^{\circ}\text{C}$, u vremenu od $t = 30$ min, i gašeni u rashladnom sredstvu. Obzirom da se radi o istoj leguri „L-2”, kao i na leguri prikazanoj na slici 65, postignuta maksimalna tvrdo a je u istom temperaturnom intervalu, od $t_1 = 200^{\circ}\text{C}$ do 400°C , tako je i prostorni dijagram konstruisan za isti temperaturni opseg starenja kao i vreme trajanja procesa, a što je i prikazano na slici 68.

6.7.2.2.- Rezultati merenja elektri ne provodljivosti

Dijagram, promene elektri ne provodljivosti u zavisnosti od temperature starenja, prikazan je na slici 69, za leguru „L-2”, i to za obradu grupe I i grupe II, za vreme trajanja procesa na temperaturi starenja od $t = 30$ min, kada su i postignute maksimalne vrednosti tvrdo e. Rezultati na osnovu kojih su konstruisane krive prikazani su u prilogima 15 i 16.



Slika 69.- Dijagram promene elektri ne provodljivosti u zavisnosti od temperature starenja za leguru „L-2”- grupa I i grupa II

Prikazani rezultati su za polaznu ta ku „O.S.”, a potom za temperature starenja od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa razmakom od $t = 50^{\circ}\text{C}$. Kod ovog tipa legure, pojavljuju se velike promene vrednosti elektri ne provodljivosti, u zavisnosti od temperature starenja, u temperaturnom opsegu kada su i postignute maksimalne vrednosti tvrdo e. Može se

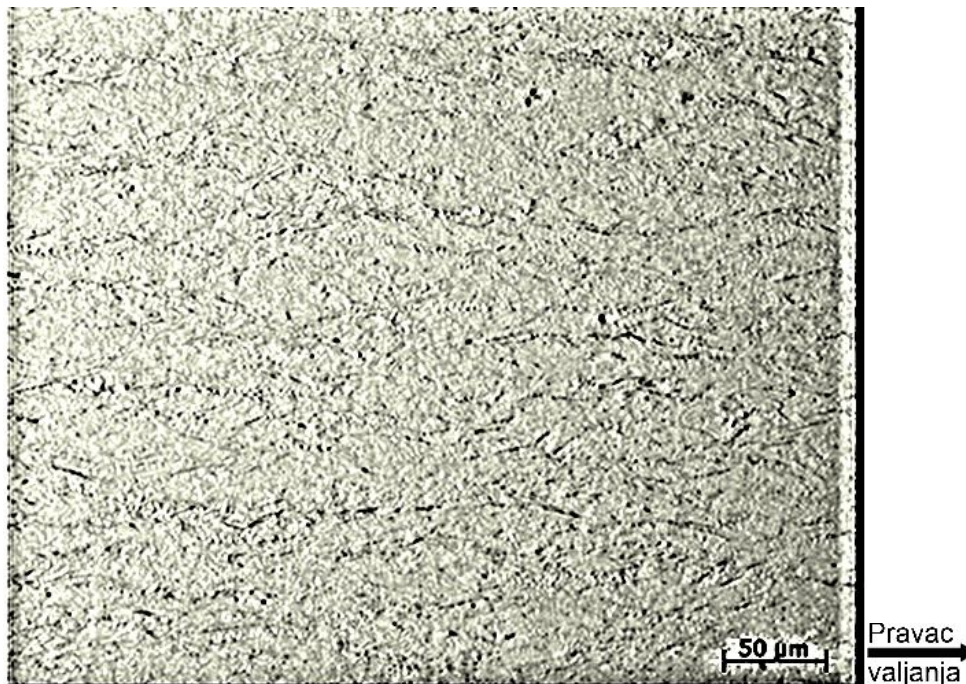
konstatovati da sa porastom tvrdo e, kod ovog tipa legure, raste i vrednost elektri ne provodljivosti.

6.7.2.3.- Rezultati metalografskog ispitivanja

Metalografska ispitivanja, za leguru „L-2”, obavljena su metodom opti ke mikroskopije i rezultati su prikazani na slikama od broja 70 do broja 82. Odabrani uzorci za metalografsko ispitivanje, su, za po etno „O.S.” stanje, za rezultate maksimalno dobijene tvrdo e i elektri ne provodljivosti, a tako e i za rezultate dobijene žarenjem na temperaturi neposredno ispod temperature rekristalizacije.

Na slikama su prikazani rezultati, kako sa prethodnom obradom hladnom deformacijom valjanjem – grupa I, tako i sa prethodno izvršenim žarenjem na temperaturi rekristalizacije [4] – grupa II (ta .6.3.3). Na slikama se uo ava razlika u mikrostrukтури uzoraka, kako za razli ite vrednosti tvrdo e, tako i za razli ite oblike prethodne obrade i obrade starenjem.

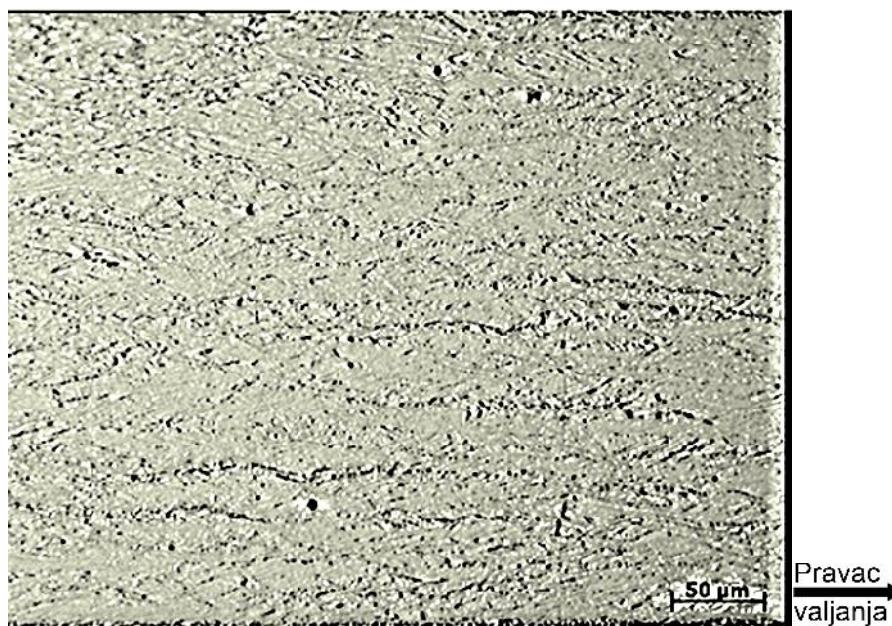
Uzorci su posebno tretirani za ispitivanje opti kom mikroskopijom, upravo iz razloga problema nagrizanja belog zlata toplim rastvorom KCN [110-112]. Za pravilno sagledavanje mikrostrukture, za svaku ispitivanu ta ku na dijagramu, koriš ene su dve slike, i to jedna sa uve anjem od x200 i druga sa uve anjem x500, tako da se lakše mogu uo iti mikrostrukturne promene.



Slika 70.- Uzorak „L-2”- grupa I, ta ka „O.S.” – 251,00HV0.25, po etna ta ka sa dijagrama sika 65, hladno-valjani lim sa stepenom deformacije = 66,6%. Uve anje x200. Jako izdužena zrna u pravcu hladne deformacije valjanjem



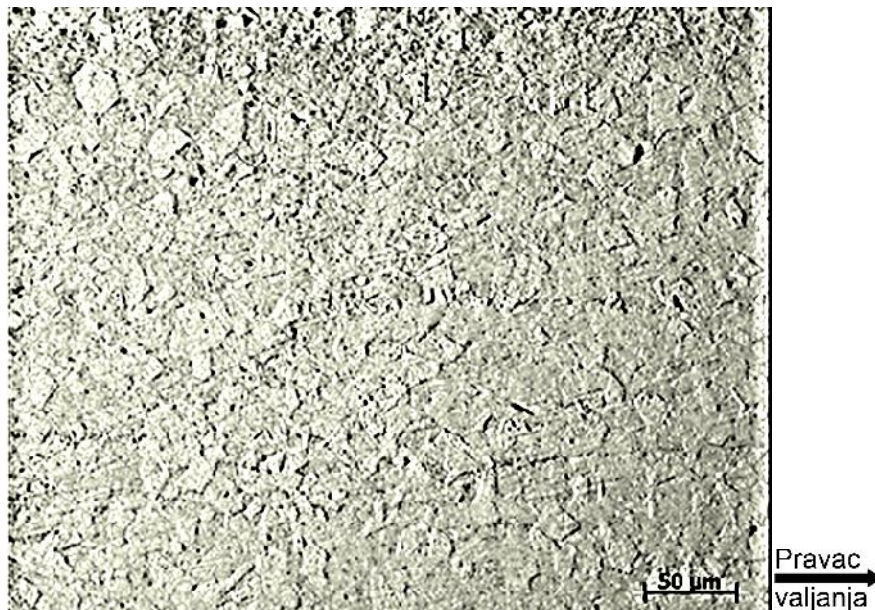
Slika 71.- Uzorak „L-2”- grupa I, ta ka: „O.S.” – 251,00HV0.25, po etna ta ka sa dijagrama slika 65, hladno-valjani lim sa stepenom deformacije = 66,6%. Uve anje x500. Jako izdužena zrna u pravcu hladne deformacije valjanjem



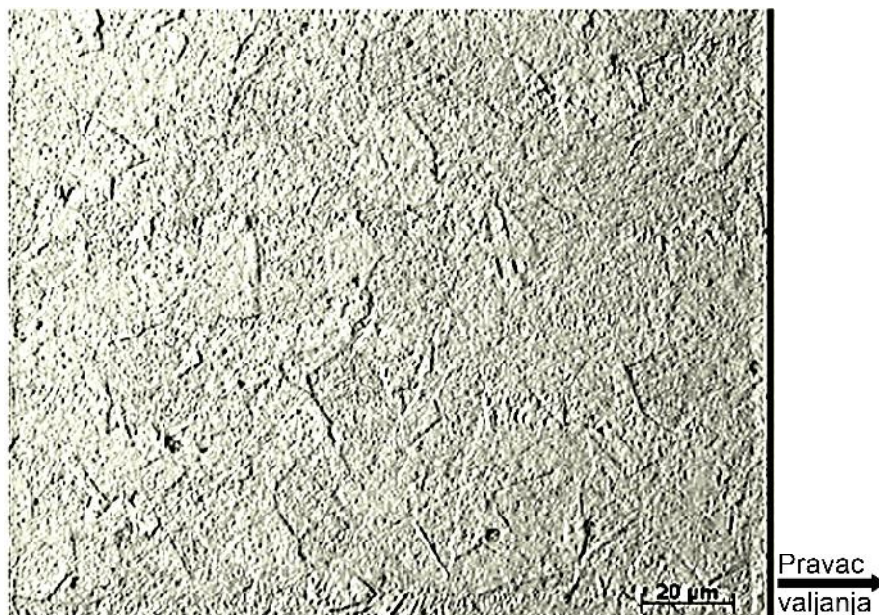
Slika 72.- Uzorak „L-2”- grupa I, elementi obrade: temperatura $t = 300^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvorena tvrdo a 307,80HV0.25, na slike 65 i 66, maksimalno ostvorena tvrdo a na dijagramu. Uve anje x200. Izdužena zrna u pravcu valjanja sa veoma finim dvojnucima žarenja



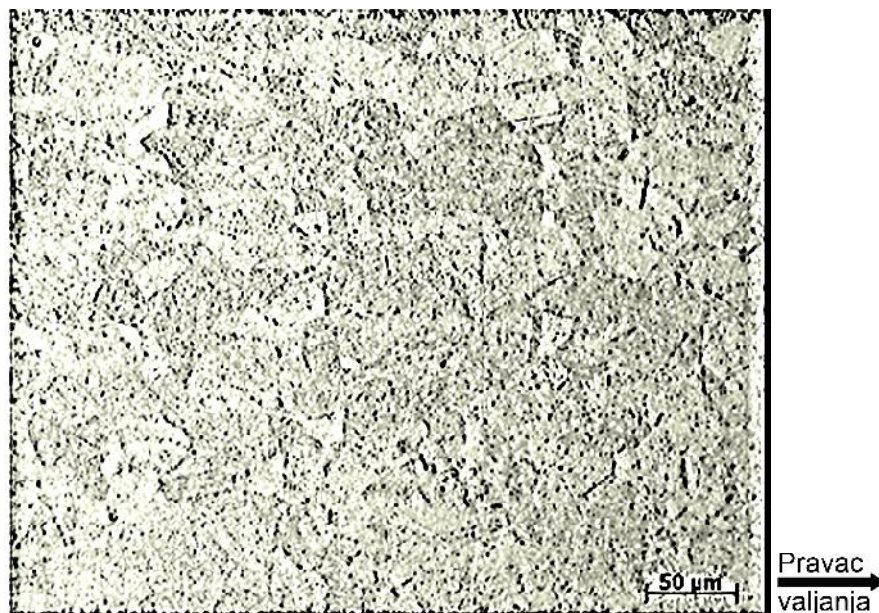
Slika 73.- Uzorak „L-2” – grupa I. Elementi obrade kao na slici 72. Uve anje x500. Izdužena zrna u pravcu valjanja sa izraženom pojavom dvojnika žarenja, koji se javljaju po grupama



Slika 74.- Uzorak „L-2” - grupa I. Elementi obrade: temperatura $t = 600^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvarena tvrdo a 186,50HV0.25. Uve anje x200. Završena rekristalizacija sa slike 70; veoma fina struktura koja se postiže rekristalizacionim žarenjem nakon hladne deformacije, i koja je pogodna za narednu obradu hladnom deformacijom



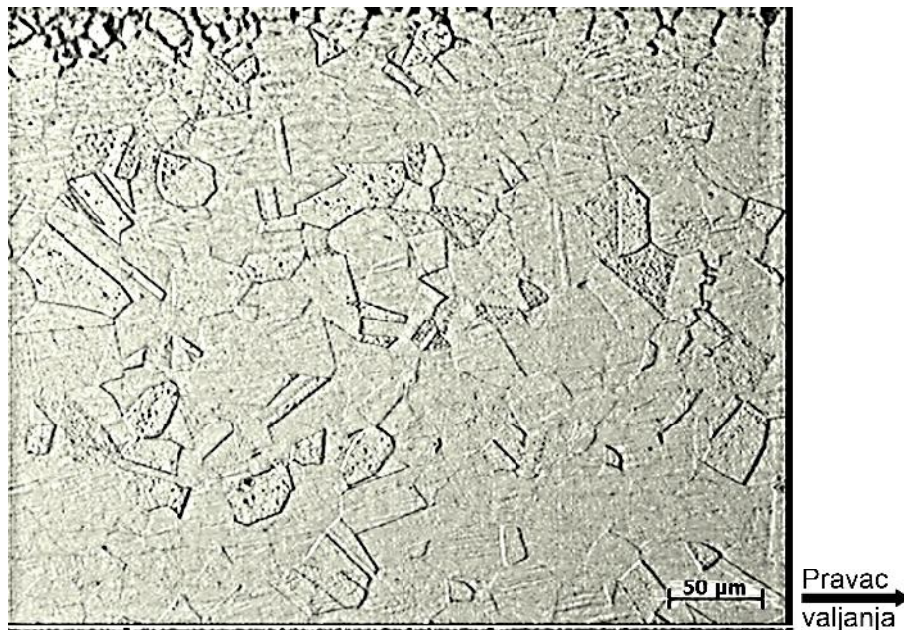
Slika 75.- Uzorak „L-2” – grupa I. Elementi obrade: kao na slici 74. Uve anje x500. Završena rekristalizacija, uzorak „L-2” – grupa I. Ta ka „O.S.” sa slike 70; struktura koja se postiže rekristalizacionim žerenjem sa sivo-belim poljima kod Au-Ag-Cu legura sa paladijumom i cinkom



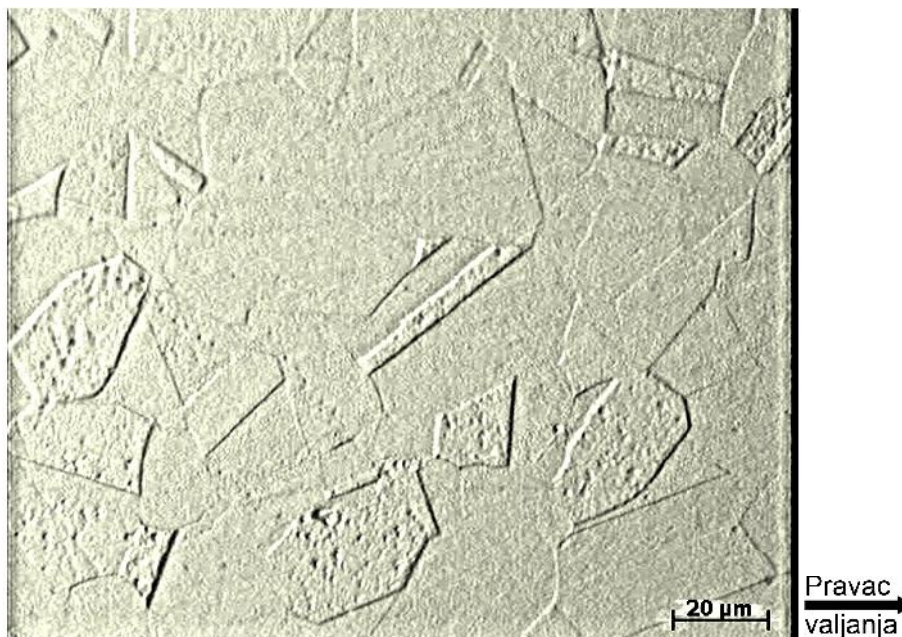
Slika 76.- Uzorak „L-2“- grupa II, ta ka: „O.S.“- 139.70HV0.25, polazna ta ka na dijagramu sl. 67. Uve anje: x200. Krupnozrna kompleksna struktura petokomponentne legure. Obrada uzorka prema ta . 6.3.3



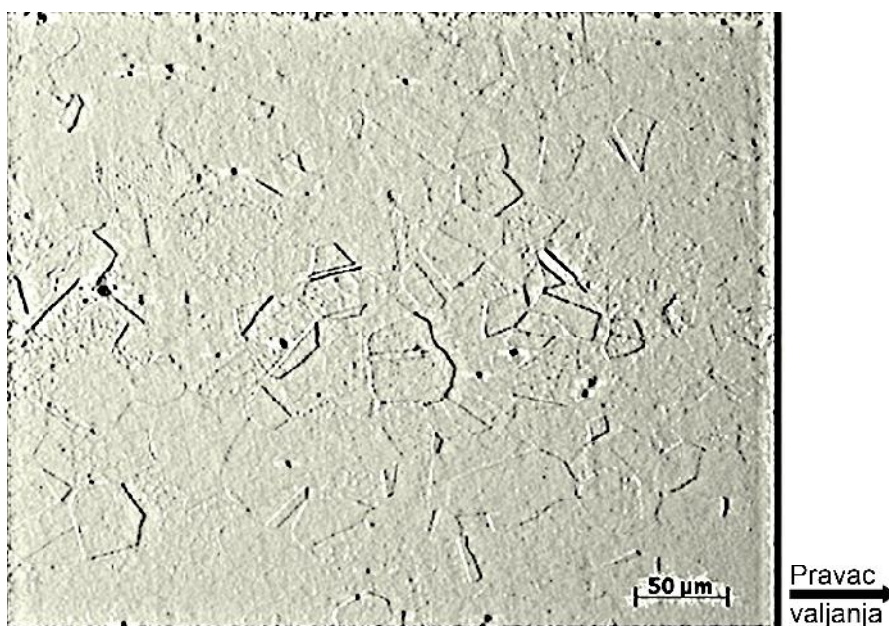
Slika 77.- Uzorak „L-2”- grupa II, ta ka: isto kao na slici 76. Uve anje: x500. Vidljivo nekoliko zrna rekristalizovane kompleksne strukture Au-Ag-Cu-Zn-Pd legure, kao i formiranje lamelarne structure



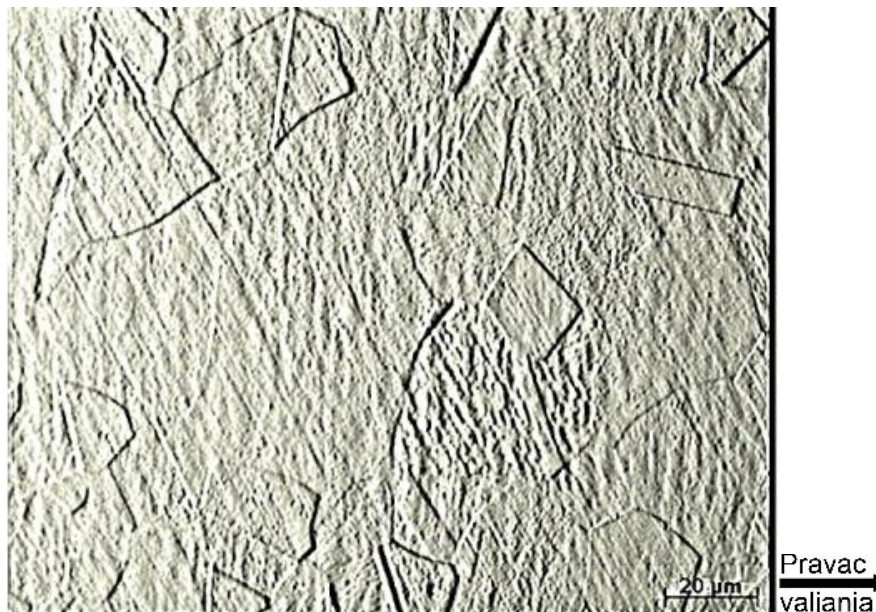
Slika 78.- Uzorak „L-2”- grupa II. Elementi obrade: temperatura starenja $t = 300^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvarene tvrdo a 224,00HV0.25, maksimalno ostvarena tvrdo a na dijagramu slici 67. Uve anje x200. Pojava izdvajanja dvojnika iz osnovne strukture i sve ve a pojava taloga po granicama zrna



Slika 79.- Uzorak „L-2”- grupa II. Prikazan je deo slike 78. Ostvorena maksimalna tvrdo a na dijagramu slici 67, od 224,00HV0.25. Uve anje x500. Pojava dvojnika žarenja sa postignutom maksimalnom tvrdo om uzorka



Slika 80.- Legura „L-2”- grupa II. Elementi obrade: temperature starenja $t = 600^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvorena tvrdo a 170,50HV0.25, slika 67. Uve anje x200. Kristali ravnoosne strukture i delova dvojnika zaostalih u strukturi



Slika 81.- Uzorak „L-2”- grupa II, kao slika 79. Uve anje x500. Ravnoosni kristali sa delovima dvojnika koji se utapaju u strukturi rekristalizacije

6.7.3.- Rezultati ispitivanja legure „L-3” – Ag925Cu75

6.7.3.1.- Rezultati merenja tvrdo e HV0.25

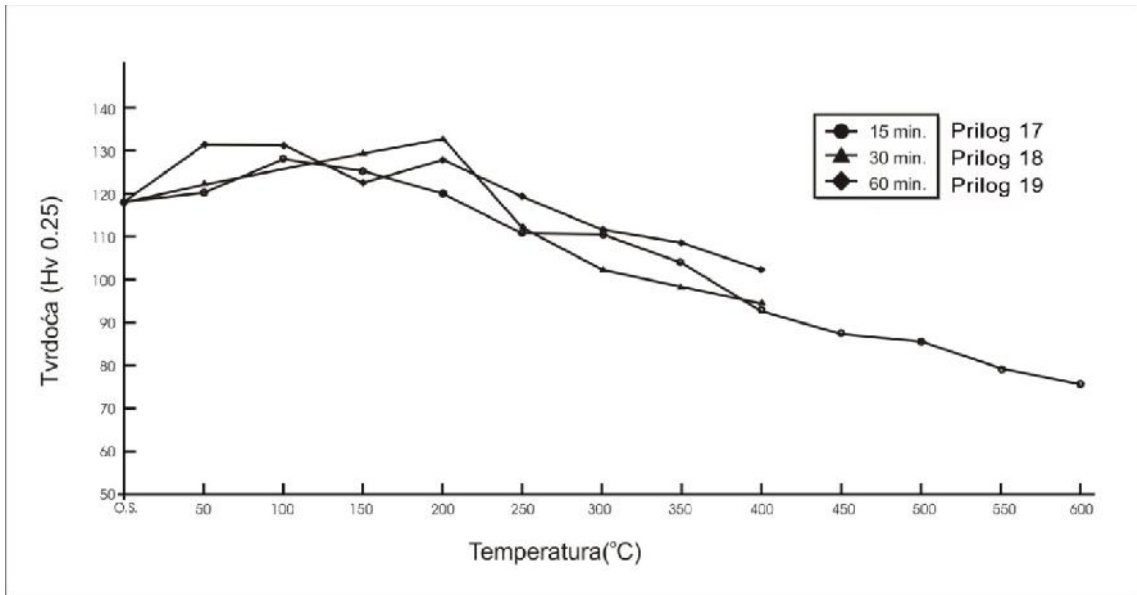
Rezultati merenja tvrdo e, prikazani su u obliku dijagrama zavisnosti od temperature starenja, na slici 82 do slici 85, kao i u obliku tabele u prilozima br.17 do 22, za leguru „L-3“, obrada grupa I i II (ta . 6.3.3). Neposredno na dijagramima zavisnosti tvrdo e od temperature starenja, ozna eni su i prilozi na osnovu kojih je svaki dijagram konstruisan.

Rezultati su za leguru Ag925Cu75, koja je tako e deo trojnog dijagrama Au-Ag-Cu, ali je legura bez prisustva zlata, sastava; Au 0,0mas%Au, Ag 92,5mas.%Ag, Cu 7,5mas.%Cu, prikazana na slici 44, i nalazi se na ivici trojnog dijagrama.

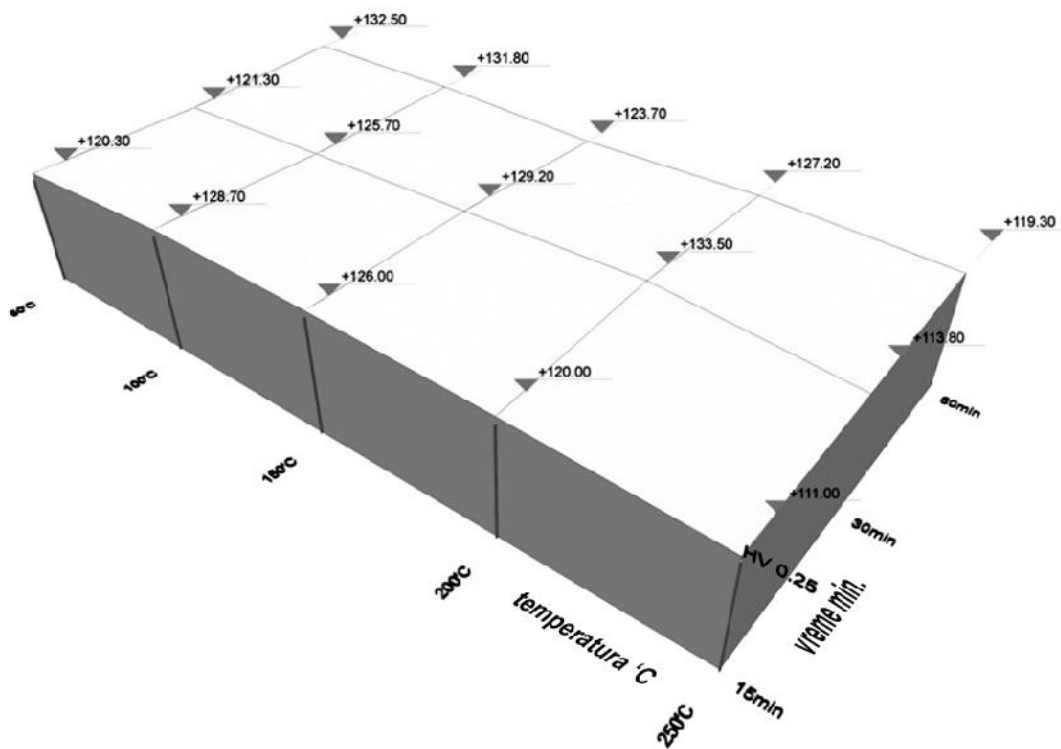
Na slici 82 prikazani su uporedni dijagrami tvrdo e u zavisnosti od temperature starenja, a tako e za razli ito vreme trajanja procesa, i to: = 15 min, 30 min i 60 min, što je prikazano razli itim ta kama na dijagramu.

Polazna ta ka dijagrama na horizontalnoj osi „O.S.”, kojoj odgovara tvrdo a na verikalnoj osi, na hladno deformisanom uzorku sa stepenom deformacije = 66,6% (tabela 5), u iznosu od 118,00HV0.25 („L-3” - grupa I)

Nakon ove ta ke, za dalje ispitivanje, upotrebljavani su uzorci iste legure „L-3”, kao i iste obrade – grupa I, pri emu su žareni na temperaturi starenja od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , u vremenu = 15 min, 30 min i 60 min.

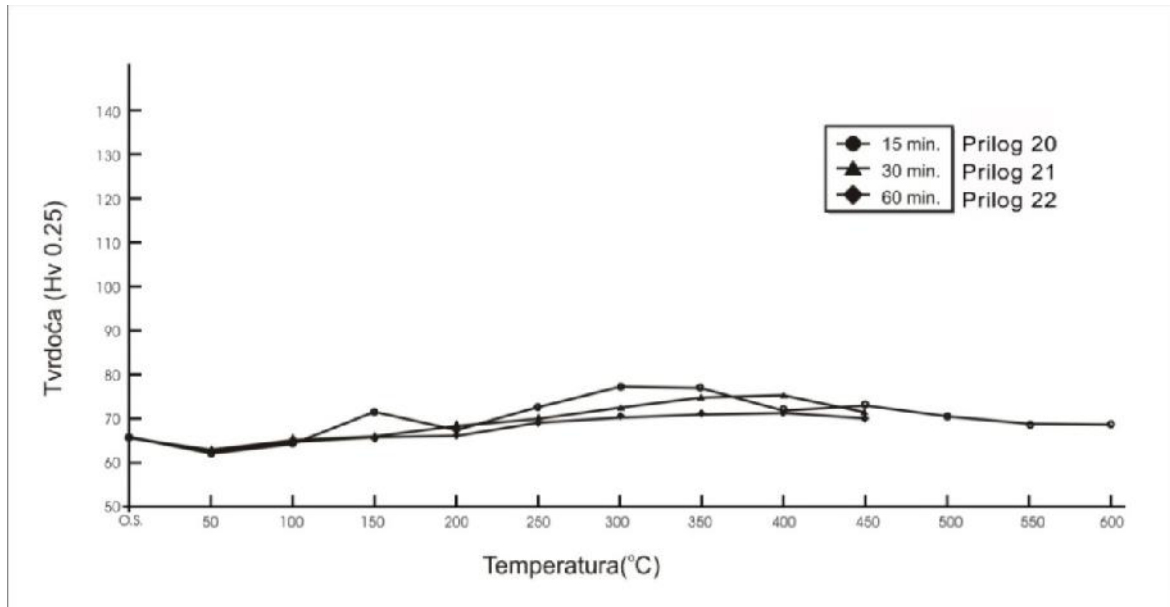


Slika 82.- Dijagram promene tvrdo e, HV0.25, u zavisnosti od temperature starenja za leguru „L-3”- grupa I, legura Ag925Cu75



Slika 83.- Prostorni idjagram promene tvrdo e, HV0.25, za tempereturni interval od 50°C do 250°C, za vreme trajanja procesa od 15 min, 30 min i 60 min, za leguru „L-3” – grupa I (deo slike 82)

Za izradu prostornog dijagrama na slici 83, koriš en je deo dijagrama sa slike 82, u temperaturnom opsegu od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 250°C , a za vreme starenja od $t = 15$ min, 30 min i 60 min. Na ovom dijagramu se vidi ponašanje legure „L-3” starenjem u okolini ta ke sa maksimalnom vrednoš u tvrdo e, od 133,5HV0.25, sa elementima: temperature $t = 200^{\circ}\text{C}$ i vremena trajanja procesa starenja $t = 30$ min.



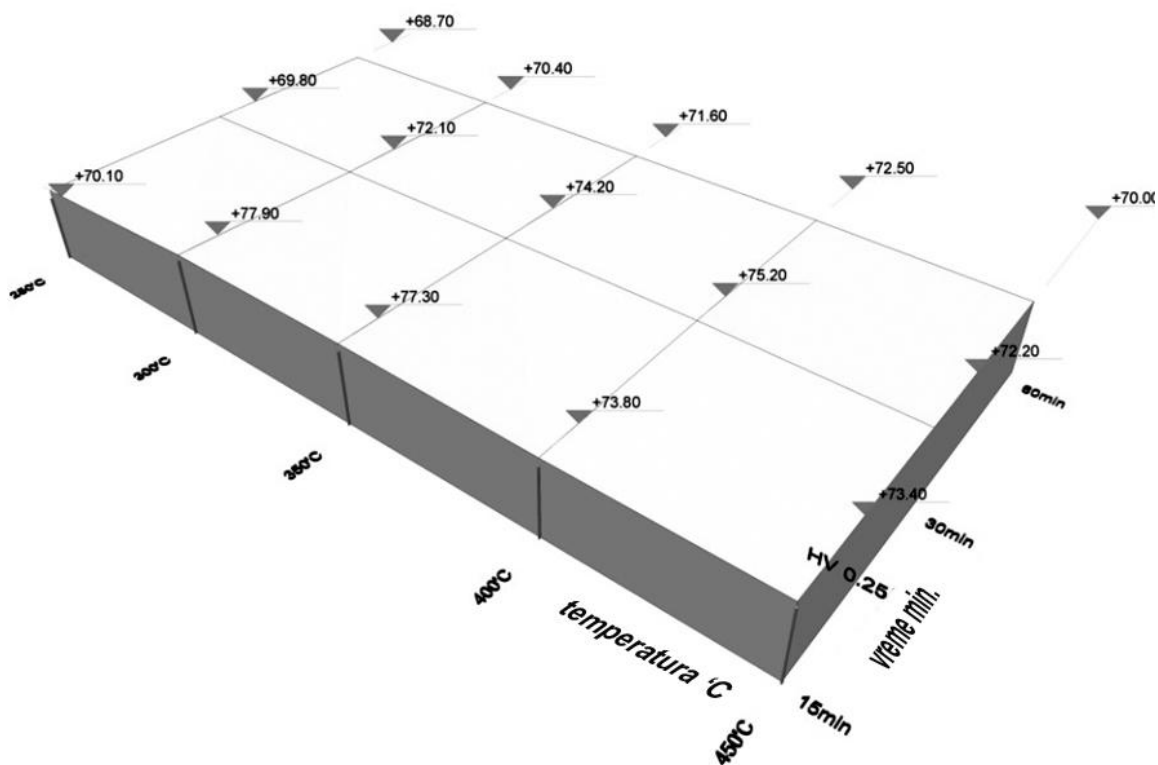
Slika 84.- Dijagram promene tvrdo e, HV0.25, u zavisnosti od temperature starenja, za leguru „L-3” – grupa II (Ag925Cu75)

Slike 84 i 85, tako e prikazuju ponašanje legure „L-3” – grupa II (ta . 6.3.3), tj. svi uzorci su nakon zvršene hladne deformacije žareni na temperaturi rekristalizacije za ovu leguru [4,121], i to na $t = 680^{\circ}\text{C}$, $t = 30$ min, gašenje u rashladnom sredstvu.

Konstrukcija dijagrama na slikama 84 i 85, ura ena je na osnovu rezultata prikazanih u prilogu br.20, 21 i 22.

Polazna ta ka dijagrama na horizontalnoj osi , „O.S”, nakon obrade, grupa II, dostigla je vrednost tvrdo e od 66,8HV0.25. Nakon toga ura eno je žerenje starenjem na temperaturi od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa $t = 50^{\circ}\text{C}$.

Bez obzira što je ista legura „L-3”, kao na slikama 82 i 83, samo je druga obrada (grupa II), temperaturni opseg, na osnovu koga je konstruisan prostorni dijagram na slici 85, i kada je došlo do rasta vrednosti tvrdo e i dostizanja maksimuma tvrdo e , nije isti, ve je temperaturni opseg, prema postignutim rezultatima, od $t = 200^{\circ}\text{C}$ do 450°C .

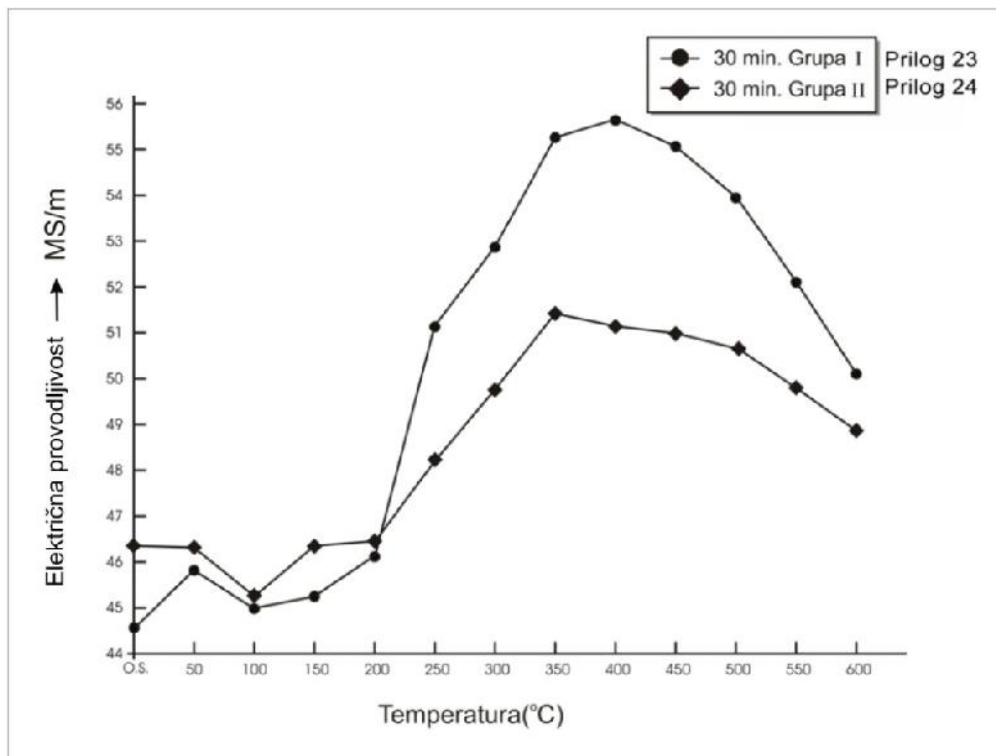


Sliak 85.- Prostorni dijagram promene tvrdo e, HV0.25, za temperaturni interval od 200°C do 450°C, za vreme trajanja procesa od 15 min, 30 min i 60 min, za leguru „L-3” – grupa II (deo slike 84)

Maksimalna tvrdo a, postignuta ovim na inom obrade starenjem, kao što se i vidi na prostornom dijagramu na slici 85, u iznosu od 75,20HV0.25, za elemente obrade: temperatura $t = 400^{\circ}\text{C}$ i vreme = 30 min.

6.7.3.2.- Rezultati merenja elektri ne provodljivosti

Dijagram prikazan na slici 86, predstavlja krivu zavisnosti elektri ne provodljivosti od temperature starenja za leguru „L-2” – grupa I i grupa II, koja je konstruisana na osnovu rezultata merenja iz priloga br. 23 i 24.



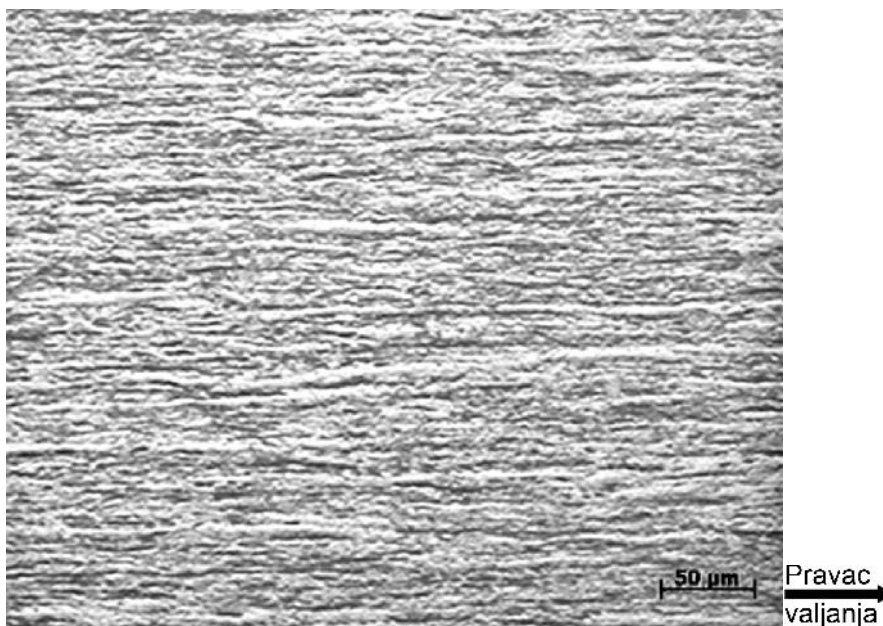
Slika 86.- Dijagram promene elektri ne provodljivosti u zavisnosti od temperature starenja za leguru „L-3” – grupa I i grupa II

Prikazani rezultati su, po ev od polazne „O.S.” ta ke, a potom za temperature starenja od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa $t = 50^{\circ}\text{C}$.

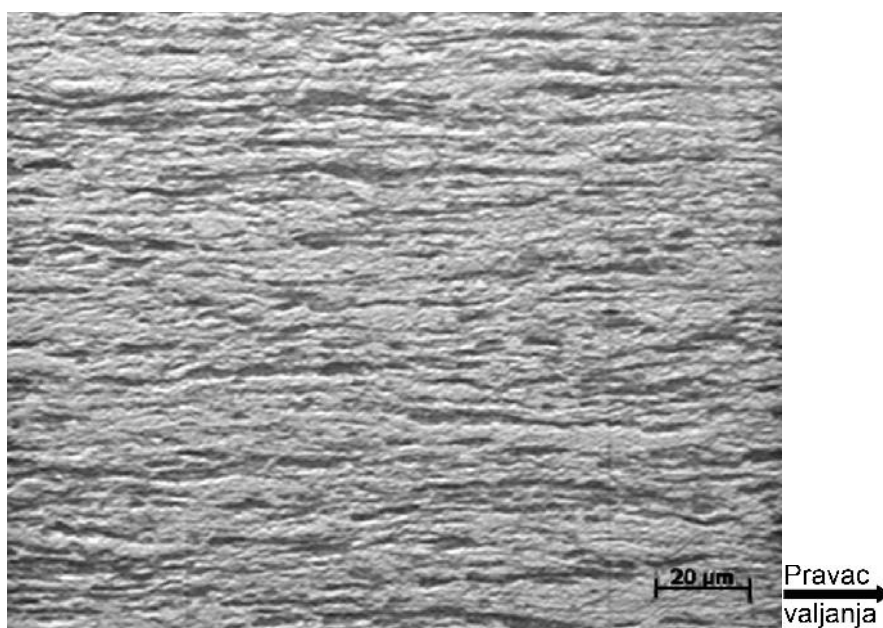
Legure srebra, uklju uju i i leguru Ag925Cu75, pored upotrebe u proizvodnji nakita, koriste se i kao kontaktni ellementi u elektro-postrojenjima usled dobre elektri ne provodljivosti, koja je približno do 10 puta ve a od vrednosti elektri ne provodljivosti za legure sa sadržajem zlata, u ovom slu aju „L-1” i „L-2”.

6.7.3.3.- Rezultati metalografskog ispitivanja

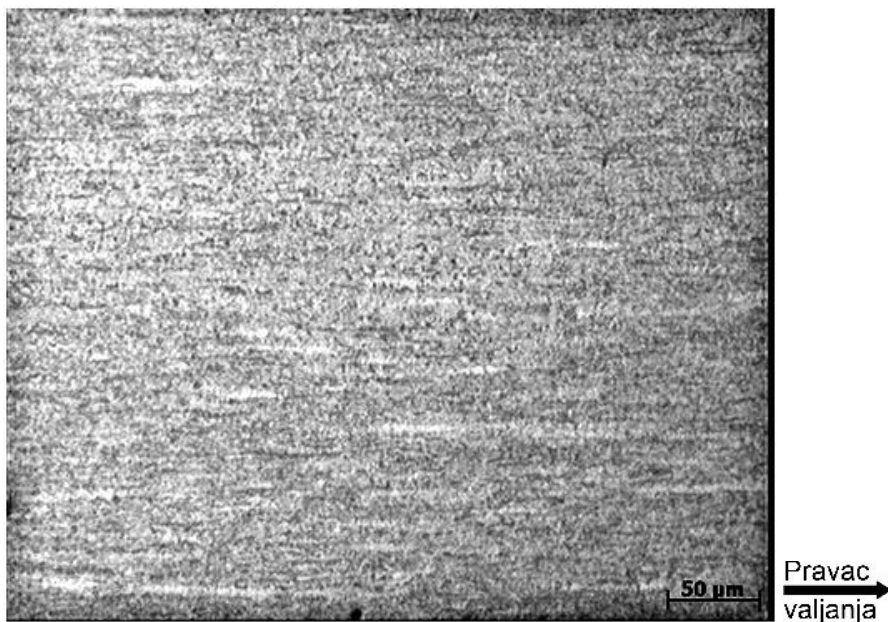
Metalografska ispitivanja opti kom mikroskopijom, za leguru „L-3”, prikazana su na slici 87 do sl.100. Odabrani uzorci za metalografsko ispitivanje su, kao i kod prethodne dve legure, po ev od polaznog stanja „O.S.”, za grupu I i grupu II (ta .6.3.3), pa preko uzoraka sa maksimalno postignutom tvrdo om i maksimalno ostvarenom elektri nom provodljivoš u , sve do uzoraka sa strukturom kod kojih je završena rekristalizacija.



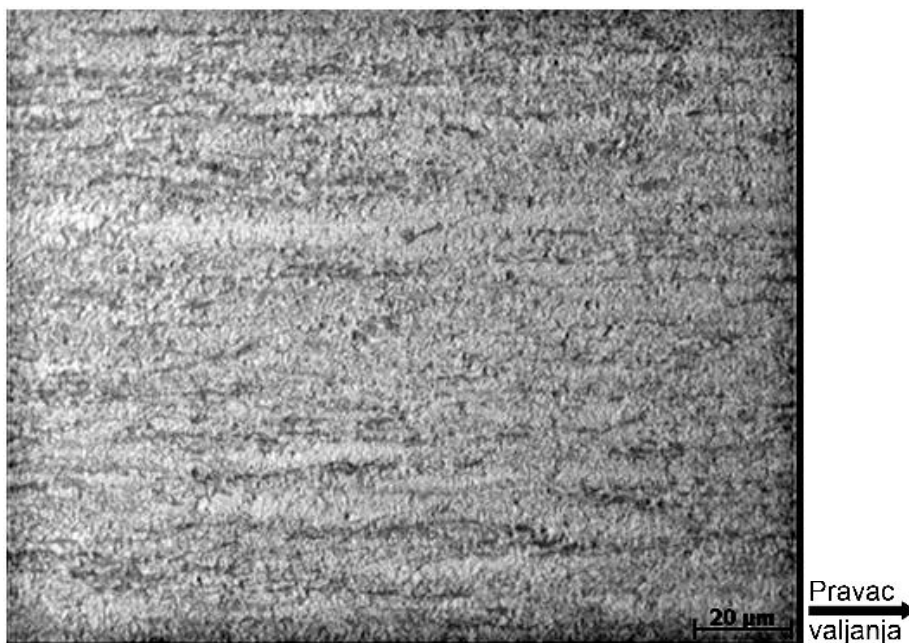
Slika 87.- Legura „L-3” – grupa I. Ta ka „O.S.” – 118,00HV0.25, po etna ta ka sa dijagrama slika 82, hladno-valjani lim sa stepenom deformacije = 66,6%. Uve anje x200. Izdužena zrna u pravcu hladne deformacije valjanjem



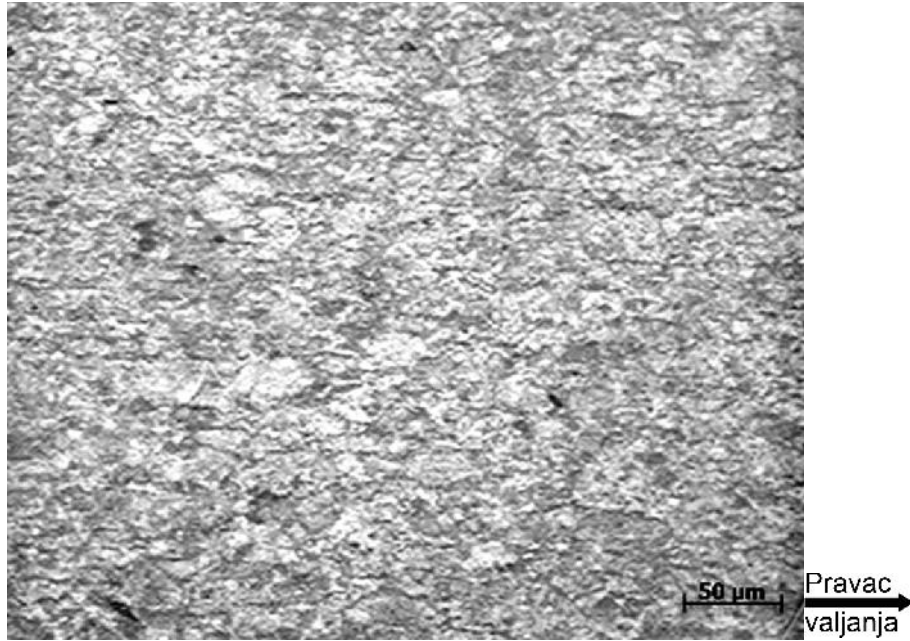
Slika 88.- Legura „L-3”- grupa I. Ta ka „O.S.”- 118,00HV0.25, po etna ta ka sa dijagrama slika 82, hladno-valjani lim sa stepenom deformacije = 66,6%. Uve anje x500. Izdužena zrna u pravcu hladne deformacije



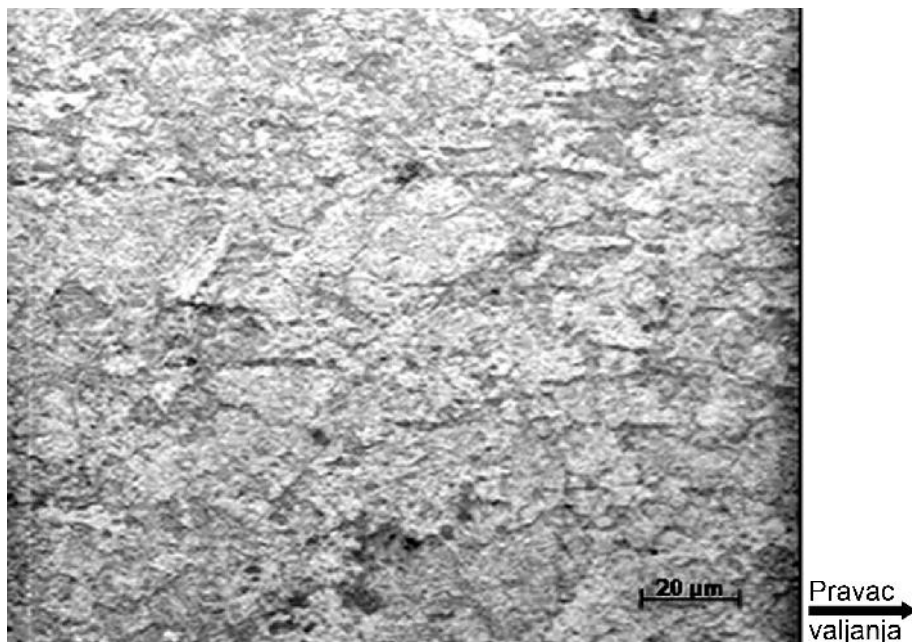
Slika 89.- Legura „L-3”- grupa I. Elementi obrade: temperatura $t = 200^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, maksimalno ostvarena tvrdo a na dijagramu 133,50HV0.25 usled mehanizma pojave taloga. Uve anje x200. Izdužena zrna u pravcu valjanja sa veoma finim dvojnicima žarenja



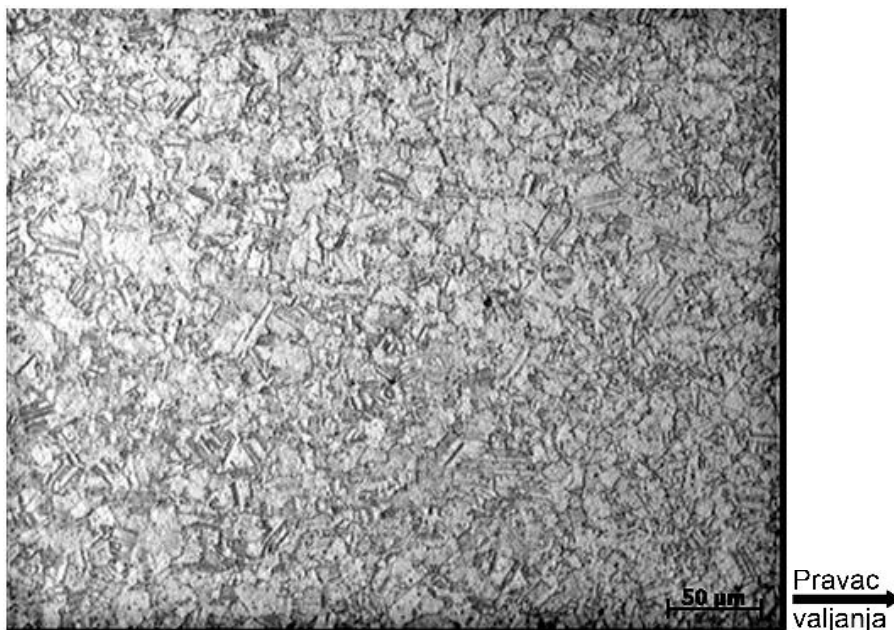
Slika 90.- Legura „L-3”- grupa I. Elementi obrade: kao na slike 89. Uve anje x500. Izdužena zrna u pravcu valjanja sa veoma finim dvojnicima žaenja



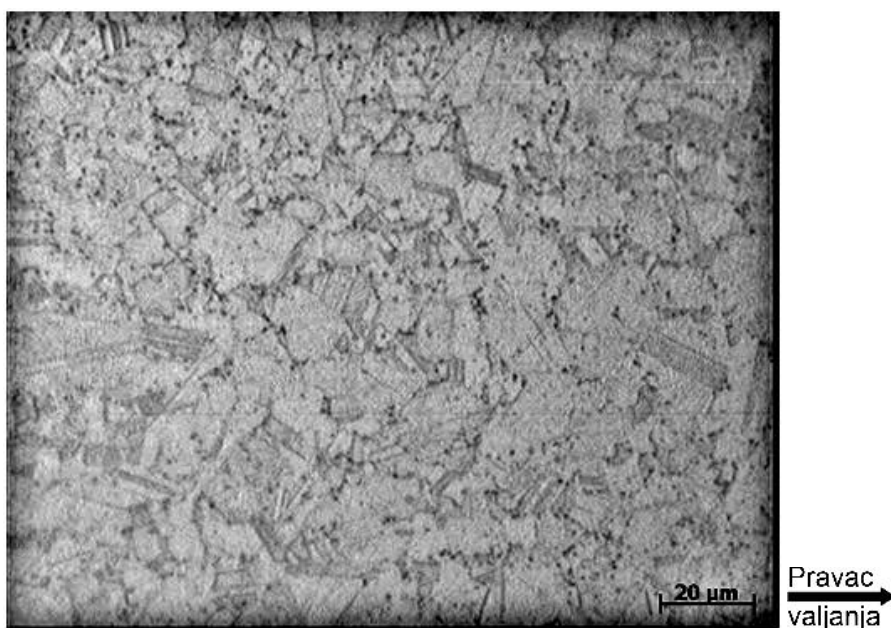
Slika 91.- Legura „L-3”- grupa I. Elementi obrade: temperatura $t = 600^{\circ}\text{C}$, vreme = 15 min, hla enje na vazduhu, ostvorena tvrdo a 76,80HV0.25. Uve anje $\times 200$. Završena rekristalizacija sa sika 87/88; struktura koja se postiže rekristalizacionim žarenjem nakon hladne deformacije, i koja je pogodna za narednu obradu hladnom deformacijom



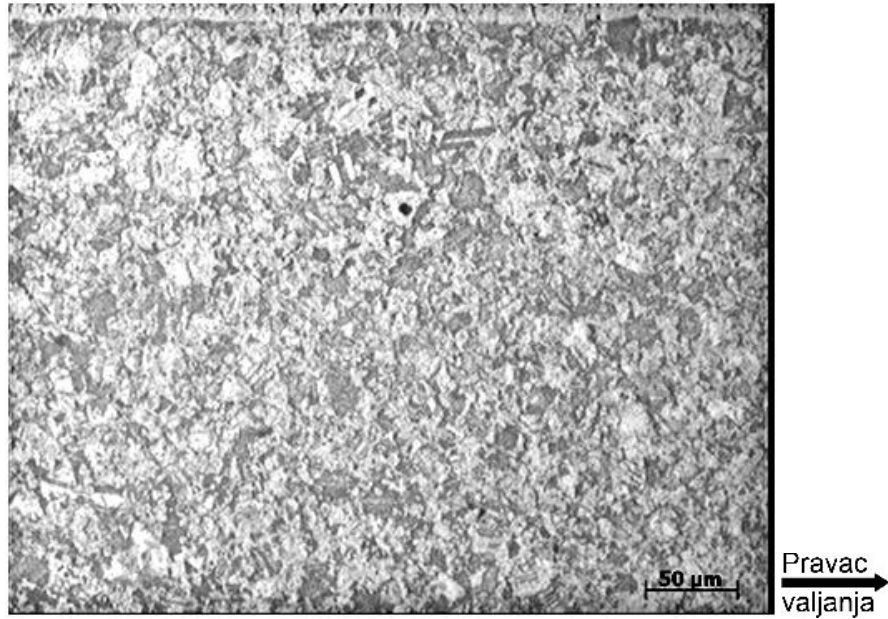
Slika 92.- Legura „L-3”- grupa I. Elementi obrade: kao na sl.91. Uve anje $\times 500$. Završena rekristalizacija sa sika 87/88; rekristalizaciona struktura, pogodna za slede u obradu hladne deformacije



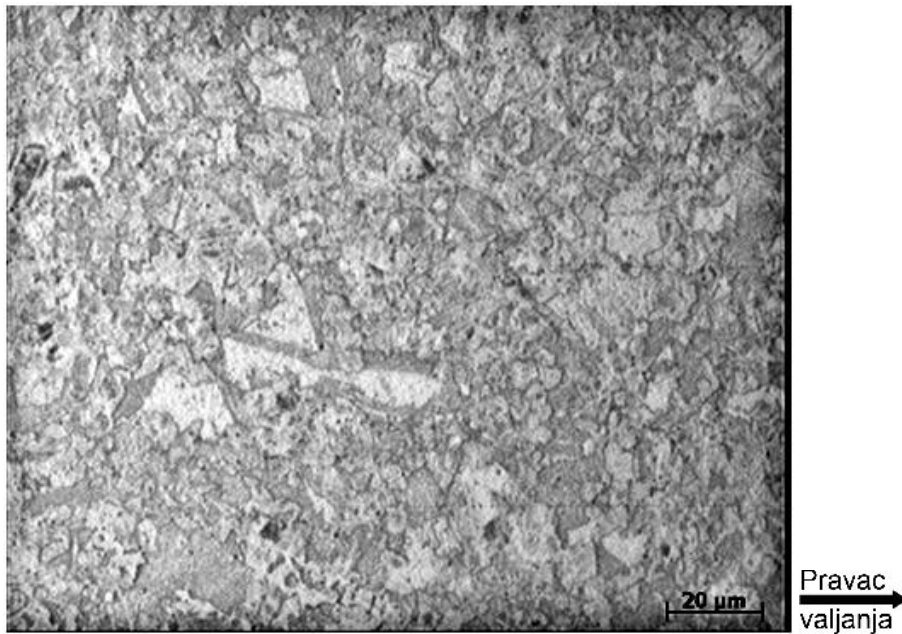
Slika 93.- Legura „L-3”- grupa II. Ta ka „O.S.”- 66,80HV0.25, polazna ta ka na dijagramu slike 84. Uve anje x200. Primarni kristali - vrstog rastvora, dobijenog hla enjem sa 680°C u vodi; sitnozrna struktura sa pojavom dvojnika žarenja



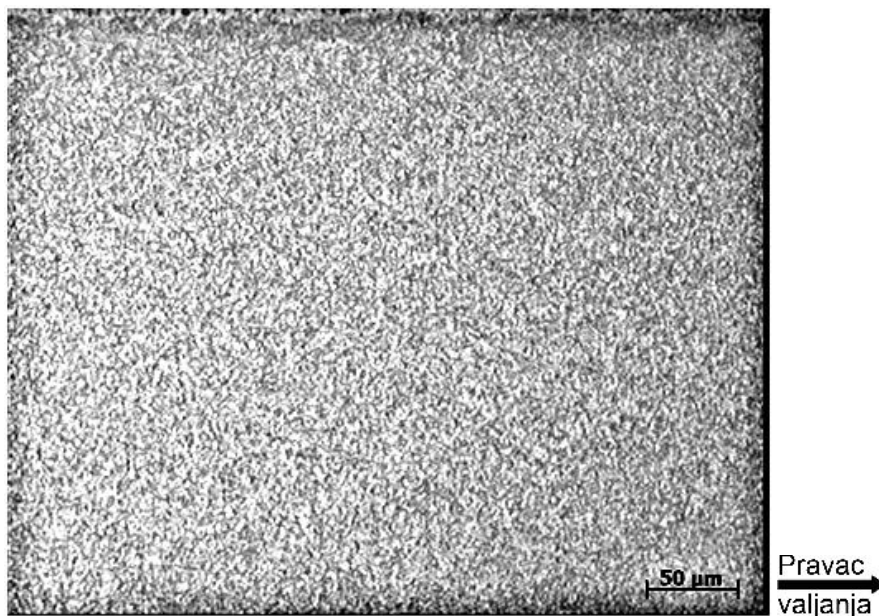
Slika 94.- Legura „L-3”- grupa II. Ta ka „O.S.”- 66,80HV0.25, polazna ta ka na dijagramu slike 84. Uve anje x500, sl.93. Primarni kristali vrstog rastvora, dobijenog hla enjem sa 680°C u vodi; struktura pogodna za dalju obradu



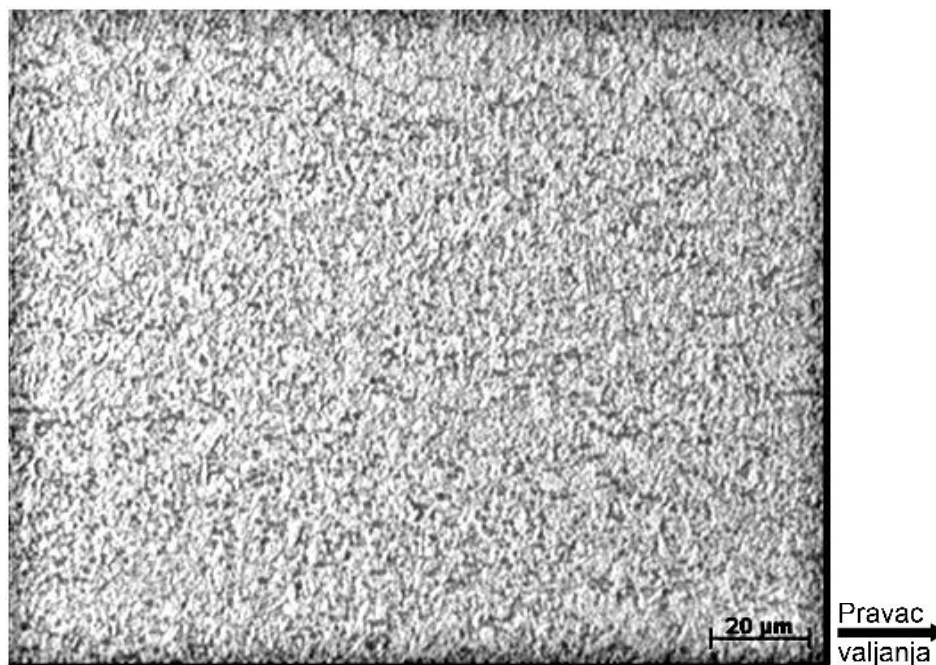
Slika 95.- Legura „L-3“- grupa II. Elementi obrade: temperatura $t = 300^{\circ}\text{C}$, vreme = 15 min, hla enje na vazduhu, maksimalno ostvarena tvrdo a na dijagramu 77,90HV0.25. Uve anje x200; Pove anje tvrdo e usled pojave dvojnika kao i pojave taloga po granicama zrna



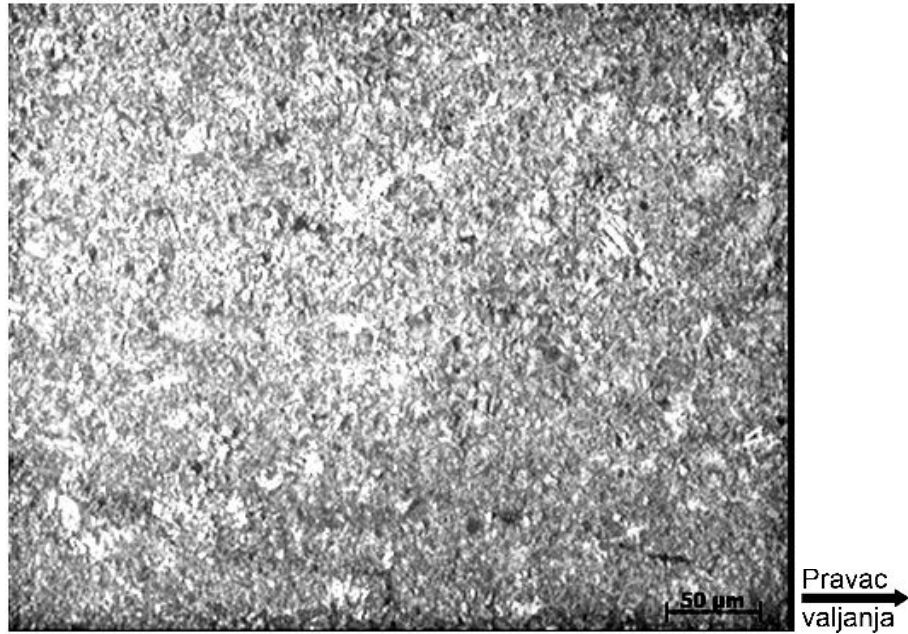
Slika 96.- Legura „L-3“- grupa II. Elementi obrade: kao na slike 95. Uve anje x500. Pove anje tvrdo e usled pojave dvojnika, kao i usled pojave taloga po granicama zrna



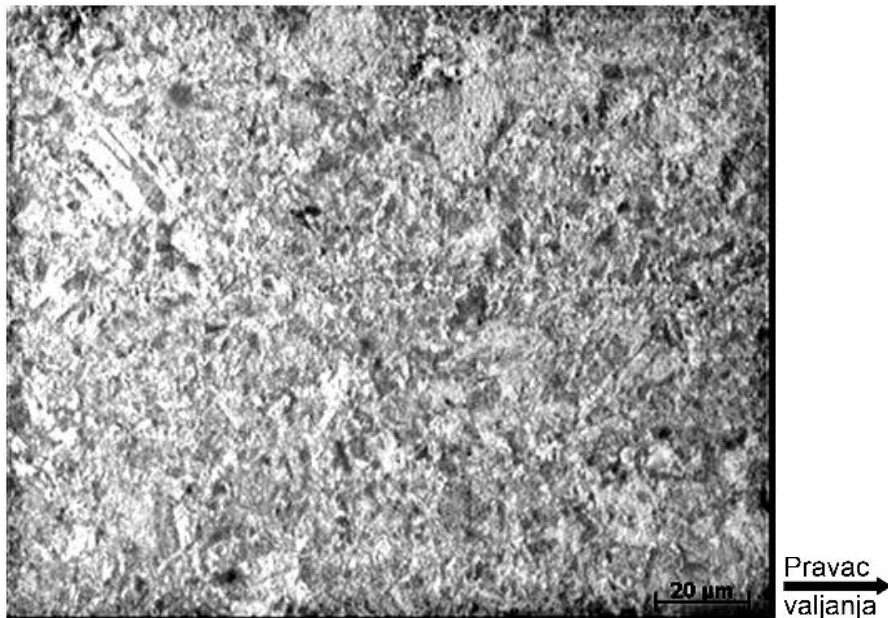
Slika 97.- Legura „L-3“ - grupa II. Elementi obrade: temperatura $t = 600^{\circ}\text{C}$, vreme = 15 min, hla enje na vazduhu, ostvarena tvrdo a 68,20HV0.25. Uve anje x200. Uzorak sa sl.93 ponovo žaren na temperaturi neposredno ispod temperature rekristalizacije; dobijena fina + struktura



Slika 98.- Legura „L-3“ - grupa II; elementi obrade: kao na slike 97. Uve anje x500



Sliak 99.- Legura „L-3”- grupa II. Elementi obrade: temperature $t = 400^{\circ}\text{C}$, $t = 30$ min, hla enje na vazduhu, ostvarena maksimalna tvrdo a od 75,50HV0.25. Uve anje $\times 200$. Struktura veoma sli na strukturi sa slike 95, samo sa višom temperaturom i dužim vremenom trajanja procesa; pojava dvojnika po granicama zrna, kao i pojava taloga



Slika 100.- Legura „L-3”- grupa II. Elementi obrade: kao na sl.99. Uve anje $\times 500$. Struktura veoma sli na strukturi sa slike 96

Na mikrofotografijama se uo ava razlika u mikrostrukturi uzoraka, po ev od žarenog stanja na temperaturi rekristalizacije, preko hladno-valjanog do stanja žarenja na temperaturi starenja. Za svaku ispitivanu ekstremnu ta ku prikazane su po dve mikrofotografije, i to sa uve anjem 200 i 500 puta, u cilju lakšeg sagledavanja mikrostrukturnih promena.

6.7.4.- Rezultati ispitivanja SEM/EDS

Analiza mikrostrukture skeniraju im elektronskim mikroskopom – SEM, ra ena je na ure aju tipa JEOL JSM 6610LV sa EDS – *Oxford instruments energy dispersive spectrometer X MAX SDD*, za hemijsku analizu.

SEM snimanje uzoraka ura eno je u visokom vakumu, od oko 30 μPa , (10^{-8} Pa), u *backscater* modu (BEC), kao i u modu sekundarnih elektrona (SEI). Efektivni pre nik snopa pri EDS analizi, iznosio je 1 μm , a vreme prikupljanja oko 30 sec.

Za SEM/EDS analizu odabrani su reprezentativni uzorci istraživanih legura na bazi zlata (legure L-1 i L-2) kao i legure na bazi srebra (legura L-3), koje su obra ene u optimizovanom režimu termomehani ke obrade starenjem. Osnovni cilj primene SEM/EDS analize je, da se ovim visokorezolutivnim metodama dodatno ispita mikrostruktura i identifikuju, odnosno potvrde o ekivane mikrostrukturne promene koje su nastale u primenjenom režimu termomehani ke obrade, a koje su u direktnoj vezi sa poboljšanjem finalnih funkcionalnih svojstava istraživanih legura.

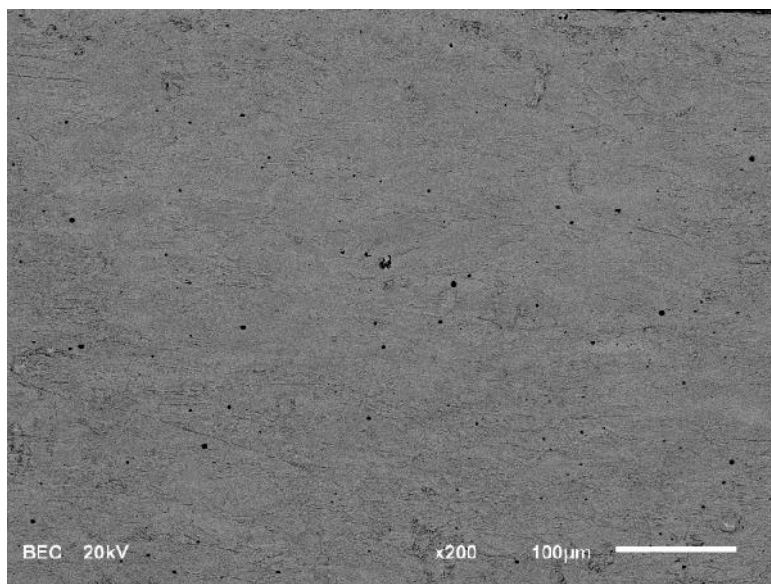
U cilju dobijanja što boljeg uvida u nastale mikrostrukturne promene i njihove pouzdane identifikacije, SEM ispitivanja su vršena sa tri razli ita uve anja na reprezentativnim uzorcima legura na bazi zlata (legure L-1 i L-2), i sa dva razli ita uve anja na reprezentativnom uzorku legure na bazi srebra (legura L-3). Mikrostruturna analiza je ura ena na nagrizanoj, prethodno visoko poliranoj površini popre nog preseka ispitivanih uzoraka. Svi uzorci su nakon poliranja nagrizani [112], zbog potreba opti ke mikroskopije.

Primenom EDS analize ispitan je hemijski sastav za svaki odabrani uzorak istraživanih legura. Ispitivanje je ura eno u pet ta aka. Ispitne ta ke su izabrane tako da se identifikuje hemijski sastav formiranih karkteristi nih faza/dvojnika, kao i što pouzdaniji sastav odnosno udeo konstitutivnih elelmenata u ispitivanim legurama u celini.

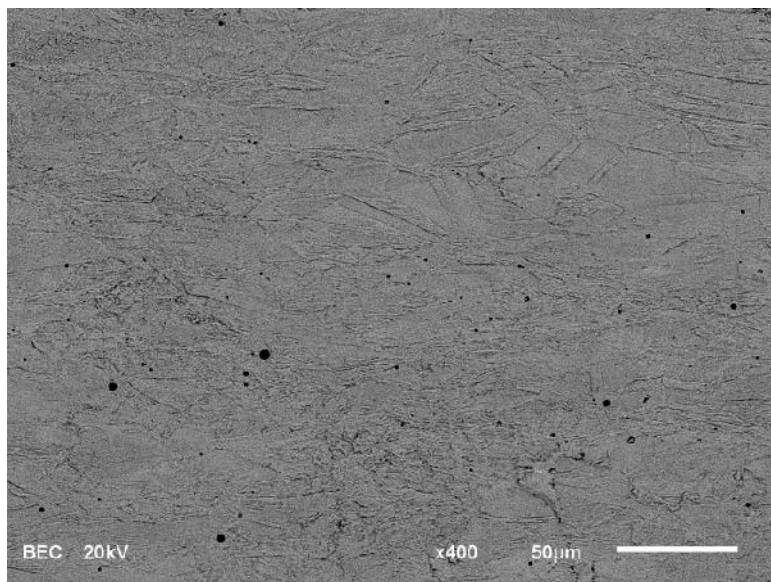
Rezultati EDS analize za svaki ispitani uzorak ura eni su na SEM snimcima sa ozna enim ispitnim ta kama. U radu je prikazan sumarni EDS spektar za svaki analizirani uzorak, uz svaku leguru posebno. Na osnovu EDS spektra, za svaku ispitnu ta ku na analiziranim uzorcima istraživanih legura, izra unat je udeo konstitutivnih elemenata (mas.%), i prikazan tabelarno za odgovaraju i ispitni uzorak ponaosob.

6.7.4.1.- Rezultati ispitivanja SEM/EDS legure „L-1” –Au585Ag90Cu264Zn61

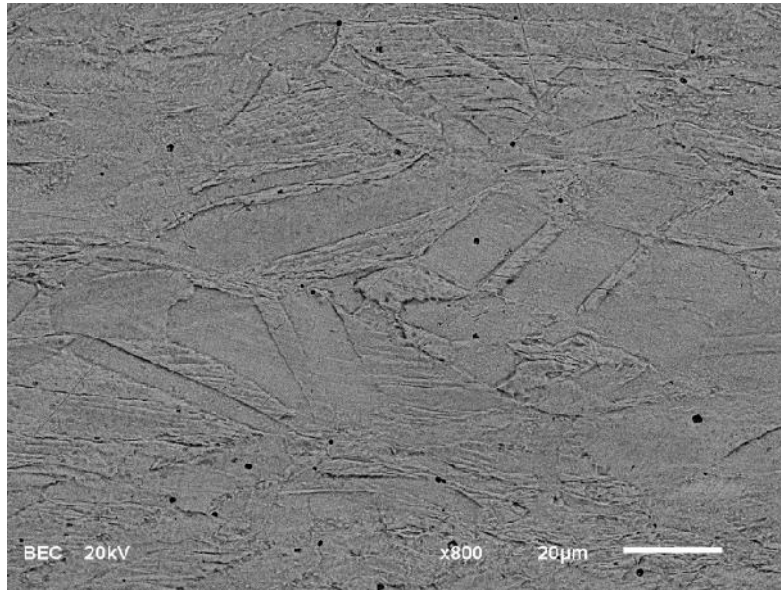
Rezultati ispitivanja SEM, za leguru L-1, grupa I, su za uzorak sa slike 59 opti ke mikrofotografije i prikazani su na slikama 101 do 103, dok je za leguru L-1, grupa II, koriš en uzorak sa slike 62 opti ke mikrofotografije i prikazani na slikama 105 do 107. Za obe grupe odabrani su reprezentativni uzorci, tj. uzorci na kojima su starenjem postignuti maksimalni rezultati o vrš avanja.



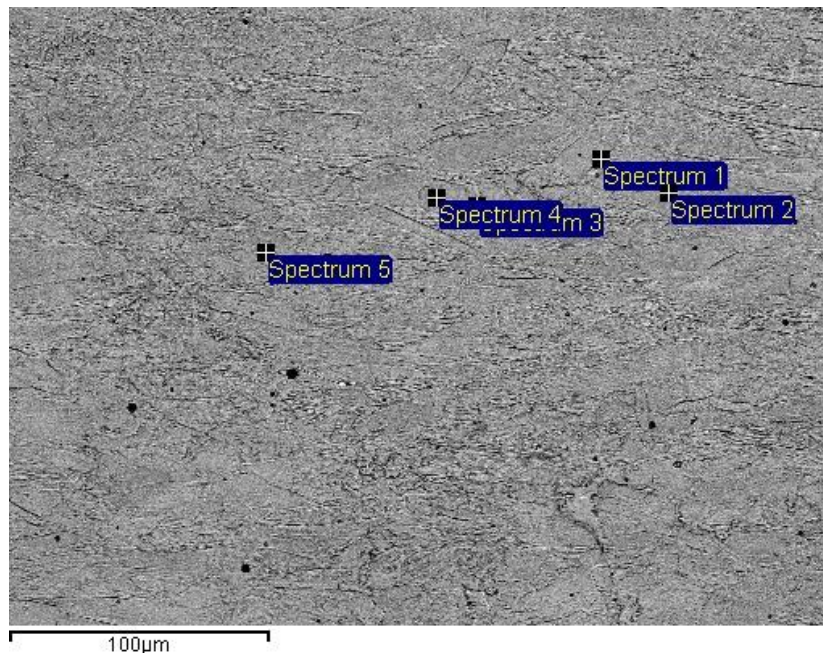
Slika 101.- Izgled snimka ura eno SEM-om, sa uve anjem x200. Uzorak „L-1”, grupa I. Uzorak sa slike 59. Elementi obrade: $t = 200^{\circ}\text{C}$, $t = 30 \text{ min}$, 251.00HV0.25



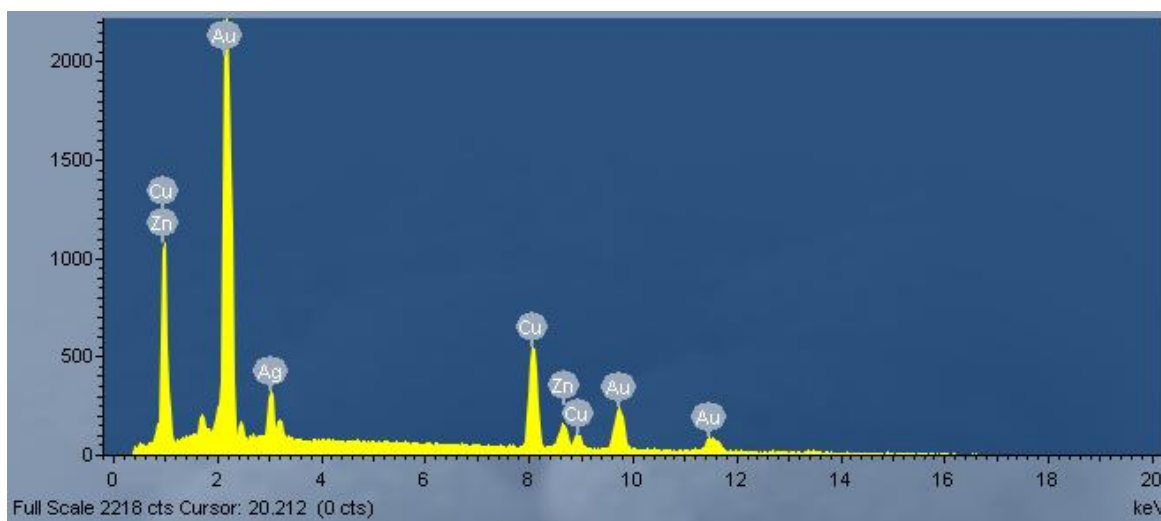
Slika 102.- Izgled snimka SEM, slike 101. Uve anje x400



Sliak 103.- Izzgled snimka SEM, slike 101. Uve anje x800. Istaknuta pojava dvojnika u strukturi



Slika 104.- Prikaz slike 102 sa ta kama za ispitivanje hemijskog sastava. Uve anje x400

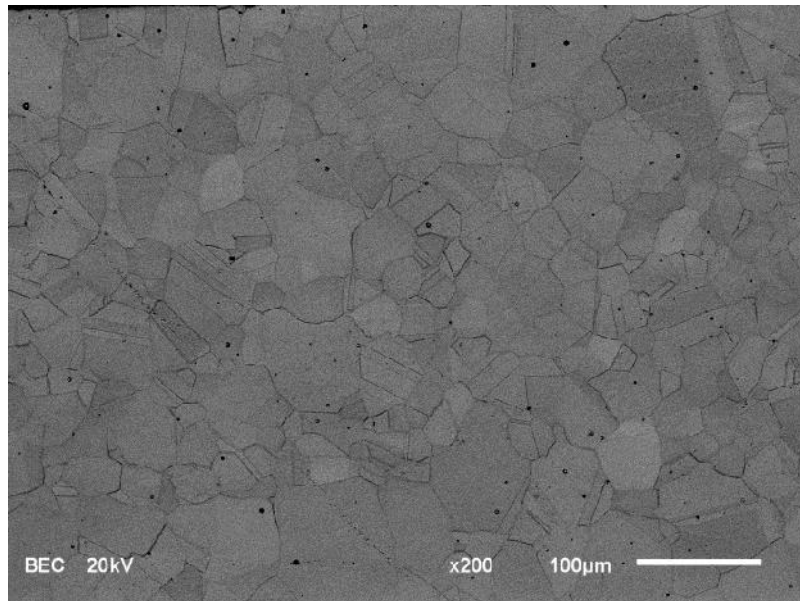


Slika 105.- Rezultati EDS analize uzorka sa slike 101

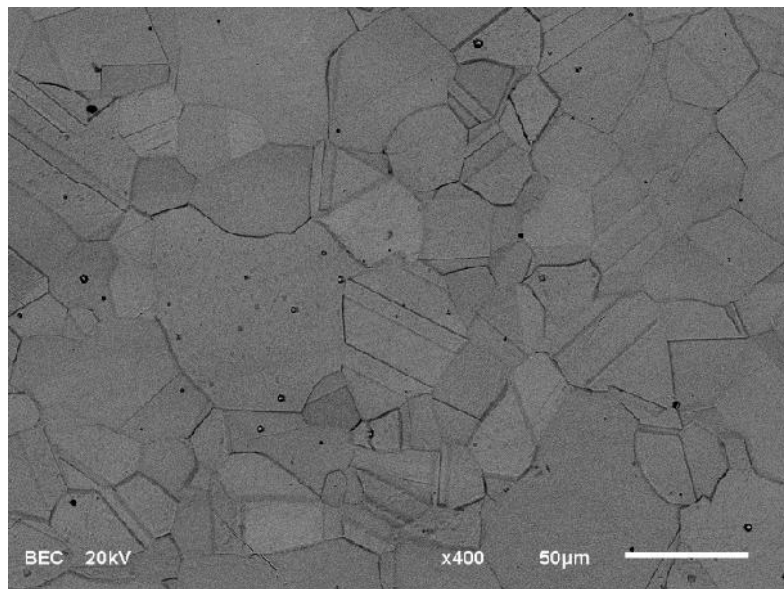
Tabela 7.- Sadržaj komponenata legure u pojedinim ta kama prema slici 104

Spektar	Cu, wt%	Zn, wt%	Ag, wt%	Au, wt%	Total, wt%
Spectrum 1	25.56	7.49	7.93	59.03	100.00
Spectrum 2	23.86	7.15	7.77	61.22	100.00
Spectrum 3	24.97	6.36	7.16	61.51	100.00
Spectrum 4	24.36	6.19	7.60	61.86	100.00
Spectrum 5	24.02	6.91	7.72	61.34	100.00
Srednjavrednost	24.56	6.82	7.63	60.99	100.00
Std. devijacija	0.71	0.54	0.29	1.13	-
Max.	25.56	7.49	7.93	61.86	-
Min.	23.86	6.19	7.16	59.03	-

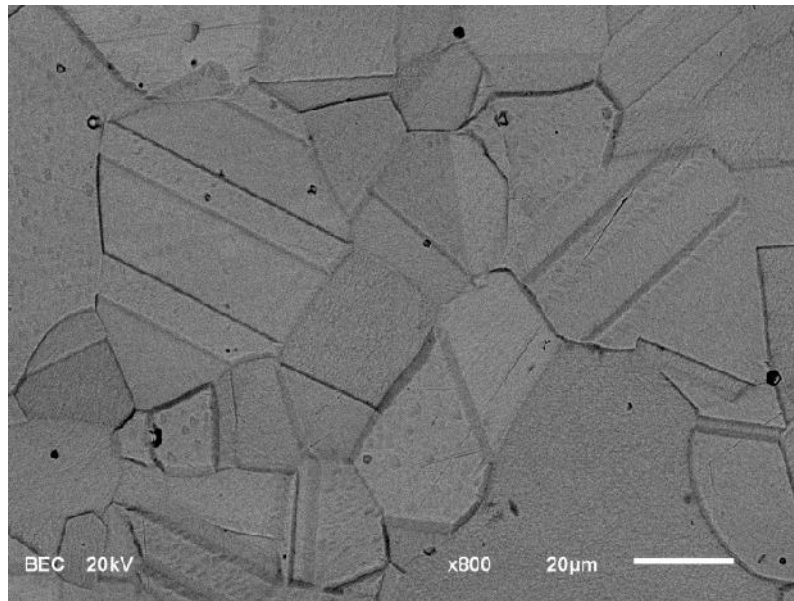
Kao što je ve re eno, na slikama 101, 102 i 103, prikazane su mikrofotografije ura ene Skeniraju om elektronskom mikroskopijom – SEM, sa razli itim uve anjima, i to: 200, 400 i 800 puta, za uzorak sa slike 59. Na slici 104, sa uve anjem od 400 puta, u pojedinim karakteristi nim ta kama uzorka (mesta dvojnika i sl.) odre en je hemijski sastav legure na nivou mikrokonstituenta, i prikazano je za pojedine ta ke u tabeli 7. Merenje je ra eno u sredini zrna, odnosno nije ra eno po granici zrna.



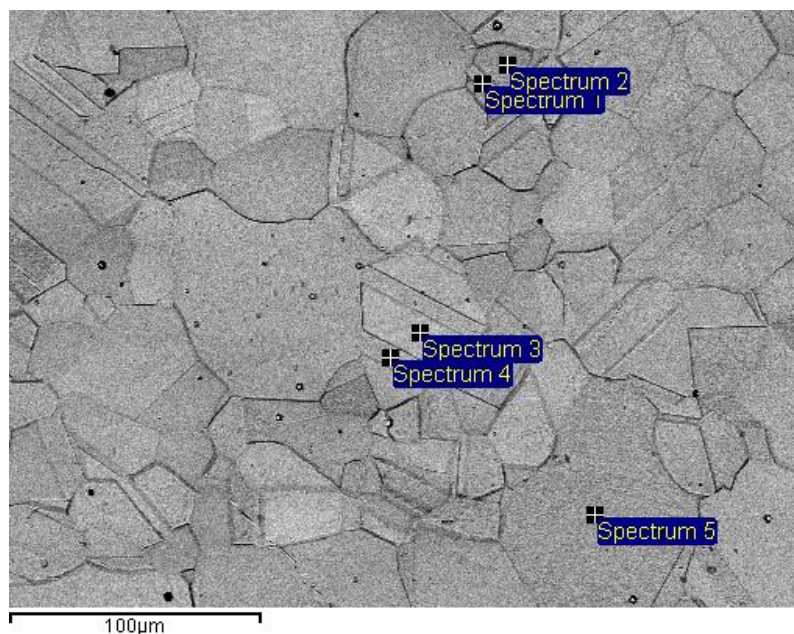
Slika 106.- Izgled snimka ura enom ure ajem SEM, sa uve anjem x200;Uzorak: „L-1”, grupa II, uzorak sa slike 62. Elementi obrade: $t = 200^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30 \text{ min}$, 169.80HV0.25



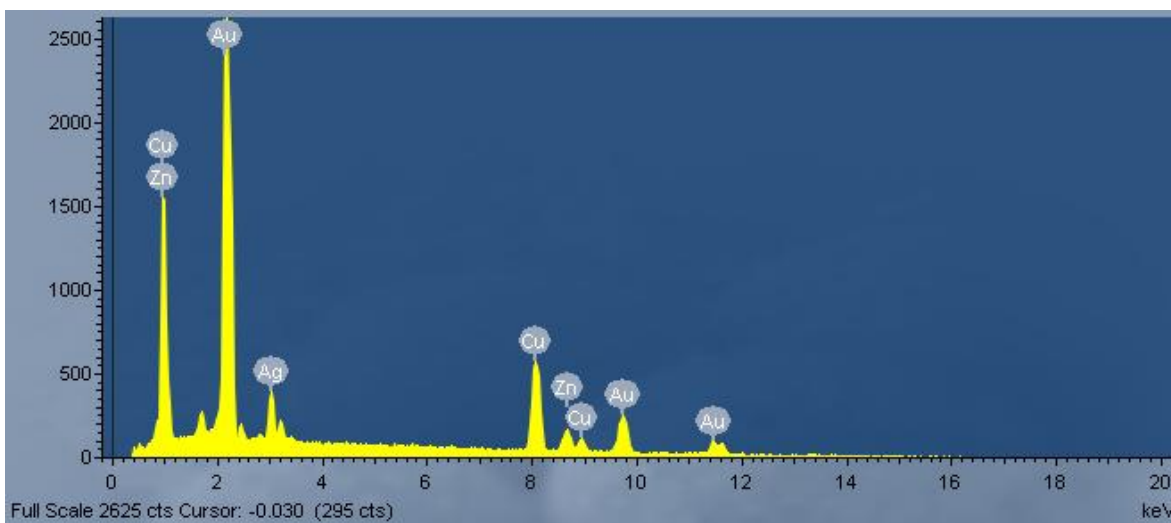
Slika 107.- Izgled snimka SEM sa slike 106, sa uve anjem x400. Isti e se pojava dvojnika žarenja u strukturi legure



Slika 108.- Izgled dela slike 106, snimak SEM-a, sa uve anjem od x800. Izrazito istaknuti dvojnici žarenja



Slika 109.- Prikaz ispitnih ta aka za odre ivanje hemijskog sastava sa slike 107. Uve anje x400



Slika 110.- Rezultati EDS uzorka sa slike 106

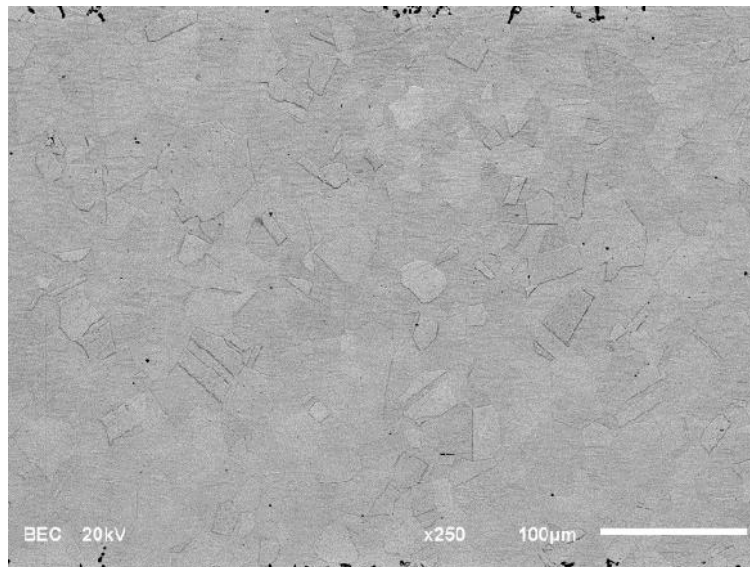
Tabela 8.- Sadržaj komponenata legure u pojedinim ta kama, prema sl.109

Spektar	Cu, wt%	Zn, wt%	Ag, wt%	Au, wt%	Total, wt%
Spectrum 1	23.91	6.75	8.27	61.07	100.00
Spectrum 2	24.77	6.88	7.11	61.23	100.00
Spectrum 3	23.94	7.19	7.94	60.94	100.00
Spectrum 4	24.50	6.71	7.92	60.87	100.00
Spectrum 5	24.09	6.49	8.26	61.16	100.00
Srednjavrednost	24.24	6.80	7.90	61.06	100.00
Std. devijacija	0.38	0.26	0.47	0.15	-
Max.	24.77	7.19	8.27	61.23	-
Min.	23.91	6.49	7.11	60.87	-

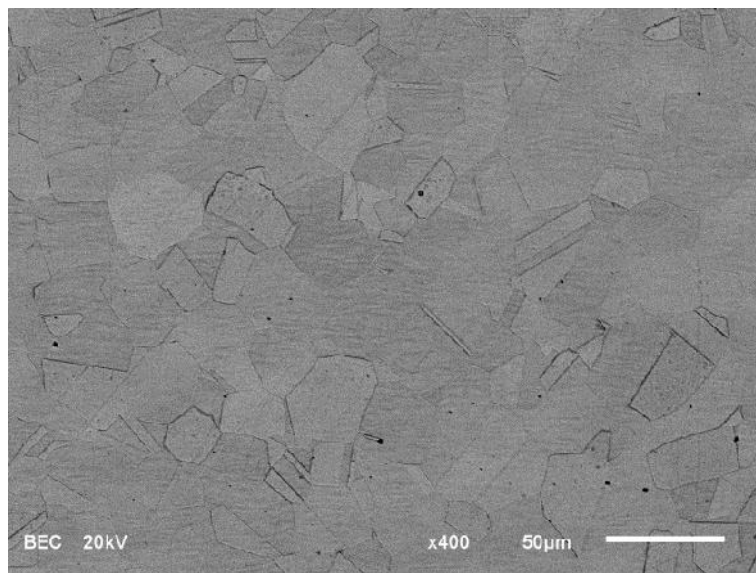
Slike 106 do 110, uklju uju i i tabelu 8, prikazuju rezultate SEM analize za uzorak legure „L-1”, grupa II, uzorak sa slike 62, opti ke mikroskopije, sa slede im elementima obrade: temperature $t = 200^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvarena tvrdo a 168,80HV0.25, što predstavlja maksimum ostvarene tvrdo e na dijagramu.

6.7.4.2.- Rezultati ispitivanja SEM/EDS legure „L-2” – Au585Ag65Cu277Zn16Pd57

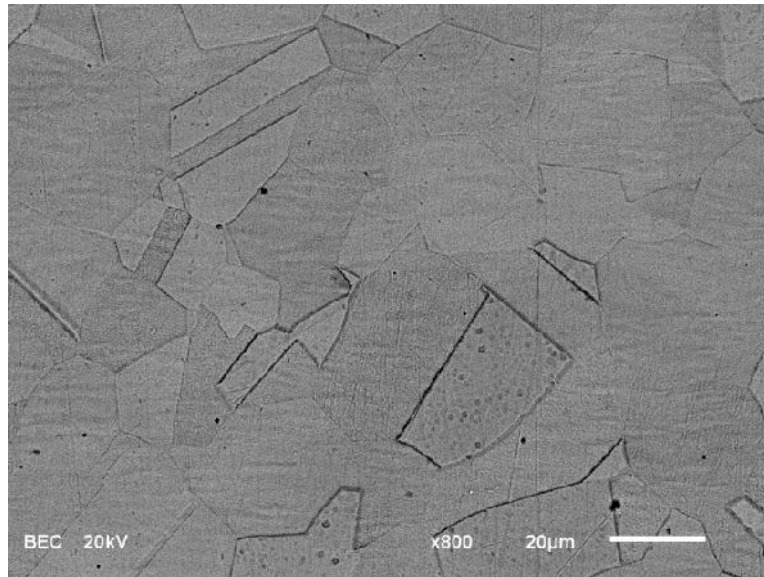
Za ispitivanje SEM/EDS, kod legure „L-2”, „belo zlato”, koriš en je uzorak iz grupe II, sa slede im elementima obrade: temperature starenja $t = 300^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, ostvarena tvrdo a 224,00HV0.25, što je maksimalno ostvarena tvrdo a na dijagramu slike 67. Ispitivani uzorak je prikazan opti kom mikroskopijom na slici 78, pri uve anju x200, kao i na slici 79, pri uve anju x500.



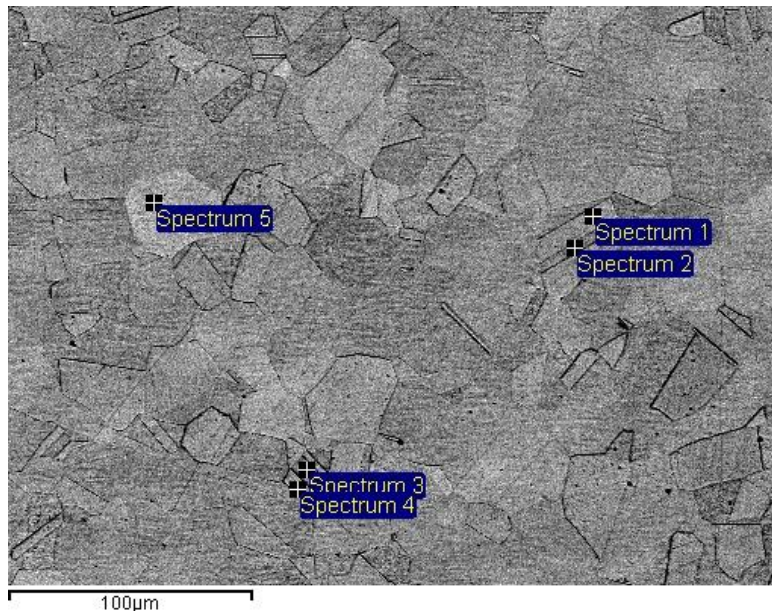
Slika 111.- Izgled snimka ura enom na ure aju SEM, sa uve anjem x250. Uzorak „L-2”, grupa II. Uzorak sa slika 78/79, opti ke mikrofotografije. Elementi obrade: $t = 300^{\circ}\text{C}$, $t = 30 \text{ min}$, ostvarena tvrdo a 224,00HV0.25



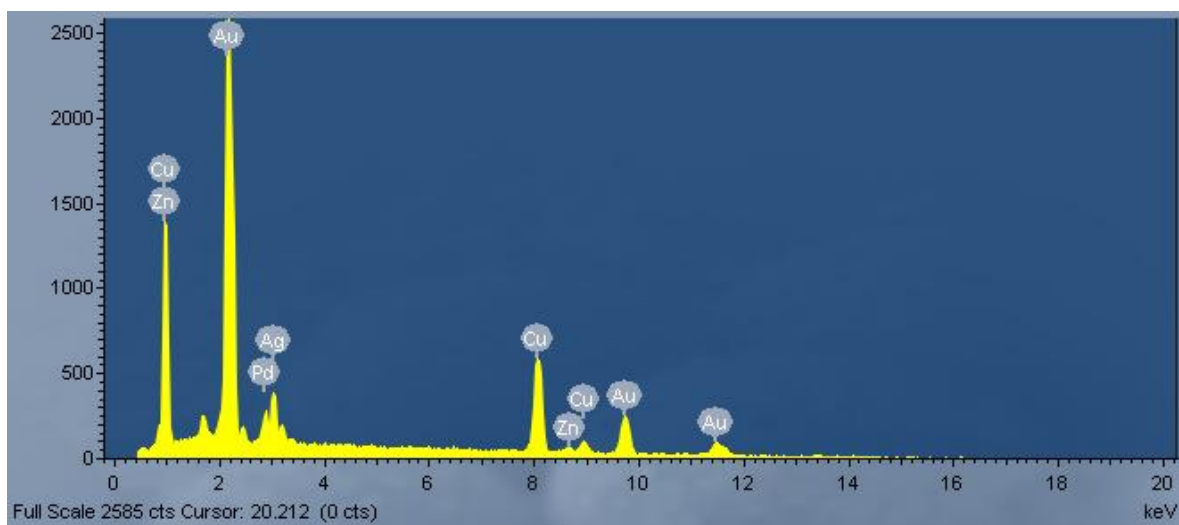
Slika 112.- Izgled snimka SEM sa slike 111, pri uve anju x400. Pojava dvojnika žarenja u strukturi legure



Slika 113.- Izgled snimka SEM sa slika 111/112, pri uve anju x800. Izrazito izraženi dvojnici žarenja



Slika 114.- Ispitne ta ke za odre ivanje hemijskog sastava, slike 112. Uve anje x400



Slika 115.- Rezultati EDS uzorka sa slike 111

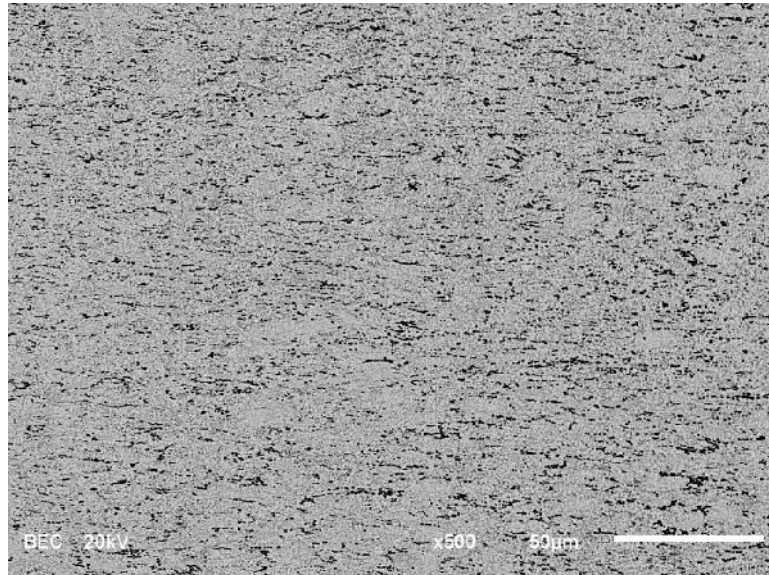
Tabela 9.- Sadržaj komponenata legure u pojedinim ta kama, prema slici 114;

Spektar	Cu, wt%	Zn, wt%	Pd, wt%	Ag, wt%	Au, wt%	Total, wt%
Spectrum 1	25.70	1.23	5.01	7.00	61.07	100.00
Spectrum 2	26.45	1.28	5.33	5.89	61.05	100.00
Spectrum 3	26.21	1.10	5.41	6.57	60.71	100.00
Spectrum 4	26.04	1.34	5.68	6.21	60.73	100.00
Spectrum 5	26.88	1.26	5.54	5.84	60.48	100.00
Srednjavrednost	26.26	1.24	5.39	6.30	60.81	100.00
Std. devijacija	0.44	0.09	0.25	0.49	0.25	-
Max.	26.88	1.34	5.68	7.00	61.07	-
Min.	25.70	1.10	5.01	5.84	60.48	-

Na slikama 111 do 115, uklju uju i i tabelu 9, prikazana je obrada uzorka sa slika 78/79, opti ke mikrofotografije, za leguru „L-2”, „belo zlato”, grupa II, sa ve opisanim elementima obrade. Treba samo napomenuti da je ovo uzorak na kome je ostvorena maksimalna vrsto a pri starenju legure, i da je uzorak iz grupe II, što predstavlja da je prethodno žaren na temperaturi rekristalizacije, shodno tabeli 6.

6.7.4.3.- Rezultati ispitivanja SEM/EDS legure „L-3” – Ag925Cu75

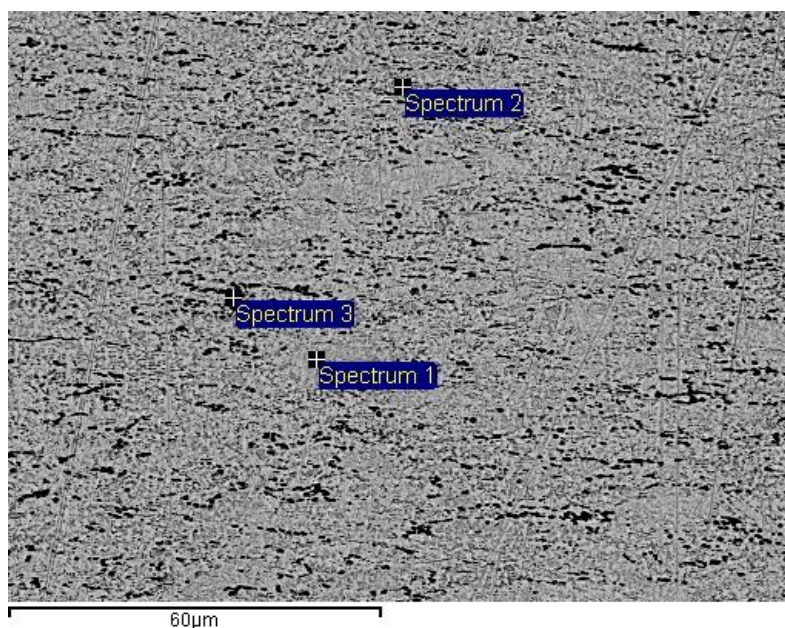
Za leguru „L-3“, ispitivanje SEM-om, odabran je uzorak iz grupe I, prikazan na slikama 89/90, sa uve anjem x200, odnosno x500, i sa slede im elementima obrade: temperatura starenja: $t = 200^{\circ}\text{C}$, vreme = 30 min, hla enje na vazduhu, sa ostvarenom tvrdo om 133,50HV0.25, što predstavlja maksimalnu vrsto u na dijagramu slici 82.



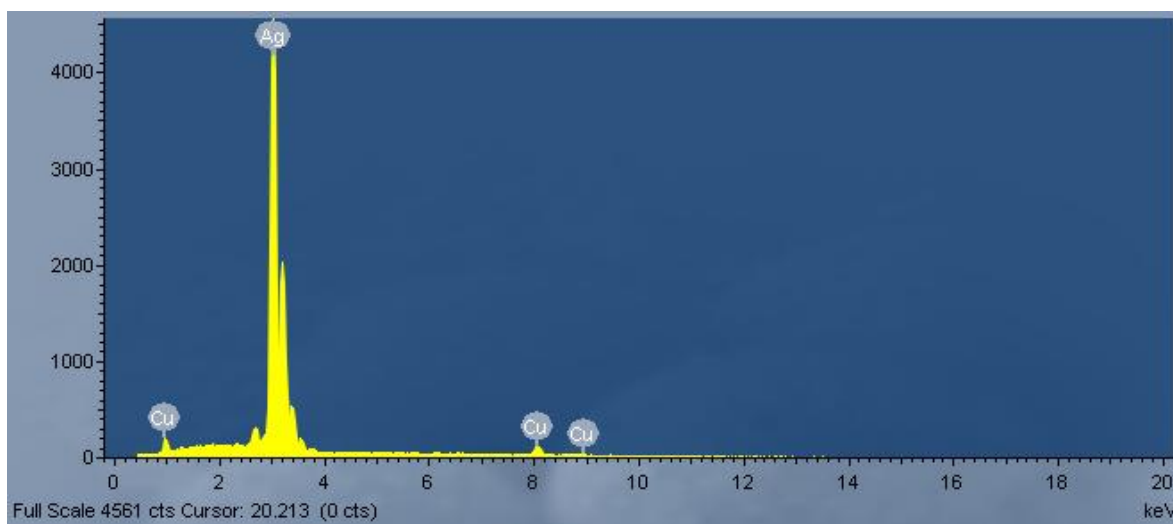
Slika 116.- Izgled snimka uzorka „L-3”, Grupa I, ura enom ure ajem SEM, sa uve anjem x500, uzorka sa slika 89/90 opti ke mikrofotografije. Elementi obrade: $t = 200^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30 \text{ min}$, $133,50\text{HV}0.25$



Slika 117.- Izgled snimka SEM sa slike 116, pri uve anju x1000



Slika 118.- Ispitne ta ke za odre ivanje hemijskog sastava, slika 117. Uve anje x1000



Slika 119.- Rezultati EDS uzorka sa slike 116;

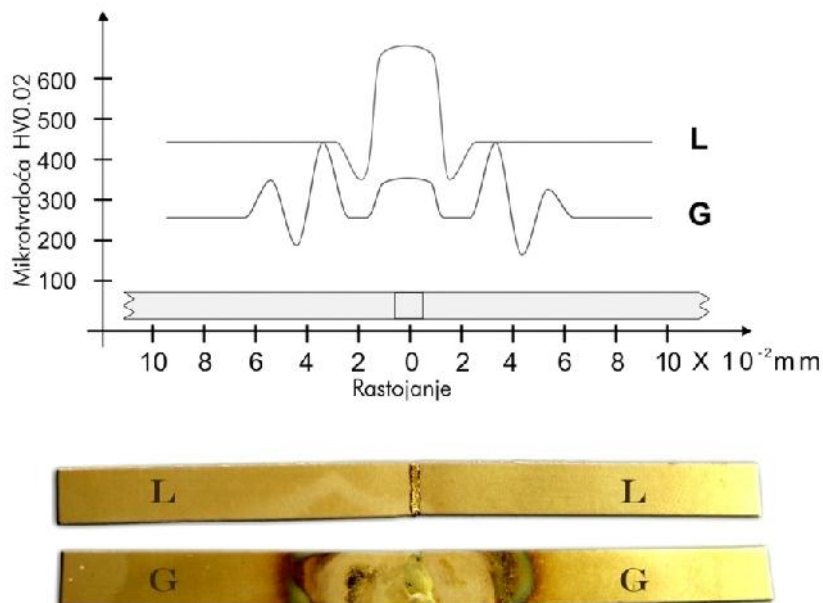
Slike 116 do 119 , prikazuju obradu uzorka sa slike 89/90, opti ke mikrofotografije, za leguru „L-3”, grupa I, legura srebra. U tabeli 10, prikazan je hemijski sastav u pojedinim ta kama uzorka na slici 118. Ovaj uzorak je sa ostvarenom maksimalnom vrsto om uzorka, pri ozna enoj obradi, grupa I.

Tabela 10.- Sadržaj komponenata legure „L-3”, u pojedinim ta kama, prema slici 118

Spektar	Cu, wt%	Ag, wt%	Total, wt%
Spectrum 1	4.68	95.32	100.00
Spectrum 2	5.16	94.84	100.00
Spectrum 3	4.76	95.24	100.00
Srednjavrednost	4.87	95.13	100.00
Std. devijacija	0.25	0.25	-
Max.	5.16	95.32	-

6.7.5.- Rezultati ispitivanja laserom, legure „L-1” – Au585Ag90Cu264Zn61

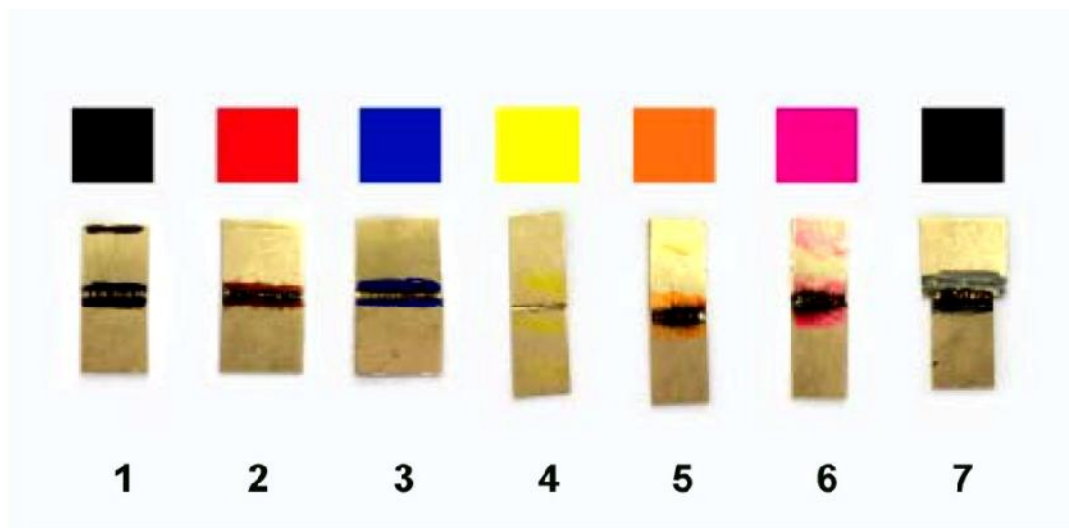
Koriš enje lasera u proizvodnji nakita u zlatarstvu, najviše se primenjuje prilikom zavarivanja bez ili sa dodatkom materijala. Za ispitivanje u radu koriš ena je legura „L-1”, grupa I, po etnog stanja (O.S), tj. bez obrade starenjem.



Slika 120.- Dijagram promene mikrotvrdo e, HV0.02, na dva uzorka zavarenih laserom (L), i zalemljenih gasom (G). Razmera uzoraka 1:1. Legura „L-1“, grupa I, „O.S“

Na slici 120, prikazana je uporedna analiza promene mikrotvrdo e HV0.02 kod uzoraka zavarenih laserom (L) i zalemljenih gasom (G), u zavisnosti od rastojanja od mesta vara [57,58].

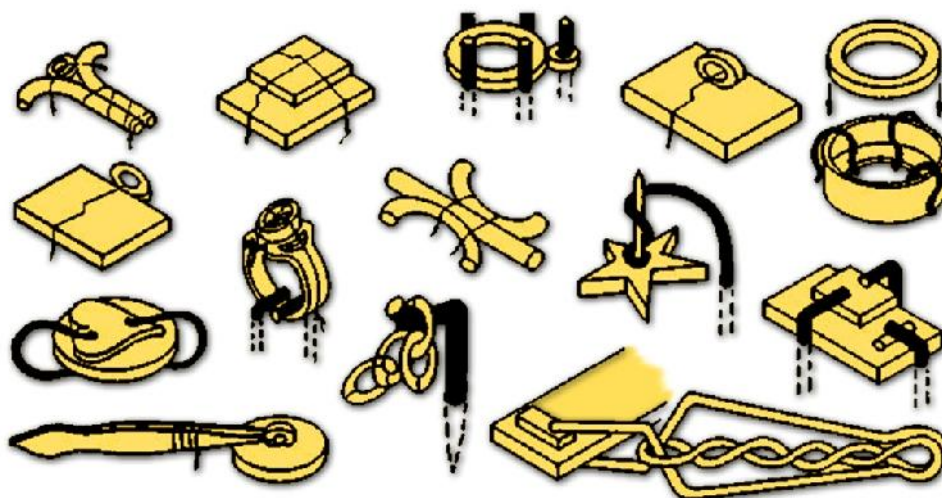
Kao što je re eno u ta . 3.4.1, i u ta . 5, ovoga rada, najve i problemi prilikom zavarivanja su refleksija koja se stvara prilikom zavarivanja, i rasipanje energije, [54,57]. Da bi se smanjila refleksija, a samim time pove ala apsorpcija, kod legura zlata, ura ena je proba ispitivanja zatamnjenjem zone delovanja lasera. To je ura eno obi nim test-markerom razli itih boja. Nanošenjem tankog sloja boje test-markera, za nekoliko sekundi ostaje tako e tanka prevlaka, slika 121, [54,59].



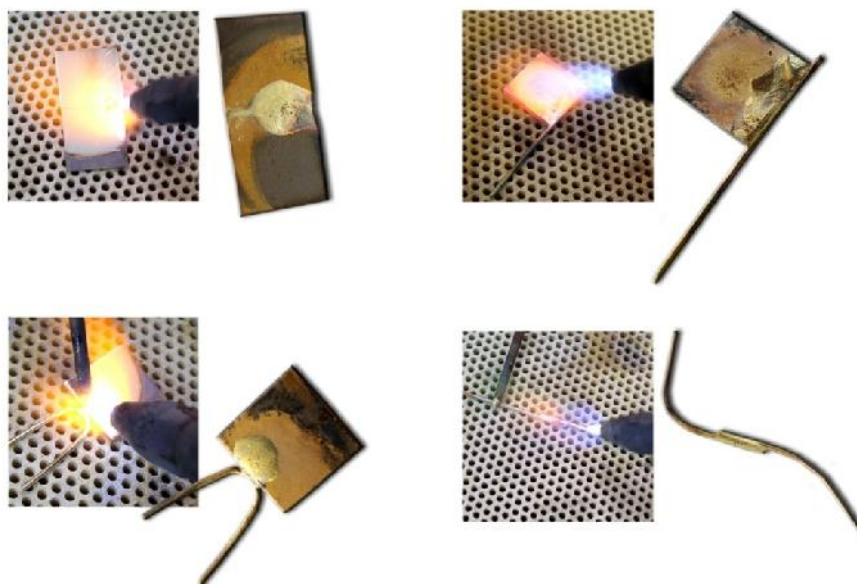
Slika 121.- Makrosnimci (fotografije ura ene u beloj komori) zavarenih laserom plo ica legure „L-1“, grupa I, „O.S.“, premazanih test-markerima razli itih boja

Koriš enje lasera, posebno se primenjuje za zavarivanje sitnih delova: drža a kamena na prestenu, naušnici i sl. (krapnice), naro ito u slu ajevima reparacije nakita. Tako e se koristi za privarivanje i pri vrš ivanje nakita, kao priprema iz poluproizvoda za lemljenje gotovih proizvoda, [122].

Na slici 122, prikazani su razni sitni delovi nakita, koji su pripremljeni za lemljenje, konvencionalnim metodama, a to je vezivanjem žicom, stezanjem, i sl. Potom je na slici 123, prikazan na in lemljenja plamenom, što zauzima dosta prostora i vremena za iš enje samih poluproizvoda. Slika 124, prikazuje mogu nosti privarivanja i pri vrš ivanja delova raznih oblika i veli ina, što se izvodi, prakti no, bez pomo nog pribora i alata, a nakon toga može da se u zaostale praznine, izme u delova proizvoda, izvrši finalna dorada sa lemom, koji poseduje nižu ta ku topljenja od ta ke topljenja osnovnog materijala [122]. Razmera svih poluproizvoda i proizvoda je 1:1.



Slika 122.- Delovi nakita pripremljeni za lemljenje konvencionalnom metodom



Slika 123.- Priprema poluproizvoda, slu ajnim izborom, za izradu gotovog proizvoda, lemljenjem plamenom

Nakon uporednog posmatranja i pra enja zavarivanja laserom i lemljenja plamenom, slede i korak u prou avanju ponašanja legure je izrada opti kih mikrofotografija za pojedine karakteristi ne preseke. Važno je sagledati promenu materijala u blizini vara ili lema, kao i sagledati mogu nost pojave grešaka prilikom rada.

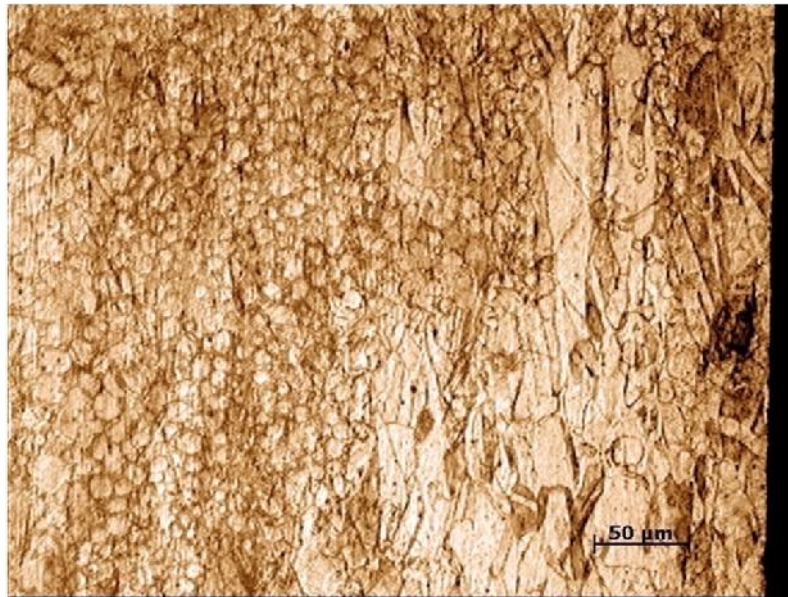


Slika 124.- Priprema poluproizvoda, slu ajno odabranih, za izradu gotovih proizvoda, zavaranih laserom;

Slika 125, prikazuje mikrofotografiju, ura enu opti kom mikroskopijom, na samom varu laserom, gde je prikazana struktura dela vara, u obliku „klina“, koji je nastao topljenjem i zavarivanjem laserom osnovnog materijala, dok je na slici 126, prikazana ova ista struktura, samo u zoni uticaja toplote [4].



Slika 125.- Legura „L-1“. Lim hladno deformisan, = 30% i zavarjen laserom; vidljivi razli iti oblici zrna pri lokalnom zagrevanju. Uve anje x200



Slika 126.- Uzorak sa sl.125, samo prikaz dela vara sa prikazom zone uticaja toplote (ZUT). Uve anje x200



Slika 127.- Legura „L-1“, žareno stanje. Neposredno pored mesta lemljenja gasom. Krupnozrna rekristalizovana struktura, sa velikim brojem dvojnika. Uve anje x200

7.- DISKUSIJA

Kompleksnost proizvodnje nakita, usled velikog asortimana i kompletne izrade proizvoda na jednom mestu, sa ve im brojem razli itih obrada: livenje, valjanje, duboko izvla enje, savijanje, prosecanje, ru na obrada, lemljenje i zavarivanje, kao i razni oblici termi ke obrade, neminovno dovode proizvod u jedno termodinami ki nestabilno stanje [19,123,124,125]. U svim ovim postupcima prerade, postoji mogu nost nekog specifi nog unutrašnjeg problema, posebno kada se na kraju proizvodu postavljaju specijalni estetski zahtevi, visoki sjaj a posebno koroziona postojanost. Materijal koji poseduje mogu nost oja avanja legura starenjem, nudi prednost da, mašinski ili ru no proizveden zlatarski proizvod, nakon izrade, u jednom termodinami ki nestabilnom stanju, sa zaostalim naponima unutar samog materijala i proizvoda, putem relativno jednostavne termi ke obrade, proizvede u oja an proizvod, pove ane tvrdo e i vrsto e u odnosu na polazne veli ine.

Prou avanje i poznavanje trojnog dijagrama stanja Au-Ag-Cu, zahteva prethodno dobro poznavanje dvojnih dijagrama stanja: Au-Ag, Au-Cu i Ag-Cu. Na slikama 2, 3 i 4, prikazani su dvojni dijagrami stanja, koji, ustvari, predstavljaju osnovu za konstrukciju trojnog dijagrama stanja. Fazni preobražaji kao i rastvorljivost pojedinih elemenata po inje od dvojnih dijagrama stanja, koji se prostiru po koncentracionim osama trojnog dijagrama stanja. U ta .3.2. sagledane su promene koje se dešavaju u dvojnim dijagramima stanja i koje su bitne prilikom konstrukcije i pri razjašnjenju promena u trojnom dijagramu stanja Au-Ag-Cu.

Primena i koriš enje tro- i više-komponentnih legura za proizvodnju nakita, zahteva poznavanje, u ovom sluaju dijagrama stanja Au-Ag-Cu. U ta .3.3, posebno je obra ena konstrukcija dijagrama, koriste i horizontalne preseke, dobijene uglavnom eksperimentalnim putem [7,8,15,41] prikazano na slici 17 do slike 23. Za prou avanje faznih promena u trojnom dijagramu jednaku važnost imaju i vertikalni preseki, što je na slici 24 prikazano za tipove legura koje se naj eš e koriste u proizvodnji nakita i to za legure sa konstantnom koli inom zlata od 416‰, 585‰ i 750‰ [40], obzirom da ovi dijagrami daju razjašnjenja otvrdnjavanja i pove anja vrsto e legure sa pojavom taloga, nakon hla enja iz jednofaznog podru ja i starenju u dvofaznom podru ju. Tabela 2 posebno definiše ravnotežne ta ke, kod trojnog Au-Ag-Cu dijagrama, po ev od trojnog eutektikuma pa do sobne temperature. Prilikom izrade nakita, posebno treba obratiti pažnju u kom se podru ju trojnog dijagrama nalazi legura [15,42,43], da bi na taj na in postojala mogu nost da se unapred odredi približna temperatura starenja, da prilikom eksploatacije ne bi došlo do uticaja sredine na zaostale napone u proizvodu i do pojava naprslina.

Savremena proizvodnja nakita iziskuje savremenu opremu, koriš enjem svih blagodeti današnjice u XXI veku, ali i sa svim prisutnim novim problemima. Jedna od tih blagodeti je upotreba laserske tehnike u zavarivanju delova nakita. Najviše koriš en tip

lasera u proizvodnji nakita je: Nd³⁺YAG, sa mogu noš u zavarivanja do pre nika vara Ø0.2 mm, veoma precizno, obzirom da se radi pomo u stereoskopskog mikroskopa sa rešetkom. Me utim problemi nastaju usled reflektivnosti plemenitih metala, što je posebno obra eno u ta .3.4.1 [54,126,127]. Reflektivnost se kod plemenitih metala kre e od 0.90 do 0.95, što ustvari predstavlja odnos reflektovanog i upadnog svetlosnog zraka [19,58]. Na slikama 28 i 29, prikazana je zavisnost koeficijenta refleksije od energije zra enja za legure zlata sa paladijumom i srebrom.

U radu se posebno obratila pažnja na boju legure zlata, obzirom da su kod korisnika proizvoda prisutni pojmovi „žuto“ i „belo“ zlato. Bez obzira, što je zlato metal izuzetno lepe žute boje, legiranjem sa bakrom, koji je crvene boje, i srebrom, koji je poznate metalne –srebrne boje, dobija se veliki izbor boja, slika 31 [67].

Poznato je da zakon ne poznaje boje, ve samo fino u, i propisuje konstantnu koli inu zlata u leguri. Na proizvo a u je da odabere odgovaraju u boju legure, koja e mu omogu iti dobar pristup na tržištu. Da bi izbor boja funkcionisao potrebno je utvrditi sistem za odre ivanje boja, što je i u injeno sa CIELAB [66] sistemom, koji se najviše koristi u svetu, dok se ostali sistemi parcijalno koriste [39,63,64,65]. Za proizvodnju nakita koriste se legure u velikom dijapazonu boja. Metalurški posmatrano, dobijanje razli itih boja legura zlata, klasifikuje se u tri kategorije:

- °- trojni dijagram stanja Au-Ag-Cu i veza izme u boje i sastava, slika 31 [67];
- °- boje intermetalnih jedinjenja, slike 32, 33 i 34 [39];
- °- obojeni površinski oksidni slojevi [71].

Uticaj dodatnih legiranih elemenata na legure Au-Ag-Cu sistema, za proizvodnju nakita, može se posmatrati u dva pravca:

- °- uticaj na kvalitet legure;
- °- uticaj na boju legura.

Da bi postojala mogu nost ispitivanja legura za proizvodnju nakita po pitanju kvaliteta i boje, veoma je važno odrediti koje su to konstantne veli ine. U ovom slu aju konstantne veli ine su masa zlata (58,5 mas.%), kod legura za proizvodnju nakita od zlata, bez obzira da li je „žuto“ ili „belo“ zlato, i masa srebra (92,5 mas.%), kod legura za proizvodnju nakita od srebra. Konstanta, koja je tako e koriš ena u radu, je temperatura od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa promenom od $t = 50^{\circ}\text{C}$, kao i vreme trajanja procesa od $t = 15, 30$ i 60 min.

Boja i kvalitet, kod legura Au-Ag-Cu-Zn sistema, u direktnoj su zavisnosti od koli ine pojedinih elemenata, obzirom da je matrica legure 58,5 mas.%Au. Uticaj cinka na kvalitet Au-Ag-Cu sistema, ogleđa se u ubrzavanju disperzionog otvrdnjavanja, a prilikom livenja dolazi do dezoksidacije liva [19]. Cink, tako e, uti e na smanjenje

dvofazne oblasti pri reakciji: $(Au,Ag,Cu) \rightarrow (Ag,Au) + (Cu,Au)$, kao i na sniženje temperature preobražaja [19,73], prikazano na slici 24. Uvo enje cinka u ve oj koli ini, do 15,0 mas.%, u proizvodnju nakita, u metalurškom smislu, smatra se da u ovim legurama obavlja ulogu modifikatora [9,74], tj. dovodi do usitnjavanja zrna prilikom livenja i o vrš avanja. injenica, da su legure sa matricom 58,5 mas.%Au u polju crvene i crvenkaste legure, slika 31, uvo enjem cinka dolazi do stabilizacije žu kaste (yellowish) boje, koja je veoma tražena na našem tržištu. Cink, tako e, prilikom stvaranja superstrukture, ulazi u rešetku AuCu I, koja je površ.c.t.- rešetka i pakuje se po ravni (002) u kristalnoj površ.c.k.- rešetki, po kojoj kristališu svi ostali legiraju i elementi [33,68,75]. Ulaskom cinka i nastankom površ.c.t.-rešetke, dolazi do smanjenja domena, slika 13, što dovodi do stabilizacije strukture AuCu I i AuCu II [30].

Zakoni EU, o zabrani legiranja niklom, usled pojave alergije na nikel kod korisnika [4,77], usvojeni su u periodu do 2004. godine, te nakon tog vremena otpo inje period legiranja sa paladijumom, za dobijanje „belog“ zlata, koji je tako e plemeniti metal. Legure zlata sa paladijumom su koriš ene tokom celog XX veka u zubarskoj industriji, ta .3.5.2. Kod legura Au-Ag-Cu-Pd sistema, sa dodatkom cinka, otvrdnjavanje usled starenja nastaje po sistemima Au-Cu i Ag-Cu [80]. U legurama sistema Au-Cu o vrš avanje se ostvaruje stvaranjem sre ene strukture AuCu I, ta .3.5.1, [16,81]. U legurama sistema Ag-Cu, legure otvrdnjavaju zahvaljuju i mehanizmu taloženja iz presi enog vrstog rastvora, kao i mehanizmu faznog razdvajanja, usled ega dolazi do stvaranja dvofaznog podru ja tokom procesa starenja [80]. Uvo enjem paladijuma i cinka u Au-Ag-Cu trojni dijagram stanja, dovodi do veoma kompleksnih promena u strukturi materijala [82,83]. U toku prou avanja mehanizma otvrdnjavanja usled starenja [80], kod legura Au-Ag-Cu-Zn-Pd, pri starenju na oko 400°C dolazi do spinodalnog razlaganja – faze, na ’- fazu bogatu srebrom i “ – fazu bogatu bakrom, što dovodi do pove ane vrste e, i vidno odložene reakcije omekšavanja strukture, usled ujedna ene fine spinodalne strukture [84,128]. Pri starenju ovih legura u opsegu od 200°C do 500°C [82], dolazi do stvaranja metastabilne strukture AuCu I i plo aste strukture koja sadrži paladijum, što dovodi do vidnog o vrš avanja.

Kod legura koje sadrže relativno ve u koli inu paladijuma, odgovaraju om termi kom obradom, dolazi do prelaska deformacije sa sre ene AuCu I u sre enu Au₃Cu [81], slika 38. Kod ovih legura, kada su u koegzistenciji Au₃Cu i AuCu I sre ene faze, kao i sre ena struktura AuCu I sa nesre enom površ.c.k.- rešetkom, dolazi do pojave „crno-bele“ mikrostrukture, oblika sli nog „šahovskoj tabli“ [120], i velike vrste e. Ova pojava se poklapa sa pojavom sli ne crno - bele strukture kod legure Co_{39,5}Pt_{60,5}, gde su u koegzistenciji svetla kubna L1 – faza, i tamna tetragonalna L1₀ faza [119].

Odabir legura za eksperimentalno ispitivanje, ura en je na na in, da su odabrane legure koje se naj eš e koriste u neposrednoj proizvodnji za proizvode koji se dobijaju plasti nom deformacijom. To su slede e oznake i boje, kao što je i prikazano u tabeli 3:

°- „L-1” - „žuto” zlato: Au585Ag90Cu264Zn61;

°- „L-2” - „belo” zlato: Au585Ag65Cu277Zn16Pd57;

°- „L-3” – srebro: Ag925Cu75.

Prikaz i postavka ovih legura na dijagramu Au-Ag-Cu, nalazi se na slikama 42, 43 i 44.

Izrada uzoraka za ispitivanje izvršena je u nekoliko koraka, što je posebno prikazano u tabeli 6, rada.

Na slikama 53 i 54, prikazani su dijagrami promene tvrdo e, HV0.25, u zavisnosti od temperature starenja, kao i vremena držanja na odre enoj temperaturi, legure „L-1” - grupa I (tabela 6). Svi rezultati merenja tvrdo e, na osnovu kojih je konstruisan dijagram, prikazani su u prilozima 1, 2 i 3. Polazna tvrdo a, ta ka „O.S.” – grupa I, iznosi 193.00HV0.25. Žarenje starenjem, kao što je i prikazano na dijagramu, slika 53, izvodi se na temperaturi od 50°C do 600°C sa $t = 50^\circ\text{C}$. Prilikom žarenja, uzorci su podeljeni u tri vremenske grupe držanja na temperaturi, i to: $t = 15$ min, 30 min i 60 min. Posmatraju i krive, može se konstatovati da je pri žarenju na $t = 50^\circ\text{C}$ do 100°C došlo do pada tvrdo e pri vremenu $t = 15$ min i 30 min. Pove anjem temperature žarenja tvrdo a po inje da raste, i maksimalna vrednost se postiže, pri starenju na $t = 200^\circ\text{C}$ i vremenu držanja $t = 30$ min, u vrednosti od 251.00HV0.25. Sa daljim pove anjem temperature vrednost tvrdo e opada, da bi pri temperaturi od $t = 600^\circ\text{C}$ i vremenu od $t = 15$ min i 30 min, vrednost tvrdo e opala ispod vrednosti polazne tvrdo e, što je i o ekivano, jer je polazna vrednost tvrdo e, ustvari vrednost hladno valjane legure, tj. legure oja ane hladnom deformacijom. To pokazuje da je ostvorena rekristalizacija hladno valjanog lima. Na slikama 58, 59 i 60, prikazana je mikrostruktura u ove tri ekstremne ta ke, ura ene opti kom mikroskopijom, tj. polazne „O.S.”- ta ke, zatim ta ke sa maksimalnom vrednoš u tvrdo e kao i ta ke sa minimalnom vrednoš u tvrdo e, odnosno ta ke sa izvršenom rekristalizacijom. Slika 58 prikazuje mikrostrukturu polazne „O.S.” – ta ke na dijagramu, i uo ljiva je struktura hladno valjanog lima sa izduženim kristalnim zrnima u pravcu valjanja, koji su dobijeni stepenom deformacije $\epsilon = 66,6\%$ (tabela 5). Pored izduženih zrna, nastalih hladnom deformacijom, uo ljiva je i izvesna koli ina dvojnika, koji tako e nastaju hladnom deformacijom, i dovode do oja anja materijala [21]. Na slici 59, je pored još uvek izduženih kristalnih zrna, i jako izražena struktura dvojnika, od kojih je deo zaostao od hladne deformacije dok je ve i deo nastao žarenjem na temperaturi starenja površ.c.k. metala [21,33,37,68], a samim time postignuta je i najve a vrednost tvrdo e. Nakon toga, na sl.60, pri temperaturi od $t = 600^\circ\text{C}$, i vremena držanja $t = 30$ min, struktura lagano prelazi u veoma finu sitnozrnu strukturu, karakteristi nu za strukturu rekristalizacije nakon hladne deformacije. Istovremeno je posmatrana i promena osobina, koja nastaje, u delu dijagrama sa maksimalno dobijenim rezultatima, prikazana na slici 54, pri temperaturi od $t = 150^\circ\text{C}$ do 300°C. Konstatovano je da sa produženjem vremena žarenja od $t = 60$ min, vrednost tvrdo e po inje da opada. Na ovoj slici

prikazan je deo dijagrama u prostornom obliku, pri emu se uo ava promena tvrdo e u okolini ta ke sa ostvarenom maksimalnom tvrdo om od 251,00HV0.25, za $t = 200^{\circ}\text{C}$ i $t = 30$ min. Pri ovoj operaciji starenja ostvareno je pove anje tvrdo e za 23,10 %, u odnosu na vrednost tvrdo e u po etnoj ta ki „O.S.“, što predstavlja pove anje tvrdo e za hladno valjani lim, postignuto starenjem. Ovde je 193,00HV0.25, vrednost tvrdo e u ta ki „O.S.“, sa dijagrama slika 53, dok je 251,00HV0.25, maksimalno dobijena tvrdo a, na istom dijagramu.

Na slikama 55 i 56, prikazani su rezultati ispitivanja, odnosno merenja tvrdo e, za leguru „L-1“ – grupa II (tabela 6), koja je nakon završnog valjanja, prema tabeli 5, žarena na temperaturi rekristalizacije, $t = 680^{\circ}\text{C}$ [4], pri emu je ostvarena tvrdo a „O.S.“ = 115,4HV0.25, što predstavlja po etnu ta ku na dijagramu. Uzorci su nakon toga žareni na temperaturi starenja, grupa II, od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa $t = 50^{\circ}\text{C}$. Po etna ta ka na dijagramu je „O.S.“ – 115,4HV0.25, ija je mikrostruktura dobijena opti kom mikroskopijom, a prikazana je na slici 61. Na slici je uo ljiva krupnozrnasta mikrostruktura kompleksne etvorokomponentne legure „L-1“ u žarenom stanju. Legura je, pozivaju i se na sliku 25, hla ena iz jednofaznog podru ja, a potom žarena na temperaturi starenja da bi se dobila dvofazna struktura. Pored toga, na slici 62, su vidljivi veoma izraženi dvojnici žarenja, koji se prostiru u raznim pravcima, što uti e na pove anje tvrdo e, ali, na pove anje tvrdo e, tako e uti e i izdvajanje taloga po granicama zrna, pri emu dolazi do reakcije: $(\text{Au,Ag,Cu}) \rightarrow (\text{Au, Ag}) + (\text{Au, Cu})$. Rezultati na osnovu kojih je konstruisan dijagram na slikama 55 i 56, prikazani su u priložima 4, 5 i 6. I kod legure „L-1“ - grupa II, kao i kod iste legure grupa I, fenomen maksimalnog pove anja tvrdo e pojavio se u temperaturnom opsegu od $t = 150^{\circ}\text{C}$ do 300°C , a što je prikazano i na prostornom dijagramu, slika 56. Maksimalno dobijena vrednost tvrdo e je u ta ki: $t = 200^{\circ}\text{C}$, $t = 30$ min, i iznosi 169,80HV0.25. Procenat pove anja tvrdo e, u odnosu na vrednost polaznog stanja „O.S.“ iznosi 31,60 %. Na slici 63, prikazana je struktura, koja je dobijena žarenjem na $t = 550^{\circ}\text{C}$ i $t = 30$ min, sa dobijenom tvrdo om od 118,20HV0.25, što je približno jednako polaznoj tvrdo i, a i mikrostruktura ovog uzorka je veoma sli na mikrostrukturi polaznog uzorka.

Na slikama 101 do 105, uklju uju i i tabelu 7, prikazani su rezultatai ispitivanja na skeniraju em elektronskom mikroskopu –SEM (*Scanning Electron Microscopy*), za leguru „L-1“ – grupa I. Slike 101 do 103, predstavljaju prikaz rezultata mikrostrukture uzorka sa slike 59, odnosno uzorka sa postignutom maksimalnom vrsto om, sa uve anjem od 200, 400 i 800 puta. Na uzorku je vidljiva pojava dvojnika žarenja, posebno pri uve anju od 800 puta. Na slici 104, na ure aju mikroskopa EPMA (*Electron Probe Micro analyzer*), pomo u X – zraka, ura eno je ispitivanje hemijskog sastava i prikazano u tabeli 7. Distribucija elemenata pokazuje da je u dvojnicima žarenja, pove ana koli ina zlata, bakra i cinka, dok je Ag u manjku u središtu zrna i, najverovatnije je distribuiran po granicama zrna. AuCu I stvara dvojnike i istiskuje Ag prema granici zrna. EDS dijagram (*EDS, EDX – Energy Dispersive Spectroscopy X – ray analysis*), [114], slika 105, pokazuje raspored elemenata u kristalnoj strukturi

uzorka, pri emu dokazuje da je u strukturi materijala dominantno zlato pa potom bakar, srebro i cink. Slike 107 do 110, zajedno sa tabelom 8, prikazuju SEM analizu, tako e za leguru „L-1” – grupa II. Na slici 107, 108 i 109, vidljiva je izrazita mikrostruktura dvojnika žarenja, uzorak je sa slici 62, odnosno sa maksimalnom tvrdo om ostvarenom u grupi II, legure „L-1“. Distribucija elemenata kao i EDS snimak na slici 110, veoma su sli ni, ili skoro isti kao rezultati za uzorak sa slike 59, tako e ve obra en na SEM-u, legure „L-1“ – grupa I.

Obzirom da se laserska tehnika sve više primenjuje u proizvodnji nakita, i u radu je primenjena metoda zavarivanja laserom i sprovedena odre ena ispitivanja.

Imaju i u vidu razli itost veli ine i oblika proizvoda od plemenitih metala, u proizvodnji nakita više se koriste impulsni od kontinuiranih lasera. Za ove potrebe najviše se koristi prenosni laserski aparat tipa Nd⁺³:YAG, a manje CO₂ tipa.

Površina u okolini laserskih varova ostaje ista, u odnosu na konvencionalno lemljene i varenje plamenom, slika 123 i 124. U cilju smanjenja refleksivnosti primenjeni su tekst-markeri za stvaranje prevlaka, tj. za zatamnjenje površine [54,58,59]. Primenjena metoda se pokazala dobrom, iz razloga što tekst-markeri brzo isparavaju ve na sobnoj temperature i ne ostavljaju vidljiv trag nakon izvršenog laserskog varenja, slika 121. Najbolji rezultati, odnosno, najbolji izgled vara dobijen je koriš enjem žutog i plavog markera, obeleženih brojevima 3 i 4. Uklanjanje ostataka boje nakon zavarivanja lako je i jednostavno, alkoholom.

Privarivanje i pri vrš ivanje nakita, pre završnog lemljenja i zavarivanja, je jedna od primena lasera u proizvodnji nakita [122]. Razlog kori enja lasera kod ovakvog oblika proizvodnje je u velikom smanjenju vremena proizvodnje, Na slici 122, prikazana je grupa proizvoda koje je potrebno pripremiti, pre lemljenja i zavarivanja. Koriš enjem lasera sav ovaj rad se izbegava, obzirom da se položaj pojedinih delova odre uje ru no, ispod stereoskopskog mikroskopa lasera sa rešetkom.

Opti ke mikrofotografije prikazane su na slikama 125, 126 i 127. Na slikama 125 i 126 prikazane su promene oblika i veli ine zrna, neposredno pored, kao i na samom varu, dok je na slici 127 prikazana uporedna mikrofotografija, neposredno pored vara proizvoda zavarenog gasom [4].

Rezultati merenja elektri ne provodljivosti ura eni su za obrade grupa I i grupa II, (tabela 6), na osnovu rezultata koji su prikazani u prilogu 7 i 8, u vremenu držanja na temperaturi od = 30 min, uzimaju i u obzir da su u ovom vremenu trajanja starenja, postignuti maksimalni rezultati vrsto e kod obe obrade. Kao što se vidi na slici 57, i na osnovu dobijenih rezultata, sa pove anjem temperature starenja i elektri na provodljivost raste. Ne može se ta no uspostaviti matemati ka zavisnost promene elektri ne provodljivosti od temperature starenja, obzirom da su i kompleksne promene izazvane starenjem u samoj leguri.

Iskustveni rezultati izgleda površine gotovih proizvoda, pre i nakon starenja za pojedine proizvode, na slici 64 prikazani su proizvodi dubokog izvla enja [5,110], i može se, donekle, vizuelno, oceniti kvalitet proizvedene i obra ene legure.

Slike 65 i 66, prikazuju krive promene tvrdo e, HV0.25 u zavisnosti od temperature starenja i vremena držanja na odre enoj temperaturi, legure „L-2” grupa I (tabela 6). Rezultati merenja tvrdo e , na osnovu kojih su konstruisani dijagrami na slikama 65 i 66, prikazani su u prilozima br. 9, 10 i 11. Polazna tvrdo a, ta ka „O.S.”- grupa I obrade, iznosi 251,00HV0.25. Termi ka obrada žarenja starenjem, kao što je i prikazano na dijagramu, slika 65, izvodi se na temperaturama od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa $t = 50^{\circ}\text{C}$. Uzorci za ispitivanje podeljeni su u tri vremenske grupe žarenja, i to: $t = 15$ min, 30 min i 60 min.

Konstrukcijom krive za vreme držanja od $t = 15$ min, konstatovano je, da je promena tvrdo e, od ta ke „O.S.” do 200°C , neznatna. Nakon temperature od $t = 200^{\circ}\text{C}$, došlo je do porasta tvrdo e do $t = 400^{\circ}\text{C}$, kada je vrednost tvrdo e po ela da opada, da bi na $t = 500^{\circ}\text{C}$ dostigla svoj minimum, a nakon ove temperature ponovo dolazi do porasta tvrdo e na 550°C i 600°C . Obzirom da se vrednost maksimalne tvrdo e javlja u temperaturnom opsegu od $t = 200^{\circ}\text{C}$ do 400°C , tako je dalje ispitivanje tvrdo e izvršeno u istom temperaturnom intervalu za vreme žarenja od $t = 30$ min i 60 min. Konstatovano je, da je za vreme od $t = 30$ min dostignuta maksimalna vrednost tvrdo e, i sa pove anjem vremena žarenja došlo je do opadanja vrednosti tvrdo e, što se i vidi sa krive za vreme od $t = 60$ min.

Vrednost tvrdo e raste sa porastom temperature starenja, od ta ke „O.S.” pa sve do $t = 300^{\circ}\text{C}$, i vremenu $t = 30$ min, kada je postignuta maksimalna vrednost tvrdo e od 307,00HV0.25, prikazano na slici 66. Sa daljim pove anjem, kako temperature, tako i vremena trajanja procesa, vrednost tvrdo e opada, obzirom da se približilo termi kim uslovima rekristalizacije hladno-valjane legure, a samim time i do smanjenja tvrdo e. To pokazuju i slike opti ke mikrofotografije, po ev od slike 70 pa do slike 75, gde se uo ava promena veli ine zrna, od usmerenih hladno-deformisanih zrna u pravcu valjanja, do pojave ravno-osnih zrna, svojstvenih rekristalizacionoj strukturi. Slike 70 i 71, sa razli itim uve anjima iste mikrostrukture, pokazuju usmerena zrna hladno-valjanog lima. To je polazna ta ka „O.S.” na dijagramu sa stepenom hladne deformacije $\epsilon = 66,6\%$ (tabela 6) i vrednoš u tvrdo e od 251,00HV0.25. Pored usmerene strukture na slici 71, gde je uve anje 500 puta, može se uo iti pojava dvojnika, nastalih hladnom deformacijom, što izaziva porast tvrdo e i oja anje hladno-deformisanog materijala [21]. Slika 72 prikazuje strukturu uzorka sa maksimalnom vrednoš u vrsto e i slede im parametrima: $t = 300^{\circ}\text{C}$, $t = 30$ min i tvrdo a 307,80HV0.25, kao i slika 73 samo sa ve im uve anjem. Posebno je na slici 73 jako izražena struktura dvojnika koji su nastali starenjem metala sa površ.c.k. rešetkom, pored usmerenih zrna u pravcu valjanja, nastalih kao posledica hladne deformacije valjanjem [21,33,37,68], i koja još nisu izgubila svoj polazni oblik. Nakon toga na slici 74, pri temperaturi $t = 600^{\circ}\text{C}$ i

vremenu $t = 30$ min, struktura materijala prelazi u strukturu rekristalizacije, što je posebno izraženo na slici 75, sa ve im uve anjem, i gde se prime uju tamno-svetla polja sa paladijumom i cinkom, koja nastaju kod ovog tipa legura [119,120].

Promena tvrdo e, u okolini ta ke sa maksimalno ostvarenom tvrdo om starenjem, prikazana je na slici 66. Na prostornom dijagramu, uo ava se promena tvrdo e u zavisnosti od promene temperature i vremena trajanja procesa, u okolini ta ke 307,80HV0.25, pri uslovima: temperatura $t = 300^{\circ}\text{C}$ i vremena $t = 30$ min. Pri ovoj operaciji došlo je do pove anja vrednosti tvrdo e u odnosu na polaznu vrednost: 18,40%, što predstavlja procenat pove anja tvrdo e hladno-valjanog lima, koji je postignut starenjem. Ovde je 251,00HV0.25, polazna vrednost tvrdo e na ta ki „O.S.” sa dijagrama na slici 65, dok je 307,80HV0.25, vrednost maksimalno ostvarene tvrdo e na istom dijagramu.

Konstrukcija promene dijagrama tvrdo e u zavisnosti od temperature starenja i vremena trajanja procesa, legure „L-2” – grupa II (tabela 6) prikazane su na slikama 67 i 68. Polazna vrednost tvrdo e, ta ka „O.S.” na dijagramu, slika 67, iznosi 139,70HV0.25. Potom su, uzorci žareni na temperauri starenja od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 600°C , sa $t = 50^{\circ}\text{C}$, za vreme od $t = 15$ min. Kao što se na dijagramu pokazuje, vrednost tvrdo e neprestano raste, do temperature od $t = 300^{\circ}\text{C}$, a zatim po inje da opada. Da bi se odredila maksimalna vrednost tvrdo e za leguru „L-2” sa obradom Grupa II, izvršene su još dve grupe merenja u temperaturnom opsegu od $t = 50^{\circ}\text{C}$ do 500°C , za vreme trajanja procesa od $t = 30$ i 60 min. Vrednost tvrdo e je, pri vremenu od $t = 30$ min, još uvek rasla, dok je pri vremenu trajanja procesa starenja od $t = 60$ min, vrednost po ela da opada, što je i prikazano na prostornom dijagramu na slici 68, gde se može sagledati kretanje vrednosti tvrdo e oko ta ke maksimalne vrednosti od 224,00HV0.25, slede ih parametara: temperatura $t = 300^{\circ}\text{C}$ i vremena od $t = 30$ min. Prostorni dijagram je ra en za temperaturni opseg od $t = 200^{\circ}\text{C}$ do 400°C i vremena od $t = 15$ min, 30 min i 60 min. Procenat pove anja vrednosti tvrdo e u odnosu na polaznu vrednost iznosi: 37,60%, što predstavlja pove anje tvrdo e legure, koje se postiže žarenjem na temperaturi starenja. Na slici 76, prikazana je mikrostruktura uzorka, snimljeno metodom opti ke mikroskopije, na kome je izvršena rekristalizacija nakon hladne deformacije valjanjem. Ostvarena tvrdo a u ta ki „O.S.” iznosi od 139,70HV0.25. Vidljiva je kompleksna krupnozrna struktura petokomponentne legure, dok je na slici 77, taj isti uzorak sa ve im uve anjem gde je primetan po etak formiranja lamelarne strukture [80]. Mikrostruktura uzorka sa vrednoš u maksimalne tvrdo e, prikazana je na slici 78 kao i na slici 79. Na ovim slikama su uo ljivi dvojnici žerenja [26,68,111], kao i pojava taloga po granicama zrna [119,120]. Na slikama 80 i 81, je mikrofotografija uzorka sa temperaturom starenja $t = 600^{\circ}\text{C}$, i vremenom $t = 15$ min, pri emu je ostvarena vrednost tvrdo e pd 170,00HV0.25, što je niža vrednost u odnosu na vrednost maksimalne tvrdo e, i približno je jednaka vrednosti tvrdo e polazne ta ke na dijagramu, tj. ta ke „O.S.”, koja je tako e žarena i naglo hla ena (gašenje), kao što je ve re eno, sa $t = 680^{\circ}\text{C}$.

Analiza i prou avanje mikrofotografija, legure „L-2” – grupa II, na SEM ure aju, prikazana je na slikama 111 do 115, uklju uju i i tabelu 9. Slike 111 do 113, daju rezultate mikrofotografije SEM-a, uve anjem od 200, 400 i 800 puta. Na svim snimcima je uo ljava pojava dvojnika žarenja, a pove anje vrsto e, ve je utvr eno merenjem tvrdo e i metalografskom analizom opti kim mikrofotografijama na slikama 78 i 79, kao i dijagramu na slici 67. Na ure aju EPMA, ura eno je ispitivanje hemijskog sastava u pet karakteristi nih ta aka, slika 114, i tabela 9. EDS analiza pokazala je raspored elemenata u kristalnoj strukturi pri emu se pokazuje da je u sastavu legure dominantno zlato, potom bakar, srebro, paladijum i cink. Distribucija elemenata pokazuje malo pove anu koli inu zlata u središtu dvojnika, uz neznatno smanjenje srebra, što može da se smatra, da koegzistiraju $AuCu$ I i $AuCu_3$, usled prisustva plo astih kristala paladijuma i cinka [79, 81-84].

Rezultati merenja elektri ne provodljivosti, u zavisnosti od temperature starenja, prikazani su na slici 69, za leguru „L-2”, obrade grupe I i II, a za vreme trajanja procesa od $t = 15$ min. U ovom vremenskom intervalu, kao i potpunom temperaturnom tretmanu, postignuta je promena elektri ne provodljivosti na krivoj, prema rezultatima merenja u priložima br.15 i 16. Zavisnost vrednosti promene elektri ne provodljivosti, od temperature starenja, prati zavisnost vrednosti promene tvrdo e, tako e od temperature starenja, kod ove legure, što se može u potpunosti utvrditi sa slici 69, gde je u istom temperaturnom intervalu došlo do pojave maksimuma vrednosti elektri ne provodljivosti.

Uticaj temperature starenja, na rezultate promene tvrdo e legure „L-3” – grupa I, prikazani su na slici 82 i 83, i priložima br.17, 18 i 19, sa rezultatima merenja, na osnovu kojih su krive konstruisane. Tvrdo a po etne ta ke na dijagramu, „O.S.”, za grupu I, iznosi 118,00HV0.25. Termi ka obrada žarenja starenjem, kao što je i pikazano na slici 82, izvodi se na temperaturi od $t = 50^\circ C$ do $600^\circ C$, sa $t = 50^\circ C$. Uzorci za ispitivanje podeljeni su u tri vremenske grupe, i to: $t = 15$ min, 30 min i 60 min.

Konstrukcijom krive za vreme trajanja procesa $t = 15$ min, konstatovano je da tvrdo a od polazne ta ke „O.S.” raste do $t = 100^\circ C$, a potom konstantno opada do $t = 600^\circ C$, što je približno jednako temperaturi rekristalizacije [12,13]. Iznos maksimalne vrednosti tvrdo e, ostvarene na krivoj za $t = 15$ min, je 128,70HV0.25, pri temperaturi $t = 100^\circ C$, što je približno jednako vrednosti maksimalne tvrdo e na krivoj za $t = 30$ min i temperaturi $t = 200^\circ C$, od 133,50HV0.25. Sli an rezultat u iznosu od 132,50HV0.25, postignut je i pri merenju tvrdo e uzoraka sa slede im parametrima: temperatura $t = 50^\circ C$ i vreme $t = 60$ min. Daljim pove anjem vremena i temperature, nakon ozna enih vrednosti, na kojima su ve ostvarene maksimalne vrednosti tvrdo e, dolazi do opadanja vrednosti, da bi se nakon temperature od $t = 400^\circ C$, vrednosti tvrdo e skoro izjedna ile. Na slici 83 prikazan je deo krivih sa slici 82, za sva tri vremena trajanja žarenja, ali za temperaturni opseg od $t = 50^\circ C$ do $250^\circ C$, u obliku prostornog dijagrama, pri emu je dobijena kriva površina, koja približno pokazuje ponašanje tvrdo e metala sa

prikazanim temperaturama u nekom realnom vremenu od $t = 15$ min, 30 min i 60 min. Posmatranje i pregled ovih promena prikazan je posebno i na slikama od slici 87 do slici 92, pri emu su metodom opti ke mikroskopije prikazane promene u strukturi materijala, po ev od prve ta ke na dijagramu, „O.S.“, preko ta aka koje poseduju maksimalnu tvrdo u, pa do ta ke kada je ostvorena minimalna tvrdo a, tj. kada je izvršena rekristalizacija uzoraka. Slike 87 i 88, sa razli itim uve anjima (200 i 500 puta), pokazuju usmerenu mikrostrukturu hladno-valjanog lima. Ove fotografije predstavljaju mikrostrukturu ta ke „O.S.“, sa izvršenim stepenom hladne deformacije $\epsilon = 66,66\%$, i ostvarenom vrednoš u tvrdo e od 118,00HV0.25. Na slikama su usmerena zrna kao rezultat ostvarene hladne deformacije [12,13,21]. Slike 89 i 90, sa razli itim uve anjem iste strukture, prikazuju uzorak sa slede im elementima: temperatura starenja $t = 200^\circ\text{C}$, vreme držanja $t = 30$ min, sa maksimalno ostvarenom tvrdo om na dijagramu od 133,50HV0.25 (Prilog br.18). Na fotografijama su još uvek vidljivi tragovi od usmerenih zrna nastalih hladnom deformacijom, kao i pojava dvojnika žarenja. Može se smatrati, da je do pove anja tvrdo e došlo usled obrazovanja presi enog vrstog rastvora srebra, kao i izdvajanjem taloga prilikom žarenja na temperaturi starenja, obzirom da se starenje izvodi u dvofaznom podru ju, $\alpha + \beta$, dvojnog dijagrama stanja Ag-Cu [12,13]. Na slikama 91 i 92, pri uve anju od 200 i 500 puta, prikazana je mikrostruktura za uzorak, pri temperaturi žarenja $t = 600^\circ\text{C}$ i vremenu tajanja procesa $t = 15$ min, pri emu je ostvorena tvrdo a 76,80HV0.25. Vidljiva je struktura rekristalizacije hladno-deformisanog materijala [4,21]. Promena tvrdo e, u okolini ta ke sa maksimalno ostvarenom tvrdo om starenjem, kao što je ve napisano, prikazana je na slici 83. Maksimalna vrednost tvrdo e ostvorena je u iznosu od 133,50HV0.25, sa slede im elementima obrade uzorka: temperature $t = 200^\circ\text{C}$, vreme držanja $t = 30$ min, hla enje na vazduhu. Pove anje vrednosti tvrdo e u odnosu na polaznu vrednost „O.S.“, iznosi 11,61%, što ustvari predstavlja procenat pove anja tvrdo e hladno-valjanog lima postignuto starenjem. Ovde je 118,00HV0.25 – vrednost tvrdo e u polaznoj ta ki „O.S.“, sa slike 82, dok je 133,50HV0.25 – maksimalna vrednost ostvarene tvrdo e sa istog dijagrama.

Na slikama 84 i 85, prikazane su konstrukcije dijagrama, za istu leguru „L-3“, ali za obradu grupa II (tabela 6), pri emu je dobijena polazna tvrdo a, (ta ka „O.S.“ na slici 84, i prilogu br.21), u iznosu od 66,80HV0.25. Konstrukcije dijagrama pokazuju da vrednosti tvrdo e neznatno odstupaju od polazne vrednosti, tako da je ve i deo dijagrama skoro horizontalan, i ve i broj vrednosti uzoraka se kre e oko vrednosti polazne „O.S.“ – tvrdo e. Da bi odredili maksimalnu tvrdo u, koja može da se postigne, i kod legure „L-3“ – grupa II, izvršene su tri grupe merenja sa vremenom od $t = 15$ min, 30 min i 60 min, što je i prikazano u priložima br.20, 21 i 22. Obzirom da se pove anje tvrdo e javlja u temperaturnom opsegu od $t = 250^\circ\text{C}$ do 450°C , ura en je prostorni dijagram, slika 85, koji prikazuje površinu promene vrsto e oko ta ke maksimalne tvrdo e u iznosu od 77,90HV0.25, postignutom sa parametrima: temperatura $t = 300^\circ\text{C}$ i vreme trajanja procesa od $t = 15$ min, hla enje na vazduhu.

Pove anje tvrdo e na iznos od 75,20HV0.25, pri temperaturi $t = 400^{\circ}\text{C}$ i vremenu trajanja procesa $t = 30$ min, ostvareno je i prikazano na dijagramu. Pri vremenu trajanja procesa od $t = 60$ min, vrednost tvrdo e u svim ta kama po inje da opada. Procenat pove anja vrednosti tvrdo e u odnosu na polaznu vrednost iznosi 14,0%, što ustvari predstavlja procenat pove anja tvrdo e legure, koja se postiže žarenjem na temperaturi starenja. Ovde je 66,80HV0.25 – vrednost tvrdo e u polaznoj ta ki „O.S.” sa slike 84, dok je 77,90HV0.25 – maksimalna vrednost ostvarene tvrdo e sa istog dijagrama. Slike 93 i 94 prikazuju mikrostrukturu uzorka za ta ku „O.S.”, sa razli itim uve anjem, gde se uo avaju kristali primarnog – vrstog rastvora. Na slikama 95 i 96, prikazana je mikrostruktura uzorka sa maksimalnom vrednoš u tvrdo e od 77,90HV0.25, sa slede im parametrima: temperatura starenja $t = 300^{\circ}\text{C}$ i vreme trajanja procesa $t = 15$ min, hla enje na vazduhu. Pove anje vrsto e usled pojave taloga po granicama zrna kao i pojave velikog broja dvojnika žarenja [13,28]. Slike 97 i 98, prikazuju strukturu uzorka, koji je prakti no dva puta žaren na temperaturi rekristalizacije, sa tvrdo om od 68,20HV0.25, i parametrima: temperatura $t = 600^{\circ}\text{C}$, vreme trajanja procesa $t = 15$ min, hla enje na vazduhu, pri emu je dobijena veoma fina, dvofazna, + , struktura. Posebno je prikazana, na slikama 99 i 100, sa razli itim uve anjem, struktura uzorka sa ostvarenom tvrdo om od 75,50HV0.25, slede ih parametara: temperature $t = 400^{\circ}\text{C}$, vreme trajanja procesa $t = 30$ min, hla enje na vazduhu, pri emu je prikazana struktura veoma sli na strukturi prikazanoj na slikama 95 i 96, samo je u ovom slu aju viša temperatura starenja i duže vreme trajanja procesa, i ovde se dvojnici pojavljuju po granicama zrna, a prisutna je i pojava ve e koli ine taloga, što izaziva pove anje tvrdo e, u ovom slu aju od 11,5%.

Legura „L-3” – grupa I, za ispitivanje na SEM-u odabran je uzorak sa slika 89 i 90, na kome je postignuta maksimalna tvrdo a prilikom termi ke obrade starenjem. SEM-om su ura ene mikrofotografije strukture sa uve anjem od 500 i 1000 puta. Uzorak je žaren na $t = 200^{\circ}\text{C}$ u vremenu od $t = 30$ min, ali je još uvek zadržana struktura hladno-deformisanog lima. Ispitivanja hemijskog sastava, slika 118 i tabela 10, pokazuju da distribucija elemenata se kre e tako da srebro se više akumulira prema središtu zrna, dok se bakar, kao neplemenitija komponenta, više raspore uje po granicama zrna kao talog. EDS analiza, sl.119, pokazuje raspored elemenata u kristalnoj strukturi, pri emu je srebro dominantno u odnosu na bakar.

Rezultati promene elektri ne provodljivosti, u zavisnosti od temperature starenja, za leguru „L-3”- grupa I i grupa II, za vreme trajanja procesa od $t = 30$ min, prikazani su na slici 86, dok su rezultati merenja prikazani u priložima br. 23 i 24. Zavisnost vrednosti promene elektri ne provodljivosti prati promenu tvrdo e. Maksimalna elektri na provodljivost pojavljuje se u temperaturnom opsegu gde je i došlo do pojave maksimalne vrednosti tvrdo e, dobijene starenjem legure „L-3”- grupa I i grupa II.

8.- ZAKLJU AK

Na osnovu teorijskih razmatranja referentne literature i sprovedenih istraživanja u eksperimentalnom delu disertacije, obrade, uporedne analize i diskusije ostvarenih eksperimentalnih rezultata, uporedne analize i diskusije postignutih rezultata sa do sada publikovanim i obra enim rezultatima drugih autora u teorijskom delu ovog rada, koji obra uju tematiku blisku realizaciji predmeta i ciljeva postavljenih u realizaciji ove disertacije, može se zaklju iti slede e:

1.- Legure trojnog sistema Au-Ag-Cu, mogu da zadovolje željeni sastav, sa stanovišta zakonskih propisa, ali u zavisnosti od sredine gde se obavlja proizvodnja, a pre svega plasira nakit na tržište, potrebno je izvršiti dodatno legiranje za dobijanje odgovaraju e boje legure, ne zanemaruju ni jedan momenta zahtevane mehani ke osobine proizvoda. Iz ovog razloga se proizvode etvoro- i više-komponentne legure, u zavisnosti od zahteva tržišta.

2.- Pored uo enih mikrostrukturnih promena, pre svega formiranja dvojnika, nedvosmisleno je utvr eno da dolazi i do pove anja tvrdo e žarenjem na temperaturi starenja usled pojave precipitata (taloga), kako po granicama zrna, tako i u samom zrnu, kao i usled ko enja dislokacija, koje su nastale hladnom deformacijom i koje pokušavaju da se oslobode, dovo enjem spoljne energije. Kao posledica oja avanja starenjem, odnosno nastalih mikrostrukturnih promena, eksperimentalno je potvr eno da pove anje tvrdo e istraživanih sistema legura, prati i pove anje elektri ne provodljivosti. Rezultati postignuti za svaku istraženu leguru, detaljno su prikazani u diskusiji rezultata, a ovde su predstavljeni u obliku zaklju nih razmatranja sa navo enjem najzna ajnijih procesnih parametara i kvantitativno izraženih vrednosti ispitivanih finalnih osobina.

3.- Za potrebe realizacije istraživanja, planiranih u eksperimentalnom delu rada, proizvedena su tri tipa legura, saglasno zakonskim propisima u pogledu sadržaja zlata i srebra, i to:

- °- Legura „L-1” - „žuto” zlato, sastava: Au585Ag90Cu264Zn61;
- °- Legura „L-2” - „belo” zlato, sastava Au585Ag65Cu277Zn16Pd57;
- °- Legura „L-3” – legura srebra, sastava Ag925Cu75;

U zavisnosti od na ina predhodne obrade, pre žarenja na temperaturi starenja i ostalog ispitivanja, uzorci su podeljeni u dve grupe: **Grupa I** i **Grupa II**.

4.- Za izradu uzoraka za ispitivanje upotrebljena je legura proizvedena od granula istih plemenitih metala i predlegura garantovanog hemijskog sastava, obezbe uju i time garantovan i pouzdan kvalitet proizvoda, saglasno zakonskim propisima. Za izradu granula legure, za topljenje i livenje koriš ena je indukciona pe sa zaštitnom atmosferom azota, dok je kristalizacija i

o vrš avanje granula ura eno u hladnoj proto noj vodi. Za izradu lima za ispitivanje upotrebljene su granule koje su dalje topljene i livene prema proceduri, prezentovanoj u eksperimentalnom delu, koja uklju uje i na in obrade lima.

5.- Ispitivane legure „L-1”, „L-2“ i „L-3“, proizvedene su od elemenata sa površ.c.k. rešetkom, osim cinka, koji kristališe po g.p.h. – rešetki, ali ulazi u strukturu sre ene AuCu I faze. Sumiranjem postignutih eksperimentalnih rezultata, nadvosmisleno se može konstatovati da postoji ta ka na dijagramu: **temperatura – vreme – tvrdo a**, na kojoj se postižu maksimalno poboljšana svojstva za svaku istraženu leguru ponaosob, sa osnovom sistema Au-Ag-Cu, u istraživanom optimizovanom režimu oja avanja starenjem. Vrednost tvrdo e, za sve ispitane legure, dobijene oja avanjem starenjem, pove ava se od 11,61 do 37,60%, u odnosu na vrednost tvrdo e po etnog stanja. Oja avanje, odnosno pove anje tvrdo e, je prevashodno izraženo kod legura sa komponentama koje kristališu po površ.c.k. rešetki, izuzev cinka koji kristališe po g.p.h. rešetki.

6.- Maksimalno ostvarena tvrdo a, kod legure „L-1” – grupa I, iznosi 251,00HV0.25, sa procentom pove anja tvrdo e od 23,10%, pri uslovima starenja: temperatura $t = 200^{\circ}\text{C}$ i vreme trajanja procesa = 30 min. Mikrostruktura legure ovog tipa, analizirana opti kom i skeniraju om elektronskom mikroskopijom – SEM, ukazuje da je u procesu starenja došlo do mikrostrukturnih promena, od usmerene strukture hladno-valjanog lima, preko stvaranja dvojnika žarenja maksimalne vrsto e, do pojave rekristalizacione strukture.

Istovremeno se za leguru „L-1” – grupa II, može konstatovati da je maksimalno izmerena tvrdo a 169,80HV0.25, sa procentom pove anja od 31,60%, ostvarena pri istim uslovima: temperature $t = 200^{\circ}\text{C}$, vreme trajanja procesa = 30 min. Na osnovu rezultata opti ke mikroskopije i SEM analize, može se konstatovati, da je pove anje vrsto e na temperaturi starenja, direktno izazvano stvaranjem dvojnika žarenja kao i pojavom precipitata po granicama zrna.

7.- Maksimalno ostvarena tvrdo a u zavisnosti od temperature starenja, za leguru „L-2” – grupa I, sa procentom pove anja vrednosti tvrdo e od 18,4%, iznosi 307,00HV0.25, za uslove termi kog tretmana uzoraka: temperature $t = 300^{\circ}\text{C}$, i vreme trajanja procesa = 30 min. Mikrostrukturna analiza uzoraka, na kojima su izmerene maksimalne vrednsoti tvrdo e, ura ena opti kom mikroskopijom, ukazuje na prisustvo velike koli ine dvojnika žarenja, koji su izraženi po grupama, kao i usmerena zrna koja su posledica hladnog valjanja, što je i dovelo do maksimalnog pove anja tvrdo e.

Maksimalno ostvorena vrednost tvrdo e za leguru „L-2” – grupa II, iznosi 224,00HV0.25, sa procentom pove anja vrednosti tvrdo e od 37,6%, postignuta je pri slede im uslovima tretiranja uzorka: temperatura $t = 300^{\circ}\text{C}$ i vreme trajanja procesa starenja $= 30$ min. Mikrostrukturna analiza opti kom i SEM mikroskopijom, ukazala je na prisustvo dvojnika žarenja i izraženih precipitata po granicama zrna, što je direktno uticalo na pove anje mehani kih osobina kao i postizanja maksimalnih vrednosti tvrdo e ispitivane legure.

8.- Posmatranjem promene tvrdo e, pri zagrevanju na temperaturi starenja, kod legure „L-3” – grupa I, utvr eno je da je maksimalno ostvorena vrednost tvrdo e od 133,50HV0.25, sa ostvarenim procentom pove anja vrednosti tvrdo e od 11,61%, postignuta pri termi kom tretmanu na temperaturi $t = 200^{\circ}\text{C}$, u vremenu trajanja procesa od $= 30$ min. Mikrostruktura uzoraka legure „L-3” – grupa I, sa maksimalno izmerenom vrednoš u tvrdo e, prou avana opti kom i SEM mikroskopijom, pokazuje usmerena zrna, kao posledica valjanja, i veliku koli inu dvojnika žarenja u mikrostrukтури kao i pojava taloga po granicama zrna, što je uticalo na pove anje vrednosti tvrdo e, a samim time i vrsto e.

Maksimalna vrednost tvrdo e od 77,90HV0.25, i procentom pove anja tvrdo e u iznosu od 14,0%, za leguru tipa „L-3” – grupa II, ostvorena je starenjem legure na temperturi $t = 300^{\circ}\text{C}$, u vremenu trajanja procesa od $= 15$ min. Mikrostrukturna analiza uzoraka ovog tipa legure sa izmerenim maksimalnim vrednostima tvrdo e, ura ena opti kom mikroskopijom, pokazala je vidljivo formiranje velikog broja dvojnika žarenja u mikrostrukтури, a tako e i izdvajanje precipitata po granicama zrna.

9.- Sistematsko posmatranje i merenje promene elektri ne provodljivosti legure „L-1” – grupa I i grupa II, u zavisnosti od temperature starenja, pokazuje kod ove legure neznatno pove anje elektri ne provodljivosti sa pove anjem temperature starenja. Elektri na provodljivost uzoraka grupa II, pove ana je za maksimalno 5%, u odnosu na vrednost elektri ne provodljivosti grupe I.

Promena elektri ne provodljivosti, u zavisnosti od temperature žarenja za leguru „L-2” – grupa I i grupa II, prati promenu vrednosti tvrdo e, što ukazuje da je u temperaturnom intervalu u kome je dostignuta pove ana i maksimalna tvrdo a, postignuta pove ana i maksimalna elektri na provodljivost.

Elektri na provodljivost legure „L-3”, približno je devet puta ve a od provodljivosti legura „L-1” i „L-2”, u apsolutnom iznosu. Ali, i kod same legure „L-3”, u zavisnosti od temperature starenja, postoje promene elektri ne provodljivosti, koje prate zavisnost promene tvrdo e .

10.- Za proizvode zlatarske industrije, veoma važna osobina je tvrda i termodinami ki stabilna legura, sa mogu noš u dobijanja visokog sjaja

prilikom završne obrade. Kao potvrda optimalno odabranih istraživanih procesnih parametara, vizuelni prikaz kvaliteta površinske obrade, ilustrovan je u eksperimentalnom delu rada za leguru „L-1”. Uzorci su predhodno oblikovani dubokim izvla enjem, a potom žareni na temperaturi $t = 200^{\circ}\text{C}$ i vremenu trajanja procesa od $t = 30$ min.

11.- U cilju proširenja oblasti primene istraživanih sistema višekomponentnih legura na bazi zlata i srebra, objavljena su obimna uporedna ispitivanja elektri ne provodljivosti legura u oja anom stanju. Postignute vrednosti elektri ne provodljivosti ukazuju da se istraživane višekomponentne legure sa osnovom Au-Ag-Cu, osim u juvelirskoj industriji, mogu uspešno koristiti kao savremeni funkcionalni materijali u elektrotehnici i elektronici.

Doprinos sprovedenih istraživanja, na osnovu uporedne analize dobijenih eksperimentalnih rezultata, sa do sada publikovanim rezultatima drugih autora, ogleda se pre svega u injenici da su postignutim rezultatima u ovom radu, dopunjena i proširena eksperimentalna i teorijska saznanja o zna aju termi ke obrade i uticaju režima termi ke obrade u procesu starenja, na oja avanje i na sveukupno poboljšanje mehani kih i elektri nih svojstava istraživanih višekomponentnih legura, sa osnovom sistema Au-Ag-Cu.

Originalnost sprovedenih istraživanja u realizaciji ovog rada, sadržana je u istraživa kom pristupu, da se istraživanje oja avanja starenjem ispita u procesu termi ke obrade u odabranom temperaturnom intervalu, ali u tzv. realnom vremenu od 15 – 60 min., što pored nau nog doprinosa ovoj oblasti, ima sa gledišta primenljivosti i zna ajnu ekonomsku vrednost. Na osnovu postignutih rezultata, postavljene su eksperimentalne osnove za izbor najpovoljnijeg režima termi ke obrade u procesu oja avanja starenjem u realnom vremenu, u odnosu na zahtevane finalne osobine istraživanih sistema legura, kako za primenu u industriji proizvodnje nakita tako i za druge funkcionalne namene.

9.- Literatura

- [1] *Biblija, Sveto pismo Novoga zavjeta*, po prevodu Vuk St. Karadži , Britansko inostrano biblijsko društvo Beograd, Serbian Bible 063, MBS-EPF-1993-8M, p. 1420-1425;
- [2] I.Popovi , *Kasnoantijski i ranovizantijski nakit od zlata u Narodnom muzeju u Beogradu*, Narodni muzej Beograd, 2001, str.7-13;
- [3] I.Popovi , *Rimski nakit u Narodnom muzeju u – Beogradu*, Narodni muzej Beograd, Beograd, 1996, str. 8-13;
- [4] R.Peri , *Uticao režima prerade legure zlata na kvalitet šupljeg nakita*, Magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Tehni ki fakultet u Boru, 2010;
- [5] Personalna percepcija;
- [6] J.Hening, *Phase Transformation in 18-carat Gold Alloys Studied by Mechanical Spectroscopy*, These N^o.4635, Institut de Physique de la Matiere Condensee programme Doctoral en Physique, (2010), pp. 1–40;
- [7] M.Grimwade, *Introduction to precious metals, Metallurgy for Jewelers and Silversmith*, by Mark Grimwade, ISBN:978-1-929565-30-6, 2009, Brynmorgen Press, Brunswick, Maine 04011 USA;
- [8] B.Boži , *Fizi ka metalurgija*, Nau na knjiga, Beograd, (1964), Univerzitetski udžbenik, str. 167-220 i 360-375;
- [9] S.P.Ringer, K.Hono, *Microstructural Evolution and Age Hardening in Aluminium Alloys: Atom Probe Field-Ion Microscopy and Transmission Electron Microscopy Studies*, Materials Characterization 44:101-131 (2000); Elsevier Science Inc, 2000;
- [10] G.H.Jeon, Z.H.Kwon, H.J.Seol. H.I.Kim, *Hardening and overaging mechanisms in an Au-Ag-Cu-Pd alloy with In additions*, Gold Bulletin, 2008, 41/3, pp. 257-263;
- [11] Direttiva 2004/96/CE della Commissione del 27 settembre 2004 – Ni;
Direttiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo del Consiglio del 27 gennaio 2003 – Cd;
- [12] P.Gertik, *Plementi metali*, Pav e Gertik, (1997)., pp. 13-106;
- [13] V.M.Mališev, D.V.Rumjancev, *Srebro*, Moskva, Metalugija, (1987), pp. 22-178;

- [14] Republika Srbija, *Zakon o kontroli predmeta od dragocenih metala*, „Sl.Glasnik RS“, br. 36/2011;
- [15] A.Prince, Silver-Gold-Copper, *The present MSI Eureka World Library*, updated by Tamara Velikanova and Mikhail Turchanin, www.matport.com;
- [16] K.Yasuda, *Age-Hardening and Related Phase Transformation in Dental gold Alloys*, Gold Bulletin, 1987, 20(4), pp. 90-103;
- [17] A.Wilm, DRP 244554 (German patent), 1906, Metalurgie, 8, p. 223, p. 650, (1911),(I.J.Polmear, Aluminium Alloys – A Centuri of Age Hardening, Materials forum Volume 28, 2004, Institut of Materials Emgineering Australasia, LTD), Edited by J.F.Nie, A.J.Morton and B.C. Muddle, pp. 1-15;
- [18] R.L.Coleman, *Physical Properties of Dental Materials (Gold Alloys and Accessory Materials)*, Bur.Stand. J. Res. 1, 867-938, (1928);
- [19] V.M.Mališev, D.V.Rumjancev, *Zoloto*, Moskva, Metalurgija, 1979, pp. 23-205;
- [20] <http://www.chemicalelements.com/elements/au.html>
- [21] H.Šuman, *Metalografija*, Univerzitet u Beogradu, Univerzitetski udžbenik, 1965, pp. 96-395;
- [22] L.Vitiello, *Oreficeria moderna, tecnica – practica*, Editore Urlico Hoepli Milano, 1987, pp. 183–226;
- [23] H.Okamoto and D.J.Chakrabarti and D.E.Langhlin and T.B.Massalski, *The Au-Cu (Gold – Copper) System*, Bylletin of Alloy Phase Diagrams, Vol.8, N°5, 1987, pp. 453-473;
- [24] M.E.Dric, N.R.Bo var, L.J.Guzei, *Dvojnje i mnogokomponentnie splavi na osnovje medi*, M.Nauka, 1979;
- [25] A.A.Presnjakov, S.N.Volejnik, *Svojsva medi i jejo splavov*, Trudi instituta jadernoj fiziki, A.N. Kazahtanskaja SSR, 1969, pp. 29-36;
- [26] Z.Kova evi , Z.Karastojkovi , R.Peri , *How to Avoid Chemical Aggressive Substances in Waste Waters from Gold Jewel Production*, Proceedings of 11th International multidisciplinary Scientific Geo-conference & EXPO SGEM 2011 on Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmetal Protection, Published by Ministry of Environment and Water, Sofia, Bulgaria,(2011), pp. 405-411;
- [27] L.Stuparevi , D.Markovi , D.Guskovi , B.Stanojevi , S.Ivanov, *The influence of thermomechanical deformation regime to gold alloys structure and properties*, glasnik rudarstva i metalurgije, 28, (1992), pp. 85-91;

- [28] B.Perovi , *Fizi ka metalurgija*, Univerzitet „Veljko Vlahovi “ u Titogradu, Univerzitetski udžbenik, (1984), str. 4-417;
- [29] D.Gratis and M.Condat, *Antiphase Domain in ordered Au₃Cu*, *Compt.Rend.*, 273 (4), (1971), pp. 336-338;
- [30] H.Sato and R.S.Toth, *Effect of Additional Elements on the Period of CuAu II and the Origin of The Long-Period Superlattice*, Scientific Laboratory, Ford Motor Company, Dearborn Michigan, (Received July 14, 1961)., pp. 1833-1847;
- [31] G.Grube, G.Schoenman, F.Vaupd and W.Weber, *The Equilibrium Diagram of Copper-Gold Alloys*, *Z.Anorg.Chem.*, 201, (1931), pp. 41-47;
- [32] F.N.Rhines, W.E.Bond and R.A.Rummel, *Constitution of ordering Alloys of the System Copper-Gold*, *Trens.Amer.Soc.Met.* 47, (1955), pp. 578-597;
- [33] W.F.Hosford, *Physical Metallurgy*, (2005) by Taylor & Francis Group, LLC, USA, <http://www.taylorandfrancis.com>, pp. 87-210;
- [34] R.Süss, E.V.D.Lingen and L.Glaner, *18 Carat Yellow Gold Alloy with Increased Hardness*, *Physical Metallurgy Division*, Mintek, Priv.Bag X3015, Randburg 2125, South Africa, *Gold Bulletin*, (2004), 3713-4, pp. 196-207;
- [35] A.M.Hunt and D.W.Pashley, *Electron Microscope Studies of the Mechanism of Nucleation and Growth of AuCu II from the Disordered State*, *Le Journal de Physique et le Radium*, 23, (1962), pp. 846-853;
- [36] M.Hirabayashi, J.Weissmann, *Study of CuAu I by Transmission electron microscopy*, *Acta Metalurgica*, Vol.19, Issue 1, Jan. 1962,pp. 25-36;
- [37] R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Kova evi , D.Guskovi , *The Age-hardening Mechanism of Au_{58.5}Ag₉₀Cu_{26.4}Zn_{6.1} Gold Alloy for Jewelry Production*, *Proceedings of III International Congress „Engineering, environment and materials in processing industry” Jahorina 2013*, Bosnia and Herzegovina, Republic of Srpska, Jahorina, March, 2013, pp. 951-960;
- [38] R.Peri , G. or evi , Z.Karastojkovi , *Prilog raspravi o kvalitetu šupljeg nakita od legure zlata 585*, *Specijalizovani asopis za unapre enje kvaliteta*, *Poslovna politika AD*, Beograd, Zemun, god. XVIII, (3-4), (2008), str. 65-67;
- [39] C.Gretu and E.van der Lingen, *Coloured Gold Alloys*, Mintek, Private Bag X3015, Randburg 2125, South Africa,(1999. 7. Sept.), pp. 31-40;
- [40] W.S.Rapson, *The Metallurgy of the Coloured Carat Gold Alloys*, *Gold Bulletin*, (1990), 23 (4), pp. 125-134;

- [41] G.H.Sistare, *Ag-Au-Cu*, in ASM Metals Handbook, Vol.8 ASM, Gaithersburg (1973), pp. 377-378;
- [42] A.Prince, *Critical Assessment of Copper-Gold-Silver Ternary System*, Int.Mater.Rev., 33(6), (1988), pp. 314-338;
- [43] A.Prince, *Silver-Gold-Copper in Ternary Alloys*, A Comprehensive Compendium of Evaluted Constitutional Date and Phase Diagrams, Petzow,G., Effenberg,G., (Eds), Vol.1, 165-176 (Phase Diagrams, Phase Relations, Crys.Structure, Assessement, 31), 1988, pp.165-176;
- [44] O.Ntugoku, J.B.Cadoff, *Til Line Compsitions of Ternary Cu-Ag-Au Alloys Within Miscibility Gap*, Mat.Sci.Techn. 2(1986), pp. 528-533; www.ingentaconnect.com/conect/.../art00002/;
- [45] T.O.Ziebold, *Ternary Diffusion in Cu-Ag-Au Alloys*, Thesis, Massachusetts Institute of Technology (1963-1965);
- [46] V.D.Sukhanov, T.S.Beyarchinova, *Continuos Complex Reactions of Ordering and Decomposition in Ordering Alloys Based on Au₃Cu*, Phys.Met.Metalogr., 72(3), (1991), p. 117-125, translated from Fiz.Met.Metalloved., (9), (1991), pp. 123-131;
- [47] Z.Karastojkovi , R.Peri , M.Sre kovi , Z.Janjuševi , S.Jakovljevi , Z.Kova evi , *Fazne transformacije kao razlog propadanja legure zlata 585*, Knjiga radova X YUCORR – Saradnja istraživa a razli itih struka na polju korozije, zaštite materijala i životne sredine, SITZAM – Beograd, Srbija, Tara - 2008, str. 289-293;
- [48] R.Peri , Z.Karastojkovi , I.Peri , R.Peri , *Svetlosna mikroskopija interkristalne korozije kod legura zlatnog nakita 585/1000*, Knjiga radova XI YUCORR – Saradnja istraživa a razli itih struka na podru ju korozije, zaštite materijala i ivotne sredine, SITZAM – Beograd, Srbija, Tara – 2009, str. 243-248;
- [49] R.Peri , Z.Karastojkovi , I.Peri , R.Peri , *Interkristalna korozija šupljeg nakita kod legure zlata za nakit*, Zbornik radova savetovanja: Korozija i zaštita materijala u toku eksploatacije, Narodna tehnika, Požarevac, (2008), Srbija, str.135-146;
- [50] P.Bataini, *La metalografia ottica nella fabbricazione dei goelli come evitare e problemi e migliorare la qualita*, Jewelry Technology Forum, Vicenza, Italia, 2008, pp.242-270;
- [51] S.Glasstone, *Atomska energija*, (Samuel Glasstone – Consultant to the United States Atomic Energy Comision), (2), (1964), str. 63-115;

- [52] D.Cvetkovi , *Fizi ki parametri radne i životne sredine, osvetljenje, FP*. Predavanja, 2013, <http://www.znrfak.ni.ac.rs/SRB/10-studije/10-01-OAS>;
- [53] S.Pajevi , *Opti ke metode analize*, Predavanje: Metode u biološkim analizama, www.2.dbe.pmf.uns.ac.rs/.../metode.pdf;
- [54] R.Peri , Z.Karastojkovi , M.Sre kovi , Z.Janjuševi , Z.Kova evi , *Absorption layers in laser welding of silver & golden jewels*, Proceedings of 40th International October Conference on Mining and Metallurgy, October 2008, Soko-banja, Serbia (2008), pp. 452-458;
- [55] M.A.Krishtal, A.A.Zhukov, A.N.Kokora, *Struktura i svojstva splavov obratanih izlu enijem lasera*, Moskva 1973, Metalurgija, pp. 7-28;
- [56] R.E.Reed-Hill, *Physical Metallurgy Principles*, New York, 1973, D.Van Nostrand Co, pp.534-539; 568-607;
- [57] Z.Karastojkovi , M.Sre kovi . R.Peri , M.Kutin, Z.Janjuševi , *Width of heated area during gas and laser welding of small parts made from 585 gold alloy*, XXXVIII October Conference on Mining and Metallurgy, Donji Milanovac – Serbia, 2006, Proceedings, pp. 610-619;
- [58] Z.Karastojkovi , R.Peri , M.Sre kovi , Z.Janjuševi , S.Jakovljevi , Z.Kova evi , *Metallurgy of gas and laser welding of thin parts made from 585 gold alloy*, 10th National Conference of Metallurgy with International participation, Varna – Bulgaria, 2007, A-27;
- [59] Z.Karastojkovi , R.Peri , M.Sre kovi , Z.Janjuševi , Z.Kova evi , *Apsorpcione prevlake za uspešno lasersko lemljenje i varenje zlatnog nakita*, Conference, Zavarivanje 2008, Subotica, Serbia, Proceedings on CD, pages 7;
- [60] Practicum Goldshmeden: New Techniques, Laser/Pulse Brush, N°10, pp. 7-26;
- [61] S.Panteli , N.Borna, M.Sre kovi , Z.Kova evi , Z.Karastojkovi , R.Peri , T.Volkov-Husovi , Z.Janjuševi , *Nd³⁺:YAG laser interaction with optical fibres in optical fibre – connector system*, Journal of the Serbian Chemical Society, Published by Serbian Chemical Society, Ref.N°.4202, (2009);
- [62] B.W.Weinberger, *An Introduction to the History of Dentistry*, Vol.I, Mosby Co., St. Louis, 1948, {An Illustrated History, (Mosby), 1995};
- [63] D.P.Agarwal and G.Raykhtsaum, in The Santa Fe symposium on Jewelry Manufacturing Technology 1988, ed. D.Schneller, Santa Fe 1988, pp. 229-235;
- [64] G.Raykhtsaum and D.P.Agarwal, *The Color of Gold Technology*, (1977), N°22, pp. 26-30;

- [65] C.W.Zanariah, C.W.Ngah and Norita Mohamed, *Color Measurements of Electroplated Gold Film on Hull Cell Panels*, International Journal of Research in Engineering and Technology, (20139, 02/07, pp. 9-12;
- [66] M.Poliero, *Leghe d'oro bianco per microfusione*, Leg.Or. s.r.l., Bressanvido, Vicenza, Italia, pp. 10-20.
- [67] P.Gertik, *Umetni ka obrada metala – Nakit i ukrasni predmenti*, Muzej primenjene umetnosti, Beograd, 2004, str. 66-290;
- [68] R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Kova evi , D.Guskovi , *Age-Hardening Effect of Au585Ag90Cu264Zn61 and Application in the Manufacture of Jewelry*, Metalurgia International, Vol. XVIII, (2013), Special Issue N°4, pp. 352-361;
- [69] D.Ott, *Optimizing Gold Alloys for the Manufacturing Process*, Gold Technology, 34(1), (2002), pp. 37-44;
- [70] D.P.Agarval and G.Raykhtsaun, in Precious Metals 1993, Proceedings of the 17th International Precious Metals Conference, Newport, Rhode Island, ed R.K. Misra International Precious Metals Institute, Newport, Rhode Island,1993, pp. 153-170;
- [71] Y.H.Shen, T.Gao, M.M.Wang, *Effect of Intense Laser Irradiation on the Lattice Stability of Al₂Au*, Communications in Theoretical PhYsics, vol.59, N°5, May 15, 2013, Institute an Molecular Phisics, Sichuan University, Chengdu 610065, China, pp. 589-593;
- [72] O.Untracht, in „*Jewelry Concepts and Technology*“, ed. R.Hale, Double day & Company, London, 1982, Published by Oxford University Pres, pp. 391,718, www.the_grove_encyclopedia_of_materials_and_techniques_in_art.com;
- [73] T.O.Ziebold, *Ternary Diffusion in Copper-Silver-Gold Alloys*, Massachusetts Institute of Technology (1963), pp. 1-150;
- [74] A.S.McDonald and G.H.Sistare, *The metallurgy of some carat gold jewelry alloys*, Gold Bulletin, 1978, 11(3), pp. 66-73;
- [75] R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Kova evi , D.Guskovi , *The Aging of Gold Alloys for Production of Jewely*, Zbornik radova savetovanja: Primena savremenih materijala u tehnologijama i konstrukcijama, Požarevac, Srbija, (2012), str. 86-94;
- [76] H.J.Seol, T.Shiraishi, Y.Tanaka, E.Miura, K.Hisatsune, H.I.Kim, *Ordering behaviors and age-hardening in experimental AuCu-Zn pseudobinary alloys for dental applications*, Biomaterials, 23 (2002), pp. 4873-4879, www.elsevir.com/locate/biomaterials

- [77] V.Ili , V.Batani , B.Jovi , *Epidemiološki i patogeni aspekti trovanja niklom*, 2007, <http://www.publisher.medfak.ni.ac.rs>,
- [78] D.Guskovi , Z.Stankovi , *Preparation of amorphous alloys in Zr-Mo-Pd system*, Material Science and Technology, 10 (1994), pp. 337-341;
- [79] D.Guskovi , Z.Stankovi , *Some amorphous alloys production in thernary systems Zr-(Pd,Ru,Mo)-(Si,B)*, Journal of Materials Science, 28 (1993), pp. 949-954;
- [80] S.H.Lee, I.S.Lim, M.H.Cho, A.R.Pio, Y.H.Kwon, H.J.Seol, H.I.Kim, *Age-hardening and overaging mechanisms related to the metastable phase formation by the decomposition of Ag and Cu in a dental Au-Ag-Cu-Pd-Zn alloy*, Gold bulletin, 07.july 2011, DOI 10.1007/s13404-011-0021-x,pp. 1-8;
- [81] K.Yasuda, G.Van Tendeloo, J.Van Landuyt, and S.Amelinckx, *High-resolution Electron Microscopic, Study of Age-hardening in a Commercial Dental Gold Alloy*, Journal of Dental Research, September, 1986, pp. 1179-1185,
- [82] T.Tani, K.Udoh, KYasuda, G.VanTendeloo, and J.Van Landuyt, *Age-hardening Mechanisms in a Commercial Dental Gold Alloy Containing Platinum and Palladium*, Journall of Dental Research, October, 1991, pp. 1350-1357;
- [83] Y.O.Kim, H.I.Kim, M.H.Cho, S.Y.Cho, G.Y.Lee, Y.H.Kwon, H.J.Seol, *Age-hardenability related to precipitation and lamellar-forming grain boundary reaction in dental low-carat gold alloy*, Dept.of Dental Materials, School of Dentistry and Medical Research Institute Pusan National University, Pusan National University, Beomeo-Ri, Mulgeum-Eup, Yangsan-Si, Gyeongsangnam-Do, 626-814, South Korea, Document N°MK110904, www.ijmr.de, pp.1-7.
- [84] M.G.Park, C.H.Yu, H.J.Seol, Y.H.Kwon, H.I.Kim, *Age-Hardening Behavior of a Spinodally Decomposed Low-Carat Gold Alloy*, Journal Mater.Sci. 43 (2008), pp. 1539-1545;
- [85] Ž.A.Spasojevi , Z.V.Popovi , *Elektrotehni ki i elektronski materijali*, Nau na knjiga, Beograd, (1979);
- [86] Enciclopedia Britannica, Inc. Encyclopedija Britannica, (2004); <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/860782/conductivity>, (pristup. 11.10.2014.);
- [87] W.D.Callister Jr., *Materials Science and Engineering An Introduction*, 7th Ed. John Willey & Sons, Inc., (2007);
- [88] Encyclopedia of world environmental history, Shepard Krech III, McNeill, Carolyn Merchant, eds., Routledge (2004), Volume 3, pp. 597;

- [89] General Electric Contact Materials, Electrical Contact Catalog (Material Catalog), Tanaka Precious Metals, (2005);
- [90] M.A.Krishtal, A.A.Zhukov, A.N.Kokora, *Struktura i svojstva splavov obradanih izlu eniem lazera*, Moskva, 1973, Metallurgija, pp. 7-28;
- [91] N.N.Rykalin, A.A.Uglov, *Lazernaja i elektronno-lu evaja obfrabotka materialov*, Moskva, 1985, Mašinstroenie, pp. 269-315;
- [92] K.W.Carlson, *The role of heat input in deep penetration laser welding*, International Conference „Laser Welding, Machining and Materials Procesing” – San Francisco, 1985, Book of Proceedings, pp.49-58;
- [93] H.Koebner, *Industrial Application of Lasers*, Moskva, 1988, Mašinstroenie, pp. 76-93;
- [94] Carl F. Baasel, *Instruction Handbook*, Starnberg, Carl Baasel – Lasertechnik & Co, KG Petersbrunner, 82319, (1999);
- [95] M.S.Grimwade, *Manuale sulla saldatura ed altre tecniche di giunzione,nella fabbricazione di gioielleria in oro*, International Technology, World Gold Council, Londra, (2002), pp. 39-42;
- [96] M.Stojanovi , *Metode za ocenu otpornosti prema koroziji metala u razli itim uslovima eksploatacije*, Izdava : Integritet i vek konstrukcije br. 2/2007, str. 71-78;
- [97] P.Battaini, *Lavorazioni meccaniche e trattamenti termici di ricottura nella produzione di semilavorati per oreficeria*, Jewellery Technology Forum, Convegno internazionale sulla tecnologia produttiva orafa, (2005), pp. 47-71;
- [98] Z.Karastojkovi , M.Sre kovi , R.Peri , Z.Janjuševi , Z.Kova evi , *Primena lesera u ispitivanju korozionih proizvoda*, Zbornik radova savetovanja, Korozija i zaštita materijala u toku eksploatacije, Izdava , Narodna tehnika, Požarevac, 2010, Srbija, str. 125-134;
- [99] www.legor.com/index.php?pagina=catalogo_pdf_2.php&codicecat=02, Istruzioni per lavoro Leghe madri – Scheda tecnica, LEGOR-GROUP S.p.A., Vicenza, Italy, (2013), Istruzioni per lavoro;
- [100] www.indutherm.de/it/products/VC_400, Idutherm, Erwärmungsanlagen GmbH, Instruction Manual for Vacuum Pressure Casting Machine VC 400, Brettener Strasse 32, D-75045 Walzbachtal, Germany, (2004);

- [101] B.Ko ovski, *Metalurgija obojenih metala*, Bor, 1967, Rudarsko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, str. 28-74;
- [102] M. auševi , *Teorija plasti ne prerade metala*, Svjetlost – Sarajevo, Metalurški fakultet u Zenici,1979;
- [103] P.Battaini, *Lavorazioni meccaniche e trattamenti termici di ricotura nella produzione di semilavorati peroreficeria*, Jewelry Technology Forum, Vicenza – Italia, 2005, Lavori raccolti, pp. 47-71;
- [104] G.Petzow, V.Carle, *Metallographic etching*, Ohio, ASM Int, 1999, pp.64-67;
- [195] B.Musafia, *Obrada metala plastišnom deformacijom*, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 1972, str.23-106.-
- [106] V.B.Bahtinov, *Prokatnoe proizvodstvo*, Moskva „Metalurgija”, 1987, pp. 12-109;
- [107] A.P.Grudev, *Teorija prokatki*, Moskva „Metalurgija”. 1988, pp. 9-119;
- [108] Z.Karastojkovi , *Analiza uticaja procesa zavarivanja, lemljenja i termi ke obrade na kvalitet spojeva legure zlata fino e 585*, Univerzitet u Beogradu, Ve e za multidisciplinarne studije, Doktorska disertacija, Beograd, 2013;
- [109] <http://www.rgf.rs/predmet/RO/VI%20semestar/4.TehDi.pdf>
- [110] <http://www.rgf.bg.ac/predmet/RO/III%20semestar/pdf>, *Tehnologija materijala u rudarstvu, Ispitivanje tvrdo e*, Univerzitet u Beogradu,(2012), str. 43-68;
- [111] R.Peri , Z.Karastojkovi , M.Peri , I.Peri . R.Peri , *Light Microscopy Introduction and Improving the Quality of Hole-Jewels from 585/1000 Gold Alloy*, Proceedings of 1st International Congress on Engineering, Materials and Management in the Processing Industry, Faculty of Technology Zvornik, Republic of Srpska, B&H, Jahorina 2009, (2009), pp. 257-262;
- [112] S.Jakovljevi , Z.Karastojkovi , R.Peri , Z.Janjuševi , *Poteško e pri pepoliranju i ponovnom nagrizanjukomercijalnih legura zlata za opti ku mikroskopiju*, Zbornik izvoda radova VII Savetovanja metalurga Srbije – Perspektive razvoja metalurške industrije, Savez inženjera metalurga Srbije, Beograd, Septembar (2008), Srbija, CD-77;
- [113] B.Hafner, *Scanning Electron Mocoscopy Primer*, Characterization Facility, University of Minnesota – Twin Cities, 4/16/2007, pp. 1-29;
- [114] A.Werner, B.Skilberd, H.Fjeld, *Scaning Electron Microscopy – SEM*, MENA3100, Predavanje: Power Point, www.uio.no/studier/emner/.../24february09.ppt, (pristup, 22.04.2014.g.);

- [115] E.V.Pan enko, J.A.Skakov, B.I.Krimer, P.P.Arsentjev, K.V.Popov, M.J.Cviling, *Laboratorija metalografiji*, pod redakcijej dokt.tehn.nauk.prof.B.G.Livšica, Metalurgija, Moskva, 1965, pp. 11-349;
- [116] Z.Karastojkovi , R.Peri , Z.Janjuševi , Z.Kova evi , *Deformation Regime and Microstructures of Gold Alloy 585*, Proceedings of 3rd International Conference, Deformation Processing and Structure of Materials, Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AME), Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Institute of Nuclear Sciences „Vin a“, Serbian Chemical Society, September 2007, Belgrade, Serbia, (2007), pp. 293-298;
- [117] R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Kova evi , Z.Janjuševi , D.Guskovi , *Tempering/Ageing in Region 50-600°C of Quenched and Cold Deformed 585 Gold Alloy for Jewelry Production*, Metalurgia, 53 (2014) 3, pp. 346-348; (IF-0.69), Croatian Metallurgical Society –CMS;
- [118] PDPP „PERI &PERI ”&Co. d.o.o, *Tehnološka karta proizvodnje*, Požarevac, Srbija, 2013;
- [119] H.Winn, Y.Tanaka, T.Shiraishi, K.Udoh, E.Miura, R.I.Hernandez, Y.takuma, K.Hisatsune, *Two Types of Checkerboard-like Microstructures in Au-Cu-Pd Ternary Alloys*, www.elsevier.com/locate/jalcom, Journal of Alloys and compounds 306 (2000) pp.262-269;
- [120] Y.Le Bouar, A.Loiseau and A.G.Khachaturian, *Origin of Chessboard-like Structures in Decomposing Alloys*, Theoretical Model and Computer Simulation, Acta mater. Vol.46, No.8, pp.2777-2788,(1998), Acta Metallurgica Inc.
- [121] R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Kova evi , D.Guskovi , *Hardness Changes in Ag925Cu75 Jewel Alloy After Tempering of As-Casted, Rolled and Quenched States*, Proceedings of 43rd International October Conference on Mining and Metallurgy, Univetsity of Belgrade – Technical Faculty in Bor, Serbia, Kladovo, October 2011, (2011), pp. 171-175;
- [122] R.Peri . Z.karastojkovi , Z.Janjuševi , Z.Kova evi , *Privarivanje i pri vrš ivanje delova pre tvrdog lemljenja*, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 54/2009/2, str.63-67;
- [123] S.Markovi , S.Stojadinovi , S. or evi , Z.Markovi , *Terminološki re nik – Leksikon fizi ke metalurgije*, Savez inženjera metalurgije Jugoslavije, Beograd, 1996. godine;
- [124] P.Battaini, *Lavorazioni meccaniche e trattamenti termici di ricotura nella produzione di semilavorati per oreficeria*, (Jewelry Technology Forum), Vicenza – Italia, Giugno 2005, Lavori raccolti, pp. 47-71;

- [125] V.P.Novikov, *Po ti vsjo o juvelirnih izdeljijah*, Sankt-Peterburg „Kontinent“ 1995, pp. 34-79;
- [126] R.Peri , Z.Karastojkovi , M.Sre kovi , Z.Kova evi , Z.Janjuševi , I.Peri , *Reflectivity of Absorbtion Layers for Laser Welding of 585/1000 Gold Alloy Measuring at Day Light*, Proceedings of 41st International october conference on Mining and Metallurgy, Serbia, Bor – Kladovo, (2009), pp. 613-620;
- [127] Z.Karastojkovi , R.Peri , M.Sre kovi , Z.Janjuševi , *Uvo enje laserske tehnike u zlatarstvo*, Beograd (2008), VII savetovanje metalurga Srbije, Zbornik izvoda, pp.77;
- [128] J.I.Jeong, H.I.Kim, G.Y.Lee, Y.H.Kwon, H.J.Seol, *Spinodal decomposition related to age-hardening and cuboidal structures in a dental low-carat gold alloy with relatively high Cu/Ag content ratio*, Gold Bulletin (2014) 47, pp.65-73;

°- Opšta literatura:

M.Šipka, *Pravopisni re nik srpskog jezika*, Prometej, Novi Sad, (2010);

I.Klajn, M.Šipka, *Veliki re ni stranih re i i izraza*, Prometej, Novi Sad, (2006);

10.- PRILOZI

Prilog br.1.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legure „L-1”, Grupa I, vreme = 15 min ;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	11	O.S.	185, 193, 193, 201, 193	193,0	
2	49	50	175, 176, 174, 176, 174	175,0	
3	50	100	184, 180, 183, 182, 183	182,5	
4	12	150	193, 201, 210, 201, 193	203,0	
5	13	200	210, 229, 219, 219, 219	219,2	
6	14	250	229, 219, 229, 219, 219	223,0	
7	15	300	229, 229, 219, 219, 229	225,0	
8	16	350	201, 185, 193, 201, 193	194,6	
9	17	400	185, 185, 201, 201, 201	194,6	
10	18	450	133, 133, 133, 133, 138	134,0	
11	19	500	124, 120, 120, 120, 120	120,8	
12	20	550	110, 113, 113, 106, 103	111,0	

Prilog br.2.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-1”, Grupa I, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	11	O.S.	185, 193, 193, 201, 193	193,0	
2	51	50	177, 178, 178, 176, 176	177,0	
3	52	100	202, 200, 202, 200, 201,	201,0	
4	31	150	210, 229, 210, 210, 229	217,6	
5	32	200	251, 251, 251, 251, 251	251,0	
6	33	250	239, 263, 229, 251, 239	244,2	
7	34	300	229, 229, 210, 210, 229	221,4	
8	35	350	219, 219, 219, 219, 219	219,0	
9	36	400	193, 185, 185, 171, 171	181,0	
10	37	450	138, 133, 129, 133, 138	134,2	
11	38	500	133, 129, 129, 129, 133	130,6	
12	39	550	120, 117, 117, 120, 117	118,2	
13	40	600	110, 106, 110, 100, 106	106,4	

Prilog br. 3.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-1”, Grupa I, vreme = 60 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	45	150	180, 181, 182, 184, 185	182,6	
2	46	200	209, 205, 209, 205, 207	207,0	
3	47	250	205, 205, 209, 207, 209	207,0	
4	48	300.	169, 172, 169, 171, 168	169,9	

Prilog br. 4.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-1”, Grupa II, vreme = 15 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	1	O.S.	117, 113, 113, 117, 117	115,4	
2	53	50	105, 105, 106, 106, 106	105,5	
3	54	100	120, 120, 121, 122, 122	121,0	
4	2	150	133, 138, 138, 138, 138	137,0	
5	3	200	178, 165, 165, 165, 171	168,8	
6	4	250	148, 148, 148, 143, 148	147,0	
7	5	300	129, 124, 124, 124, 124	125,0	
8	6	350	113, 113, 113, 113, 113	113,0	
9	7	400	110, 113, 110, 110, 113	111,2	
10	8	450	106, 103, 103, 113, 106	106,2	
11	9	500	103, 103, 100, 103, 100	101,8	
12	10	550	117, 113, 113, 117, 113	114,6	

Prilog br. 5.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-1”, Grupa II, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	1	O.S.	1117, 113, 113, 117, 117	115,4	
2	55	50	109, 109, 111, 110, 111	110,0	
3	56	100	121, 120, 120, 122, 122	121,0	
4	21	150	171, 171, 171, 159, 165	167,4	
5	22	200	171, 171, 171, 171, 165	169,8	
6	23	250	165, 165, 165, 159, 165	163,8	
7	24	300	120, 129, 120, 120, 120	121,8	
8	25	350	120, 129, 120, 124, 120	122,6	
9	26	400	120, 120, 117, 117, 120	118,8	
10	27	450	120, 120, 117, 117, 120	118,6	
11	28	500	133, 124, 120, 120, 120	123,4	
12	29	550	120, 117, 117, 117, 120	118,2	
13	30	600	117, 113, 110, 117, 117	114,8	

Prilog br. 6.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-1”, Grupa II, vreme = 60 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	41	150	144, 145, 145, 144, 145	144,6	
2	42	200	139, 137, 138, 140, 136	138,0	
3	43	250	144, 148, 145, 147, 148	146,3	
4	44	300	129, 130, 129, 126, 123	127,3	

Prilog br. 7.- Elektri na provodljivost, MS/m, legura „L-1”, Grupa I, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Električna provodljivost (MS/m)	Srednja vrednost (MS/m)	Srednja vrednost (%IACS)	Primedba
1	1	O.S.	5.435 - 5.430 - 5.425	5.43	9.36	
			5.435 - 5.425 - 5.430	5.43	9.36	
2	2	150	5.439 - 5.436 - 5.453	5.44	9.38	
			5.45 - 5.429 - 5.461	5.45	9.39	
3	3	200	5.502 - 5.507 - 5.547	5.52	9.51	
			5.51 - 5.501 - 5.54	5.52	9.51	
4	4	250	5.573 - 5.543 - 5.581	5.57	9.60	
			5.574 - 5.536 - 5.565	5.56	9.58	
5	5	300	5.575 - 5.532 - 5.545	5.55	9.57	
			5.578 - 5.522 - 5.543	5.55	9.56	
6	6	350	5.512 - 5.505 - 5.565	5.53	9.53	
			5.541 - 5.534 - 5.59	5.56	9.58	
7	7	400	5.556 - 5.531 - 5.554	5.55	9.56	
			5.56 - 5.536 - 5.55	5.55	9.57	
8	8	450	5.533 - 5.525 - 5.587	5.55	9.57	
			5.56 - 5.529 - 5.584	5.56	9.58	
9	9	500	5.526 - 5.529 - 5.576	5.54	9.56	
			5.542 - 5.533 - 5.586	5.55	9.58	
10	10	550	5.542 - 5.512 - 5.548	5.53	9.54	
			5.56 - 5.523 - 5.559	5.55	9.56	
11	22	600	5.550 - 5.500 - 5.450	5.50	9.47	
			5.500 - 5.450 - 5.550	5.50	9.47	

Prilog br. 8.- Elektri na provodljivost, MS/m, legura „L-1”, Grupa II, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Električna provodljivost (MS/m)	Srednja vrednost (MS/m)	Srednja vrednost (%IACS)	Primedba
1	11	O.S.	5.550 - 5.560 - 5.570	5.56	9.58	
			5.560 - 5.550 - 5.570	5.56	9.58	
2	12	150	5.507 - 5.492 - 5.55	5.52	9.51	
			5.5 - 5.506 - 5.532	5.51	9.50	
3	13	200	5.465 - 5.452 - 5.481	5.47	9.42	
			5.488 - 5.461 - 5.494	5.48	9.45	
4	14	250	5.527 - 5.503 - 5.506	5.51	9.50	
			5.528 - 5.501 - 5.514	5.51	9.51	
5	15	300	5.594 - 5.574 - 5.634	5.60	9.66	
			5.599 - 5.571 - 5.616	5.60	9.65	
6	16	350	5.637 - 5.588 - 5.607	5.61	9.67	
			5.631 - 5.591 - 5.612	5.61	9.67	
7	17	400	5.625 - 5.612 - 5.634	5.62	9.70	
			5.639 - 5.609 - 5.65	5.63	9.71	
8	18	450	5.564 - 5.568 - 5.592	5.57	9.61	
			5.587 - 5.562 - 5.596	5.58	9.62	
9	19	500	5.603 - 5.569 - 5.595	5.59	9.64	
			5.616 - 5.563 - 5.596	5.59	9.64	
10	20	550	5.621 - 5.595 - 5.623	5.61	9.68	
			5.636 - 5.6 - 5.623	5.62	9.69	
11	39	600	5.620 - 5.640 - 5.630	5.63	9.71	
			5.630 - 5.640 - 5.620	5.63	9.71	

Prilog br.9.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-2“, Grupa I, vreme = 15 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	b01	O.S.	251, 251, 251, 251, 251, 251	251,0	
2	b02	50	239, 239, 239, 239, 239, 239	239,0	
3	b03	100	263, 239, 239, 229, 239, 229	239,7	
4	b04	150	239, 229, 239, 239, 229, 239	235,7	
5	b05	200	251, 251, 239, 239, 244, 239	243,8	
6	b06	250	263, 251, 251, 251, 251, 251	253,0	
7	b07	300	251, 251, 263, 263, 251, 263	257,0	
8	b08	350	276, 263, 276, 263, 276, 263	269,5	
9	b09	400	276, 256, 251, 251, 239, 263	256,0	
10	b10	450	185, 185, 185, 193, 201, 210	193,2	
11	b11	500	178, 171, 165, 171, 165, 165	169,2	
12	b12	550	185, 171, 171, 178, 171, 171	174,5	
13	b13	600	185, 178, 185, 185, 193, 193	186,5	

Prilog br.10.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-2”, Grupa I, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	b 01	O.S.	251, 251, 251, 251, 251,251	251.0	
2	b 54	50	241, 241, 243, 243, 240, 244	242.0	
3	b 55	100	242, 244, 242, 244, 241, 245	243.0	
4	b 56	150	245, 245, 248, 244, 247, 247	246.0	
5	b14	200	251, 251, 251, 251, 251, 259	249,0	
6	b15	250	290, 276, 276, 290, 290, 276	283,0	
7	b16	300	305, 390, 321, 305, 321, 305	307,8	
8	b17	350	290, 290, 290, 305, 321, 321	302,8	
9	b18	400	251, 276, 251, 251, 251, 263	257,2	
10	b 66	450	201, 201, 200, 200, 202, 202	201.0	
11	b67	500	182, 182, 183, 181, 182, 182	182.0	

Prilog br.11.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-2”. Grupa I, vreme = 60 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	b 01	O.S.	251, 251, 251, 251, 251, 251	251.0	
2	b 57	50	238, 238, 239, 241, 242, 242	240.0	
3	b 58	100	238, 239, 241, 238, 242, 242	240.0	
4	b 59	150	234, 238, 235, 235, 237, 237	236.0	
5	b19	200	239, 276, 251, 251, 239, 239	249,2	
6	b20	250	276, 276, 290, 290, 276, 290	283,0	
7	b21	300	290, 290, 290, 305, 305, 290	295,0	
8	b22	350	290, 305, 290, 290, 290, 290	292,5	
9	b23	400	250, 250, 250, 250, 250, 250	250.0	
10	b 68	450	174, 174, 174, 176, 176, 176	175.0	
11	b 69	500	173, 173, 173, 173, 173, 173	173.0	

Prilog br.12.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-2”, Grupa II, vreme = 15 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	B31	O.S.	138, 138, 143, 143, 143, 133	139,7	
2	b32	50	153, 143, 143, 133, 120, 129	136,8	
3	b33	100	148, 159, 159, 138, 143, 138	147,5	
4	b34	150	138, 159, 153, 148, 138, 159	149,2	
5	b35	200	159, 159, 165, 171, 165, 159	163,0	
6	b54	250	193, 178, 171, 193, 185, 171	181,8	
7	b55	300	219, 210, 219, 219, 219, 193	213,2	
8	b38	350	193, 193, 178, 193, 165, 185	184,5	
9	b39	400	143, 159, 138, 129, 120, 138	137,8	
10	b40	450	143, 148, 138, 138, 148, 129	140,7	
11	b41	500	143, 153, 148, 138, 145, 145	145,3	
12	b42	550	165, 170, 160, 165, 165, 165	165,0	
13	b43	600	165, 185, 178, 165, 159, 171	170,0	

Prilog br.13.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-2”. Grupa II, = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	b 31	O.S.	138, 138, 143, 143, 143,143	139.7	
2	b 60	50	138, 138, 139, 137, 140, 136,	138.0	
3	b 61	100	149, 149, 149, 149, 148, 151	149.0	
4	b 62	150	164, 166, 165, 165, 165, 165	165.0	
5	b44	200	185, 185, 185, 185, 185, 178	183,8	
6	b45	250	229, 229, 219, 219, 219, 219	222,3	
7	b46	300	219, 229, 229, 219, 219, 229	224,0	
8	b47	350	201, 193, 229, 229, 251, 229	222,0	
9	b48	400	220, 220, 220, 219, 219, 222	220,0	
10	b 70	450	180, 180, 184, 184, 182, 182	182.0	
11	b71	500	162, 162, 161, 163, 162, 162	162.0	

Prilog br.14.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-2”, Grupa II, vreme = 60 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	b 31	O.S.	138, 138, 143, 143, 143, 143	139.7	
2	b 63	50	138, 138, 142, 142, 139, 141	138.0	
3	b 64	100	149, 149, 145, 145, 147,174	149.0	
4	b 65	150	160, 160, 161, 161, 159, 159	165.0	
5	b49	200	171, 210, 178, 185, 185, 185	186,8	
6	b50	250	193, 165, 210, 219, 210, 178	195,8	
7	b51	300	201, 239, 229, 201, 185	213,3	
8	b52	350	219, 211, 219, 219, 219, 209	216,0	
9	b53	400	218, 216, 210, 219, 210, 213	214,2	
10	b 72	450	178, 179, 179, 179, 179, 180	179.0	
11	b 73	500	159, 159, 166, 160, 161,161	160.0	

Prilog br. 15.- elektri na provodljivost, MS/m, legura „L-2”, Grupa I, vreme = 15 min.

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Električna provodljivost (MS/m)	Srednja vrednost (MS/m)	Srednja vrednost (%IACS)	Primedba
1	b01	O.S.	6.054 - 6.042 - 6.071	6.06	10.44	
			6.053 - 6.046 - 6.07	6.06	10.44	
2	b02	50	6.088 - 6.055 - 6.044	6.06	10.45	
			6.097 - 6.049 - 6.105	6.08	10.49	
3	b03	100	6.014 - 5.985 - 5.987	6.00	10.34	
			5.996 - 5.994 - 6.016	6.00	10.35	
4	b04	150	5.99 - 5.962 - 5.989	5.98	10.31	
			5.971 - 5.957 - 6.004	5.98	10.31	
5	b05	200	5.896 - 5.877 - 5.88	5.88	10.15	
			5.883 - 5.858 - 5.885	5.88	10.13	
6	b06	250	5.823 - 5.824 - 5.834	5.83	10.05	
			5.828 - 5.821 - 5.869	5.84	10.07	
7	b07	300	6.088 - 6.06 - 6.087	6.08	10.48	
			6.082 - 6.083 - 6.09	6.09	10.49	
8	b08	350	6.725 - 6.696 - 6.706	6.71	11.057	
			6.708 - 6.688 - 6.714	6.70	11.56	
9	b09	400	6.655 - 6.626 - 6.631	6.64	11.44	
			6.664 - 6.644 - 6.679	6.66	11.49	
10	b10	450	6.012 - 5.939 - 5.96	5.97	10.29	
			6.002 - 5.954 - 5.98	5.98	10.31	
11	b11	500	5.834 - 5.826 - 5.829	5.83	10.05	
			5.839 - 5.824 - 5.86	5.84	10.07	
12	b12	550	5.826 - 5.792 - 5.826	5.81	10.03	
			5.848 - 5.794 - 5.825	5.82	10.04	
13	b13	600	5.847 - 5.832 - 5.846	5.84	10.07	
			5.843 - 5.813 - 5.859	5.84	10.07	

Prilog br. 16.- Elektri na provodljivost, MS/m, legura „L-2”, Grupa II, vreme = 15 min.-

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Električna provodljivost (MS/m)	Srednja vrednost (MS/m)	Srednja vrednost (%IACS)	Primedba
1	b31	O.S.	5.869 - 5.849 - 5.876	5.86	10.11	
			5.86 - 8.835 - 5.893	5.86	10.11	
2	b32	50	5.797 - 5.778 - 5.814	5.80	9.99	
			5.794 - 5.784 - 5.845	5.81	10.01	
3	b33	100	5.854 - 5.859 - 5.864	5.86	10.10	
			5.834 - 5.834 - 5.848	5.84	10.07	
4	b34	150	5.9 - 5.903 - 5.907	5.90	10.18	
			5.906 - 5.922 - 5.904	5.91	10.19	
5	b35	200	5.981 - 5.968 - 5.958	5.97	10.29	
			5.976 - 5.964 - 5.988	5.98	10.30	
6	b36	250	6.027 - 6.023 - 6.052	6.03	10.40	
			6.056 - 6.016 - 3.039	6.04	10.41	
7	b37	300	6.095 - 6.951 - 6.072	6.06	10.41	
			6.092 - 6.09 - 6.096	6.09	10.50	
8	b38	350	6.904 - 6.868 - 6.813	6.86	11.83	
			6.931 - 6.879 - 6.831	6.88	11.86	
9	b39	400	6.881 - 6.801 - 6.776	6.82	11.76	
			6.809 - 6.781 - 6.796	6.80	11.72	
10	b40	450	5.852 - 5.797 - 5.816	5.82	10.04	
			5.884 - 5.851 - 5.907	5.88	10.14	
11	b41	500	5.906 - 5.853 - 5.885	5.88	10.14	
			5.897 - 5.865 - 5.905	5.89	10.15	
12	b42	550	5.804 - 5.787 - 5.817	5.80	10.00	
			5.807 - 5.78 - 5.821	5.80	10.00	
13	b43	600	5.838 - 5.831 - 5.877	5.85	10.08	
			5.839 - 5.835 - 5.88	5.85	10.09	

Prilog br.17.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-3“ – Grupa I, vreme = 15 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	01	O.S.	124, 106, 124, 124, 124, 106	118,0	
2	02	50	113, 124, 113, 124, 124, 124	120,3	
3	03	100	124, 133, 129, 129, 124, 133	128,7	
4	04	150	129, 120, 129, 129, 120, 129	126,0	
5	05	200	120, 120, 120, 120, 120, 120	120,0	
6	06	250	117, 117, 103, 117, 113, 103	111,0	
7	07	300	113, 113, 106, 110, 113, 106	110,2	
8	08	350	106, 106, 106, 106, 103, 103	105,0	
9	09	400	91,9; 91,9; 91,9; 91,9; 97,5; 94,5	93,3	
10	10	450	87,0; 87,0; 89,4; 89,4; 89,4; 89,4	88,6	
11	11	500	84,6; 84,6; 87,9; 87,0; 87,0; 87,0	86,2	
12	12	550	82,5; 82,5; 78,2; 78,2; 78,2; 78,2	79,6	
13	13	600	72,5; 78,2; 82,5; 77,2; 74,2; 76,2	76,8	

Prilog br.18.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-3” - Grupa I, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	01	O.S.	124, 106, 124, 124, 124, 106	118,0	
2	40	50	124, 124, 120, 120, 120, 120	121,3	
3	41	100	129, 133, 124, 120, 124, 124	125,7	
4	42	150	124, 138, 117, 129, 129, 138	129,2	
5	43	200	138, 138, 129, 138, 129, 129	133,5	
6	48	250	124, 113, 113, 110, 113, 110	113,8	
7	45	300	103, 106, 106, 103, 103, 103	104,0	
8	46	350	94,5; 97,5; 97,5; 94,5; 100; 103	97,8	
9	47	400	94,5; 100; 97,5; 94,5; 89,4; 91,9	94,6	

Prilog br.19.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, Legura „L-3” – Grupa I, vreme = 60 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	01	O.S.	124, 106, 124, 124, 124, 106	118,0	
2	65	50	129, 133, 133, 138, 133, 129	132,5	
3	66	100	129, 133, 129, 138, 133, 129	131,8	
4	67	150	129, 129, 129, 129, 133, 129	123,7	
5	68	200	124, 124, 124, 133, 129, 129	127,2	
6	69	250	117, 117, 117, 117, 124, 124	119,3	
7	70	300	113, 110, 110, 110, 110, 117	111,7	
8	71	350	100, 100, 100, 100, 94,5; 97,5	98,7	
9	72	400	94,5; 94,5; 94,5; 94,5; 94,5; 91,9	94,1	

Prilog br.20.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-3” – Grupa II, vreme = 15 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	14	O.S.	69,0; 65,7; 67,2; 65,7;65,7; 67,2	66,8	
2	5	50	64,2; 60,0; 61,2; 60,0; 64,2; 61,2	61,8	
3	16	100	67,2; 67,2; 64,2; 67,2; 64,2; 67,2	66,2	
4	17	150	72,5; 70,7; 70,7; 70,7; 72,5; 70,7	71,3	
5	18	200	69,0; 67,2; 65,7; 65,7; 69,0; 67,2	67,3	
6	19	250	69,0; 70,7; 70,7; 70,7; 70,7; 69,0	70,1	
7	20	300	78,2; 78,2; 78,2; 78,2; 78,2; 76,2	77,9	
8	21	350	72,5; 76,2; 78,2; 84,6; 74,2; 78,2	77,3	
9	22	400	78,2; 72,5; 72,5; 72,5; 72,5; 74,2	73,8	
10	23	450	74,2; 74,2; 76,2; 70,7; 70,7; 74,2	73,4	
11	24	500	70,7; 69,0; 72,5; 72,5; 72,5; 67,2	70,7	
12	25	550	70,7; 62,7; 67,2; 69,0; 69,0; 72,5	68,5	
13	26	600	70,7; 70,4; 64,2; 67,2; 67,2; 69,0	68,2	

Prilog br. 21.- Tvrdo a uzoraka, HV0.25, legura „L-3”- Grupa II, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	14	O.S.	69,0; 65,7; 67,2; 65,7; 65,7; 67,2	66,8	
2	27	50	64,2; 62,7; 62,7; 62,7; 64,2; 64,2	63,5	
3	28	100	70,7; 65,7; 65,7; 65,7; 64,2; 64,2	66,0	
4	29	150	69,0; 67,2; 65,7; 65,7; 67,2; 65,7	66,8	
5	30	200	69,0; 69,0; 69,0; 69,0; 65,7; 70,7	68,7	
6	35	250	70,7; 72,5; 67,2; 70,7; 67,2; 70,7	69,8	
7	32	300	74,2; 70,7; 72 5; 72,5; 69,0; 74,2	72,1	
8	33	350	76,2; 74,2; 70,7; 72,5; 76,2; 74,2	74,2	
9	34	400	76,2; 76,2; 74,2; 76,2; 76,2; 74,2	75,5	
10	38	450	74,3; 70,6; 71,5; 73,5; 70,7; 73,2	72,2	

Prilog br.22.- Tvrdo a uzoraka HV0.25, legura „L-3” – Grupa II, vreme = 60 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Izmerene vrednosti tvrdoće (HV 0.25)	Srednja vrednost tvrdoće (HV 0.25)	Primedba
1	14	O.S.	69,0; 65,7; 67,2; 65,7; 65,7; 67,2	66,8	
2	55	50	64,2; 64,2; 64,2; 61,2; 65,7; 64,2	63,9	
3	56	100	65,7; 65,7; 65,7; 64,2; 64,2; 65,7	65,2	
4	57	150	65,7; 65,7; 65,7; 69,0; 64,2; 65,7	66,0	
5	58	200	67,2; 65,7; 65,7; 67,2; 67,2; 65,7	66,5	
6	59	250	67,2; 69,0; 69,0; 69,0; 69,0; 69,0	68,7	
7	60	300	69,0; 70,7; 69,0; 72,5; 70,7; 70,7	70,4	
8	61	350	69,0; 70,7; 72,5; 72,5; 72,5; 72,5	71,6	
9	62	400	72,5; 72,5; 72,5; 72,5; 72,5; 72,5	72,5	
10	63	450	69,7; 70,5; 69,0; 70,5; 70,5; 70,5	70,0	

Prilog br. 23.- Elektri na provodljivost uzoraka, MS/m, legura „L-3”- Grupa I, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Električna provodljivost (MS/m)	Srednja vrednost (MS/m)	Srednja vrednost (%IACS)	Primedba
1	1	O.S.	44.56 - 44.52 - 44.66	44.58	76.86	
			44.65 - 44.63 - 44.68	44.65	76.99	
2	2	50	45.72 - 45.78 - 45.93	45.81	78.98	
			45.75 - 45.83 - 46.03	45.87	79.08	
3	3	100	44.9 - 44.95 - 45.04	44.96	77.52	
			44.78 - 44.92 - 44.88	44.86	77.34	
4	4	150	45.23 - 45.12 - 45.41	45.25	78.02	
			44.99 - 45.04 - 45.07	45.03	77.64	
5	5	200	46.06 - 46.16 - 46.15	46.12	79.52	
			45.9 - 46.13 - 46.1	46.04	79.38	
6	6	250	50.95 - 51.22 - 51.23	51.13	88.16	
			51.16 - 51.3 - 51.27	51.24	88.35	
7	7	300	52.89 - 52.78 - 52.93	52.87	91.15	
			52.92 - 52.7 - 52.63	52.75	90.95	
8	8	350	55.29 - 55.33 - 55.14	55.25	95.26	
			55.23 - 55.36 - 55.3	55.30	95.34	
9	9	400	55.69 - 55.62 - 55.6	55.64	95.92	
			55.67 - 55.41 - 55.62	55.57	95.80	
10	10	450	55.1 - 55.06 - 55	55.05	94.92	
			54.99 - 54.96 - 54.72	54.89	94.64	
11	11	500	53.84 - 54.09 - 53.92	53.95	93.02	
			53.96 - 53.78 - 53.63	53.79	92.74	
12	12	550	52.08 - 52.05 - 52.16	52.10	89.82	
			51.87 - 51.74 - 52.02	51.88	89.44	
13	13	600	50.32 - 49.94 - 50.05	50.10	86.38	
			49.63 - 50.05 - 48.74	49.47	85.30	

Prilog br. 24.- Elektri na provodljivost uzoraka, Ms/m, Legura „L-3“ – Grupa II, vreme = 30 min;

Red. Br.	Oznaka uzorka	Temperatura (°C)	Električna provodljivost (MS/m)	Srednja vrednost (MS/m)	Srednja vrednost (%IACS)	Primedba
1	14	O.S.	46.35 - 46.35 - 46.26	46.38	79.96	
			46.08 - 46.06 - 46.05	46.06	79.42	
2	15	50	46.34 - 46.19 - 46.41	46.31	79.85	
			46.06 - 46.22 - 46.3	46.19	79.64	
3	16	100	46.55 - 46.54 - 46.47	46.52	80.21	
			46.21 - 46.26 - 46.28	46.25	79.74	
4	17	150	46.25 - 46.44 - 46.26	46.32	79.85	
			46.56 - 46.58 - 46.43	46.52	20.21	
5	18	200	46.41 - 46.55 - 46.45	46.47	80.12	
			46.6 - 46.46 - 46.5	46.52	80.21	
6	19	250	48.34 - 48.25 - 48.07	48.22	83.14	
			48.31 - 47.99 - 48.22	48.17	83.06	
7	20	300	49.6 - 49.78 - 49.89	49.76	85.79	
			49.14 - 49.25 - 49.31	49.23	84.88	
8	21	350	51.23 - 51.49 - 51.51	51.41	88.64	
			50.45 - 50.99 - 50.95	50.80	87.58	
9	22	400	51.11 - 51.26 - 51.08	51.15	88.19	
			50.62 - 50.49 - 50.76	50.62	87.28	
10	23	450	51.02 - 51.12 - 50.83	50.99	87.91	
			50.9 - 50.85 - 50.71	50.82	87.62	
11	24	500	50.86 - 50.39 - 50.69	50.65	87.32	
			49.93 - 50.25 - 50.41	50.20	86.54	
12	25	550	49.75 - 49.9 - 49.74	49.80	85.85	
			49.59 - 49.06 - 49.68	49.44	85.25	
13	26	600	48.91 - 48.81 48.77	48.83	84.19	
			48.62 - 48.59 - 48.98	48.73	84.02	

Biografija

Ime i prezime: Radiša S.Peri

Adresa: ul. Dunavska 116, 12000 Požarevac

Telefon: 012553059; 012554081; 063227037; 0659860001;

e-mail: pericradisa@gmail.com;

Mr Radiša Peri , ro en je 19.05.1951. godine, u selu Vukovcu, opština Žagubica. Osnovnu i srednju školu, kao i gimnaziju prirodno-matemati kog smera, završio je u Petrovcu na Mlavi, 1969. godine. Diplomirao je na Rudarsko-metalurškom fakultetu u Boru, smer za prera iva ku metalurgiju, i stekao akademsko zvanje **diplomirani inženjer metalurgije**. Po etkom 1976. godine, zaposlio se u Fabrici mašina „MORAVA” u Požarevcu, na poslovima tehnologa hladnog kovanja i termi ke obrade vij ane robe. Po povratku iz JNA, krajem 1978. godine, prelazi na rad u Fabriku odlivaka u Žagubici, u osnivanju, gde aktivno u estvuje u izgradnji Fabrike, i daljeg rada kao tehni ki direktor. Fabrika je poslovala u sastavu Rudarsko-topioni arskog Basena Bor, i proizvodila je odlivke od mesinga, i legura aluminijuma, za gra evinsku industriju, industriju nameštaja i mašinsku industriju. 1986. godine, vra a se u Fabriku mašina „MORAVA” u Požarevcu, gde se, kao rukovodilac pogona, bavio problematikom hladnog kovanja i termi ke obrade vij ane robe, i izrade specijalnih alata za hladno kovanje. 1990. godine osniva, a 1992. godine, otpo inje sa radom u sopstvenoj firmi za preradu legura plemenitih metala i izradu nakita, PDPP „PERI & PERI ”&Co. d.o.o., u Požarevcu, u kojoj i danas radi. U svojoj firmi se bavi istraživanjem u oblasti prerade legura plemenitih metala na bazi zlata i srebra, a koje se koriste u izradi nakita, i to: livenjem u kokilama, vakuumu i po topljivim modelima, plasti nom preradom – valjanjem limova i traka, dubokim izvla enjem, izvla enjem žice, savijanjem, i sl, lemljenjem i zavarivanjem plamenom i laserom, termi kom obradom i površinskom zaštitom. Magistarski rad sa temom: „*Uticaj režima prerade legura zlata na kvalitet šupljeg nakita*”, odbranio je 2010. godine na Univerzitetu u Beogradu – Tehni kom fakultetu u Boru i stekao zvanje **magistar nauka za prera iva ku metalurgiju**. Podru je interesovanja je kompletan program prerade legura plemenitih metala, posebno za legure sistema Au-Ag-Cu, sa posebnim osvrtom na izradi i preradi legura razli itih boja. Saradnju obavlja sa Tehni kim fakultetom u Boru i Tehnološko-metalurškim fakultetom u Beogradu, Univerziteta u Beogradu, u obliku stru ne prakse studenata, iz oblasti prera iva ke metalurgije. Objavio je 7 radova u asopisima sa SCI liste, 6 radova u doma im asopisima van SCI liste, 17 saopštenja na skupovima me unarodnog zna aja, 16 radova na skupovima nacionalnog zna aja.

Prulog 1.-

Izjava o autorstvu

Potpisani: PERI , Stanoje, RADIŠA,

Broj

upisa:

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

ISPITIVANJE OJA AVANJA STARENJEM LEGURA SISTEMA

Au-Ag-Cu ZA PROIZVODNJU NAKITA

- °- rezultat sopstvenog istraživa kog rada,
- °- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- °- da su rezultati korektno navedeni, i
- °- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu/Boru, _____

Potpis doktoranda:

Prilog 2.-

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: RADIŠA, Stanoje, PERI ,

Broj upisa:

Studijski program:

Naslov rada: ISPITIVANJE OJA AVANJA STARENJEM LEGURA
 SISTEMA Au-Ag-Cu ZA PROIZVODNJU NAKITA

Mentor: Prof. Dr Dragoslav Guskovi

Potpisani:

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji li ni podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto ro enja i datum odbrane rada.

Ovi li ni podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu/Boru_____

Potpis doktoranda:

Prilog 3.-

Izjava o koriš enju

Ovlaš ujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Markovi “ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

**ISPITIVANJE OJA AVANJA STARENJEM LEGURA SISTEMA Au-Ag-Cu
ZA PROIZVODNJU NAKITA**

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio:

- 1.- Autorstvo
- 2.- Autorstvo – nekomercijalno
- 3.- Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
- 4.- Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
- 5.- Autorstvo – bez prerade
- 6.- Autorstvo – deliti pod istim uslovima

U Beogradu/Boru _____

Potpis doktoranda:

- 1.- Autorstvo – Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na na in odre en od strane autora ili davaoca licence, ak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
- 2.- Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na na in odre en od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
- 3.- Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na na in odre en od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograni ava najve i obim prava koriš enja dela.
- 4.- Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na na in odre en od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sli nom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
- 5.- Autorstvo – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebu dela u svom delu, ako se navede ime autora na na in odre en od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotreba dela.
- 6.- Autorstvo – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na na in odre en od strane davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sli nom licencom. Sli na je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

Prilog 4.-

SPISAK RADOVA OBJAVLJENIH U 2013/2014. GODINI

1.- R.Peri , Z.karastojkovi , Z.Kova evi , D.guskovi , *Age-Hardening Effect of Au585Ag90Cu264Zn61 and Application in the Manufacture of Jewelry*, Metalurgia International, Vol.XVIII(2013), **M-23**, Special Issue N° 4, (ISSN 1582-2214), (IF = 0.084), Category: Metallurgy&Metallurgical Engineering (69/74), pp. 352-361;

2.- R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Kova evi , D.Guskovi , *The Age-Hardening Mechanism of Au585Ag90Cu264Zn61 Gold Alloy for Jewelry Production*, Proceedings of III International Congress „Engineering, environment and materials in processing industry“, Jahorina 2013., Bosnia and Herzegovina, Republic of Srpska, (ISBN 978-99955-81-09-1), Edited by Miladin Gligori , Published by Faculty of Technology Zvornik, (march, 2013), pp. 951-960; (Rad je, od strane komisije za ocenu radova, proglašen najboljim radom na savetovanjeu, i na gra en besplatnim izlaganjem na slede em savetovanjem.) Rad je u me uvremenu štampan u asopisu: Journal of Engineering & Processing Menagement, ISSN 1840-4774, DOI:10.7251/JEPMSR 1305067P, UDK:669.215 – Scientific paper, Vol.5, No.1 (2013), pp. 67-79;

3.- R.Peri , Z.Karastojkovi , M.Jovanovi , M.Sre kovi , Z.Janjuševi , G.Radoš, *Elliosometric Measurements of Amplitude Diminutions at Annealed and Cold Rolled Strips with Low Deformations of Gold Alloy 585*, Proceedings of III International congress „engineering, environment and materials in processing industry“, Jahorina 2013., Bosnia and Herzegovina, Republic of Srpska, ((ISBN 978-99955-81-09-1), Edited by Miladin Gligori , Published by Faculty of Technology Zvornik, (march, 2013), p.p. 1138-1143;

4.- R.Peri , Z.karastojkovi , Z.Kova evi , D.Guskovi , *The thermic Hardening of Au-Ag-Cu Alloys in Jewelry Production – Age-Hardening*, 1st Metallurgical&Materials Engineering Congress of South-East Europe, Proceedings&Book of Abstracts, May, 2013, Serbia, Editors: Dr Endre Romhanji, Dr Milan T. Jovanovi , Dr Nenad Radovi , Published by: Association of Metallurgical Engineers of Serbia, (ISBN 987-86-87183-24-7), pp.368-379;

5.- Z.Karastojkovi , R.Peri , Z.Janjuševi , N.Baji , A.Sedmak, *Surface Roughnes Changes Around Tig Welds of AlMg₅ Sheets*, 1st Metalurgical&Materials Engineering Congress of South Europe, Proceedings&Book of Abstracts, May, 2013, Serbia, Editors: Dr Endre Romhanji, Dr Milan T. Jovanovi , Dr Nenad Radovi , Published by: Association of Metallurgical Engineers of Serbia, (ISBN 987-86-87183-24-7), pp. 297-304;

- 6.- Z.Karastojkovi , R.Peri , M.Jovanovi , M.Sre kovi , Z.Janjuševi , G.Radoš, *Elipsometric Measuring of $\tan(\)$ and $\cos(\)$ at Annealed and Cold Rolled Strips made from Gold Alloy 585*, 1st Metalurgical&Materials Engineering Congress of South Europe, Proceedings&Book of Abstracts, May, 2013, Serbia, Editors: Dr Endre Romahnji, Dr Milan T.Jovanovi , Dr Nenad Radovi , Published by: Association of Metallurgical Engineers of Serbia, (ISBN 987-86-87183-24-7), pp. 304-312;
- 7.- R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Kova evi , D.Guskovi , *The Effects of Aging of Gold Alloys for Jewelry Production with Au-58,5 (wt.)% matrix*, 45th International October Conference on Mining and Metallurgy „IOC 2013“, Proceedings, Editors: N.Štrbac, D.Živkovi , S.Nestorovi , October 2013, Serbia, ISBN 978-86-6305-012-9, p.p. 511-514;
- 8.- Z.Karastojkovi , R.Peri , M.Sre kovi , M.Jovanovi , Z.Janjuševi , R.Gaji , *Elipsometric measurement of n.k. $\cos(\)$ and $\tan(\)$ on cold rolled strip from gold alloy 585*, 45th International October Conference on Mining and Metallurgy „IOC 2013“. Proceedings, Editors: N.Štrbac, D.Živkovi , S.Nestorovi , October 2013, Serbia, ISBN 978-86-6305-012-9, pp. 447-451;
- 9.- Z.Karaastojkovi , R.Peri , Z.Janjuševi , D.Guskovi , M.Rakin, *Determination of Annealing Temperatures for Coldworked Strip of 585 Gold Alloy for Successful Deep-Drawing Into Tube*, Metalurgia International, **M-23**, Vol.XVIII(2013), N°3, (ISSN 1582-2214), (IF = 0.084) Category: Materials Science, pp. 428-432;
- 10.- Z.Karastojkovi , R.Peri , Z.Janjuševi , Z.Kova evi , A.Sedmak, A.Rakovi , *High Reflectsnce as Desired Property of Shining Surface and Undesired for Laser Welding in Jewel Production of 585 Gold Alloy*, Metalurgia International, **M-23**, Vol.XVIII (2013), N°3, (ISSN 1582-2214), (IF = 0.084) Category: Materials Science, p.p. 39-43;
- 11.-R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Kova evi , Z.janjuševi , D.Guskovi , *Tempering in Region 50-600°C of Quenched and Cold Deformed 585 Gold Alloy for Jewelry Production*, Journal Metalurgia, N°1936 – List of Articles for Publishing in Journal Mettalurgy 2013/2014, **M-23**, (ISSN 0543-5846) (IF = 0.69), Croatian Metallurgical Society – CMS, President: Acad.Dr.Sc.Dr.h.c. Ilija Mamuzi , Prof.h.c.;53 (2014), 3;
- 12.- Z.Karastojkovi , R.Peri , Z.Janjuševi , D.Guskovi , *Electrolitic Gold Plating on Golden Jewels made from 585 Alloy*, asopis „Zaštita materijala“, **M-24**, (ISSN 0351-9465), (Status: Journal category PK51, PK52, JBR Impact factor 5, 0.815). Inženjersko društvo za koroziju, Beograd, Editor: Prof.dr aslav La njevac, (2013/2014); 54(2014)4, str. 366-371;
- 13.- R.Peri , Z.Karastojkovi , M.Jovanovi , M.Sre kovi , Z.Janjuševi , R.Gaji , *Optical Properties of Gold Alloy 585 Monitored Through Amplitude Diminutions at Annealed and Cold Rolled Strips with Low Deformations*, **M-24**, (ISSN 0351-9465), (Status: Journal category PK51, PK52, JBR Impact factor 5, 0.851), Journal Materials Protection. Beograd, Editor: Prof.dr aslav La nejvac (2013/2014), 55(2014)2,str.143-147;

14.- R.S.Peri , Z.M.Karastojkovi , Z.M.Kova evi , M.B.Miri , D.M.Guskovi , *Changes of Hardness and Electrical Conductivity White Gold Alloy Au-Ag-Cu After Aging Treating*, **M-23**, ISSN 0324-1130, IF = 0.320, Bulgarian Chemical Communications, Journal of the Chemical Institutes of the Bulgarian Academy of Sciences and of the Union of Chemists in Bulgaria, Editor: Prof.Dragomir S.Jankov, (2014); The manuscript was registered under N^o 3507/26.02.‘14; - accepted;

15.- M.B.Miri , R.S.Peri , S.P.Dimitrijevi , S.A.Mladenovi , S.R.Marjanovi , *Differences in the mode of thermomechanical processing between white gold alloys to produce semi-finished products*, **M-23**, ISSN 0324-1130, IF = 0.320, Bulgarian Chemical Communications, Journal of the Chemical Institutes of the Bulgarian Academy of Sciences and of the Union of Chemists in Bulgaria, Editor: Prof. Dragomir S.Jankov, (2014) ; The manuscript Was registered under N^o3492/12.02.‘14, - accepted;

16.- R.Peri , Z.Karastojkovi , Z.Janjuševi , N.Baji , V. osovi , D.Guskovi , *Hardness and Specific Electrical Conductivity Measurements of Aged Gold Alloy 585 with Palladium*, 46th International ostober Conference on Mining and Metallurgy, 01-04. October (2014), Bor lake, Bor, Serbia - accepted;