

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

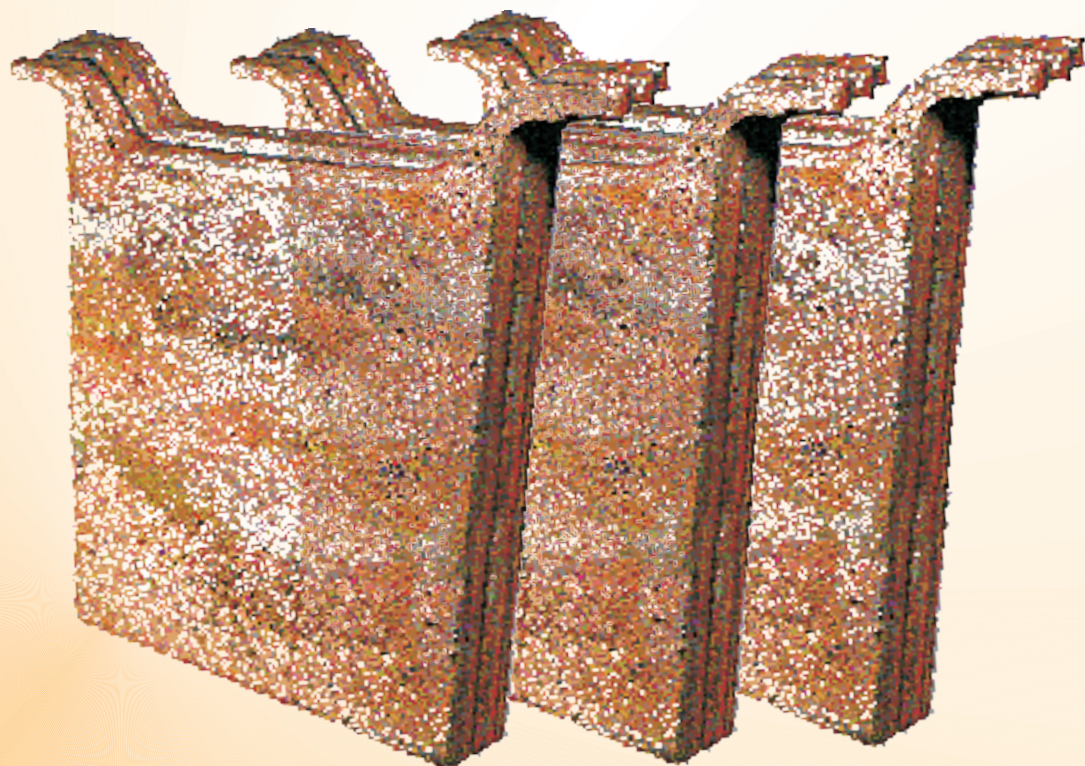


Cu

UDC 669.3
ISSN 0351-0212

Broj 1 Volumen 41 2016

BAKAR COPPER



BAKAR je časopis baziran na bogatoj tradiciji stručnog i naučnog rada ne samo iz oblasti dobijanja i prerade bakra, već i iz oblasti obojene i crne metalurgije, tehnologije, nanotehnologije, hemije, pripreme mineralnih sirovina, zaštite životne sredine, energetske efikasnosti, i primenjene informatike i povezanih srodnih oblasti.

Izlazi dva puta godišnje još od 1968. godine.

Glavni i odgovorni urednik

Dr Milenko Ljubojev, *naučni savetnik*,
redovni član IAS
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: milenko.ljubojev@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-110

Zamenik glavnog i odgovornog urednika

Dr Biserka Trumić, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: biserka.trumic@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-272

Urednik

Vesna Marjanović, *dipl.inž.*

Prevodilac

Nevenka Vukašinović, *prof.*

Tehnički urednik

Suzana Cvetković, *teh.*

Priprema za štampu

Vesna Simić, *teh.*

Štampa

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Tiraž: 30 primeraka

Internet adresa

www.irmbor.co.rs

Izdavanje časopisa finansijski podržavaju

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog
razvoja Republike Srbije
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

ISSN 0351-0212

Indeksiranje časopisa u SCIndeksu i u ISI.
Nacionalni časopis kategorije M52

Izdavač

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Tel. 030/436-826

Sva prava zadržana.

Uređivački odbor

Dr Mile Bugarin, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Milan Antonijević, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Prof. dr Tatjana Volkov Husović, *vanr. prof.*
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd
Doc. dr Milica Gvozdenović, *docent*
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd
Doc. dr Mile Dimitrijević, *docent*
Tehnički fakultet Bor
Dr Silvana Dimitrijević, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Dragana Živković, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Lidija Mančić, *viši naučni saradnik*
Institut tehničkih nauka SANU
Prof. dr Desimir Marković, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Dr Aleksandra Milosavljević, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Duško Minić, *red. prof.*
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Dr Milanče Mitovski
RTB - Bor Grupa
Dr Miroslav Sokić, *viši naučni saradnik*
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih
mineralnih sirovina Beograd
Dr Jasmina Stevanović, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i
metalurgiju Beograd
Dr Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka
Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i
metalurgiju Beograd
Dr Viša Tasić, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Vasyl Tomashyk, *red. prof.*
Ukrajinska nacionalna akademija nauka,
Institut za poluprovodničku fiziku Kijev
Dr Dejan Trifunović, *naučni saradnik*
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd

COPPER is a journal based on the rich tradition of expert and scientific work not only in the field of copper production and treatment, but also in the field of non-ferrous and ferrous metallurgy, technology, nanotechnology, chemistry, mineral processing, ecology, energy efficiency, applied informaticc, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

Editor-in-Chief

Ph.D. Milenko Ljubojev, *Principal Research Fellow, full member of ECS*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: milenko.ljubojev@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-110

Co-Editor

Ph.D. Biserka Trumic, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: biserka.trumic@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-272

Editor

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

English Translation

Nevenka Vukašinić

Technical Editor

Suzana Cvetković

Preprinting

Vesna Simić

Printed in

Mining and Metallurgy Institute Bor

Circulation: 30 copies

Web site

www.irmbor.co.rs

COPPER is financially supported by

The Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic Serbia
Mining and Metallurgy Institute Bor

ISSN 0351-0212

Journal indexing in SCIndex and ISI.

National Scientific Journal categorization M52

Published by

Mining and Metallurgy Institute Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Phone: +38130/436-826

All rights reserved.

Editorial Board

Ph.D. Mile Bugarin, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Milan Antonijević,
Technical Faculty Bor
Prof.Ph.D. Tatjana Volkov Husović
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Milica Gvozdenović
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Mile Dimitrijević
Technical Faculty Bor
Ph.D. Silvana Dimitrijević, *Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Dragana Živković
Technical Faculty Bor
Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Ph.D. Lidija Mančić, *Senior Research Associate*
Institute of Technical Science of SASA
Prof.Ph.D. Desimir Marković
Technical Faculty Bor
Ph.D. Aleksandra Milosavljević, *Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Duško Minić
Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica
Ph.D. Milanče Mitovski
RTB – Bor Group
Ph.D. Miroslav Sokić, *Senior Research Associate*
Institute for Technology of Nuclear and Other
Raw Materials Beograd
Ph.D. Jasmina Stevanović, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and
Metallurgy Belgrade
Ph.D. Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Germany
Ph.D. Nadežda Talijan, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and
Metallurgy Belgrade
Ph.D. Viša Tasić, *Senior Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Vasyl Tomashyk,
Institute for Semiconductor Physics of
National of Sciences of Ukraine Kyiv
Ph.D. Dejan Trifunović, *Research Associate*
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade

UDK: 621.793.3(045)=163.41

STRUČNI RAD

Oblast: Metalurgija

**ELEKTROHEMIJSKA KARAKTERIZACIJA KOMPLEKSA ZLATA
NA BAZI MERKAPTOTRIAZOLA PRI RAZLIČITIM
KONCENTRACIJAMA ZLATA NA pH = 10**

**ELECTROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF GOLD COMPLEX
BASED ON MERCAPTOTRIAZOLE WITH DIFFERENT
CONCENTRATIONS OF GOLD AT PH = 10**

Silvana B. Dimitrijević¹, Stevan P. Dimitrijević², Zoran M. Stević³,
Aleksandra T. Ivanović¹, Biserka T. Trumić¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35,
19210, Srbija, e-mail: silvana.dimitrijevic@irnbor.co.rs

²Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta Beograd,
Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd

³Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu,
Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor

Izvod

Cilj istraživanja bio je ispitivanje osnovnih elektrohemijskih karakteristika organskog kompleksa zlata na pH = 10 i koncentracijama zlata od 1,5 do 3,5 g/dm³. U radu je uradjena elektrohemijska karakterizacija merenjem: potencijala otvorenog kola, katodnih potenciodinamičkih krivih linearnom voltametrijom i cikličnih voltamograma. Povećanje koncentracije dovodi do negativnijeg potencijala otvorenog kola, većih katodnih struja pri katodnoj linearnoj voltametrij i većih vrednosti katodnih gustina struja pika na cikličnim voltamogramima.

Ključne reči: *organski kompleks zlata, potencijal otvorenog kola, katodna linearna voltametrija, ciklična voltametrija*

Abstract

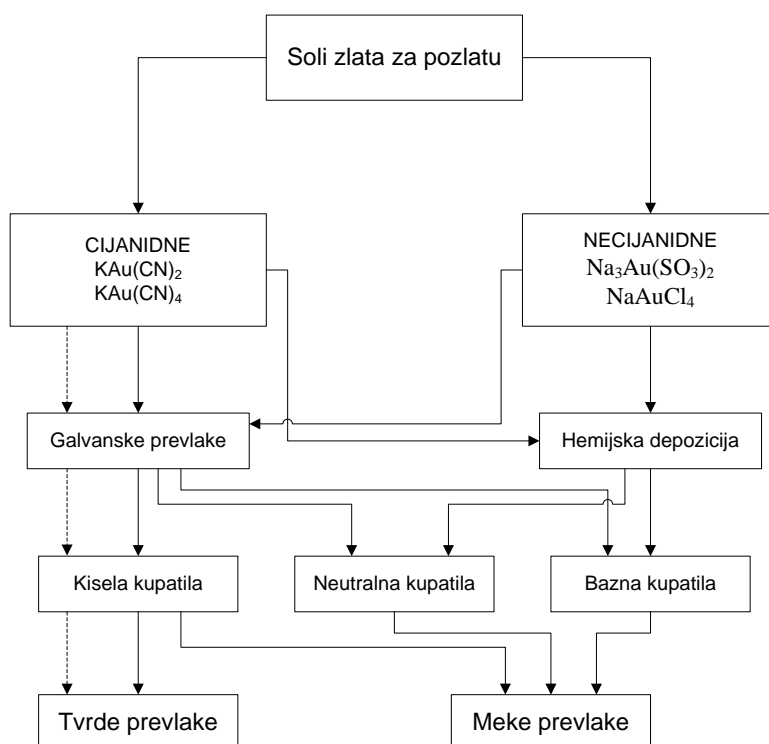
The aim of this study was investigation the basic electrochemical characteristics of organic complexes of gold at pH = 10 and concentration of gold from 1.5 to 3.5 g/dm³. Electrochemical characterization was done by measuring: open circuit potential, cathode potentiodynamic curves linear voltammetry and cyclic voltammetry. Increasing the concentration leads to more negative open circuit potential, higher cathode currents in the cathode ray linear voltammetry and greater value of catodic current density of peaks on the cyclic voltamograms

Keywords: *Organic gold complex, open circuit potential, cathode linear voltammetry, cyclic voltammetry*

1. UVOD

Prevlake zlata zbog svojih izuzetnih električnih, hemijskih i optičkih osobina se koriste u elektronskoj industriji, industriji automobila, biomedicini i drugim oblasima industrije [1-2].

Kupatila za pozlaćivanje mogu se svrstati u različite kategorije u zavisnosti od toga koje soli zlata se koriste, reakcionog mehanizma, pH vrednosti kupatila, kao i osobina dobijenih depozita (slika 1) [3].



Sl. 1. Podela kupatila za pozlaćivanje [3]

Osnovna podela kupatila za pozlaćivanje je na cijanidna i necijanidna.

U upotrebi su kisela, neutralna i alkalna elektrolitička cijanidna kupatila iz kojih se može deponovati tvrdo i meko zlato. S druge strane, necijanidna kupatila mogu biti u upotrebi samo kao neutralna ili alkalna, uz ograničenu primenu samo na prevlake mekog zlata. Tvrda pozlata može da se dobije samo iz cijanidnih kupatila [4-5].

Praktično sva kupatila za prevlake zlata koja se danas koriste, bilo dekorativne ili tvrde, zasnovana su na cijanidnom kompleksu jednovalentnog

zlata, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, a osnovna so za ova kupatila je $\text{KAu}(\text{CN})_2$. Za razliku od cijanidnih kompleksa drugih metala cijanidni kompleks zlata stabilan je i u kiseloj sredini i do približno pH vrednosti od 3. Ova osobina kompleksa zlata u kupatilima počela je da se koristi tek od 1950. godine.

Elektrolitička cijanidna kupatila u upotrebi su kao kisela (pH = 3-6), neutralna (pH = 6-8,5) ili alkalna (pH = 8,5-13) u kojima zlato može biti jednovalentno ili trovalentno i mogu se koristiti za depoziciju tvrdih i mekih prevlaka zlata. Sa druge strane, necijanida kupatila mogu biti u upotrebi samo kao neutralna ili alkalna za hemijsko ili elektrohemijsko pozlaćivanje uz ograničenu primenu samo na prevlake mekog zlata.

Tradicionalno, prevlake zlata se dobijaju iz cijanidnih elektrolita, gde je (Au^+) u kompleksu sa cijanidom (CN^-). Cijanidni elektroliti su izuzetno stabilni, konstanta stabilnosti AuCN iznosi oko 10^{38} . Međutim, u vezi sa bezbednošću i odlaganjem otpadnih voda prisutna je rastuća briga u pogledu primene procesa na bazi cijanida [6]. Pozlaćivanje iz cijanidnih elektrolita kotira se kao tehnologija visokog rizika sa opšteg ekološkog aspekta. Često se koriste kupatila sa visokim pH da bi se izbeglo neželjeno izdvajanje HCN. Stoga alkalna zlatno cijanidna kupatila sadrže višak cijanida u cilju održavanja konstantne koncentracije cijanida. Ovaj višak cijanida pomera redoks potencijal u još negativniju oblast, što zahteva redukcionni agens sa veoma negativnim redoks potencijalom. Ove mane kupatila sa zlatnim cijanidom su motivisale istraživanje alternativnih zlatnih kompleksa. Sastav elektrolita za nanošenje dekorativnih prevlaka zlata koji ne sadrže cijanide uglavnom bazira se na kompleksu zlata sa nekim jedinjenjem. Njihova upotreba, međutim još uvek nije našla zadovoljavajuću industrijsku primenu zbog male konstante stabilnosti, što se manifestuje raspadanjem kompleksa i izdvajanjem elementarnog zlata iz elektrolita [7-10]. U literaturi se mogu naći rezultati istraživanja sledećih necijanidnih kupatila: sulfatna i aminosulfatna kupatila, Au (I) tiosulfatna kupatila, tiosulfatno-sulfatna kupatila, kupatila na bazi tiouree, kupatila sa askorbinskom kiselinom, kupatila bez redukujućeg agensa, Au (III) halogenidna kupatila, Au (I) tiomalatna kupatila i ostala kupatila [11-15]. Takođe, poslednjih godina u literaturi se može naći veliki broj radova u vezi kompleksa zlata na bazi merkaptotriazola (Au-MT) [16-20].

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Hemikalije

Za sintezu kompleksa zlata na bazi merkaptotriazola korišćene su sledeće hemikalije: zlato u prahu (99,99% Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor)

hlorovodonična kiselina p.a.-HCl (Zorka, Šabac), azotna kiselina p.a.-HNO₃ (Zorka, Šabac), and glicin min. 99% H₂NCH₂COOH (Alkaloid-Skopje), kalijum hidroksid - KOH (Merck, Nemačka), ultračista voda (0,055 μS /cm) i merkaptotriazol (Chemos, Nemačka).

2.2. Sinteza rastvora Au-Mt

Za laboratorijska istraživanja sintetizovan je rastvor Au-MT koncentracije 3,5 g/dm³ po proceduri [16]. Rastvori nižih koncentracija su dobijeni razblaživanjem rastvora ove početne koncentracije korišćenjem ultračiste vode. Vrednost pH je podešavana 0,1M rastvorom hlorovodonične kiseline cilju dobijanja rastvora sa pH = 10 ± 0,1.

2.3. Metode i aparature

Elektrohemijska merenja su vršena u termostatiranoj konvencionalnoj troelektrodnoj ćeliji. Radna elektroda bila je od zlata, cilindričnog oblika, zatopljena u epoksi smolu sa radnom površinom u obliku kruga aktivne površine 0,196 cm², čiji je potencijal meren u odnosu na zasićenu kalomelsku referentnu elektrodu (ZKE) (Radiometer Analytical XR110 Reference Electrode). Kontra elektroda je bio lim od platine (10 mm×15 mm ×0,1 mm). Pre svakog merenja uzorak je brušen SiC brusnim papirom 2000 i zatim poliran korišćenjem 1,0 μm dijamantske paste. Elektroda je nakon poliranja detaljno ispirana dvostruko destilovanom vodom i odmašćivana apsolutnim (99,8%) etil alkoholom. Zapremina elektrolita korišćena u svim eksperimentima bila je 50 ml. Eksperimenti su izvođeni na temperaturi od 25 ± 0,1 °C.

Za elektrohemijske eksperimente korišćen je potenciostat/galvanostat/ravnotežni ampermetar Interface 1000™ (Gamry Instruments Inc.) i PHE200™ Physical Electrochemical modula softverskog paketa Gamry Framework (verzija 6.25).

Potencijal otvorenog kola (POK) meren je u trajanju od 60 minuta. Katodne polarizacione krive merene su korišćenjem katodne linearne voltametrije od POK-a do -1200 mV pri brzini promene potencijala od 1 mV/s. Ciklični voltamogrami mereni su pri brzini promene potencijala od 25 mV/s od prethodno određenog potencijala POK-a, bez njegovog uspostavljanja, do -1200 mV.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Potencijal otvornog kola

Vrednosti potencijala otvorenog kola za različite koncentracije zlata u rastvoru organskog kompleksa zlata dati su u Tabeli 1. Vrednosti pH pre početka merenja POK i nakon merenja su takođe u istoj tabeli.

Tabela 1. Vrednosti potencijala otvorenog kola u zavisnosti od koncentracije zlata i pH vrednost rastvora pre i posle merenja POK

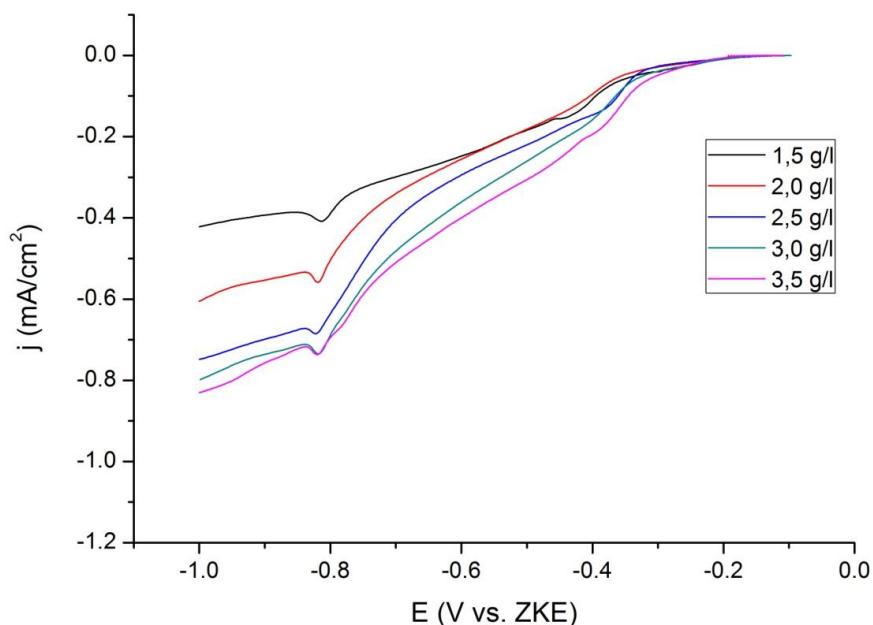
Parametar	Koncentracija zlata u rastvoru Au-MT kompleksa, g/dm ³				
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
POK, vs. ZKE (mV)	-94,2	-100,6	-106,1	-110,5	-115,3
pH pre merenja POK	9,91	9,97	10,01	10,04	10,08
pH posle merenja POK	9,79	9,84	9,86	9,89	9,90

Sa porastom koncentracije zlata u elektrolitu vrednost POK je negativnija. Kao što se iz tabele 1 može videti, ona se menja za oko 57 mV po dekadi što odgovara jednoelektronskoj razmeni elektrona u odnosu na atom zlata pri ravnotežnim uslovima; dakle čisto kao termodinamička a ne kinetička kategorija. Ovo ukazuje da se pri uspostavljanju POK odigravaju procesi adsorpcije kompleksa Au-MT kao i moguće kompetitivne adsorpcije. Logično je pretpostaviti da u njima učestvuju OH⁻ i Cl⁻ joni.

Iz tabele 1 je uočljivo da se pH vrednost rastvora smanjuje sa koncentracijom ali je to uslovljeno načinom pripreme elektrolita. Posle merenja se pH vrednost smanjuje za sve koncentracije Au-MT za 0,12 do 0,18. Najveća promena pH vrednosti je za koncentraciju od 3,5 g·dm⁻³ a najmanja za najnižu koncentraciju. Zavisnost promene pH vrednosti (pre i posle merenja potencijala otvorenog kola) od koncentracije nije pravilna kao u slučaju POK.

3.2 Polarizacione krive

Na slici 2 prikazane su polarizacione krive za rastvore koncentracija od: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; i 3,5 g/dm³ dobijene LSV (linear sweep voltammetry) metodom. Na slici su prikazane zavisnosti vrednosti gustine struje od potencijala, počev od POK pa do -1000 mV, s obzirom na to da na oko -1150 mV dolazi do naglog rasta gustine struje što je posledica početka reakcije izdvajanja vodonika (slika 2).



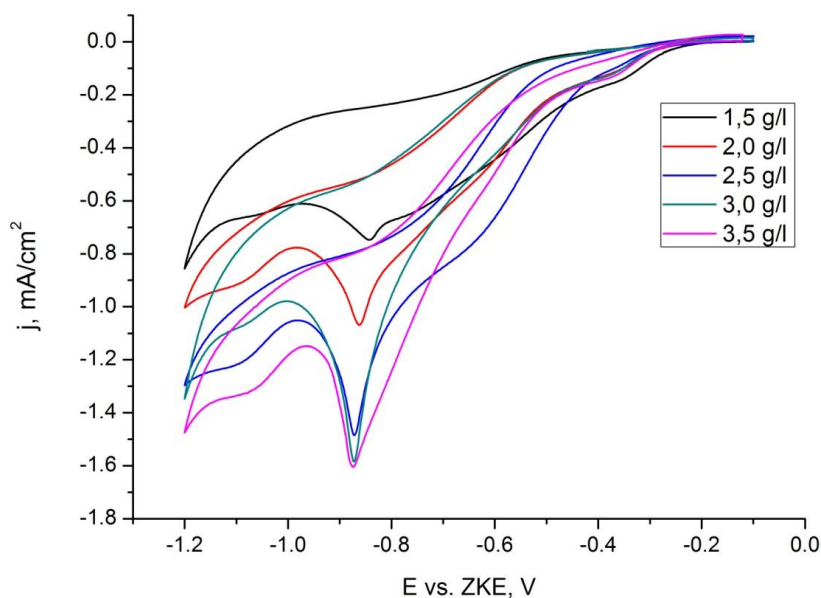
Sl. 2. Katodna linearna voltametrija pri brzini promene potencijala od 1 mV/s za različite koncentracije zlata u rastvoru

Sa slike 2 može se videti da sa povećanjem koncentracije zlata u elektrolitu katodna gustina struje raste. Ovo je karakteristično praktično za celu oblast merenog potencijala, osim malih anomalija pri vrednostima potencijala bliskim POK i pri gustinama struje (j) nižim od $-0,2 \text{ mA/cm}^2$, gde se vrednosti gustina struja za koncentracije 2,5 i $3,0 \text{ g/dm}^3$ dobrim delom preklapaju a gustina struje je za $1,5 \text{ g/dm}^3$ veća nego za $2,0 \text{ g/dm}^3$.

Na polarizacionim krivama se pojavljuje mali ali karakteristični pik pri vrednostima potencijala od $-818 \pm 5 \text{ mV}$. Od vrednosti -818 mV odstupaju samo pikovi za polarizacione krive snimljene za rastvore sa koncentracijama zlata od 1,5 i $2,5 \text{ g/dm}^3$ gde je položaj pika nešto pozitivniji odnosno negativniji, respektivno. Vrednost gustine struje za pik monotono raste sa porastom koncentracije u rastvoru sve do koncentracije od $2,5 \text{ g/dm}^3$. Vrednost za $3,0 \text{ g/dm}^3$ je tek neznatno veća a za $3,5 \text{ g/dm}^3$ se praktično poklapa sa drugom najvećom ispitivanom koncentracijom. Osim na samom piku vrednosti katodne gustine struje na najvećoj koncentraciji zlata su veće u celom opsegu potencijala od POK do -1 V . Ovo je u skladu sa prethodnim istraživanjima [16] gde je utvrđena optimalna koncentracija Au-MT za depoziciju zlata od $2,5 \text{ g/dm}^3$.

3.3 Ciklična voltametrija

Ciklični voltamogrami za koncentracije kompleksa od 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 i 3,5 g/dm³ prikazani su na slici 3. Početni potencijali za CV bili su jednaki vrednostima POK iz tabele 1 pri čemu je početak merenja izvršen pre uspostavljanja samog POK. Ovim su početne vrednosti gustina struja bile pozitivne, reda veličine desetina $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ (maksimalna za najveću koncentraciju zlata, $27 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$).



Sl. 3. Ciklični voltamogrami snimljeni pri različitim koncentracijama zlata u rastvoru (pri brzini skeniranja od 25 mV/s)

Intenzitet pikova i vrednost katodne gustine struje na donjoj granici snimanja ($-1,2 \text{ V}$) rastu sa porastom koncentracije zlata u kompleksu Au-MT. Katodne gustine struje su veće u celoj oblasti potencijala merenja za parove: 2,0 u odnosu na 1,5 i 3,5 u odnosu na 3,0 g/dm³. Od ove pravilnosti odstupa samo rastvor konc. 2,5 g/dm³ gde su vrednosti katodne gustine struje veće u odnosu na konc. od 3,0 g/dm³ osim na samim ekstremima. Uočljiv nagli rast gustine struje, za sve ispitivane rastvore, na potencijalu od oko -1200 mV je očigledno posledica reakcije izdvajanja vodonika.

Najznačajnija karakteristika voltamograma datih na slici 3 su jasno izraženi pikovi koji odgovaraju reakciji redukcije Au-MT (galvanskom taloženju zlata na radnoj elektrodi). Pik je manje izražen samo za najnižu ispitivanu koncentraciju dok je za sve ostale koncentracije Au-MT, posebno je oštar za koncentracije 2,5; 3,0 i 3,5 g/dm³. Položaj pika se u zavisnosti od koncentracije pomera ka negativnijim vredostima potencijala, počevši od -840 mV do -874 mV. Pri ovome je bitno naglasiti da su položaji pikova za koncentracije od 2,5 do 3,5 g/dm³ gotovo identični. Intenzitet pikova raste sa koncentracijom pri čemu je najveća razlika između konc. 2,0 i 2,5 g/dm³ da bi se ona smanjila za veće koncentracije pri čemu su maksimalne vrednosti katodne j gotovo izjednačene za dve najveće ispitivane koncentracije. Ovo ukazuje da je uticaj koncentracije na elektrodepoziciju zlata manji pri konc. većim od 2,5 g/dm³ i da je na pH=10 optimalna koncentracija Au-MT upravo ta vrednost. Ovi rezultati su u skladu sa prethodnim istraživanjima [16].

4. ZAKLJUČAK

Istraživanje je pokazalo da se vrednost POK pomera ka negativnijim vrednostima pri povećanju koncentracije zlata u kompleksu Au-MT. Vrednosti intenziteta pikova pri LSV i CV merenjima rastu sa porastom koncentracije zlata u rastvoru organskog kompleksa. Intenziteti ovih pikova su tek neznatno veći za koncentraciju od 2,5 g/dm³ i nešto intenzivniji a praktično jednaki za koncentracije od 3,0 i 3,5 g/dm³. Ova istraživanja ukazuje da je pri pH=10 optimalna koncentracija za elektrodepoziciju zlata iz kompleksa na bazi mekraptotriazola 2,5 g/dm³.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je proistekao iz projekata: TR34024: "Razvoj tehnologija za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz čvrstog otpada Srbije do visokokvalitetnih proizvoda" i TR34033: „Inovativna sinergija nus-produkata, minimizacije otpada i čistije proizvodnje u metalurgiji“ koji su finansirani od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] M. Liew, S. Roy, K. Scoot, Green Chemistry, 5, (2003), 376-381
- [2] M. Liew, S. Sobri, S. Roy, Electrochim. acta, 51, (2005), 877-881
- [3] M. Kato, Y. Okinaka, Gold Bulletin, 37(1-2), (2004), 37-44

- [4] S. Đorđević., Metalne prevlake, Tehnička knjiga, Beograd (1990)
- [5] S. Đorđević, M. Maksimović, M. Pavlović, K. Popov., Galvanotehnika, Tehnička knjiga, Beograd, (1998)
- [6] S. Roy, ECS Transactions, 16(36), (2009), 667-672
- [7] S. Jovanović, M. Rajčić-Vujasinović, V. Trujić, D. Gusković, Influence of current density on decorative gold plating from organic gold complex base on mercaptotriazole, 1st International Conference on Chemical Sciences for Sustainable Development, Book of abstract, Volume I, 1-4 June Halkidiki, 1998. Greece, 374
- [8] M. Rajčić-Vujasinović, V. Trujić, S. Jovanović, M. Vukmirović, J. Kocev, S. Šapić, S. Stojanović, Journal of Metallurgy, Beograd, 4(4), (1998), 323 – 334
- [9] V. Trujić, S. Dimitrijević, M. Rajčić-Vujasinović, Bakar, 34(1), (2009), 93-100
- [10] V. Trujić, S. Dimitrijević, M. Rajčić-Vujasinović, Bakar, 35(1), (2010), 28-37
- [11] I.R. Christine, B.P. Cameron, Gold Bulletin, 27(1), (1994), 12-18
- [12] A. Gemmler, W. Keller, H. Ritcher i K. Ruess., Plat. Surf. Finish. 81(8), (1994), 52-56
- [13] M. Kato, J. Sato, H. Otani, T. Homma, Y. Okinaka, T. Osaka, O. Yoshioka., J. Electrochem. Soc., 149, (2002), C164
- [14] A. Maner, S. Harsch, W. Ehrfeld, Plat. Surf.Finish., 75, (1998), 60-65
- [15] Y. Okinaka, Gold Bulletin, 33(4), (2000), 117-127
- [16] S. Dimitrijević, M. Rajčić-Vujasinović, S. Alagić, V. Grekulović, V. Trujić, Electrochimica acta, 104, (2013), 330-336
- [17] S. B. Dimitrijević, M. M. Rajčić-Vujasinović, R. M. Jančić-Hajneman, J. B. Bajat, V. K. Trujić, D. D. Trifunović, International Journal of Materials Research, 105, (2014), 271-281,
- [18] S. Dimitrijević, M. Rajčić-Vujasinović, R. Jančić-Hajneman, D. Trifunović, J. Bajat, V. Trujić, S. Alagić, Non - cyanide electrolytes for gold plating - a review of recent developments, International Scientific and Profesional Meeting Eco-Ist'12, Proceedings, 30.05.-02.06.2012. Zaječar, Srbija, 194-199
- [19] S. Dimitrijević, M. Rajčić-Vujasinović, S. Alagić, V. Grekulović, V. Trujić, Chemical and electrochemical characterization of gold complex based on mercaptotriazole in alkine media, XXI International Scientific and Profesional Meeting Ecological Truth, Proceedings, 04.-07.06.2013., Bor Lake, Bor, Serbia, 148-155

-
- [20] S. Dimitrijević, M. Rajčić-Vujasinović, S. Alagić, V. Grekulović, V. Trujić, Chemical and electrochemical characterization of gold complex based on mercaptotriazole in acid media 17th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2013, Istanbul, Turkey, 10-11 September 2013, pp. 165-168

UDK: 621.791.77(045)=163.41

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Metalurgija

**ZAVARIVANJE Al CEVI NA VISOKIM FREKVENCIJAMA
HIGH FREQUENCY WELDING OF Al TUBE**

Miroslav S. Milićević¹, Tatjana M. Stojanović¹, Valentina M. Nejković²

¹Visoka tehnička škola, Beograd, Bul. Nemanjica 33/39,
18000 Niš; e-mail: lavmiro@eunet.rs

²Elektronski fakultet u Nišu

Izvod

Projektuje se i uvodi nov magnetni koncentrador za VF induktivno zavarivanje aluminijumskih cevi. Autori uvode magnetodielektrični materijal na mesto feritnog rešenja i tako inoviraju ovim projektom nov koncentrador.

Ključne reči: koncentrador, zavarivanje, brzina, snaga, aluminijum

Abstract

This paper deals with a new magnetic concentrator for HF inductive welding of Al tube. The authors introduce magneto dielectric materials instead of ferrite solution and thus innovate by project a new concentrator.

Keywords: concentrator, welding, speed, power, aluminium

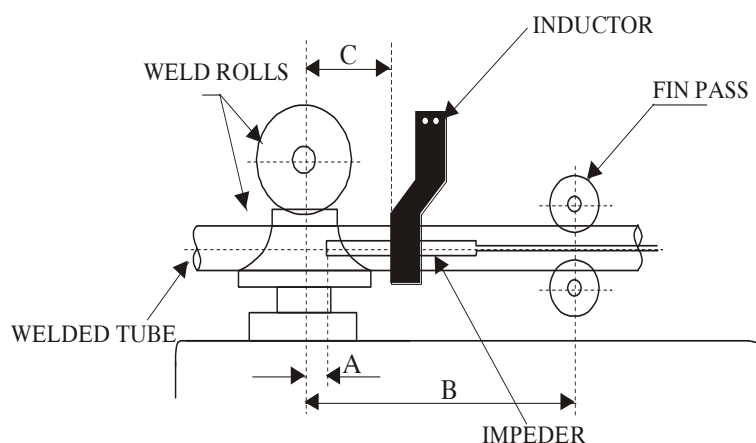
1. UVOD

Obrađuje tema vezana za poboljšanje energetskih parametara VF induktivnog zavarivanja aluminijumskih cevi na odgovarajućim tehnološkim linijama za proizvodnju. Ideja da se cevi zavaruju VF strujama ima dug i veliki razvojni put u celom svetu [1-24]. Kod VF zavarivanja postoje dve metode i to kontaktna i induktivna, a razlikuju se po načinu na koji se prenosi elektromagnetna energija oscilatora na ivice trake koja se zavaruje. Koja će se metoda izabrati, zavisi od proizvodnog programa koji će se proizvoditi kao i izbora proizvođača generatora za zavarivanje.

Biće prikazani doprinosi koji su postignuti kod VF zavarivanja putem induktivne metode prenosa energije. Inače, istraživanja su rađena na VF cevnim generatorima, koji rade na frekvencijama od 350 do 450 kHz, koji su integrisani sa tehnološkim linijama za izradu Al cevi.

Generatori za induktivno zavarivanje se sastoje od visokonaponskog transformatora, ispravljača visokog napona, oscilatora sa elektronskom cevi kao aktivnim elementom, transformatora za prilagođenje impedanse i izlaznog induktora. Regulacija snage se obavlja tiristorskim regulatorima napona koji su povezani u primaru VN transformatora, tako da se ovom promenom izaziva promena visokog napona u sekundaru koji ispravljen daje anodni napon oscilatora.

Finalni deo generatora za zavarivanje cevi je prikazan na sl. 1. Induktor se povezuje preko razvodne ruke na sekundar transformatora za prilagođenje. Valjcima za zavarivanje se pritiskaju ivice trake koje su zagrejane do temperature topljenja



Sl. 1. Mašina za zavarivanje

Radi poboljšanja efekata zavarivanja unutar cevi se ugrađuje dobro poznati koncentrador čija je funkcija da smanji struje u unutrašnjoj i spoljašnjoj konturi cevi ispod samog induktora a poveća struju u ivicama trake koja teče tzv. V prilazom preko kontaktne tačke. Indukovana struja u ivicama trake na otporu usled gubitaka izaziva toplotu sve do tačke topljenja. Topljenje Al trake se vrši u uskim granicama, a proizvodnja čeličnih cevi je kontinualana i ide brzinom od 100 m/min, a u novije vreme i do 300 m/min.

Dimenzije sa sl. 1. određuje svaki proizvođač generatora a iste su određene u [1,4,14,15,18]. Na istraživačima je da iznalaženjem i kreativnm delovanjem postignu dobre rezultate. Do sada je poznato da je koncentrador izrađivan od zaštitne čaure koja se punila feritima kao magnetnim koncentradorima. Čaura služi za mehaničku zaštitu i istovremeno obezbeđuje priključak radi hlađenja. Postoji mnogo radova i projekata koji su usmeravani na poboljšanje koncentratora radi smanjenja utroška električne energije pri zavarivanju cevi.

2. PRIKAZ TEORIJE VISOKOFREKVENTNOG ZAVARIVANJA

Slučaj induktivnog zavarivanja cevi može se svesti po [1,2] na slučaj indukcije na polubeskonačnu sredinu. Tako se polubeskonačna sredina sa sl.2 koja je izložena dejstvu elektromagnetnog talasa, i pod pretpostavkom da je to elektroprovodna ploča. Dejstvo talasa se dešava iz sredine koja je dielektrična u provodnu u kojoj se zanemaruju dielektrične struje, te se mogu pisati Maksimalove jednačine prema [1–4]

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \gamma\mathbf{E} \quad (2.1)$$

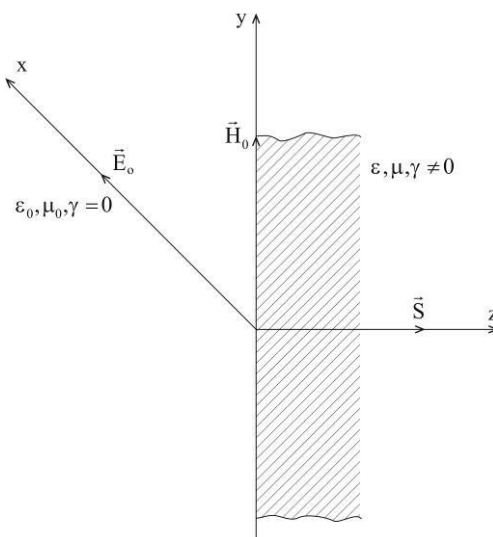
$$\operatorname{rot}\mathbf{E} = -\mu \frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t} \quad (2.2)$$

gde su \mathbf{H} magnetno polje, \mathbf{E} električno polje i μ magnetni permeabilitet.

Posle razlaganja relacija (2.1) i (2.2) po osama koordinatnog sistema [2], i imajući u obzir da \mathbf{H} i \mathbf{E} se menjaju samo duž z-ose i u vremenu, ima se

$$-\frac{\partial\mathbf{H}}{\partial z} = \gamma\mathbf{E} \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial z} = -\mu \frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t} \quad (2.4)$$



Sl. 2. Prikaz dejstva elektromagnetnog talasa na polubeskonačnu sredinu

Na osnovu izvođenja u [1-6], za rešenje Maksvelovih jednačina, pri uslovu da su H i E sinusoidalnog karaktera, ima se redom

$$H_m = H_{me} \cdot e^{-\frac{x}{\Delta}} \cdot \sin(\omega t + \theta_H - \frac{x}{\Delta}), \quad (2.5)$$

$$E_m = \sqrt{2} \left(\frac{\rho}{\Delta} \right) H_{me} e^{-\frac{x}{\Delta}} \cdot \sin(\omega t + \theta_H - \frac{x}{\Delta} + \frac{\pi}{4}) \text{ i} \quad (2.6)$$

$$\delta_m = \sqrt{2} \left(\frac{H_{me}}{\Delta} \right) \cdot e^{-\frac{x}{\Delta}} \cdot \sin(\omega t + \theta_H - \frac{x}{\Delta} + \frac{\pi}{4}), \quad (2.7)$$

gde su:

H_{me} - kompleksna amplituda jačine magnetnog polja na površini,

θ_H - početna faza,

x - rastojanje tačke od površine provodnika,

δ_m - površinska struja,

Δ - dubina prodiranja,

$\omega = 2\pi f$ - kružna frekvencija,

γ - specifična elektroprovodnost.

Proračun po ovoj teoriji je veoma kompleksan, pogotovu što se imaju velike nelinearnosti te je za pojedine režime moguće značajno odstupanje. Stoga se prednost u ovom radu daje kroz prikaz rezultata iz prakse.

Pored potrebe za poznavanjem elementarne teorije iz elektrotermije, autori ovog rada se kroz višegodišnja primenjena istraživanja oslanjaju na eksperimente u praksi, i to od prototipovanja pa kroz korišćenje nekog rešenja u procesu serijske proizvodnje. Ovde će se istraživati mogućnost zavarivanja Al cevi primenom raznih rešenja koncentratora na visokim frekvencijama kao nemagnetnog metala, uz napor da se poboljša i energetska efikasnost termičkog tretmana.

3. NOVO ZAVARIVANJE ALUMINIJUMSKIH CEVI POMOĆU MD KONCENTRATORA

Glavno mesto i doprinos ovog rada je projektovanje novog koncentratora gde se na mesto ferita primenjuju magnetodielektrici (MD) koji će kroz praktične rezultate nadvisiti sva rešenja. Radi ocene efektivnosti koristiće se poznati kriterijumi iz [1,4] gde se gleda specifična snaga [kW/mm (m/min)] u funkciji proizvodne brzine [m/min]. Takođe se koristi kriterijum iz [14] gde se pri zavarivanju prati toplotni koeficijent [kW/m/min] u funkciji brzine zavarivanja.

Da bi de obavilo valjano i strogo testiranje , moralo se kroz eksperimente u zavarivanju pronaći najbolji referentni koncentrator sa feritima. Kroz višegodišnju praksu koristili su se feriti raznih proizvođača sa različitim uspehom. Na bazi ovih iskustava, rezultata iz [11,15,16,17], mnogih tehničkih podataka iz ponuda, kao referentni se usvaja ferit sa najvećom energetsom efikasnošću.

Po prvi put se predlaže i uvodi u konstrukciju koncentrator magnetodielektrik. Testirano je više tipova magnetodielektrika čije su karakteristike date u tabeli T1, ali za visokofrekventno induktivno zavarivanje aluminijumskih cevi, na frekvencijama na kojima rade ovi generatori, je izabran najpovoljniji MD tip A sa najvećom energetsom efikasnošću.

Tabela 1. Karakteristike magnetodielektričnih materijala

MDM materials	FLUXTROL				
	F	B	C	A'	A
Permeability	13 ÷ 14	23 ÷ 25	18	30 ÷ 50	60 ÷ 120
El. Res. [kΩcm]	>100	20 ÷ 40	250		0,5 ÷ 1
Spec. grav. [gr/cm ³]	5 ÷ 5,2	5,8 ÷ 5,9	3,9 ÷ 4	6 ÷ 6,2	6,8 ÷ 7,1

Zbog poznatog principa Skin efekta i VF induktivnog zavarivanja pri testiranju su se eksperimenti vršili na cevima manjeg prečnika. Praćena je proizvodnja Al cevi ϕ 17, ϕ 21, ϕ 26 mm. Kao reprezent radi upoređivanja je izabrana cev ϕ 21 mm i debljine zida cevi od ϕ 2,6 mm.

Zbog upoređivanja i ocene rezultata novog koncentratora, u odnosu na onaj sa feritom, i izabranu cev ϕ 21, 3 x 2, 6 mm, rezultati će biti prezentovani tabelarno. Eksperiment je obavljen na VF generatoru snage 135 kW, korišćenjem iskustava iz [17-19] i slede rezultati istraživanja.

U tabeli T2 su dati eksperimentalni podaci za vrednosti visokog napona i struje iza ispravljača i preračunata snaga u funkciji proizvodne brzine pri zavarivanju Al cevi dimenzija 21,3x2,65 mm pri čemu je korišćen feritni koncentrator.

Tabela 2. Snaga u funkciji brzine pri izradi Al cevi 21,3x2,65 mm korišćenjem feritnog koncentratora

v [m/min]	U_a [kV]	I_a [A]	P [kW]
10	3,98	8,61	34,25
20	5,91	9,33	55,15
30	7,09	10,49	73,8
40	7,88	11,66	91,91
50	8,95	12,85	115,97
60	9,31	13,2	122,76

U tabeli T3 su dati eksperimentalni podaci za vrednosti visokog napona i struje iza ispravljača i preračunata snaga u funkciji proizvodne brzine pri zavarivanju Al cevi dimenzija 21,3x2,65 mm pri čemu je korišćen MD koncentartor. Iz tabele T3 se vidi da je postignuta znatna energetska ušteda pri upotrebi MD koncentratora u odnosu na feritni.

Tabela 3. Snaga u funkciji brzine pri izradi Al cevi 21,3x2,65 mm korišćenjem MD koncentratora

v [m/min]	U_a [kV]	I_a [A]	P [kW]
10	4,68	6,0	28,07
20	4,93	7,29	35,94
30	5,12	8,75	44,79
40	5,91	8,76	51,77
50	6,5	9,33	60,65
60	7,0	10,2	71,4

Kroz duži vremenski period, i više puta, je praćena proizvodnja Al cevi prečnika 21,6 mm i debljina zida 2,65 mm. Radi analize energetske ušteda u tabeli T4 su prikazani podaci za snagu iz ispravljača generatora za feritni i nov koncentratore za različite proizvodne brzine, gde se izračunava i energetska ušteda.

Tabela 4. Ušteda snage pri zavarivanju Al cevi MD koncentratorom u odnosu na feritni koncentratore

v [m/min]	P_a [kW]	P_b [kW]	$\delta = \frac{P_a - P_b}{P_a} 100$ [%]
10	34,25	28,07	18
20	55,15	35,94	35
30	73,80	44,79	39,3
40	91,91	51,77	43,7
50	115,97	60,65	47,7
60	140,76	75,95	45,71
70	177,3	99,3	44,0

U tabeli T4 P_a predstavlja snagu u [kW] za feritni koncentratore, a P_b za nov MD koncentratore.

Definisana procentualna ušteda u snazi zavarivanja je

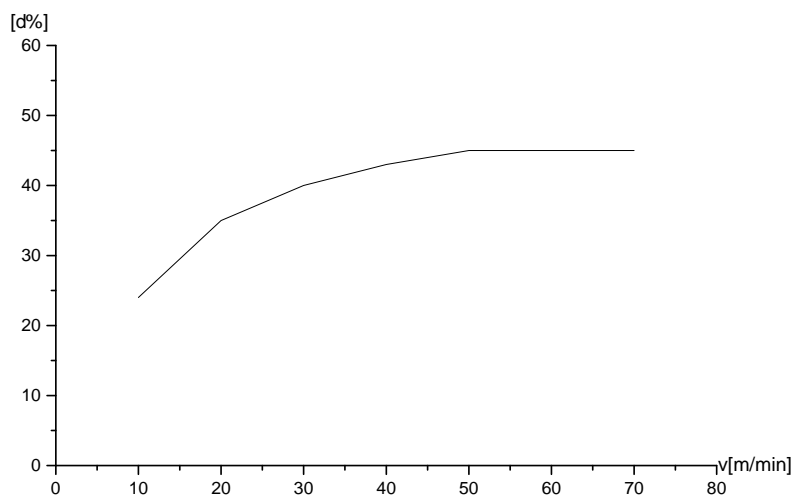
$$\delta = \frac{P_a - P_b}{P_a} 100 [\%], \quad (3.1)$$

koja predstavlja za koliko procenata manje troši nov koncentrator u odnosu na feritni, što za izabranu cev pri većoj brzini daje cca 44%.

Slika 3 prikazuje uštedu po relaciji (3.1) u funkciji brzine zavarivanja. Zaključuje se da je ušteda manja na malim brzinama, a da je optimalno zavarivati novim MD koncentratorom na brzinama

$$v \geq 35 \text{ [m/min]}. \quad (3.2)$$

Rezimirajući rezultate na proizvodnji cevi prečnika 21,6mm, gde se upoređuje efekat novog MD koncentratora u odnosu na feritni, zaključak je da se novim rešenjem dobija znatna energetska ušteda u potrebnoj snazi za završavanje. Za 44% manje se angažuje snaga iz ispravljača generatora pri korišćenju novog MD rešenja u odnosu na potrošnju sa feritnim rešenjem.



Sl. 3. *Relativna procentualna ušteda snage u funkciji proizvodne brzine*

Eksperiment je obavljen sa koncentratorima čiji je prečnik 12 mm. Kod feritnog rešenja ferit je bio zvezdast prečnika 10 mm, a kod novog MD materijal je bio kvadratnog preseka 7x7 mm. Dužina feritnog koncentratora je iznosila 200 mm a novog MD 120 mm.

Na sl. 4 je prikazan novorealizovani magnetni koncentrator, pred zatvaranje čaure, sa magnetodielektričnim materijalom koji donosi velike energetske

uštede i dobar je primer energetske efikasnosti. MD materijal je smešten u epoksidne čaure koje ga štite od mehaničkih oštećenja i povišene temperature, a imaju priključak za rashladni fluid kojim se odvodi suvišna disipirana količina toplote. Eksperimentima u serijskoj proizvodnji potvrđena je postojanost i trajnost ovakvog rešenja pri proizvodnji i zavarivanju Al cevi.

Zavarena cev, je za oba slučaja, testirana mehaničkim probama pod pritiskom na spljoštavanje. Var sa novim rešenjem i kod potpunog spljoštavanja nije se otvorio, što nije slučaj sa varom koji se dobio primenom feritnog koncentratora

Na osnovu kriterijuma za ocenu efikasnosti zavarivanja je to da izvodimo zaključak da je veoma nepovoljno zavarivati na malim brzinama, već to treba činiti na brzinama većim od 35 m/min što potvrđuju svi eksperimenti.



Sl. 4. Prikaz MD koncentratora sa magentodielektričnim materijalom

Tabela 5. Primena kriterijuma za ocenu efikasnosti primene novog MD koncentratora u odnosu na feritni koncentrator

KRITERIJUM Mat. konc.	Dužina koncentratora (mm)	$\frac{kW}{mm(m/min)}$	$\frac{kW}{m/min}$
Ferit - [14]	400	2,21	9,32
3% Si-foil	400	1,52	6,40
Ferit - iz ovog rada	200	0,84	2,19
Magn. diel. – iz ovog rada	120	0,47	1,21

Novi MD koncentrador podvrgnućemo upoređenju i sa nekim veoma skupim rešenjima koji su realizovani sa nekim drugim feritima i 3% Si čelikom i amorfnim folijama iz [14]. Rezultati za upoređenje su pregledno dati u tabeli T5. Rezultati iz ove tablice su dati po opadajućim vrednostima koje označavaju veće performanse. Kod MD, druga kolona, specifična snaga iz druge kolone po prvi put pada ispod vrednosti 0,5. Svi kriterijumi povoljno ocenjuju rešenje sa magnetodielektrikom a buduća primena promeniće filozofiju zavarivanja, a posebno, kada se upoređuje kontaktna i induktivna metoda VF zavarivanja.

4. ZAKLJUČAK

U radu je stvorena mogućnost, na bazi iskustava i rezultata iz [17-24], da se aluminijumske cevi mogu zavarivati na visokim frekvencijama kao i to da se uvođenjem novog rešenja sa magnetodielektrikom, znatno poboljšavaju energetska i drugi pokazatelji u odnosu na feritno rešenje i u odnosu na neke druge specijalne i skuplje koncentratore. Primenom novog rešenja se znatno poboljšava kvalitet vara Al cevi jer zbog boljeg provara dobija se kontinualniji var i imaju se manja nadvišenja unutrašnjeg vara. Ovo potvrđuju rađeni testovi sa mehaničkim probama i rezultati sa metalografske analize.

Novi koncentrador je dominantniji prema dva poznata kriterijuma iz literature. Znatno smanjenje utroška električne energije, čak do 44%, stvara osnovne pretpostavke za povećanje produktivnosti tehnoloških linija za izradu Al cevi. Za izabrano eksperimentalno istraživanje na bazi navedene teorije i korišćene literature, dobijeni su numerički podaci za snage i ostale relevantne parametre zavarivanja koji potvrđuju podatke iz primenjenih istraživanja čime se ovo verifikuje kao jedno novo rešenje za zavarivanje Al cevi u procesu proizvodnje.

Rezultati iz prakse ispravljaju krivu korekcionog faktora za induktivnu metodu zavarivanja, kod cevi malih dijametara, tako da ovu metodu primenom ovog MD koncentratora čine boljom u odnosu na kontaktnu metodu zavarivanja. Prema tome može se reći da se ovim doprinosom mora promeniti mišljenje o filozofiji zavarivanja kada se upoređuju obe metode. Budući da se radi o postignutim rezultatima na cevima generatorima, sa ovim velikim uštedama se menja sveukupni koeficijent iskorišćenja cevni generatora za izradu Al cevi.

Glavni zaključak je da se u radu daje značajan doprinos u uvođenju novih materijala za koncentrator, što pored praktičnog predstavlja i teoretski doprinos. Povećava se kvalitet vara cevi, povećava produktivnost odakle sledi godišnja ušteda koja nadmašuje cenu celog generatora za zavarivanje. Ovako postignuta visoka energetska efikasnost, uz mala materijalna ulaganja, su imperativ za nove istraživače da se bave primenjenim istraživanjima.

LITERATURA

- [1] Šamov N. A., Lunin V. I., Ivanov N. V., Vysokočastotnaja svarka metalov, Mašinstroenie, Leningrad, 1977.
- [2] Brajović V., Elektrotermija, Naučna Knjiga, Beograd, 1985.
- [3] Guljajev D., Soveršenstvovanie tehnologii proizvodstva i povišenje kačestva elektrostvarnyh trub, Tehnika, Kiev, 1984.
- [4] Ivanov N. V., Lunin V. I., Kulžinski L. V., Vysokočastotnaja svarka metallov, Mašinstroenie, Leningrad, 1979.
- [5] Rudnev I. V., Induction Heat Treatment, Steel Heat Treatment Handbook, New York, Basel, Hong Kong, 1997.
- [6] Fluxtrol Manufacturing, Inc., MI - USA, Magnetic Flux Concentrators for High Frequency Ind. Heating 1996.
- [7] Ruffini S. R., Nemkov S. V., Materials for Effective Magnetic Flux Control and Concentration in Induction Heating Processes, Process Control Instrumentation, November, 1996.
- [8] Ruffini S.R., Ruffini T.R., Nemkov S.V., Advanced Design of Induction, Industrial Heating, November, 1998.
- [9] Milićević M., Avtomatičeskoe Upravlenie Processom Indukcionnoi Svarki Trub s Primeneniem Mikro – EVM, VII Meždunarodnaja konferencija stran členov SEV i SFRJ po avtomatizaciji proizvodstvenyh processov i upravljenja v černoï metalurgii, SSSR, Ždanov, 1988.
- [10] Wade J., Effective Utilisation of Magnetic Flux Concentrators in Induction Heating at Commercial Heat Treating Plant, Heat Treatments, Cleveland, Ohio
- [11] TDK Impeder Core, Tehnical Documentation, Italy

-
- [12] Ruffini R.S., Nemkov V.S, Magnetic Field Control and Concentration Induction Heating Coils, Centre Induction Technology, Troy, USA
- [13] Ruffini S.R., Ruffini R.T., Nemkov S.V., Goldstein R.S, Computer Simulation for Induction Heat Treating of Automotive Parts, Global Power Train Congress, 1998, Detroit, MI – USA
- [14] Mitani K., Shibuya-Ku H., ‘Impeder: How its innovation and design impacts the welding process’, The Eight Annual World Tube Congress 9-12.11. 1992, Chicago, Illinois
- [15] Electronic Heating Equipment, Inc., Impeders, Work Coils, Ferrite Casing, 1998, Catalog Applications Guide, Buckley – WA
- [16] Wright J., Principles of high Frequency Induction Tube Welding, Electronic Heating Equipment, Inc., Sumner, 1997.
- [17] Milićević M., Milićević V., Optimizacija energetske parametara i kvaliteta VF induktivnog zavarivanja čeličnih cevi, XI Međunarodni simpozijum - Energetska elektronika Ee-2001, 31.10.-02-11-2001 god., Novi Sad
- [18] Milićević M., Milićević V., Milićević T., MDM Impeder for Improvement of Parameters and Quality of HF Inductive Welding. 36th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, (2004), pp. 531-537.
- [19] Milićević M., Radaković Z., "Quality Improvement of Steel Pipes Produced by Seam Welding with New Magneto-Dielectric Impeder", Materials Transactions, Vol. 47, No 6, The Japan Institute of Metals, (2006) 1464 - 1468.
- [20] Milićević M., The Application of a New Formula of Nakaoka Coefficient in HF Inductive Welding, Journal of Mechanical Engineering 56 (2010), 7-8, 483-488, UDC 621.791.7.004.942.
- [21] M. S. Milićević, T. M. Stojanović, V. M. Nejković, Prenos toplote pri visokofrekventnom zavarivanju, Bakar br. 2, 2014, Bor, pp. 57-66.
- [22] Milićević M., Jovanović T., Nejković V., Defects Identification of the High Frequency Inductive Welding, Mining and Metallurgy Engineering Bor, Bor, 2/2013.

- [23] Milićević M., Jovanović T., Nejković V., High Energetic Efficacy for High Requency Inductive Welding, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 4/2013.
- [24] Milićević S. M., Stojanović M, T., Stanković V., Nejković M. V., Computers Regulation HF Inductive Welding, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, br.3, 2015 god., Beograd

UDK: 669.234(045)=163.41

STRUČNI RAD

Oblast: Materijali

PALADIJUM U INDUSTRIJI NAKITA

PALLADIUM IN THE JEWELLERY INDUSTRY

Aleksandra Ivanović, Biserka Trumić, Vesna Marjanović,
Silvana Dimitrijević

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Izvod

Nakit možemo tretirati kao fenomen čija uloga u svim civilizacijama nije bila zanemarljiva. On je uvek predstavljao simbol i obeležje moći, religijskog ubeđenja, društvenog položaja, etničke pripadnosti, a u novije vreme je nezaobilazni modni detalj.

U ovom radu je prikazane su najčešće korišćene legure za izradu paladijumske nakite.

Ključne reči: *paladijum, legure paladijuma, nakit*

Abstract

Jewellery can be treated as a phenomenon whose role in all civilizations was not negligible. It was always a symbol and mark of power, religious belief, social status, ethnicity, and in recent times an essential fashion accessory. This paper presents the most commonly used alloys for manufacturing the palladium jewellery.

Keywords: *palladium, palladium alloys, jewellery*

UVOD

Nakit je oduvek imao svoje mesto u društvu jer je čovek od svog nastanka pa do danas imao i ima, potrebu za ulepšavanjem i isticanjem svog položaja u društvu. Vladari su kroz istoriju imali svoju vrstu nakita, crkveni velikodostojnici su nosili religiozna obeležja izrađena od zlata, niži staleži su pak, nosili nakit primeren njihovom društvenom statusu.

Istorija ljudske civilizacije svedoči o raznim načinima ukrašavanja ljudskog tela. U te svrhe, čovek je najpre koristio kosti ili neko lepo kamenje nanizano na vunenu nit a zatim počinje da koristi i druge materijale koje nalazi u prirodi, poput ptičjeg pera ili upletenog cveća u obliku venčića, pa sve do plemenitih metala, kao što su zlato, srebro, platina, paladijum.

Zbog luksuznosti i lakoće oblikovanja, najviše korišćeni plemeniti metal za izradu nakita je zlato. Još u drevnom Rimu je korišćen za označavanje statusa u društvu, te su samo određeni ljudi mogli da nose nakit, pre svega zlatno prstenje. U Egiptu, nakit od zlata simbolizirao je moć i uticajnost u društvu. imućniji su nosili nakit za života, a nakon smrti taj nakit je stavljan u njihove grobnice.

Različite kulture imale su svoj pogled na simboliku koju ima nošenje nakita. Tako je npr. u zapadnoj kulturi tokom XIX veka, nošenje minduša od strane muškaraca smatrano za „feminizam“. Danas je to potpuno drugačije. Popularnost „pirsinga“ među mlađom populacijom je u današnje vreme nedvosmislena, dok ostatak društva na to gleda kao na prolaznu fazu u odrastanju.

U današnje vreme, nakit je nezaobilazni modni detalj i sastavni je deo garderobe. S tim u vezi, savremeni kreatori dizajniraju specifičan nakit namenjen određenom glumcu ili muzičkoj zvezdi.

Industrija nakita je direktno vezana za ekonomski status konzumenata nakita. Stoga, se od svih plemenitih metala, zlato najčešće koristi, dok je korišćenje ostalih plemenitih metala ograničeno kako zbog njihove više cene u odnosu na zlato, tako i zbog tehničkih problema. U poslednjih nekoliko godina, zbog strmoglavog rasta cena zlata i platine, Kineski zlatari su počeli da proizvode značajne količine nakita na bazi paladijuma [1]

Svi plemeniti metali se mogu koristiti za proizvodnju komercijalnog nakita. Usled male tvrdoće koju poseduju, čisti plemeniti metali su pogodni za dizajniranje nakita [2]. Međutim, zbog činjenice da se takvi komadi nakita odmah deformišu, te da pokazuju znake prekomernog habanja i da se samim tim, se dovodi u pitanje podešenost dragog kamenja u određenom komadu nakita, primarna upotreba svih plemenitih metala, pa i paladijuma, u juvelirstvu je u obliku legura.

PALADIJUM I LEGURE PALADIJUMA

Korišćenje paladijuma u izradi nakita bilo je ograničeno zbog teškoća prilikom livenja ovog metala, no, od 1939. godine kada je i zabeležena prva upotreba paladijuma u izradi nakita, pa sve do danas, korišćenje paladijuma u juvelirstvu je u stalnom porastu. Deset procenata svetske proizvodnje paladijuma se koristi u juvelirstvu [3].

Gustina paladijuma (12 g/cm^3) je skoro upola manja od platine (21 g/cm^3) te se paladijum u juvelirstvu koristi znatno više nego platina, i to uglavnom u obliku legura, najčešće za izradu minđuša ili narukvica, kod kojih velika masa nakita nije poželjna [4]...Međunarodnim standardom (The international jewelryhallmarking standards) je predviđeno da sadržaj paladijuma u nakitu iznosi 50-99%. Očekivanja su da će standard 950 biti najčešći, odnosno, da bi se nakit klasifikovao kao paladijumski nakit, sadržaj paladijuma mora biti 95%tež.

Najčešće korišćene legure paladijuma za izradu nakita su:

95% Pd – 5% Ru. Najviše korišćena legura za izradu nakita na bazi paladijuma je 95%Pd i 5%Ru jer rutenijum poboljšava čvrstoću, obradivost, livkost i otpornost na habanje [5,6]. Ova legura se koristi za izradu burmi bez šavova i za ostale kovane proizvode od paladijuma. Nakit proizveden postupkom kovanja od legure Pd/Ru 950/000 poseduje izuzetnu čvrstoću koju zadržava sve dok se ne primeni žarenje ili lemljenje, što metalu vraća prirodnu tvrdoću. Tvrdoća legura Pd-Ru u žarenom stanju iznosi između 115 HV i 125 HV koja se nakon prerade može povećati i do 180-190 HV.

95% Pd-Ru-Ga. Ova legura se koristi za livenje. Karakteriše je odlična čvrstoća i otpornost na habanje.

95% Pd-Ru-Al. Ova ternarna legura ima sve veću primenu u juvelirstvu, ali i u industriji satova. Tvrdoća se kreće od 100-300HV zavisno od odnosa Al:Ru. Boja ovih legura je slična boji „belog zlata“.

95% Pd-Cu. Legura Pd/Cu 950/000 se najčešće koristi za izradu lančića.

Paladijum se takođe, u velikoj meri u juvelirstvu koristi kao legirni element. Najčešće upotrebe su u sistemima sa zlatom, srebrom i platinom. Nakit izrađen od legura ovih sistema, ne tretira se kao paladijumski nakit, ali je uloga paladijuma nezamenljiva.

Au-Pd. Od legura sistema Au-Pd se izrađuje tzv. nakit od „belog zlata“. Sadržaj paladijuma od 10-12% u leguri sa zlatom, daje nakitu izrađenom od legure Au-Pd, jako lepu belu boju. Legure sistema Au-Pd su mekane i savitljive, te se najčešće koriste za izradu elemenata za učvršćivanje dragog kamenja. Međutim, paladijum je jako skup metal, ređi od zlata, pa se u juvelirstvu za izradu nakita od „belog zlata“ koriste i legure zlata sa niklom. Mnoge evropske zemlje zabranjuju upotrebu nikla za izradu nakita, usled alegijskih efekata nikla, pa je u tim zemljama legura belog zlata sa paladijumom jedino prihvatljiva.

Mnoge komercijalne legure paladijumovog „belog zlata“ sadrže i srebro, cink i bakar, na konto smanjenja sadržaja paladijuma u leguri sa zlatom. Neke mogu imati i nešto slabiju belu boju, te se moraju prevući rodijumom [7].

Neki tipični sastavi legura sistema Pd-Au za izradu nakita prikazani su u sledećoj tabeli:

Tabela 1. Sastavi nekih legura „belog zlata“

	Au	Pd	Ag	Cu	Zn	Ni	Tvrdoća Hv	Ttop. °C
18K	75	20	5	-	-	-	100	1350
	75	15	10	-	-	-	100	1300
	75	10	15	-	-	-	80	1250
	75	10	10.5	3.5	0.1	0.9	95	1150
	75	6.4	9.9	5.1	3.5	1.1	140	1040
	75	15	-	3.0	-	7.0	180	1150
14K	58.3	20	6	14.5	1	-	160	1095
	58.5	5	32.5	3	1	-	100	1100
10K	41.7	28	8.4	20.5	1.4	-	160	1095
9K	37.5	-	52	4.9	4.2	1.4	85	940

Ag-Pd. Paladijum poboljšava sjaj nakita izrađenog od legure Ag-Pd kao i obradivost ovih legura. Sklonost srebrnog nakita ka tamnjenju, uveliko se smanjuje legiranjem sa paladijumom. Temperatura topljenja ovih legura je 920°C a tvrdoća livenih komada nakita iznosi 80HV. Plastičnom deformacijom se može postići tvrdoća od 160HV. Legure ovog sistema mogu da se deformišu stepenima deformacije >40%.

Pt-Pd. Primena paladijuma u industriji nakita kao legirnog elementa, najznačajnija je u legurama sistema Pt-Pd. Obzirom da je platina vrlo mekana, dodaje joj se paladijum u cilju povećanja čvrstoće nakita. Najčešće korišćene legure ovog sistema su Pt/Pd 950, Pt/Pd 900, Pt850/Pd150.

Druge legure paladijuma za izradu nakita su višekomponentne legure paladijuma sa srebrom, bakalom, kobaltom i indijumom.

PAMETNI NAKIT

Nakon „pametnih“ telefona i satova, na tržištu se pojavio i „pametni“ nakit. Takav nakit u sebi ima ugrađene elektronske komponente koje služe za kontrolu pametnih telefona, televizora i drugih uređaja. Komunikacija sa „pametnim“ nakitom bi trebalo da bude glasovna, a kao alternativa tu su i potezi prstima, npr. skupljanje šake u pesnicu, ako se radi o „pametnom“

prstenu. Takođe, sem prstenja, razvijaju se i drugi komadi „pametnog“ nakita, npr. narukvice sa modularnim digitalnim delom koji se može postaviti na različito dizajnirane modne osnove, tako da se uklapa uz odeću koja se nosi; zatim, „pametne“ minđuše koje mogu da mere otkucaje srca...

ZAKLJUČAK

Industrija nakita ima svetlu budućnost. Godišnja globalna prodaja je oko 150 milijardi eura, i očekuje se da će rasti u narednim godinama.

„Kod nakita i satova na kraju ostaje, ako ne neka lična, intimna vrednost, onda svakako vrednost materijala“.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je proistekao kao rezultat projekta TR 34029 „Razvoj tehnologije proizvodnje Pd katalizatora-hvatača za smanjenje gubitaka platine u visokotemperaturnim procesima katalize“ finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] R. M. Organ., Palladium Hallmarking in the UK; A Bright new Opportunity, *Platinum Metals Rev.*, 2010, 54, (1), 51–52
- [2] V. P. Andronov, *Plavilno-letejnoe proizvodstvo dragocennih metallov i splavov*, Metallurgija, Moskva, 1974.
- [3] D. Jollie, “Platinum Uses,” Technical Report, Johnson Matthey (2009).
- [4] A. Ivanović, Modelovanje procesa proizvodnje paladijumskih katalizatora u cilju definisanja optimalnih mehaničkih karakteristika, Doktorska disertacija, 2014, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru
- [5] J. Gegner, G. Hörz and R. Kirchheim, Diffusivity and Solubility of Oxygen in Solid Palladium, *Journal of Materials Science*, 44(9)(2009), 2198-2205.

-
- [6] W.P. Griffith, Melting the Platinum Group Metals, *Platinum Metals Rev.*, 53(4)(2009),209-215.
 - [7] I. Bruce MacCormack and John E. Bowers, New White Gold Alloys Their Development on the Basis of Quantitative Colour Assessment, *Gold Bull.*, 14 (1) 1981.

UDK: 669.23(045)=163.41

PREGLEDNI RAD

Oblast: Materijali

LEGURE PLATINE U SAVREMENOJ INDUSTRIJI
PLATINUM ALLOYS IN MODERN INDUSTRY

Biserka Trumić¹, Aleksandra Ivanović¹, Silvana Dimitrijević¹,
Ljubica Radović², Stevan Dimitrijević³

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35,
19210 Bor, Republika Srbija

²Vojnotehnički institut, Ministarstvo odbrane, Republika Srbija

³Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerzitet u Beogradu,
Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Republika Srbija

Izvod

Ovaj rad je preglednog karaktera. U njemu su predstavljene legure platine sa primenom u različitim granama savremene industrije. Dat je pregled osnovnih i najprimenljivijih legura sa zahtevanim karakteristikama za izradu električnih kontakata, elektrootpornih termometara, tenzometara kao i pribora.

Materijali za električne kontakte moraju zadovoljiti stroge zahteve, poput korozione otpornosti, male isparljivosti, čvrstoće, pouzdanosti i dugovečnosti.

Kao kvalitetan materijal za elektrootporne termometre obično se koristi platina visoke čistoće, čime se obezbeđuje visoka vrednost koeficijenta otpora i stabilnost električnih osobina.

Neophodnost merenja naprezanja u uslovima eksploatacije proizvoda i odgovornim konstrukcijama iziskivalo je izradu stabilnih tenzometara za rad na temperaturama od 800 do 1.000 °C u slučaju statičkih, dinamičkih i promenljivih opterećenja.

U izradi pribora i uređaja legure platine su nezamenljive.

Ključne reči: *legure platine, električni kontakti, elektrootporni termometri, tenziometri, uređaji i pribori*

Abstract

This paper is a review. It presents the platinum alloys with the use in various branches of modern industry. A review of the basic and most applicable alloys is given with the required characteristics for making the electro-resistant thermometers, tensiometers and accessories. Materials for electrical contacts must meet the strict requirements, such as corrosion resistance, low volatility, strength, reliability and longevity. Platinum of high purity is commonly used as quality material for electro-resistant thermometers, thus providing a high coefficient of resistance and stability of electrical properties. A necessity to measure stress in the operating conditions of product and responsible structures has required making the stable tensiometers to operate at temperatures from 800 to 1.000 °C in the case of static, dynamic, and variable loads. The platinum alloys are indispensable in making accessories and devices.

Keywords: platinum alloys, electric contacts, electro-resistant thermometers, tensiometers, devices and accessories

UVOD

Platina je našla veliku primenu kako u industriji tako i u naučnim istraživanjima. Bez nje je nemoguć rad mnogih savremenih hemijskih aparata i pribora.

Do Drugog svetskog rata platina se primenjivala u medicini i juvelirstvu oko 60% od ukupne količine korišćene platine. Nakon Drugog svetskog rata primena platine u ovim oblastima je porasla skoro dva puta.

Fizičko-hemijske i mehaničke osobine – povišena koroziona postojanost u različitim sredinama, katalitička aktivnost, stabilne električne, termoelektrične i emisije karakteristike – čine legure platine nezamenljivim konstrukcionim materijalima u industriji [1-5].

Električni kontakti na bazi platinskih legura karakterišu se stabilnošću i visokim stepenom električnih i mehaničkih svojstava

U današnje vreme primena platine u juvelirstvu je znatno smanjena na račun povećane primene, nakon drugog svetskog rata, u hemijskoj, elektro-tehničkoj, vojnoj i drugim granama industrije.

Zahvaljujući svojim osobinama platina u današnje vreme veliku primenu nalazi u hemijskoj i naftnoj industriji. Takođe, nezamenljiv je materijal u izradi korozionootpornih i vatrootpornih hemijskih aparatura i posuda različite namene.

Legure platine za električne kontakte

Materijali za električne kontakte moraju zadovoljiti stroge zahteve, poput korozione otpornosti, male isparljivosti, čvrstoće, pouzdanosti i dugovečnosti. Kao materijali za električne kontakte u aparatima i priborima koji se koriste u agresivnim sredinama, primenu nalaze livene i metalokeramičke legure platine sa plemenitim i neplemenitim metalima. Čista platina se veoma retko koristi. U poređenju sa srebrnim legurama, platinske legure zadržavaju svoje osobine u agresivnim sredinama sumpora znatno duže vremena. Eroziorna postojanost i otpornost legura Re, Au i Ag je znatno veća, dok i dalje zaostaju za legurama Ir, Rh i Ru.

Električni kontakti na bazi platinskih legura karakterišu se stabilnošću i visokim stepenom električnih i mehaničkih svojstava.

Eroziona postojanost bitno se povećava legiranjem platine teškotopivim metalima, pri istovremenom sniženju korozione čvrstoće i otpora oksidacije platine.

Pouzdanost rada električnih kontakata u znatnoj meri zavisi od otpornosti na habanje, a koja se obezbeđuje pravilnim izborom električnih kontakata. Pri radu u iskričavom režimu habanje kontakata praktično ne zavisi od materijala.

Pri dužem režimu rada kontakata, čvrstoća na habanje i eroziju znatno je veća kod platinskih legura u odnosu na zlato, a znatno manja kod legura Ru, Ag, Rh i Ir. Erozijska kod platinskih legura je neravnomerna što je posledica neravnomernog elektroprenosa materijala s katode na anodu.

Za električne kontakte veliku primenu nalaze legure platine sa iridijumom. Sa povećanjem sadržaja iridijuma u leguri povećava se rast specifičnog električnog otpora. Legure platine sa iridijumom za potencioetre i kontakte izrađuju se u vidu žice prečnika od 30 μm do 5 mm.

Legure sastava PtIr25 primenjuju se za specijalne kontakte kada se zahtevaju velike snage i frekvencije uključivanja.

Legura PtIr20 koristi se za izradu dioda tačkastih radioprijemnika i tele-vizora. Ranije se u ovu svrhu koristio volfram, međutim vrlo brzo je dolazilo do oksidacije površine legure. Legura PtIr20 izrađuje se u vidu žice prečnika 0,08 mm sa odgovarajućom čvrstoćom na pritisak u toku kontakta. Žica ovog sastava lakše se obrađuje i ne dolazi do oksidacije površine.

Najveći uticaj na električni otpor platine ima volfram. Legura platine sa tim metalom ima pozitivan uticaj na apsolutnu vrednost termoelektromotorne sile. Legure platine sa bakrom, niklom, rutenijumom, iridijumom i volframom u ispitivanim uslovima, takođe dovode do povećanja termoelektromotorne sile.

Za proizvodnju kontakata, kao i specijalnih četkica koriste se legure platine sa niklom (4,5-10% Ni) [6-9]. Kontakti od tih legura se primenjuju u obliku žice. Izvlačenje legura platine i nikla vrši se na specijalnim višestepenim mašinama za izvlačenje korišćenjem dijamantskih matrica. Za dobijanje određenog uskog intervala čvrstoće (900-1.000 MPa) pri izvlačenju je neophodno strogo pridržavati se zadatog stepena deformacije.

Ukazuje se takođe na mogućnost primene legure Pt-ZrO₂ kao kvalitetnog materijala za električne kontakte, koji zadržava visok stepen čvrstoće i plastičnosti na visokim temperaturama. Radna sposobnost kliznih kontakata takođe u velikoj meri zavisi od izbora kontaktnog para, koji mora imati stabilan otpor zbog uslova sredine (temperature, vlažnosti itd.).

Jedna vrsta kliznih kontakata su žičani potencioetri.

Materijali za namotaje potencioetra moraju imati stabilan specifični otpor, nisku vrednost njegovog temperaturnog koeficijenta, malu termo-elektromotornu silu u paru sa bakrom, visoku korozionu postojanost i otpornost na habanje u uslovima suvog trenja.

Legure PtIr10, PtNi4.5 i PtCu8, same po sebi ne obezbeđuju očekivani rad uređaja u agresivnim sredinama u dužem vremenskom periodu, ali u paru sa legurom PdW20, pri kontaktnom naprezanju od 0,07 do 1,2 N omogućeno je produženje radnog veka uređaja.

Po kvalitetu materijala za potencioetre (a takođe i kontakte) izdvaja se legura PtW(8-9,5%).

Platina kao materijal za elektrootporne termometre

Kao kvalitetan materijal za elektrootporne termometre obično se koristi platina visoke čistoće. Time se obezbeđuje visoka vrednost koeficijenta otpora i stabilnost električnih osobina [10-12]. Za platinu izrazito visoke čistoće odnos otpora R_{100}/R_0 iznosi 1,3927. Platinski termometri se odlikuju visokom tačnošću, osetljivošću i stabilnošću merenja. Kao takvi široku primenu nalaze za tačno merenje temperatura od -260 do 1.000°C , kao i za obična merenja u industriji. Takvi termometri istovremeno su neophodni kako za merenja temperature goriva, nafte, vazduha u kabini aviona i van nje (radi sprečavanja zaleđivanja), pri čuvanju i prevozu hrane, za kontrolu temperature u velikim zdanjima (bioskopi, silosi itd.), kao i za kontrolu temperature zagrevanja metalnih proizvoda (ležajeva). Odgovarajući termometri primenjuju se i u medicini.

Pri konstrukciji elektrootpornih termometara namenjenih za avione, predviđena je zaštita mekih platinskih žica od dejstva vibracija i udara, keramičkim cevima.

U slučaju neophodnosti povećanja tačnosti otpornih termometara, na primer pri njihovoj primeni u sistemu regulacije, termometri se uključuju u električna kola, izrađena po principu dvojnog mosta Kelvina, čime se isključuje uticaj otpornosti provodnika. Na taj način se može povećati tačnost merenja za 0,25% u temperaturnom intervalu od 0 do 600°C .

Legure platine za tenzometre

Eksperimentalna ispitivanja deformacije – tenzometriranje – jedno je od univerzalnih načina ocene mehaničkih osobina materijala. Bez izučavanja procesa deformacije nemoguće je projektovanje i izrada savremenih mašina, kao i upravljanje savremenim tehnološkim procesima.

Neophodnost merenja naprezanja u uslovima eksploatacije proizvoda i odgovornim konstrukcijama – turbinama visokog pritiska, reaktivnih motora itd. iziskivalo je izradu stabilnih tenzometara za rad na temperaturama od 800 do 1.000°C u slučaju statičkih, dinamičkih i promenljivih opterećenja [13-15].

Najveću primenu u tenzometriji dobili su žičani davači otpora od legura tipa nikel-hrom koji rade na relativno niskim temperaturama. Za merenje parametara savremenih mašina i uređaja neophodni su tenzometri koji rade na temperaturama 500 - 800°C kako u statičkim tako u dinamičkim režimima. Najperspektivniji materijali u toj oblasti su legure plemenitih metala.

Preporučuju se sledeće legure platine: legure sistema Pt-Ir; Pt(15-65)Pd(15-65)Ir(2-3); Pt(5-85)Pd(15-80)Mo(2-12); Pt(5-85)Rh(1-75)Pd(1-85).

Koeficijenti tenzoosetljivosti tih legura dostižu vrednosti 5,1; 4,3; 4,0 i 4,2.

Legure platine sa volframom poseduju visoki koeficijent tenzoosetljivosti u kombinaciji sa električnim i mehaničkim osobinama. Na bazi tih legura razrađeni su visokotemperaturni tenzoosetljivi materijali.

Jedna od legura koja se preporučuje je legura Pt sa 8–9,5% W ne toliko za potenciometre i kontakte koliko za otporne tenzometre predviđene za merenje statičkih (sporo promenljivih sa temperaturom i vremenom) defor-macija i naprezanja pri visokim temperaturama.

Visokotemperaturni tenzometri od legure Pt-W u današnje vreme su osnovni tip koji se proizvodi u vodećim firmama Amerike, Engleske i Francuske. Legura ima visoki specifični otpor ($0,7 \times 10^{-8} \Omega m$) i proporcionalno nisku termoelektromotornu silu (2×10^{-4}).

Zapaženo je, da izborom specijalnih preciznih metoda topljenja, obrade pritiskom i termičke obrade (posebno termičke obrade) može se povećati električna otpornost a smanjiti termoelektromotorna sila, uz istovremeno očuvanje plastičnosti koja dozvoljava izradu žice prečnika 0,03 mm. Pri tome se čvrstoća legure zadržava na potrebnom visokom nivou (>900 MPa). S porastom sadržaja volframa sa 8 na 9,5% specifični otpor i termoelektro-motorna sila se poboljšavaju.

Pri sadržaju volframa, u leguri, preko 9% W, prerada pritiskom se sinžava, pogoršava se zavarljivost sa odvodnim provodnicima, kao i tehnika namotavanja. Pored toga, utvrđeno je da iznad 400°C mikrožica prečnika 0,03 mm od pomenute legure nije u potpunosti stabilna naročito na temperaturi preko 550°C.

Legure platine za izradu pribora

U izradi pribora i uređaja legure platine su nezamenljive. Od njih se prave električni kontakti i otpornici, termootpornici i termoparovi visoke osetljivosti, postojani magneti, elastični elementi itd.

Pouzdanost rada aparata za elektro i radiotehnička merenja u velikoj meri zavisi od kvaliteta materijala električnih kontakata, otpornika i potenciometara. Legure za takve materijale moraju posedovati neophodna fizička, hemijska i tehnološka svojstva kako bi zadovoljile stroge tražene zahteve.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je proistekao kao rezultat projekta TR 34029 „Razvoj tehnologije proizvodnje Pd katalizatora-hvatača za smanjenje gubitaka platine u visokotemperaturnim procesima katalize“ finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] J. E. Philpot., Nitrogen, 71, 5/6 (1971)52.
- [2] A. R. McCabe, T. Pignet, L.D. Schmidt; J. Catal., 32 (1974) 111.
- [3] M. Flytzani-Stephanopoulos, S. Wrong, L. D. Schmidt; J. Catal., 49 (1977) 51.
- [4] F. Sperner, W. Hohmann; Platinum Metals Rev., 20, 1 (1976) 12.
- [5] J. P. Contour, G. Mourier, H. Hoogewys, C. Leclerg; J. Catal., 48 (1977) 217.
- [6] J. A. Busby, D. L. Trimm; J. Catal. 60 (1979) 430.
- [7] M. Pszonicka; J. Cataly. 56 (1979) 472.
- [8] G. J. K. Acres; Platinum Metals Rev. 1 (1980) 14.
- [9] M. Pszonicka; Polish J. Chem., 54 (1980) 2283.
- [10] Z. Rdzawski et all, J. Mater. Proces. Tech. 53 (1995) 319.
- [11] P. A. Kozub, G. I. Gryn, I. V. Goncharov, Platinum Metals Rev., 44 (2000) 74.
- [12] Z. Rdzawski, S. P. Stobrawa, J. Mater. Proces. Tech. 153-154 (2004) 681.
- [13] M. Baerns et all., J. Catal., 232 (2005) 226.
- [14] L. Hannevold, O. Nilsek, A. Kjshus, H. Fjellray, Appl. Catal. 284 (2005) 163.
- [15] L. Hannevold, Appl. Catal., 284 (2005) 185.

UDK: 681.51:626.01(045)=163.41

STRUČNI RAD

Oblast: Mašinstvo

**PRIMENA PROGRAMA „PIPE PAK“ ZA PRORAČUN
SAMOKOMPENZACIJE TEMPERATURNISKIH
DILATACIJA „Z“ KOMPENZATOROM**

**APPLICATION THE SOFTWARE “PIPE PAK“ FOR
CALCULATION THE SELF-COMPENSATION OF
TEMPERATURE DILATATIONS BY “Z“ COMPENSATOR**

Branislav Rajković, Srđana Magdalinović, Radmilo Rajković

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
e-mail: branislav.rajkovic@irmbor.co.rs

Izvod

U ovom radu je, na primeru samokompenzacije temperaturniskih dilatacija toplovodne instalacije „Z“ kompenzatorom data uporedna analiza rezultata proračuna dobijenih analitičkim proračunom i korišćenjem programa „Pipe Pak“. Analitički postupak proračuna „Z“ kompenzatora izložen je u celini eksplicitnim formulama [1], dok su rezultati dobijeni softverom „Pipe Pak“ dati tabelarno i grafički. U radu je analiziran slučaj asimetričnog „Z“ kompenzatora kao jednog od najčešćih slučajeva ravanske kompenzacije temperaturniskih dilatacija.

Ključne reči: samokompenzacija temperaturniskih dilatacija, asimetrični „Z“ kompenzator

Abstract

This work, in the example of self-compensation the temperature dilatations of district heating installation by “Z” compensator, gives a comparative analysis of calculation results obtained by the analytical calculation and by the use of the program “Pipe Pak”. The analytical calculation procedure of “Z” compensator is present in its entirety by the explicit formulae (1), while the results obtained by the software “Pipe Pak” are given in tables and graphics. The case of asymmetrical “Z” compensator was analyzed in this work as one of the most common cases of the plane compensation of temperature dilatations.

Keywords: self-compensation of temperature dilatations, asymmetrical “Z” compensator

1. UVOD

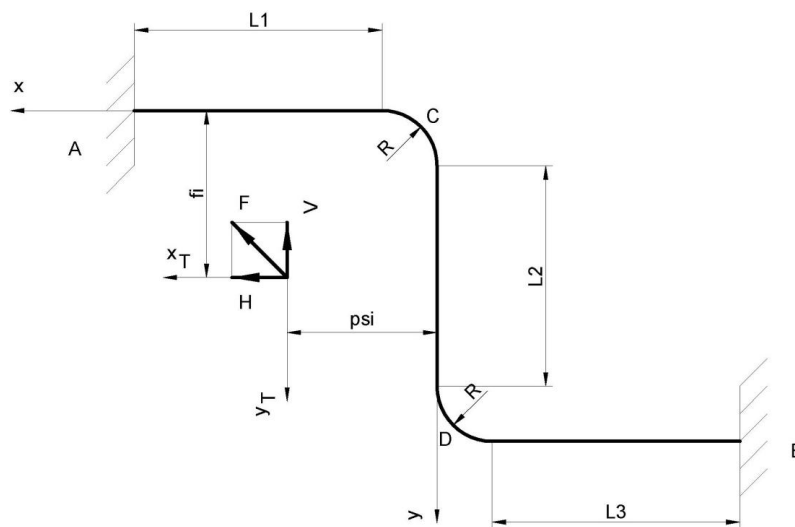
Pri transportu cevovodima toplih fluida (topla voda, vrela voda, para, termalna ulja itd.) koji se koriste u instalacijama za grejanje kao i u industrijskim i procesnim postrojenjima, usled razlike između montažne i radne temperature cevovoda dolazi to temperaturniskih dilatacija. Da bi naponi u

cevovodima ostali u dozvoljenim granicama potrebno je kompenzovati ove temperaturske dilatacije bilo pomoću kompenzatora bilo samokompensacijom. Kao što je poznato, kompenzatori su namenski uređaji koji omogućavaju temperaturske dilatacije cevovoda (npr. talasasti kompenzatori i teleskopski kompenzatori). Sa druge strane, samokompensacija temperaturskih dilatacija ostvaruje se pogodnim vođenjem trase cevovoda i u praksi se najčešće koriste „L“, „Z“ i „U“ kompenzatori. U nekim slučajevima se može uticati na veličinu temperaturskih dilatacija, a samim tim i na napone u cevovodima, smanjenjem razlike između montažne i radne temperature (predgrevanje cevovoda). Takođe, na veličinu relativnih temperaturskih izduženja pri radnoj temperaturi u odnosu na montažnu temperaturu može se uticati izazivanjem napona u cevovodu pri montaži suprotnog znaka od onih koji nastaju pri radnim uslovima (prednaprezanje cevovoda). Međutim u ovom radu će biti reči o samokompensaciji primenom asimetričnog „Z“ kompenzatora bez predgrevanja i prednaprezanja cevovoda pri čemu će se izdvojeno razmatrati samo termičko opterećenje cevovoda, a zanemariće se ostala opterećenja na cevovod u koje spadaju sile od mehaničkog delovanja transportovanog fluida, sile otpora pomeranja pokretnih oslonaca kao i težinska opterećenja i sile usled delovanja vetra.

2. TEHNIČKI OPIS

Na slici 1. data je jedna ravanska konfiguracija cevovoda između uklještenih nepokretnih oslonaca A i B koja se naziva „Z“ kompenzator. Ona se sastoji od deonice konstantnog poprečnog preseka izrađene od istog materijala koja ide od tačke A pravolinijski, u tački C se lomi pod uglom od 90° u negativnom matematičkom smeru i ide pravolinijski do tačke D gde se lomi pod uglom od 90° u pozitivnom matematičkom smeru i najzad ide pravolinijski do tačke B. Dužine pravolinijskih krakova ove ravanske konfiguracije su L_1 , L_2 i L_3 kao što je dato na slici 1. S obzirom da su u opštem slučaju dužine krakova L_1 i L_3 različite radi se o asimetričnom kompenzatoru. U tačkama promene pravca cevovoda su cevni lukovi sa poluprečnikom krivine R . Duž pravolinijskih krakova L_1 i L_2 postavljene su ose koordinatnog sistema x i y . „Elastični centar“ je pomenen po y osi (koordinata φ) i po x osi (koordinata ψ) u odnosu na ovaj koordinatni sistem. U slučajevima kada se poprečni presek cevovoda ne spljoštava koordinate „elastičnog centra“ se poklapaju sa težištem konfiguracije cevovoda. U analitičkom proračunu je uticaj spljoštavanja poprečnog preseka cevi kod cevni lukova obuhvaćen koeficijentom Karmana prema [2]. Iz ovog razloga i tzv. „elastična dužina“ cevovoda tj. razvijena dužina odstupa od geometrijske dužine ove konfiguracije. Postupak analitičkog proračuna se nadalje odvija određivanjem aksijalnih linijskih momenata

inercije i centrifugalnog linijskog momenta inercije, određivanjem komponenta temperaturnih izduženja i komponenta rezultujuće sile (H i V) od samokompenzacije temperaturnih dilatacija kao i momenata i napona u karakterističnim tačkama konfiguracije cevovoda.



Sl. 1. Samokompenzacija temperaturnih dilatacija "Z" kompenzatorom

Softver „Pipe Pak“ na osnovu unetih ulaznih parametara i zadate konfiguracije cevovoda u grafičkom okruženju programa obavlja proveru i analizu i kao rezultat daje izveštaj koji sadrži vrednosti pomeranja, sila, momenata i napona u definisanim tačkama cevovoda kao i grafičku interpretaciju ovih vrednosti.

3. PRORAČUN

1. Ulazni podaci:

- Spoljašnji prečnik cevi: $D = 0,0603[m]$
- Unutrašnji prečnik cevi: $d = 0,0545[m]$
- Debljina zida cevi: $s = 0,0029[m]$
- Dužina: $L_1 + R = 29[m]$
- Dužina: $L_2 + R = 1,5[m]$
- Dužina: $L_3 + R = 13[m]$

- Poluprečnik krivine: $R = 0,0905[m]$
- Modul elastičnosti: $E = 2,1 \cdot 10^{11} \left[\frac{N}{m^2} \right]$
- Koeficijent linearnog širenja čelika:

$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} [K^{-1}]$$

- Dozvoljeni napon:

$$\sigma_{doz} = 120 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

- Temperaturska razlika: $\Delta t = 90[^\circ C]$
- Ambijentalna temperatura: $t_a = 0[^\circ C]$
- Radna temperatura: $t_r = 90[^\circ C]$

2. Koeficijent:

$$\lambda = \frac{4 \cdot s \cdot R}{(D - s)^2} = 0,3185$$

3. Lučni koeficijent (Karmanov broj) za $\lambda > 0,3$:

$$k = \frac{1 + 12\lambda^2}{10 + 12\lambda^2} = 0,1976$$

4. Moment inercije poprečnog preseka:

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = 2,1592 \cdot 10^{-7} [m^4]$$

5. Otporni moment poprečnog preseka:

$$W = \frac{2I}{D} = 7,1617 \cdot 10^{-6} [m^3]$$

6. Razvijena dužina cevi:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + 3,14 \frac{R}{k} = 44,575 [m]$$

7. Koordinate elastičnog centra:

$$\varphi = \frac{3,14 \frac{R^2}{k} + 1,57 \cdot L_2 \cdot \frac{R}{k} + 0,5 \cdot L_2^2 + R \cdot L_2 + L_2 \cdot L_3 + 2 \cdot R \cdot L_3}{L} = 0,4808[m]$$

$$\psi = \frac{0,5 \cdot L_1^2 - 0,5 \cdot L_3^2 + L_1 \cdot R - L_3 \cdot R}{L} = 7,5378[m]$$

8. Aksijalni linijski momenti inercije:

$$I_{xT} = 4,71 \frac{R^3}{k} + 5,14 \cdot L_2 \cdot \frac{R^2}{k} + 1,57 \cdot L_2^2 \cdot \frac{R}{k} + \frac{1}{3} L_2^3 + L_2^2 \cdot R + L_2 \cdot R^2 + L_2^2 \cdot L_3 + 4 \cdot R \cdot L_2 \cdot L_3 + 4 \cdot R^2 \cdot L_3 - L \cdot \varphi^2 = 21,224[m^3]$$

$$I_{yT} = 0,71 \frac{R^3}{k} + R^2 \cdot (L_1 + L_3) + R \cdot L_1^2 + R \cdot L_3^2 + \frac{1}{3} L_1^3 + \frac{1}{3} L_3^3 - L \cdot \psi^2 = 6329,294[m^3]$$

9. Centrifugalni linijski moment inercije:

$$I_{xyT} = -\frac{R^3}{k} - 0,57 \cdot L_2 \cdot \frac{R^2}{k} - (L_2 + 2 \cdot R) \cdot (0,5 \cdot L_3^2 + R \cdot L_3) - L \cdot \varphi \cdot \psi = -288,325[m^3]$$

10. Komponente toplotnog izduženja u x i y pravcu:

$$\Delta h = \alpha \cdot \Delta t \cdot (L_1 + L_3 + 2 \cdot R) = 0,0454[m]$$

$$\Delta v = \alpha \cdot \Delta t \cdot (L_2 + 2 \cdot R) = 0,0016[m]$$

11. Komponente sile u x i y pravcu:

$$H = E \cdot I \frac{\Delta h \cdot I_{yT} - \Delta v \cdot I_{xyT}}{I_{xT} \cdot I_{yT} - I_{xyT}^2} = 254,66[N]$$

$$V = E \cdot I \frac{\Delta v \cdot I_{xT} - \Delta h \cdot I_{xyT}}{I_{xT} \cdot I_{yT} - I_{xyT}^2} = 11,612[N]$$

12. Momenti od sile u osloncima A i B i temenima krivina - tačkama C i D:

$$M_A = -(L_1 + R - \psi) \cdot V + \varphi \cdot H = -126,8[Nm]$$

$$M_B = (L_2 + 2 \cdot R - \varphi) \cdot H - (L_3 + R + \psi) \cdot V = 21,1[Nm]$$

$$M_C = - \left[\varphi - R \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \right] \cdot H - \left[\psi - R \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \right] \cdot V \\ = -202,9[Nm]$$

$$M_D = \left[R \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) + L_2 - \varphi \right] \cdot H - \left[\psi + R \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \right] \cdot V \\ = 164,96[Nm]$$

13. Naponi od momenata u osloncima A i B i temenima krivina - tačkama C i D:

$$\sigma_A = \frac{M_A}{W} \cdot 10^{-6} = 17,7 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

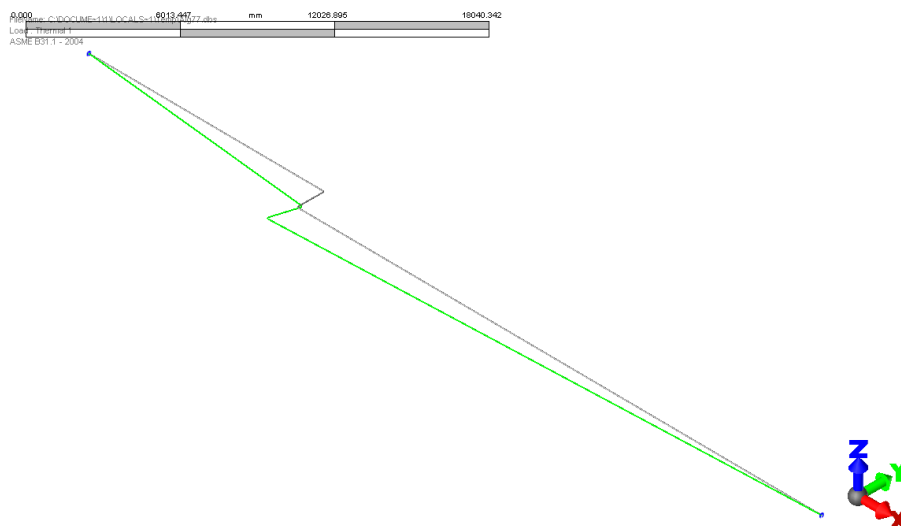
$$\sigma_B = \frac{M_B}{W} \cdot 10^{-6} = 2,94 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\sigma_C = \frac{M_C}{W} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 53,35 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

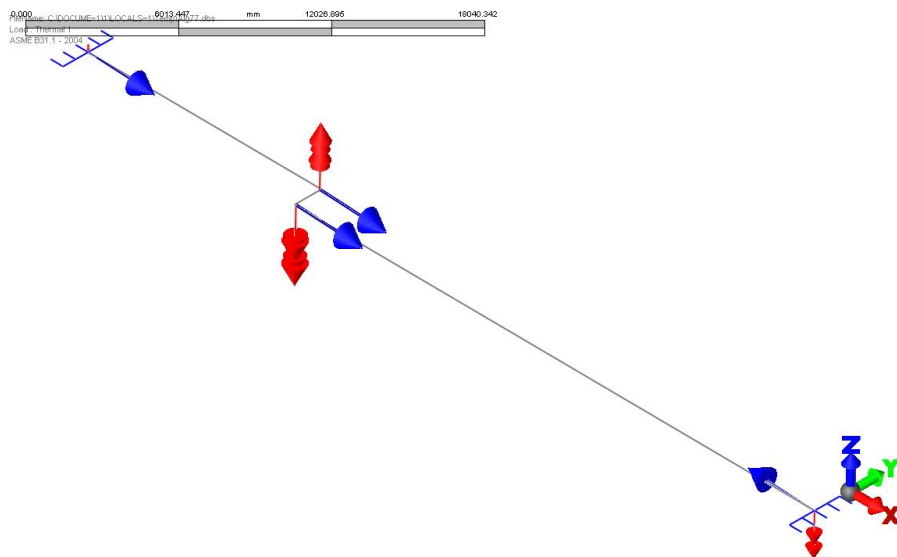
$$\sigma_D = \frac{M_D}{W} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 43,37 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

gde je popravni koeficijent za $\lambda < 1,472$:

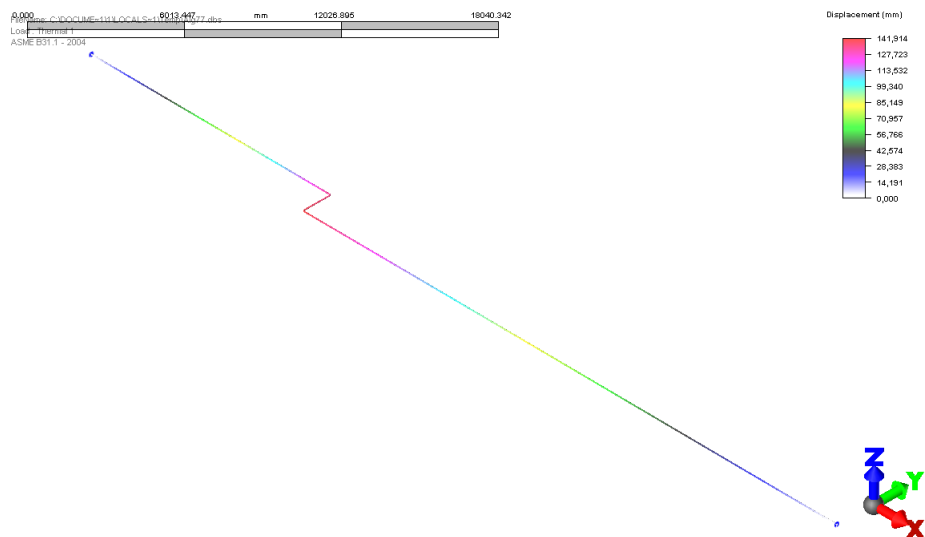
$$\beta = \frac{2}{3 \cdot k} \sqrt{\frac{5 + 6 \cdot \lambda^2}{18}} = 1,883$$



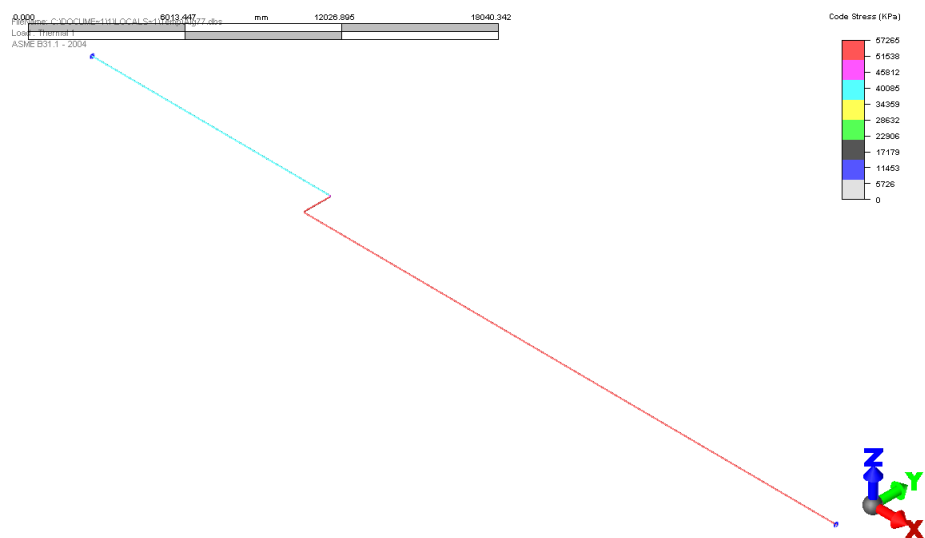
Sl. 2. *Elastična linija cevovoda usled temperaturniskih dilatacija*



Sl. 3. *Sile i momenti na cevovodu usled temperaturniskih dilatacija*



Sl. 4. Pomeranje cevovoda usled temperaturskih dilatacija



Sl. 5. Naponi u cevovodu usled temperaturskih dilatacija

Tabela 1. Pomeranja cevovoda u karakterističnim tačkama

Point Name	Displacements(mm)			Rotations(degree)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C. Near	-31.559	-138.361	0.000	0.000	0.000	-1.512
C. Far	-29.076	-135.762	0.000	0.000	0.000	-1.701
D. Near	11.539	-134.319	0.000	0.000	0.000	-1.732
D. Far	14.093	-131.635	0.000	0.000	0.000	-1.579
B	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000

Tabela 2. Naponi u cevovodu u karakterističnim tačkama

Point Name	In-Plane SIF	Out-Plane SIF	Section Modulus	Stresses (KPa)				
				Hoop	Longitudinal	Principal	Code	Allowable
A	1.00	1.00	7161.66	0.00	18510.45	18510.45	18014.91	129599.99
C. Near	1.93	1.93	7161.66	0.00	57760.08	57760.08	57264.54	129599.99
C. Far	1.93	1.93	7161.66	0.00	51257.48	51257.48	51234.89	129599.99
D. Near	1.93	1.93	7161.66	0.00	40865.76	40865.76	40843.16	129599.99
D. Far	1.93	1.93	7161.66	0.00	47368.36	47368.36	46872.81	129599.99
B	1.00	1.00	7161.66	0.00	3492.32	3492.32	2996.79	129599.99

Tabela 3. Sile i momenti u cevovodu u karakterističnim tačkama

Point Name	Forces (Newton)			Moments (Newton-m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A	-259.14	11.82	0.00	0.00	0.00	-129.02
C. Near	259.14	-11.82	0.00	0.00	0.00	-212.57
C. Far	259.14	-11.82	0.00	0.00	0.00	-190.19
D. Near	259.14	-11.82	0.00	0.00	0.00	151.62
D. Far	259.14	-11.82	0.00	0.00	0.00	174.00
B	259.14	-11.82	0.00	0.00	0.00	21.46

4. DISKUSIJA PRORAČUNA

Rezultati proračuna dobijeni analitičkim postupkom sa jedne strane i primenom programa „Pipe Pak“ sa druge strane, pokazuju zadovoljavajuće poklapanje. Zanimljiva odstupanja proizilaze iz razlike u usvojenim karakteristikama materijala, modula elastičnosti i koeficijenta linearnog širenja,

koje program uzima iz svoje baze podataka (PipePak Library Manager) za usvojeni materijal St35.8 po DIN standardu kome odgovara po standardu SRPS EN čelik P235G1TH (stara oznaka Č.1214). U analitičkom proračunu su opterećenja i naponi u krivinama (tačke C i D) računati za teme krivine dok program PipePak automatski računa ove vrednosti u tačkama početka i kraja krivine (C. near i C. far odnosno D. near i D. far). Uticaj na povećanje napona u analitičkom proračunu obuhvaćen je Karmanovim brojem odnosno popravnim koeficijentom dok program operiše sa vrednošću faktora povećanja napona SIF (stress intensification factor) koji uzima prema standardu ASME B31.1. Relativna odstupanja vrednosti opterećenja i napona u karakterističnim tačkama po dva načina proračuna su ispod 2%. Interesantne su vrednosti pomeranja po y osi u tačkama C i D koja daje program PipePak, gde se pokazuje poklapanje sa relativnim vrednostima toplotnih izduženja u odnosu na analitički proračun, dok su apsolutne vrednosti pomeranja znatno veće. U praksi se ova poprečna pomeranja ograničavaju postavljanjem oslonaca za vođenje cevovoda.

5. ZAKLJUČAK

Slučaj samokompensacije asimetričnim „Z“ kompenzatorom prikazan u ovom radu predstavlja idealizovan slučaj u smislu opterećenja jer je razmatrano samo termičko opterećenje na cevovod. Ovo je učinjeno u svrhu upoređivanja analitičkih rezultata i rezultata dobijenih programom „PipePak“. Slično kao kod „L“ kompenzatora [3] pri proračunu „Z“ kompenzatora pokazuje se da program daje dobre i u praksi upotrebljive rezultate. Primenom programa „Pipe Pak“ projektant je oslobođen mukotrpnog postupka analitičkog proračuna koji je kao što se vidi i za jednostavne konfiguracije cevovoda vrlo komplikovan.

LITERATURA

- [1] V. Jevtović i M. Mikašinović: Priručnik o transportu fluida, 1971. god., str. 53-54.
- [2] M. Markoski: Cevni vodovi, Mašinski fakultet, Beograd, 1989. god., str. 176-182.
- [3] B. Rajković, B. Drobnjaković, R. Rajković: „Primena programa 'Pipe Pak' za proračun samokompensacije temperaturskih dilatacija 'L' kompenzatorom“; časopis Inovacije i razvoj br. 1; 2010. god., str. 3-12.

UDK: 621.39(045)=163.41

STRUČNI RAD

Oblast: Elektronika - telekomunikacija

**MOBILNA TELEFONIJA I ZAŠTITA GOVORNOG SIGNALA OD
NEOVLAŠĆENOG PRISLUŠKIVANJA**
**CELLULAR MOBILE SYSTEM AND PROTECTION
THE VOICE SIGNAL FROM UNAUTHORIZED EAVESDROPPING**

Milan Radivojević

Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

Izvod

Bežični prenos govornih signala je, između ostalog, veoma podložan prisluškivanju budući da se od izvora do prijemnika prostire u slobodnom prostoru i da na tom putu može biti neovlašćeno registrovan i reprodukovan. Da bi se takve radnje sprečile preduzete su, odgovarajuće mere zaštite ne samo govornih signala, nego i drugih podataka koji se prenose bežičnim putem. U ovom radu obrađene su dve metode zaštite govornih signala, metoda frekventnog skakanja i metoda direktne sekvence.

Ključne reči: Mobilni telefon, bazna stanica, bežični prenos, 4G, 5G, bitska brzina

Abstract

Wireless transmission of voice signals, among other things, is very susceptible to eavesdropping as it extends in free space from the source to the receiver extends and on this path can be recorded and reproduced without authorization. In order to prevent such actions, the appropriate measures were taken to protect not only the voice signals, but also the other data transmitted wirelessly. This paper presents a discussion of two methods for protection the voice signals: the method of frequency hopping and direct sequence method.

Keywords: mobile telephone, base station, wireless transmission, 4G, 5G, bit rate

UVOD

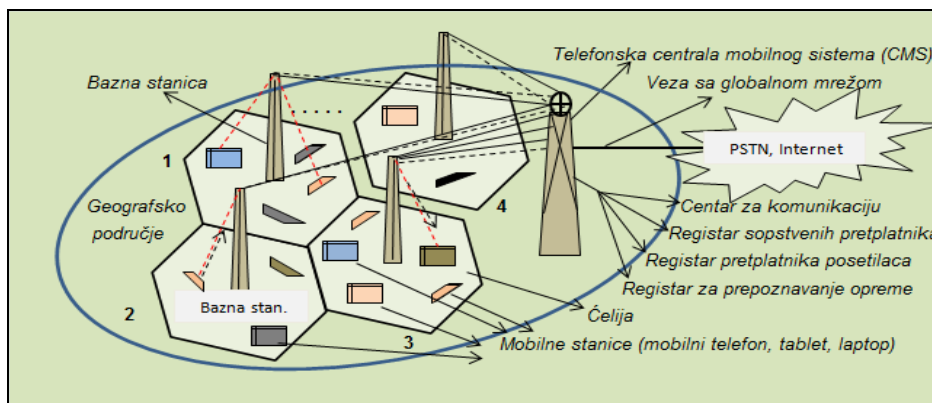
Mobilna telefonija (Cellular Mobile System) predstavlja izuzetno atraktivan i efikasan komunikacioni sistem. U relativno kratkom periodu od početka devedesetih godina prošlog veka do danas, mobilna telefonija imala je izuzetno sadržajan put da bi danas dostigla nivo svakodnevnih i ekonomski dostupnih potreba običnih ljudi. U toku svog razvojnog puta mobilna telefonija je prošla kroz četiri generacije koje se obično označavaju kao 1G, 2G, 3G i 4G. U toku je rad na razvoju i implementaciji pete generacije. Za većinu običnih korisnika prelaz iz jedne generacije u drugu je verovatno bio neprimetan.

Međutim, realno gledajući, napredak i razvoj su nužnost jer je činjenica da broj korisnika mobilne telefonije iz dana u dan permanentno raste, da se stalno povećava broj mobilnih (pokretnih) uređja (mobilni telefoni, tableti, laptop-računari, razni senzorski uređaji i drugo) i da neverovatnom brzinom raste broj aplikacija i usluga koje se preko ovakve bežične mreže mogu realizovati. U takvim okolnostima svakom od nas je jasno da se količina podataka u prostoru oko nas enormno povećava, da je te podatke potrebno preneti do krajnjih korisnika i da je pri tome nužno obezbediti i određen kvalitet usluga. Za realizaciju navedenih aktivnosti potrebno je stalno unaprediti tehnologiju prenosa i prijema podataka koja, između ostalog, podrazumeva obezbeđenje odgovarajuće brzine prenosa, nove metode modulacije i zaštitu podataka od fizičkog uništenja i neovlašćenog preuzimanja, odnosno korišćenja. Posledica ovakvog stanja je postojanje više generacija mobilne bežične mreže, s tim što je svaka generacija donosila nešto novo, bilo u promeni brzine prenosa, bilo u korišćenju novih metoda modulacije, u poboljšanju kvaliteta usluga ili u svim delovima, a sve sa ciljem da se zadovolje sve veći i raznovrsniji zahtevi krajnjih korisnika. Nesporna je činjenica da su u ovoj oblasti veliki doprinos dale i organizacije koje se bave standardizacijom bežičnih mreža i mobilnih uređaja među kojima se posebno ističe Evropski institut za telekomunikacione standarde (*European Telecommunications Standards Institute-ETSI*). Devedesetih godina prošlog veka (tačnije, 1991.godine) *ETSI* je razvio i objavio GSM (*Globalni sistem za mobilnu komunikaciju - Global System for Mobile Communications*) standard za drugu (2G) generaciju digitalnih mobilnih mreža koje koriste mobilni telefoni. Tokom 2014.godine ovaj standard je postao podrazumevajući standard za mobilne komunikacije koje funkcionišu u više od 219 zemalja širom sveta.

1. PRINCIP RADA MOBILNE TELEFONIJE

Rad mobilne telefonije bazira se na osnovama GSM standarda. GSM standard utvrđuje da se određeno geografsko područje podeli na više manjih celina – ćelija. U svakoj ćeliji postoji određen broj ljudi koji poseduju mobilne telefone, odnosno u svakoj ćeliji postoji određen broj mobilnih telefona. Pored toga u svakoj ćeliji postoji bazna stanica – toranj, koja sadrži odgovarajuću radio opremu. Veličina ćelije zavisi od broja mobilnih uređaja na tom području, pa u gušće naseljenim područjima ima više ćelija nego u drugim. Kako su mobilni telefoni stanice sa relativno malom snagom, odnosno slabim predajnicima, iste učestanosti se mogu koristiti u više ćelija, najčešće u nesusednim ćelijama.

Sa aspekta GSM sistema, mobilna telefonija sastoji se iz tri osnovna podsistema izuzetno složenih funkcija i to: *mobilni telefon* (mobilna stanica), *bazna stanica* i *mreža i telefonska centrala mobilnog sistema* (slika 1.).



Sl. 1. Šematski prikaz sistema mobilne telefonije

Korisnik u ovom sistemu ima kontakt samo sa mobilnim telefonom. Mobilni telefon sadrži komponente neophodne za komunikaciju sa korisnikom, mikrofoni, zvučnik, tastaturu, displej i druge i može obavljati veliki broj operacija: diskretizaciju signala, modulaciju, emitovanje, prijem, demodulaciju signala, kao i sve ostale operacije neophodne za pristup mreži.

Bazne stanice stalno su u vezi sa mobilnim telefonima u njihovoj zoni pokrivanja. Realizuju, između ostalih, funkcije emitovanja i prijema elektromagnetskih talasa i drugih signala. Kontrolu njihovog rada vrše kontroleri bazne stanice.

Mreža je podsistem koji obezbeđuje vezu između korisnika bežične mobilne telefonije i korisnika drugih komunikacionih mreža, primera radi PSTN i/ili Interneta. Centrala mobilnog sistema (CMS- obično je jedna za grad i okolne mesne zajednice), kao deo podsistema, objedinjuje rad više ćelija na određenom geografskom području i njihovih baznih stanica i sadrži centar za komutaciju koji vrši sve funkcije klasične telefonske centrale. Centrala sadrži i dodatnu opremu za praćenje kretanja sopstvenih pretplatnika i omogućuje neprekidnost veze pri prelazu iz jedne ćelije u drugu, zatim bazu podataka koja se sastoji iz registra sopstvenih pretplatnika i posetilaca i registra za prepoznavanje opreme. U centrali se nalazi i centar za autorizaciju i još neki delovi koji nisu važni za ovu temu.

Svaki mobilni telefon ima svoju specijalnu šifru (kod) koja mu je dodeljena. Kod se koristi za identifikaciju telefona, vlasnika telefona i provajdera telefonske usluge. Telefon je, posredno preko posebnog kanala -

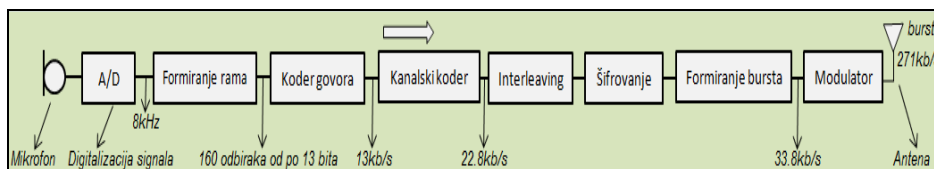
frekvence, stalno u vezi sa baznom stanicom sa kojom, između ostalog, stalno upoređuje svoju šifru sa onom koju mu dostavlja bazna stanica. Ako su te dve šifre identične, telefon „zna“ da pripada svojoj mreži. Suprotno, isti je tada nedostupan. Istovremeno, telefon, preko bazne stanice, *CMS*-e šalje zahtev za registraciju. Pošto *CMS* sadrži bazu podataka o svojim pretplatnicima, on u tom trenutku „zna“ u kojoj ćeliji se nalazi odgovarajući mobilni telefon.

1.1. Prenos govornog signala

Obzirom da ćemo se u radu zadržati na zaštiti od neovlašćenog prisluškivanja razgovora koja se obavlja u sistemu mobilne telefonije, prethodno ćemo ukratko ukazati na način prenosa govornog signala u ovom sistemu. Iako je prenos podataka u bežičnim mrežama, sa tehničkog, hardverskog aspekta, veoma složen, mi ćemo pokušati da, između ostalog, korišćenjem i šematskih prikaza, objasnimo metodologiju prenosa govora ukazujući pri tome i na probleme zaštite i kvaliteta ove usluge.

Ako, primera radi, želimo preko našeg mobilnog telefona pozvati prijatelja (čiji ćemo mobilni telefon označiti simbolom B), onda unosimo broj telefona B i pritisnemo taster koji označava da je poziv upućen. Poziv, preko bazne stanice na kojoj smo „povezani“, prima *CMS* i dodeljuje nam dve učestanosti (kanala) kojima će se realizovati razgovor. Jedan kanal se koristi da se naš govor prenosi i stigne do telefona B, a drugi da govorni signali iz telefona B stignu do nas. Paralelno sa ovim *CMS* „traži“ i nalazi telefon B i „saopštava“ mu koje će se učestanosti koristiti u ovom razgovoru. Nakon toga se *CMS* i telefon B prebacuju na te učestanosti čime je veza uspostavljena i razgovor može početi. Naš govor se, u mikrofONU našeg mobilnog telefona, najpre transformiše u analogni strujni (ili naponski) signal.

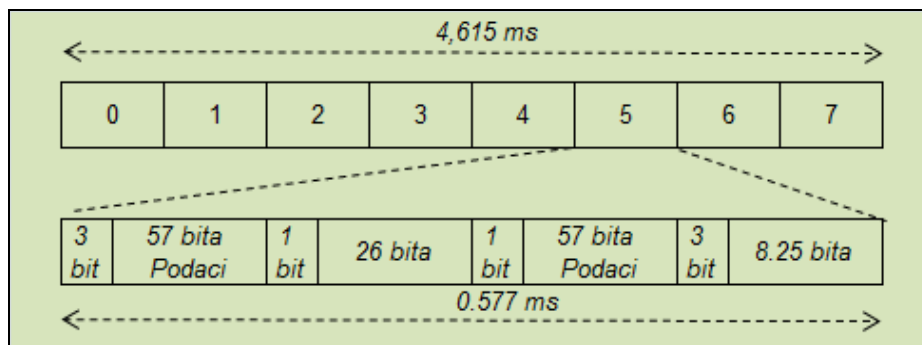
Analogni govorni signal ima opseg učestanosti od 20Hz do 20.000 Hz. Međutim, za uspešno i kvalitetno sporazumevanje, kada je govor u pitanju (dakle, ne i muzika), dovoljan je znatno manji opseg i to od 300Hz do 3.400Hz. Govorni signal transformisan u analogni električni signal diskretizuje se (vrši se odabiranje vredosti) sa učestošću od 8.000Hz, a potom kvantizuje sa 13 bita (maksimalan broj vrednosti odbiraka $2^{13} = 8.192$). Tako dobijeni digitalizovan signal deli se u segmente (ramove) trajanja 20ms. U svakom ramu ima po 160 odbiraka, odnosno $160 \cdot 13 \text{ bita} = 2.080 \text{ bita}$. Njegov dalji put (kroz mobilni telefon) do „izlaska“ iz telefona šematski je prikazan na slici 2.



Sl. 2. „Kretanje“ govornog signala kroz mobilni telefon – od ulaza u mikrofon do izlaza, antene

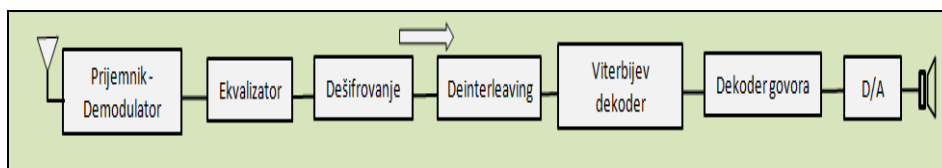
Unutar telefona naš govorni signal više puta se transformiše sve sa ciljem da se prilagodi uslovima za prenos, da se izbegnu greške u prenosu i da se zaštiti od eventualnog prisluškivanja. Najvažnije transformacije su kompresija signala, promena bitske brzine, modifikacija rama radi zaštite od prisluškivanja i deoba ramova. Postupci za realizaciju ovih aktivnosti su veoma složeni i nećemo ih detaljnije opisati u ovom radu, sem dela koji se odnosi na zaštitu od prisluškivanja. Kao posledica ovih radnji deo našeg govornog signala trajanja 20 ms, koji je na izlazu iz bloka *Formiranje rama* (videti sliku 2.) imao 2.080 bita, na izlazu iz bloka *Kanalski koder* ima 456 bita i brzinu od 22,8 kbit/s. Sadržaj ovog rama još jednom se modifikuje (blok *Interleaving*) da bi se zaštitio u toku prenosa tako što se svaki bit rama sabere (ne mora biti samo sabiranje, moguće su i druge operacije) sa slučajnim nizom bitova koji se dobija po posebnom algoritmu - ugrađen je u mobilni telefon. Posle ove operacije ram sadrži 1.250 bita. Ovakav ram se ne prenosi u celini već se deli na osam delova, slotova (burstova), izlaz iz bloka *Formiranje burstova*. Svaki od osam slotova sadrži po 57 bita podataka ($456\text{bita}/8 = 57\text{ bita}$). Pored ovih bita, svaki slot sadrži i dodatne (za označavanje početka i završetka slota, kontrole kašnjenja i druge) tako da u svakom slotu ukupno ima 156,25 bita ($1.250\text{bita}/8 = 156,25\text{bita}$) od kojih su 114 bita, biti dela govornog signala. Slotovi se sada, nakon modulacije, posredstvom antene, prenose u osam uzastopnih vremenskih intervala.

Niz od osam slotova čini jedan *TDMA* ram (*Time Division Multiple Access* – višestruki pristup sa vremenskom raspodelom). Trajanje jednog *TDMA* rama iznosi 4,615ms, a trajanje jednog slota $4,615\text{ms}/8 = 0,577\text{ms}$. Dakle, ako se vratimo na izlaz bloka *Formiranje rama*, gde je deo našeg govornog signala trajao 20ms, vidimo da ga je mobilni telefon, pre nego što naš deo govornog signala – preko antene „krene“ ka našem prijatelju, komprimovao i sada traje 4,615ms (slika 5.). Na slici 3. šematski je prikazan *TDMA* ram i sadržaj jednog od osam vremenskih slotova *TDMA* rama.



Sl. 3. TDMA ram i struktura jednog slota

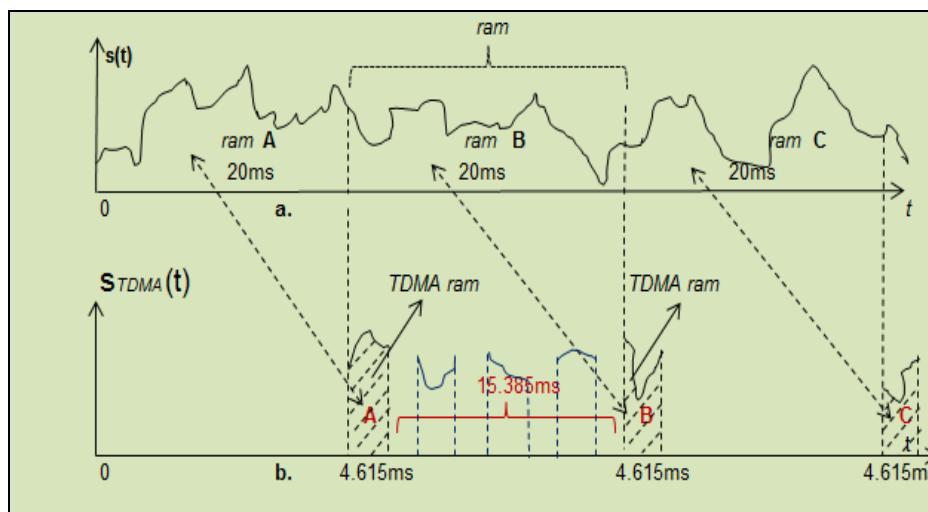
Brzina govornog signala koji „napušta“ naš mobilni telefon iznosi $v_d = (1/0,577 \text{ ms}) \cdot 156,25 \text{ bita} = 271 \text{ kb/s}$. Kada govorni signal „stigne“ do telefona B, isti, preko prijemne antene, prihvata signal koji sada od antene do zvučnika (slika 4.) prolazi kroz slične module kao i u našem mobilnom telefonu ali u obrnutom smeru.



Sl. 4. „Kretanje“ govornog signala kroz mobilni telefon našeg prijatelja, od prijemne antene njegovog telefona do zvučnika

Podsetimo se da smo naš govorni signal podelili na ramove i da svaki ram traje 20ms, da sadrži 160 odbiraka i ima 2.080 bita. Na izlazu našeg mobilnog telefona (na predajnoj anteni) imamo isti ovaj signal ali komprimovan - sadrži 456 bita (plus bite koji su naknadno dodati) i traje 4,615ms. Sadržina od 456 bita prenosi se dalje sa jednim TDMA ramom. Ali u TDMA ramu ima mesta za dvostruko više bita, obzirom da svaki slot sadrži po 114 bita za podatke. To znači da se naš deo govornog signala od 160 odbiraka prenosi sa osam poluslotova u TDMA ramu. A šta je sa celinom od preostalih osam polovina slotova istog rama? Ona se može iskoristiti za prenos 160 odbiraka dela nekog govornog signala sa drugog mobilnog telefona, pri čemu ova dva dela (rama) „putuju“ istim kanalom (ista učestanost) a da jedan drugom ne smetaju.

Međutim, to nije sve. Naime, sa slike 5. se vidi da je naš mobilni telefon, primera radi, obradio deo govornog signala A formirajući odgovarajući *TDMA* ram trajanja 4,615ms (b.) i posle toga „čeka“ 15,385ms (kanal je slobodan) da bi uzeo drugih 160 odbiraka iz rama B (a.) i na isti način obradio. U tom vremenskom intervalu evidentno je da se u isti kanal mogu „ubaciti“ još tri *TDMA* rama (b.) koji su formirani obradom govornih signala sa drugih mobilnih telefona. To dalje znači da se svakih 20ms, preko jednog kanala, mogu poslati četiri *TDMA* rama, odnosno prenositi osam govornih signala sa osam različitih mobilnih telefona. Drugim rečima osam korisnika može istovremeno razgovarati koristeći jedan kanal, tj. jednu učestanost i da se pri tome međusobno ne ometaju.



Sl. 5. Govorni signal podeljen na tri rama (a.) i odgovarajući TDMA ramovi (b.)

Osam istovremenih razgovora svakako nije dovoljno za normalno funkcionisanje jedne ćelije. Problem se može rešiti ako se dozvoli, u okviru jedne ćelije, korišćenje većeg broja kanala, odnosno frekvencija. GSM standard je, za prenos signala, rezervisao frekvencijski opseg od 890MHz – 915MHz (ukupno 25MHz) za vezu od mobilnog telefona ka baznoj stanici i 935MHz – 960MHz od bazne stanice prema mobilnom telefonu. Ova dva opsega razdvojena su frekventnim intervalom od 20MHz da ne bi došlo do mešanja odlazećeg i dolazećeg signala čime se omogućava istovremeni prenos u oba smera. Opsezi od 25MHz podeljeni su na podopsege (kanale) širine 200kHz.

Takvih kanala ima po 125 u oba smera. U praksi obično se koristi samo 124 kanala. U svakom od ovih kanala definisane su centralne učestanosti i elektromagnetski talasi, koje emituju mobilni telefoni i/ili bazne stanice i koji imaju jednu od ovih učestanosti, predstavljaju nosioce govornih (i drugih) signala. Svakoj ćeliji ćelijskog mobilnog sistema dodeljuje se određen broj kanala (centralnih učestanosti) u zavisnosti od gustine naseljenosti područja koje ona pokriva i od očekivanog intenziteta saobraćaja u njoj. U slučaju potreba, obzirom da je domet talasa koje emituju mobilni telefoni relativno kratak, nesusednim ćelijama mogu se dodeliti i iste centralne učestanosti, odnosno isti kanali. Imajući u vidu sve što smo do sada rekli, proizilazi da je, teoretski, maksimalan broj kanala u okviru jedne ćelije $124 \times 8 = 996$, što znači da se u toj ćeliji mogu istovremeno obavljati razgovori korišćenjem 996 mobilnih telefona. U praksi je broj istovremenih razgovora znatno manji.

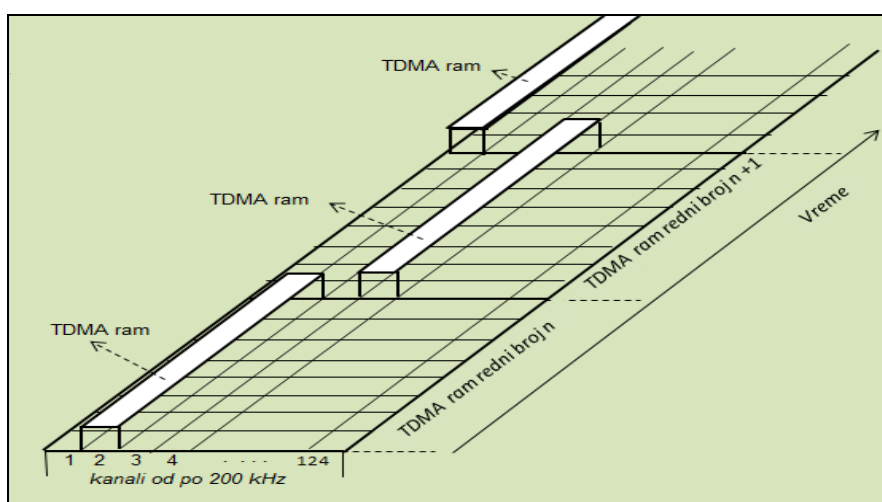
1.2. Zaštita od neovlašćenog prisluškivanja

Rekli smo na početku prethodnog dela da se govorni signal prenosi tako što se najpre deli na ramove čije je trajanje 20ms, zatim se diskretizuje – izabere 160 odbiraka, isti se kvantizuju, svaki sa po 13 bita i posle nekoliko modifikacija izlaze iz telefona i prenose se, u obliku *TDMA* ramova (po 456 bita za svaki odbirak govornog signala), dalje u okolni prostor. Prenos se vrši korišćenjem nosioca, elektromagnetskih talasa koji se prostiru ne samo ka baznoj stanici, već u svim pravcima. Ako neko poseduje prijemnik i isti podesi na učestanost elektromagnetskog talasa koji „nosi“ naš govorni signal i ako redom, jedan za drugim u njegov prijemnik ulaze *TDMA* ramovi, onda njegov prijemnik, posle odgovarajuće demodulacije, pojačanja i drugih radnji, može u potpunosti reprodukovati naš govor. Dakle, prisluškuje nas. Međutim, ako promenimo redosled ulaska *TDMA* ramova u njegov prijemnik, ili nekima omogućimo ulazak a drugima ne, onda mogućnost prisluškivanja ne postoji. Prijemnik će neke odbirke registrovati, neke ne i kada se to poveže u celinu (izvrši se D/A konverzija) dobija je se signal nerazumljivog sadržaja. Takođe ćemo mogućnost prisluškivanja eliminisati i ako, na unapred poznati način – po utvrđenom algoritmu, promenimo sadržaj onih 456 bita koji reprezentuju odbirke našeg govornog signala.

Mi ćemo u ovom radu opisati dve metode zaštite: metoda frekventnog skakanja i metoda direktne sekvence.

1.2.1. Metoda frekventnog skakanja

U prethodnom segmentu ovog dela rekli smo da se teoretski, za zadati frekventni opsegod 25MHz, pojedinačnoj ćeliji može obezbediti 124 kanala i da se preko njih istovremeno može maksimalno preneti 996 govornih signala. Na slici 6. šematski je prikazan način prenosa govornih signala preko 124 kanala.

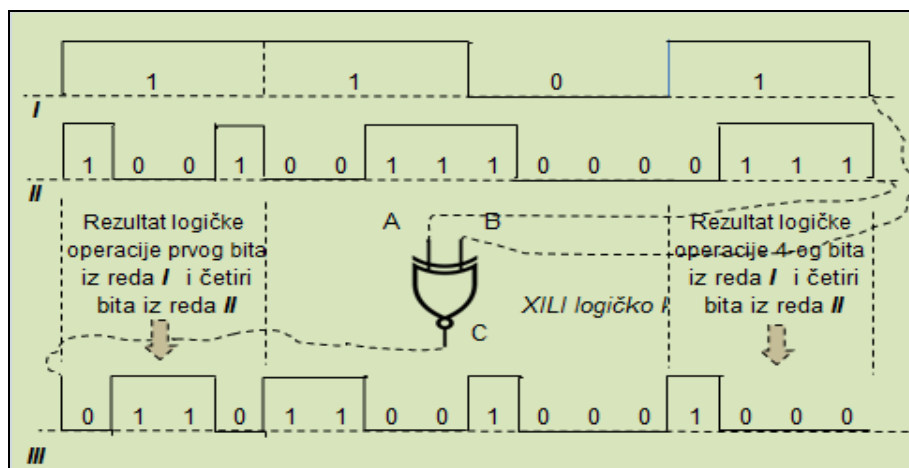


Sl. 6. Podela frekventnog opsega na 124 kanala i prenos TDMA ramova

Ako pretpostavimo da se vrši prenos govornog signala sa jednog mobilnog telefona, kome je u nekom trenutku dodeljen odgovarajući kanal (na primer, kanal 2, slika 6.), onda se TDMA ramovi mogu prenositi jedan za drugim tim kanalom i, kao što smo već rekli, mogu se na relativno jednostavan način „uhvatiti“ i govor prisluškivati. Međutim, ako se TDMA ramovi prenose tako da naizmenično „skaču“ sa jednog kanala na drugi (slika 6. – TDMA ramovi prenose se tako da prvi „ide“ kanalom 2, drugi kanalom 4, treći kanalom 1 itd.), onda je prisluškivanje onemogućeno, jer bi onaj ko želi da prisluškuje trebalo-na svom prijemniku da menja frekvence istim redosledom kako TDMA ramovi „skaču“ sa jedne na drugu frekvencu, što je praktično nemoguće (pre svega zato što neznaj algoritam promene kanala). Algoritam za promenu kanala (frekvence) kojim će se pojedinačni TDMA ramovi kretati, neprekidno emituje bazna stanica. Ovaj postupak promene frekvencijskog kanala u svakom uzastopnom TDMA ramu naziva se frekventno skakanje (*Frequency Hoping*).

1.2.2. Metoda direktne sekvence

Kod ove metode, *svaki bit odbiraka* govornog signala zapisuje se sa više bitova, koji se potom prenose ka telefonu B. Zapisivanje (kodiranje) izvodi se u našem mobilnom telefonu. Telefon B poznaje algoritam zapisivanja i slučajni niz bitova na osnovu koga se vrši zapisivanje, i iz primljenog kodiranog sadržaja može rekonstruisati poslani sadržaj. Na slici 7. šematski je prikazana metoda direktne sekvence. Prvi red prikazuje četiri bita jednog odbirka govornog signala (1101). Ovu celinu potrebno je kodirati. Drugi red je jedan slučajni niz od 16 bita – po četiri bita za svaki bit odbirka govornog signala koji se kodira za prenos. Slučajni niz generiše naš mobilni telefon prema algoritmu slučajnih nizova. Na osnovu ovog algoritma (koji poznaje i telefon B) vrši se dekodiranje primljenih zapisa (u telefonu B). Treći red sadrži rezultat logičke operacije (XILI) između prvog bita iz prvog reda sa svakim od prvih četiri bita iz drugog reda, zatim sledi rezultat iste logičke operacije između drugog bita odbirka govornog signala i svakog od sledećih četiri bita slučajnog niza itd. Da bi se jasnije videlo kako nastaje treći red, na slici 7., bitovi govornog odbirka (red I) nacrtani su četiri puta duži od bitova slučajnog niza. U praktičnoj realizaciji oni zaista n-puta (ovde je $n = 4$) duže traju u odnosu na bitove slučajnog niza kojim se vrši kodiranje. Ovako dobijeni niz bitova (treći red), koji sada sadrži četiri puta više bitova, šalje se ka telefonu B.



Sl. 7. Kodiranje dela govornog signala I slučajnim nizom bitovaa II upotrebom logičkog kola XILI

Primenom metode direktne sekvence šifrira se sadržaj odbiraka govornog signala, tako da sada nije neophodno skakanje sa jedne frekvence na drugu da bi se izbeglo prisluškivanje. Ako bi neko hteo da prisluškujuje naš razgovor, on će registrovati (primiti) bitove signala iz trećeg reda koji se, kako se sa slike 7. vidi, bitno razlikuje od izvornog signala prikazanog u prvom redu.

ZAKLJUČAK

Danas se širom sveta koristi više od nekoliko milijardi mobilnih telefona. Mobilna telefonija je postala najveća ICT (*Information and Communication Technology*) tehnologija u istoriji. Mobilni širokopojasni pristup menja način na koji ljudi širom sveta pristupaju Internetu pa je pre samo par godina postao i primarna metoda pristupa ovoj globalnoj mreži. Gledajući unazad, tehnologije bežičnog pristupa i prenosa pratile su različite evolucione putanje, ali sa istim ciljem – veći broj servisa, veće brzine prenosa i kvalitetnije usluge. Evolucija bežičnih tehnologija je danas dostigla svoju četvrtu generaciju, 4G. Ubrzano se radi i na razvoju i implemtaciji pete generacije (5G) mobilnih telefona.

Imajući sve ovo u vidu, jasno je da se zaštititi podataka od neovlašćenog preuzimanja ili korišćenja, u procesu bežičnog prenosa, danas pridaje izuzetno velika pažnja. Posebno i zbog činjenice da u ogromnom broju podataka koji se nalaze u okolnom prostoru ima, pored privatnih, i poslovnih i poverljivih podataka.

U radu su obrađene dve metode zaštite od prisluškivanja, metoda frekventnog skakanja i metoda direktne sekvence. Danas su razvijene i druge mnogo bolje, kvalitetnije i efikasnije metode koje se koriste ne samo za zaštitu govornih signala, nego i drugih podataka koji se prenose bežičnim putem.

LITERATURA

- [1] Guillaume de la Roche, Andres Alayon Glazunov, Ben Allen, LTE – advanced and next generation wireless networks, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2013.
- [2] Ž. Trpovski, Osnovi telekomunikacija, Katedra za telekomunikaciju i obradu signala, Novi Sad, 2004.

-
- [3] M. Rajković, Lj. Marković, M. Arsekić-Kraković, M. Janković, Pregled tehnologija mobilnog širokopojasnog pristupa i konvergencija ka ALL-IP bežičnim mrežama, XXXII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2014, Beograd, 2. i 3. decembar 2014.
- [4] <http://www.inf.uniri.hr>, Bežični mrežni sustavi

UPUTSTVO AUTORIMA

Časopis BAKAR izlazi dva puta godišnje i objavljuje naučne, stručne i pregledne radove. Za objavljivanje u časopisu prihvataju se isključivo originalni radovi koji nisu prethodno objavljivani i nisu istovremeno podneti za objavljivanje negde drugde. Radovi se anonimno recenziraju od strane recenzenta posle čega uredništvo donosi odluku o objavljivanju. Rad priložen za objavljivanje treba da bude pripremljen prema dole navedenom uputstvu da bi bio uključen u proceduru recenziranja. Neodgovarajuće pripremljeni rukopisi biće vraćeni autoru na doradu.

Obim i font. Rad treba da je napisan na papiru A4 formata (210x297 mm), margine (leva, desna, gornja i donja) sa po 25 mm, u Microsoft Wordu novije verzije, fontom Times New Roman, veličine 12, sa razmakom 1,5 reda, obostrano poravnat prema levoj i desnoj margini. Preporučuje se da celokupni rukopis ne bude manji od 5 strana i ne veći od 10 strana.

Naslov rada treba da je ispisan velikim slovima, bold, na srpskom i na engleskom jeziku. Ispod naslova rada pišu se imena autora i institucija u kojoj rade. Autor rada zadužen za korespondenciju sa uredništvom mora da navede svoju e-mail adresu za kontakt u fusnoti.

Izvod se nalazi na početku rada i treba biti dužine do 200 reči, da sadrži cilj rada, primenjene metode, glavne rezultate i zaključke. Veličina fonta je 10, italic.

Ključne reči se navode ispod izvoda. Treba da ih bude minimalno 3, a maksimalno 6. Veličina fonta je 10, italic.

Izvod i ključne reči treba da budu date i na engleski jezik.

Osnovni tekst. Radove treba pisati jezgrovito, razumljivim stilom i logičkim redom koji, po pravilu, uključuje uvodni deo s određenjem cilja ili problema rada, opis metodologije, prikaz dobijenih rezultata, kao i diskusiju rezultata sa zaključcima i implikacijama.

Glavni naslovi trebaju biti urađeni sa veličinom fonta 12, bold, sve velika slova i poravnati sa levom marginom.

Podnaslovi se pišu sa veličinom fonta 12, bold, poravnato prema levoj margini, velikim i malim slovima.

Slike i tabele. Svaka ilustracija i tabela moraju biti razumljive i bez čitanja teksta, odnosno, moraju imati redni broj, naslov i legendu (objašnjenje oznaka, šifara, skraćenica i sl.). Tekst se navodi ispod slike, a iznad tabele. Redni brojevi slika i tabela se daju arapskim brojevima.

Reference u tekstu se navode u ugličastim zagradama, na pr. [1,3]. Reference se prilažu na kraju rada na sledeći način:

[1] B.A. Willis, Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, str. 35. (za poglavlje u knjizi)

[2] H. Ernst, *Research Policy*, 30 (2001) 143–157. (za članak u časopisu)

[3] www: <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (za web dokument)

Navođenje neobjavljenih radova nije poželjno, a ukoliko je neophodno treba navesti što potpunije podatke o izvoru.

Zahvalnost se daje po potrebi, na kraju rada, a treba da sadrži ime institucije koja je finansirala rezultate koji se daju u radu, sa nazivom i brojem projekta; ili ukoliko rad potiče iz magistarske teze ili doktorske disertacije, treba dati naziv teze/disertacije, mesto, godinu i fakultet na kojem je odbranjena. Veličina fonta 10, italic.

Radovi se šalju prevashodno elektronskom poštom ili u drugom elektronskom obliku.

Adresa uredništva je:

Časopis BAKAR

Institut za rudarstvo i metalurgiju

Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

E-mail: nti@irnbor.co.rs ; biserka.trumic@irnbor.co.rs

Telefon: 030/454-260; 030/454-272

Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.

INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

COPPER Journal is published twice a year and publishes the scientific, technical and review paper works. Only original works, not previously published and not simultaneously submitted for publications elsewhere, are accepted for publication in the journal. The papers are anonymously reviewed by the reviewers after that the Editorial decided to publish. The submitted work for publication should be prepared according to the instructions below as to be included in the procedure of reviewing. Inadequate prepared manuscripts will be returned to the author for finishing.

Volume and Font Size. The paper needs to be written on A4 paper (210x297 mm), margins (left, right, top and bottom) with each 25 mm, in the Microsoft Word later version, font Times New Roman, size 12, with 1.5 line spacing, justified to the left and right margins. It is recommended that the entire manuscript cannot be less than 5 pages and not exceed 10 pages.

Title of Paper should be written in capital letters, bold, in Serbian and English. Under the title, the names of authors and their affiliations should be written. Corresponding author must provide his/her e-mail address for contact in a footnote.

Abstract is at the beginning of the paper and should be up to 200 words include the aim of the work, the applied methods, the main results and conclusions. The font size is 10, italic.

Keywords are listed below the abstract. They should be minimum 3 and maximum of 6. The font size is 10, italic.

Abstract and Keywords should be also given in English language.

Basic Text. The papers should be written concisely, in understandable style and logical order that, as a rule, including the introduction part with a definition of the aim or problem of the work, a description of the methodology, presentation of the obtained results as well as a discussion of the results with conclusions and implications.

Main Titles should be done with the font size 12, all capital letters and aligned to the left margin.

Subtitles are written with the font size 12, bold, aligned to the left margin, large and small letters.

Figures and Tables. Each figure and table must be understandable without reading the text, i.e., must have a serial number, title and legend (explanation of marks, codes, abbreviations, etc.). The text is stated below the figure and above the table. Serial numbers of figures and tables are given in Arabic numbers.

References in the text are cited in square brackets, e.g. [1,3]. References are enclosed at the end of the paper as follows:

[1] B.A. Willis, *Mineral Processing Technology*, Oxford, Pergamon Press, 1979, p. 35. (*for the chapter in a book*)

[2] H. Ernst, *Research Policy*, 30 (2001) 143–157. (*for the article in a journal*)

[3] <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (*for web document*)

Citation of the unpublished works is not preferable and, if it is necessary, as much as possible completed data source should be listed.

Acknowledgement is given, as needed, at the end of the paper and should include the name of institution that funded the given results in the paper, with the project title and number; or if the work is resulted from the master thesis or doctoral dissertation, it should give the title of thesis/dissertation, place, year and faculty/university where it was defended. Font size is 10, italic.

The manuscripts are primarily sent by e-mail or in other electronic form.

Editorial Address: Journal COPPER
Mining and Metallurgy Institute Bor
35 Zeleni bulevar, 19210 Bor
E-mail: nti@irmbor.co.rs; biserka.trumic@irmbor.co.rs
Telephone: +381 30/454-260; +381 30/454-272

We are thankful for all authors on cooperation.

SADRŽAJ
CONTENS

Silvana B. Dimitrijević, Stevan P. Dimitrijević, Zoran M. Stević, Aleksandra T. Ivanović, Biserka T. Trumić	
ELEKTROHEMIJSKA KARAKTERIZACIJA KOMPLEKSA ZLATA NA BAZI MERKAPTOTRIAZOLA PRI RAZLIČITIM KONCENTRACIJAMA ZLATA NA pH = 10	
ELECTROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF GOLD COMPLEX BASED ON MERCAPTOTRIAZOLE WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF GOLD AT PH = 10	1
Miroslav S. Milićević, Tatjana M. Stojanović, Valentina M. Nejković	
ZAVARIVANJE AI CEVI NA VISOKIM FREKVENCIJAMA	
HIGH FREQUENCY WELDING OF AI TUBE	11
Aleksandra Ivanović, Biserka Trumić, Vesna Marjanović, Silvana Dimitrijević	
PALADIJUM U INDUSTRIJI NAKITA	
PALLADIUM IN THE JEWELLERY INDUSTRY	23
Biserka Trumić, Aleksandra Ivanović, Silvana Dimitrijević, Ljubica Radović, Stevan Dimitrijević	
LEGURE PLATINE U SAVREMENOJ INDUSTRIJI	
PLATINUM ALLOYS IN MODERN INDUSTRY	29
Branislav Rajković, Srđana Magdalinović, Radmilo Rajković	
PRIMENA PROGRAMA „PIPE PAK“ ZA PRORAČUN SAMOKOMPENZACIJE TEMPERATURSKIH DILATACIJA „Z“ KOMPENZATOROM	
APPLICATION THE SOFTWARE “PIPE PAK“ FOR CALCULATION THE SELF-COMPENSATION OF TEMPERATURE DILATATIONS BY “Z“ COMPENSATOR	35
Milan Radivojević	
MOBILNA TELEFONIJA I ZAŠTITA GOVORNOG SIGNALA OD NEOVLAŠĆENOG PRISLUŠKIVANJA	
CELLULAR MOBILE SYSTEM AND PROTECTION THE VOICE SIGNAL FROM UNAUTHORIZED EAVESDROPPING	45
