



Z. Karastojković, R. Perić, Z. Kovačević, Z. Janjušević, V. Radojčić

PRIMENA DIFUZIONOG ZAVARIVANJA NA ZLATNOM PRIVESKU "DVE PČELE NA TUČKU" IZ PERIODA MINOJSKE CIVILIZACIJE

APPLICATION OF DIFFUSION WELDING IN PRODUCTION OF GOLDEN PENDANT "TWO HONEY BEES ON STIGMA" FROM MINOAN CIVILIZATION

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

10.01.2012.

Ključne reči: zlatni privezak, difuziono zavarivanje, Krit, Minojska civilizacija.

Izvod

Dok se etruski način difuzionog zavarivanja smatrao najstarijim poznatim postupkom spajanja zlatnih granula, jedan zlatni privezak nađen u ruševinama Kraljevske palate, u Iraklionu, Krit, moraće da promeni ovakvo mišljenje. U ovom radu se analizira način izrade zlatnog priveska poznatog kao "dve pčele na tučku", izvanrednom uzorku iz XVII-XVI veka pre Hrista. Neki delovi ovog malog proizvoda, koji nije veći od par santimetara, su prilično tanki, debljine manje od 0,5 mm. Zlatne granule su oko 1 mm u prečniku. Sve ove činjenice čine proizvodni režim još složenijim čak i danas, a neko može da se zapita: „Kako je zaista komplikovano bilo napraviti ovaj deo još pre 3700 godina!?“

Adresa autora / Author's address:

Z. Karastojković, Visoka tehnička škola strukovnih studija, 11070 Novi Beograd, bul. Dr. Z. Đinđića 152a, Srbija.
E-mail: zoran.karastojkovic@google.com

R. Perić, Perić&Perić&Co, Požarevac, Dunavska 112, Srbija.

Z. Kovačević, Institut za ispitivanje materijala, bul. Vojvode Mišića 43, Beograd, Srbija.

Z. Janjušević, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše d'Eperea 86, Beograd, Srbija.

V. Radojčić, Visoka turistička škola strukovnih studija, 11070 Novi Beograd, bul. Dr. Z. Đinđića 152a, Srbija.

Keywords: golden pendant, diffusion welding, Crete, Minoan civilization.

Abstract

While the Etruscan way of diffusion welding is consider to be the oldest known method for joining of gold granules, one gold pendant find in ruins of King's palace, at Heraklion, Crete, must change such opinion. In this paper is analyzed the production schedule of gold pendant known as "two bees on stigma", an extra piece from XVII-XVI centuries before Christ. Some parts of this small piece, not greater than couple of centimeters, are pretty thin, less then 0,5mm in thickness. Golden granules are about 1 mm in diameter. All of these facts make a production regime more complex, even now, and someone may ask: "How it was really complex to produce this piece before 3700 years!?"

UVOD

Izgled nakita je oduvek čoveku pobuđivao veliku pažnju. Izrada nakita je bila i ostala prilično složena tehnologija. Danas, u eri numerički upravljanih (CNC) mašina više nije problem napraviti praktično bilo koju konstrukciju ili dizajn, što važi podjednako za nakit kao i za ostale mašinske konstrukcije, odnosno alate.

Ali, kako su ranije - misli se na period od pre više hiljada godina - ljudi uspevali da naprave neka, mora se reći remek-dela, koja pripadaju domenu nakita?

Mnogima izrada nakita ne izgleda nimalo ozbiljno, ali pre će biti da oni koji tako misle - upravo oni nisu ozbiljni i da jako malo znaju, uopšte, o tehnologijama izrade nakita ali i drugih proizvoda [1]. Antički majstori su primenom različitih, slobodno se može reći primitivnih, tehnologija pravili izuzetan nakit, koji je morao da privuče vizuelnu pažnju vladarima.

Činjenica je da se zlatni nakit, pa sve do skoro, izrađivao samo za povlašćenu kategoriju ljudi: kraljeve, careve i članove njihovih svita. Odatle i velika tajna u načinu izrade mnogih delova. Tajne izrade su, nema sumnje, prenošene sa "kolena na koleno" [1]. Današnji nivo razvoja i života je promenio mnoge poglede na sve to. Ipak, mnoge stvari iz duboke ljudske istorije još uvek nisu valjano razmotrene niti tretirane, odatle ni poznate savremenom čoveku. Kako nekome objasniti da su neka tehnološka rešenja od pre 3500. godina ili više i danas savremena, jer se neki principi (ovde se misli na tzv. difuziono zavarivanje) danas primenjuju u izradi spejs-šatla!

Etrurci su u mnogim oblastima ljudskog delanja (zanatstva, umetnosti, čak i ratovanja) bili dostojni poštovanja, čak i u vekovima koji će slediti iza njih [2,3]. Tajna spajanja zlatnih granula na bakarnoj podlozi, pronađena kod Etruraca, bila je neobjašnjiva čitavih



2500 godina, i to je nazvano "etrurskom tajnom" [4,5]. Bilo je tumačenja da ni kod jednog naroda u ljudskoj istoriji nije bio pronađen deo sa ovakvom tehnologijom izrade.

Primenom savremenog pristupa u tumačenju pojava vezanih za spajanje metalnih materijala (misli se pre svega na pojavu difuzije i korišćenje dijagrama stanja metala) dato je validno tumačenje kako je zaista došlo do takvog spajanja.

Međutim, pojava zlatnog priveska "dve pčele na tučku", koji se nalazi u Arheološkom muzeju u Iraklionu (Ηρακλίων), Krit, pobuđuje pažnju i podstiče na dalju analizu tehnologije izrade ovakvog priveska.

Vremenski, izrada ovog prelepog priveska se vezuje za XVI-XVIII vek pre Hrista, u periodu procvata Minojske civilizacije, koja je tada postojala i na Kritu [4]. Mora se reći da i danas po savremenom dizajnu ovaj zlatni privezak izaziva pažnju i uzdahe! Autorima ovog rada nije poznata analiza načina izrade zlatnog priveska "dve pčele na tučku", koji se nalazi u Arheološkom muzeju u Iraklionu, Krit, zbog čega su izvršili svoju stručnu analizu.

O MINOJSKOJ CIVILIZACIJI

Minojska civilizacija se smatra pretečom cele evropske civilizacije, ali je ona od ogromnog značaja za ceo svet, a i za nauku uopšte [6]. Među najstarijim civilizacijama i kulturama Starog veka je svakako Kritska, tj. Minojska epoha, nazvana po legendarnom kralju Minoju (Μίνωσ). Tek početkom XX veka ova neobično bogata kultura predstavljena je javnosti.

Zahvaljujući čuvenom arheologu Arturu Evansu (Arthur Evans) dugo godina su vršena istraživanja i pronalazena su izuzetna umetnička dela koja još nisu razjašnjena. Ta neobična civilizacija još uvek nas iznenađuje novim saznanjima. Velike palate otkrivene u Knososu, Agi-i Trijadi, Maliji, Festosi i dr., govore o prefinjenosti naroda koji je stvarao umetnička dela u arhitekturi, slikarstvu i primenjenoj umetnosti.

Velelepna palata u Knososu izuzetno je arhitektonsko ostvarenje, neobične organizacije prostora i dekoracije. Zidno slikarstvo predstavlja izuzetne ljudske figure, koje svojom elegancijom pokreta, naglašenim lepim licima, bogatim kostimima i prefinjenim nakitom, svedoče o velikoj civilizaciji i ogromnom bogatstvu društva. Životinjski likovi, lepota biljnih elemenata i dr., prenose optimizam usmeren ka prirodi i lepoti življenja.

Stiče se utisak da je ovaj veoma napredan narod uživao u udobnostima i luksuzu. Pronađena umetnička dela otkrivaju još jednu neobičnu činjenicu, da je ovaj narod razvijao svoju estetiku bez velikih upliva autoritativnih država iz okruženja [1,2,6].

Ser Artur Evans je utvrdio da su Krićani koristili dva pisma, nazvana linearno A i linearno B. Prošlo je mnogo vremena dok se nisu dešifrovala. Tek 1952.g. proučene su glinene tablice linearnog B pisma, pa se utvrdilo mnogo novih detalja o pedantnom zapisu svakodnevnog života, i to običnih ljudi.

Tako na primer, tačno znamo koliko je pastir imao ovaca i ovnova, koliko je zadržavao u svom vlasništvu a koliko je morao da donese u palatu, kao opšte dobro ili žrtvu. Koliko ćemo još detalja saznati kada se dešifruje i linearno A pismo? Novija istraživanja kritske civilizacije otkrivaju još jednu skrivenu stranu života.

Lepota, vedrina i veštine u izradi prefinjenih predmeta grnčarije, izuzetne dekorativnosti, odavali su uvek i idiličnu sliku ove kulture. Međutim, mora se naglasiti da je još daleko od potpunog razumevanja svega onog što su nam Krićani ostavili.

Godine 1970. pronađena je žrtvena grobnica koja je bacila senku na dotadašnju idealizaciju koju smo imali. Sadržaji žrtvene grobnice još nisu u potpunosti istraženi. Pronađeni predmeti, koji su uz žrtve pohranjeni, veoma su lepih oblika i neobične namene. U budućnosti, imaćemo još mnogo novih informacija o ovoj izuzetnoj kulturi. Možemo očekivati još iznenađenja koja će dopuniti evropsku civilizaciju i kulturu.

ARTEFAKT - ZLATNI PRIVEZAK "DVE PČELE NA TUČKU"

Već je dobro poznato da je u dvorskim riznicama, uopšte, bilo mnogo nakita i blaga. Jedan oblik nakita iz Arheološkog muzeja u Iraklionu, Krit, privukao je posebnu pažnju autora, koji su shodno saznanjima [5÷8] izvršili analizu tehnologije izrade jednog elementa zlatnog nakita. U pitanju je jedan "običan" zlatni privezak, koji prikazuje dve pčele kako beru med na tučku, slika 1.



Slika 1: Zlatni privezak "dve pčele na tučku" pronađen na Knososu, Arheološki muzej u Iraklionu, Krit, period Minojske civilizacije, XVII vek pre Hrista

Čini se da ne bi bilo pogrešno ako bi se za ovaj privezak reklo da je remek delo zlatarstva tog perioda, a i danas bi se mnogi majstori zastideli pred umećem kako izrade, tako i izgleda ovog priveska. Zašto je izabrana baš pčela, tu ne treba trošiti mnogo reči, jer je čoveku od davnina bila dobro poznata uloga, vrednoća i opšta korist ovog izvanrednog stvorenja.



Dotični predmet pripada zaista velikoj grupi artefakata pronađenih na lokalitetu palate Knososa (Κνωσος). Razorni zemljotres oko XVI veka pre Hrista i vulkanska erupcija na Santoriniju (ostrvo severno od Krita) stvorili su cunami (današnji izraz) koji je potpuno uništio pomenutu Minojsku civilizaciju. Ipak, to nije razlog da se ne pokloni mala pažnja ovom velikom artefaktu.

NAČIN IZRADE PRIVESKA

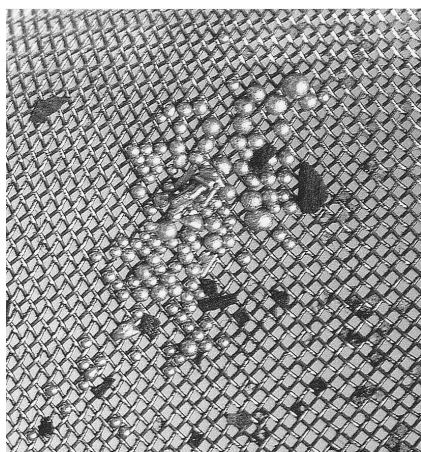
Skoro ceo privezak je izrađen od zlatnog lima. U ovom trenutku nije mnogo važno koja legura zlata je iskorišćena za pravljenje nakita (14, 16, 18 karatna ili sl.).

Dobro je poznato da su legure zlata za nakit izuzetno deformabilne i to je bilo poznato antičkim majstorima. Sudeći po obliku ravnih površina, zlato je iskovanano u tanke limove, isečeno i oblikovano do oblika pčele ili tučka. Ravnanje iskovanog lima, za potrebe nakita, nije neki tehnološki problem [7], može se izravnati čak i glačanjem (brušenjem) na nekoj podlozi ili slično.

Jedan detalj priveska zaslužuje vrednu pažnju za dalja tehnološka razmatranja. Ispod svake pčele, kao i ispod tučka, se nalazi još po jedan element (ukras), ukupno tri, vidljivo sa slike 1. Taj element je okruglog oblika, prečnika oko 10 mm, napravljen u osnovi od jednog komada tankog zlatnog lima, a po obodu su raspoređeni mali elementi loptastog oblika ($\approx \varnothing 1\text{mm}$). Jedan od ta tri elementa je oštećen ispadanjem pet zlatnih kuglica, četiri na jednom mestu, a peta kuglica je ispala nešto dalje, kako je detaljnije prikazano na skici sa slike 2.

Za izradu ovakvog preciznog elementa mnogi bi odmah pretpostavili primenu dve tehnologije: livenje ili kovanje. Pažljivom analizom geometrije i s obzirom da nema livačkih nagiba (inače neophodnih u izradi bilo kojeg odlivka) na okruglim elementima (granulama) po periferiji, livenje (makar i korišćenjem voštanog modela) se može isključiti.

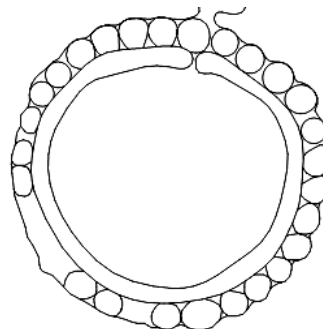
Kovanje se, takođe, može isključiti jer i tada moraju da postoje kovački nagibi, koji bi sigurno bili vidljivi, kao što su, uostalom, vidljivi i na ostalim antičkim kovanim



Slika 3a: Prosejavanje zlatnih granula

novčićima [10]. Autori nisu merili debljine zlatnog lima, ali procenjuju da nije veća od 0,5 mm.

Izrada zlatnih kuglica predstavlja poseban problem i tu su moguće dve tehnologije. Prva je da je zlatna žica isečena na male "valjčice", koji su brušenjem između dve panparalelne kamene ploče, uglačani do loptastog oblika. Inače, tehnologija izrade kuglica brušenjem na ovaj način je i danas u upotrebi u industriji kugličnih ležajeva.

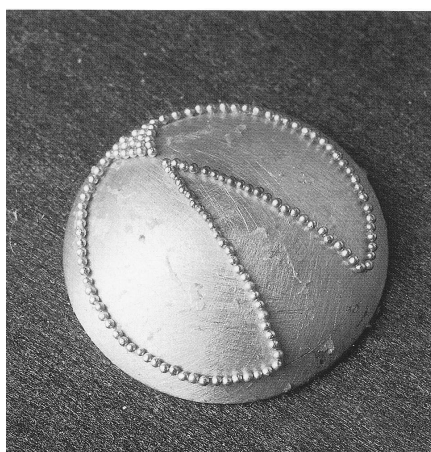


Slika 2: Prvi sa leve strane (prema slici 1) od tri ukrasna viseća elementa

Druga, i u ovom slučaju vrlo verovatno primenjena, tehnologija podrazumeva raspršivanje istopljenog zlata u mlazu vode [9]. Prosejavanje granula, izrađenih na bilo koji način, vrši se korišćenjem sita različitih dimenzija, i tada se dobijaju granule tačno određenih dimenzija a sve krupnije granule ostaju na samom situ, slika 3a).

Opisana tehnologija izrade granula nije se izgubila u istoriji čovečanstva, prisutna je i danas. Takav primer nakita, urađen s početka XXI veka [9] - dakle vrlo skoro, pokazan je na slici 3b). Sam način izrade zlatnih kuglica ne predstavlja predmet daljeg interesovanja u ovom radu. Nakon izrade zlatnih kuglica, poređane su pored žice, po periferiji - na način kako je prikazano slici 2, i zavarene.

Spajanje zlatnih kuglica za podlogu je, naravno, poseban problem. Izvesno je da za spajanje kuglica zlata u razmatranom slučaju nije utrošen nikakav dodatni materijal.



Slika 3b: jedna današnja primena zlatnih granula za ukrašavanje zlatne pločice



Današnji papiri (koji naziv duguju baš papirusu iz Egipta) su puni belila (tipa npr. BaCO_3) i sličnih negorućih supstanci, koji naravno značajno menjaju hemizam sagorevanja i što je za ova razmatranja važno, negativno utiču na hemijsko-metalurške reakcije pri topljenju, rafinaciji i/ili zavarivanju, lemljenju metala. Odavde je jasno, da je papirus za potrebe zagrevanja do topljenja i obezbeđenja zaštitne atmosfere, bio, može se slobodno reći, jedno idealno sredstvo (efikasno a jeftino). Danas se spajanje zlatnih granula, kao sa slike 3b), obavlja grejanjem gasnim plamenom [9]. Kratkotrajno zagrevanje do visokih temperatura se pokazalo efikasnim u slučaju difuzionog zavarivanja kuglica za podlogu.

Ostatak priveska, u obliku pčela i tučka, nije bilo teško napraviti od lima i njegovim daljim iskivanjem i presovanjem, iako je to već na prvi pogled izuzetno zahtevan posao.

DISKUSIJA

Ako se za sve artefakte, naravno i druge materijalne dokaze pronađene u dubini ljudske istorije, ne pronađe odgovarajući način proizvodnje [10,11,12], izvesno je da ćemo i danas malo znati o minulim civilizacijama, njihovim navikama, umećima i svemu onome što život čini - životom [8,10]. To je jedan od osnovnih motiva za primenjenu analizu ovog artefakta.

Analizom tehnološkičnosti proizvodnje spomenutog zlatnog priveska, sa sigurnošću se može odbaciti livenje ili kovanje kao način proizvodnje priveska. Zlatne kuglice su malih dimenzija, oko $\varnothing 1\text{mm}$, i zavarene za, takođe, zlatnu podlogu. Ne treba potpisnuti činjenicu da je podloga bila od prilično tankog zlatnog lima, debljine manje od 0,5 mm. Danas se za slične stvari može koristiti laserska tehnika spajanja [12,13].

Istorijska činjenica je da je papirus nastao u dolini Nila, na teritoriji Egipta. Isto tako je činjenica da je ostrvo Krit bliže Egiptu nego Rim i da je, papirus pre stigao na Krit nego do Etruraca u Rim, koji su uzgred budi rečeno, osnivači Rima. Sasvim je moguće da je dotična tehnologija difuzionog spajanja bila prvobitno poznata Minojskoj civilizaciji, najmanje XVI-XVIII veka pre Hrista, možda čak i ranije i da je kasnije prenetu u Rim. Ovo upućuje da su tehnologiju difuzionog spajanja zlatnog nakita poznavali i primenjivali antički majstori, pre Etruraca, za koje se mislilo da su najstariji narod (oko 7 do 5 veka pre Hrista) koji je primenio difuziono zavarivanje elemenata (granula) od zlata na tankoj zlatnoj podlozi [4,5].

Divne stranice ljudske istorije, umetnosti i slično, ostavljamo da i dalje ispisuju istoričari, zatim umetnici svih profila [1,2] i drugi, a po potrebi da uključe i tehnologe-inženjere radi utvrđivanja tehnologije [3,7,10] i istraživanja [14].

ZAKLJUČAK

Način izrade zlatnog priveska "dve pčele na tučku" koji potiče iz Minojske civilizacije, XVI-XVIII vek pre Hrista, moraće da promeni tvrdnju "da ni kod jednog naroda u

ljudskoj istoriji nije bila pronađena tehnologija difuzionog spajanja kao kod Etruraca" [3,4].

Dakle, do sada se smatralo da su Etrurci najstariji narod u ljudskoj istoriji koji je znao i primenjivao tehnologiju difuzionog zavarivanja zlata, ali je ovde pokazano da su majstori iz perioda Minojske civilizacije isto to radili najmanje 1000 ili čak 1300 godina pre Etruraca. Analizirani artefakt "dve pčele na tučku" svojim načinom izrade, to potvrđuje.

Ovim je znatno pomerena vremenska granica poznavanja i primene difuzionog zavarivanja u izradi zlatnog nakita, a do danas, taj period traje već čitavih 3700 godina! Dalji razvoj i primena tehnologije difuzionog zavarivanja ostavlja se, naravno, budućim pokoljenjima.

ZAHVALNOST

Ovim izražavamo zahvalnost g-đici Jeleni Tasić, dipl.ing.arh, radniku firme „PERIĆ&PERIĆ Co” d.o.o., na pomoći u grafičkom prikazivanju razmatranog elementa nakita.

LITERATURA

- [1] M.S.F. Hood: Egejska oblast pre Grka, u knjizi: OSVIT CIVILIZACIJE, Beograd 1969, Jugoslavija, str. 219-228.
- [2] H.W. Janson: Istorija umetnosti, Beograd 1994, Prosveta, str. 67-129.
- [3] Mališev, V.M., i dr.: ZOLOTO, Metalurgija, Moskva 1979, str. 48-56; 129-131.
- [4] A.S. Štajnberg: Reportaž iz mira splavov, Moskva 1989, Nauka, str. 41-46.
- [5] Z. Karastojković, R. Perić, Z. Janjušević: Etruska tajna difuzionog zavarivanja zlatnih granula na bakarnoj podlozi, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, LI/2006/3, str. 121-123.
- [6] M. Iozzo: Art et Historie de Crete, Florence 2010, Bonechi, str. 36-77
- [7] P. Gertik: Plemeniti metali, svojstva, prerada, primena, Beograd 1997, autorsko izdanje, str. 248-286; 303-315.
- [8] P. Gertik: Umetnička obrada metala. Nakit i ukrasni predmeti, Beograd 2004, Muzej primenjene umetnosti, str. 180-214.
- [9] Practical Goldsmith: Granulation Niello work, N^o 13, str. 7-32.
- [10] S. Marković, V. Radovanović, Ž. Kamberović: Umetničko livenje, Beograd 2005, "Klasa" d.o.o., str. 11-27.
- [11] Perić, R., Karastojković, Z., Janjušević, Z. Kovačević, Z.: Pričvršćivanje i privarivanje delova pre tvrdog lemljenja, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 54/2009/2, str. 63-67.
- [12] Novikov, V.P.: POČTI VSJO O JUVELIRNIH IZDELJIAH, „Kontinent” Sankt Peterburg 1995, str. 5-15.
- [13] Practical Goldsmith: New Techniques. Laser/Pulse Brush, N^o 10, str. 7-26.
- [14] R. Perić, Z. Karastojković, Z. Kovačević, M. Perić, R. Perić, R. Perić: Primena optičke mikroskopije u proizvodnji i poboljšanju kvaliteta šupljeg kvaliteta zlata od 588/1000, I Međunarodni kongres: Inženjerstvo materijala", Jahorina 2009, Republika Srpska, Zbornik radova, rad IT-42-S, str. 257-262.