



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

## PRIČVRŠĆIVANJE I PRIVARIVANJE DELOVA PRE TVRDOG LEMLJENJA FIXING AND PREWELDING OF PARTS BEFORE BRAZING

**Stručni rad / Professional paper**

**UDK / UDC:** 621.791.36

**Rad primljen / Paper received:**

Mart 2009.

**Ključne reči:** Tvrdo lemljenje, pričvršćivanje, privarivanje.

### Izvod

Procesi tvrdog lemljenja nisu tako dobro objašnjeni niti tretirani u literaturi kao što su to zavarivački procesi i postupci. Pričvršćivanje i privarivanje su poznate tehnološke operacije u zavarivačkoj proizvodnji. U postupcima lemljenja, pričvršćivanje i privarivanje su, takođe, primenljive tehnološke operacije ali nisu dovoljno i na zadovoljavajući način objašnjene. Ovde su prvo prikazani neki primeri pričvršćivanja delova (iz proizvodnje alata i nakita) i to upotrebom obične čelične žice.

Način pričvršćivanja i privarivanja velikim delom zavisi od geometrije delova koji će se lemiti. U slučaju reznih alata, kada se uložak tvrdog metala lemi za nosač alata, dodatni materijal za lemljenje uvek mora da poseduje dobre karakteristike kvašljivosti i da potpuno ispuni zazor između lemljenih delova. Tačni geometrijski položaji, nakon završenog lemljenja, prosto su neophodni u izradi alata.

Takođe je pokazano da je laserska tehnika primenljiva za privarivanje delova koji će se lemiti. Lasersko privarivanje, kao i u drugim primenama lasera, traje vrlo kratko. Tako, pričvršćivanje korišćenjem žice postaje tehnološka operacija koja oduzima dosta vremena. Lasersko tačkasto zavarivanje, kao jedna pomoćna tehnološka operacija, postaje potpuno prihvatljivo pre lemljenja zlatnog nakita, gasnom tehnikom, lemljenjem u peći ili slično. Pričvršćivanje laserom postaje praktično za upotrebu, kako u izradi alata tako i u izradi nakita.

**Adresa autora / Author's address:**

R. Perić, PERIĆ & PERIĆ d.o.o. Dunavska 116, Požarevac, Srbija.

Z. Karastojković, Viša tehnička škola, Bul. Avnoja 152a, Novi Beograd, Srbija.

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

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

**Keywords:** Brazing, fixing, prewelding.

### Abstract

Brazing processes are not so well explained and/or treated in an appropriate literature as welding processes & techniques were. Fixing and prewelding are known technological operations in welding production. In brazing production, fixing and prewelding are also available technological operations, but it seems that they are not explained on an adequate manner. Here are shown some examples of fixing parts (from tool and jewelry production to be brazed) by using an ordinary steel wire.

The way of fixing and prewelding mainly depends from the geometry of the parts to be brazed. In the case of cutting tools, when carbide tip is brazed on the tool holder, the brazing filler metal must always possess the good wetting characteristics, and to filling out the gap between brazed parts. The exact geometry positions after brazing is done, are just needed especially in tool production.

It's also shown that laser technique is applicable for prewelding of parts to be brazed. Laser prewelding, as in other technical uses of laser, is provided in very short time. So, fixing by a wire becomes a time consumable technical operation. Laser spot welding as an auxiliary technological operation is fully acceptable before furnace or similar brazing of golden jewels. The fixing by using a laser is practical for use, both in tool or jewelry making.

### UVOD

Procesi lemljenja nisu tako dobro niti detaljno izučavani kao što je to slučaj sa procesima i tehnologijama zavarivanja. Po fizičko-hemijskim karakteristikama, koji se odvijaju u toku lemljenja, ovaj tehnološki proces često je složeniji od procesa pri zavarivanju [1-3]. Kod lemljenja je uvek potrebna osobina kvašljivosti, što nije slučaj kod zavarivanja [4-7]. Međutim, prevelika tečljivost može biti i nepovoljna karakteristika ukoliko rastopljeni lem lako iscuri tokom rada. Ono što je kod

lemljenja sigurno povoljnije to su niže radne temperature u odnosu na zavarivanje. Visoke radne temperature neosporno utiču na veličinu stvorenih i zaostalih napona, ali to ne znači da se naponi stvoreni tokom lemljenja smeju zanemariti [7-8].

Lemljenje je često najprikladnija tehnologija za spajanje raznorodnih materijala. Najilustrativniji primer za to su rezni alati u mašinstvu: podloga je od nekog vrlo kvalitetnog čelika (konstrukcionog ili alatnog) a deo koji se spaja (lemi) je od tvrdog metala (najčešće od volframkarbida sa još nekim karbidima i kobaltom kao



vezivnim sredstvom) [3]. Jasno je da je u ovakvim slučajevima primena zavarivanja praktično nemoguća, dakle lemljenje je prosto neophodno.

Za što uspešnije lemljenje tvrdog metala neophodno je tačno pozicioniranje spajanih komponenti [3-5]. Odatle, pričvršćivanje delova koji će se lemiti u neki složeni sklop postaje nužno. Pričvršćivanje se, inače, često primenjuje prilikom zavarivanja složenih konstrukcija a skoro redovno kada se zavaruju dugački komadi. Pričvršćivanje, inače, ne predstavlja neki veliki tehnološki problem - često je veći ekonomski problem i trošak napraviti potreban alat za pričvršćivanje i pridržavanje komponenti koje se zavaruju.

U mnogim situacijama koje nastaju prilikom lemljenja reznih alata ili nakita pokazalo se uspešnim pričvršćivanje delova običnom čeličnom žicom (tzv. „paljena žica“). U maloserijskoj proizvodnji to je i danas isplativo rešenje. Međutim, pojava laserske tehnike [9] i njena sve veća primena u juvelirstvu, pogotovu u izradi zlatnog nakita, značajno ubrzava pričvršćivanje delova koji potom idu na lemljenje.

Produktivnost rada sa laserskim pričvršćivanjem višestruko se povećava. Raznorodnost spajanih delova u pričvršćivanju za lemljenje primenom laserske tehnike ne predstavlja ograničenje za primenu ove tehnike.

### Složenost konstrukcije

Obično se smatra da su zavarene konstrukcije, kakve se sreću u tehnici, građevinarstvu i sl., najsloženije konstrukcije koje postoje. Sa aspekta dimenzija ili nosivosti (čvrstoće) one to zaista jesu, ali po složenosti zalemljeni delovi i proizvodi iz oblasti zlatarstva mogu biti još složenije geometrije, iako su malih dimenzija.

U tehnikama zavarivanja problem težljivosti dodatnog materijala nije tako izražen kao kod lemljenja, pre svega zbog vrste korišćenih legura ali i zbog geometrije delova koji će se lemiti. Oba navedena faktora, vrsta legure i geometrijski oblik, bitno utiču na veličinu zazora koji se ostavlja za lemljenje. Zazor tako postaje važan

činilac u procesu lemljenja [11-12]. Zazor prvo treba ispuniti tečnim lemom, a nakon očvršćavanja, veza osnovni metal – lem mora da bude potpuna. Kod nekih zalemljenih spojeva, kao npr. za primene u vakuumskoj tehnici, od zalemljenog spoja dodatno se traži i dobra hermetičnost.

Dalje, kod većine zalemljenih alata se traži zadovoljavajuća čvrstoća, a kod udarnih alata (za obradu kamena, betona i sl.) potrebna je i dobra apsorpcija udarnih i vibrirajućih opterećenja. Kada je u pitanju lemljenje nakita onda je estetski izgled na visokom nivou, skoro redovno na prvom mestu [10-15].

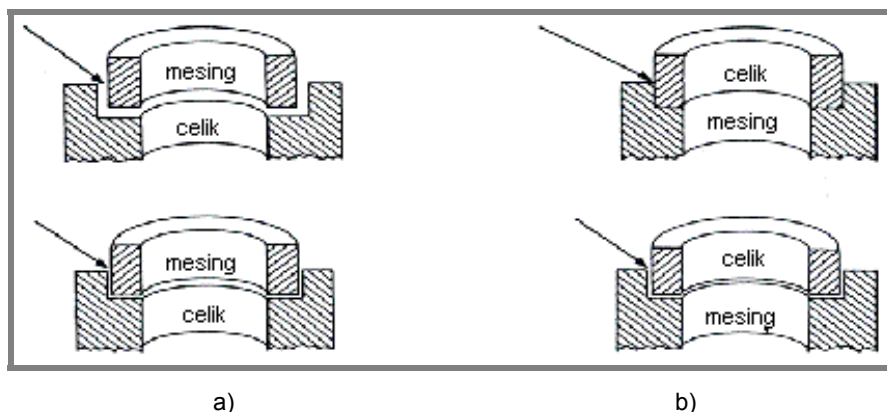
Obzirom na rasprostranjenost i relativno dobro poznavanje tehnika zavarivanja, ovde se neće razmatrati niti jednostavne niti složene zavarene konstrukcije već će se prikazati samo par primera zalemljenih delova. Od mnoštva primera na slici 1. je prikazana jedna zanimljiva konstrukcija sastavljena od delova prilično jednostavnog oblika ali različitog sastava.

Vidljivo je da i raspored komponenti načinjenih od različitih materijala, ovde su to čelik i mesing, utiču na veličinu zazora pri lemljenju, uporediti sl 1 a) i b). Sve te nijanse moraju se uzeti u obzir prilikom definisanja tehnologije lemljenja.

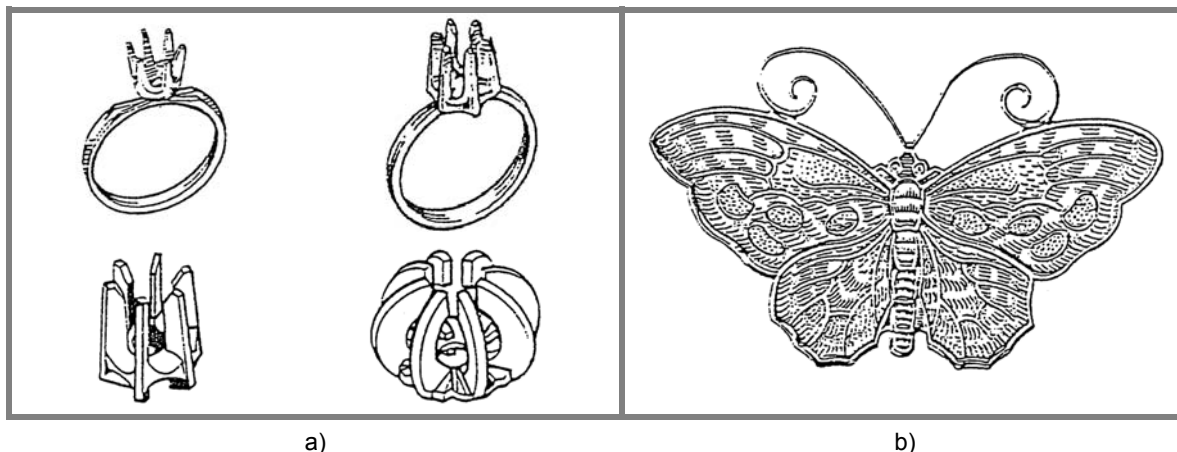
Zazor se definiše i mašinski izrađuje na sobnoj temperaturi ali njegova prava funkcija mora biti ispunjena tek na temperaturi lemljenja, tj. ne sme da se desi da zagrejani metal zajedno sa delovima koji se leme, istisnu istopljeni lem.

Delovi koje treba zalemiti mogu biti, naravno, i dosta složenije konstrukcije [10-12]. Takvih primera u juvelirstvu ima napretek, od čega je samo nekoliko primera prikazano slikom 2.

Sa slike 2, jasno se vidi da su pojedini proizvodi iz juvelirstva zaista složene konstrukcije. U juvelirstvu, ubuduće, treba očekivati samo veći broj ovakvih ili sličnih složenih konstrukcija koje treba izraditi. O njihovoj ceni ovde se neće raspravljati.



Slika 1: Jedna kompozicija za lemljenje: a) čelik spolja – mesing unutra i b) mesing spolja – čelik unutra



Slika 2: Neki primeri nakita: a) spremnih za lemljenje i b) zalemljenog uzorka

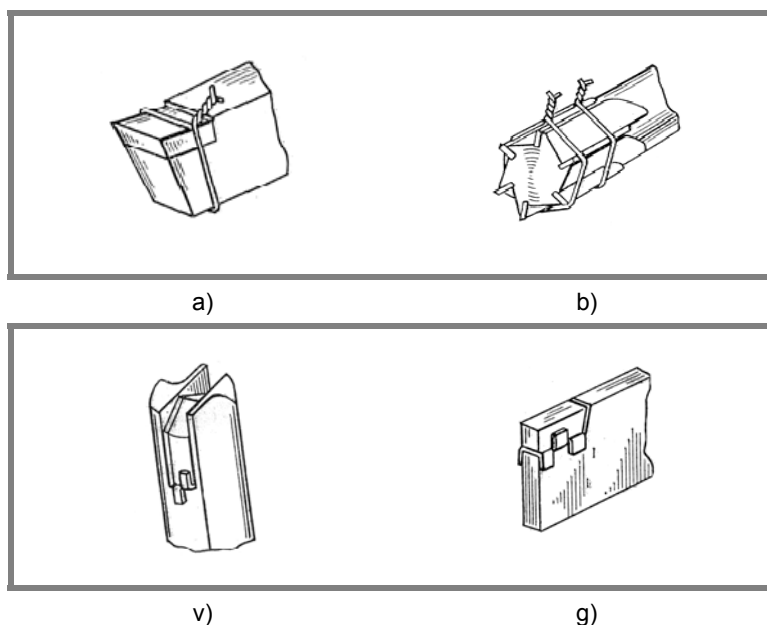
### PRIČVRŠĆIVANJE DELOVA ZA TVRDO LEMLJENJE

Za razumevanje primene pričvršćivanja delova koji će se lemiti, zgodno je poći od primera nakita izrađenih još pre par stotina godina, pa i više. Prosto je nezamislivo da su stari majstori (pre 2000 ili 4000 godina) imali na raspolaganju tehnička pomagala kakva mi danas imamo. Za pričvršćivanje delova pre lemljenja, mogli su da koriste glinu (naravno nepečenu), vosak, zatim brašno sa vodom ili, takođe verovatno, neku običnu žicu.

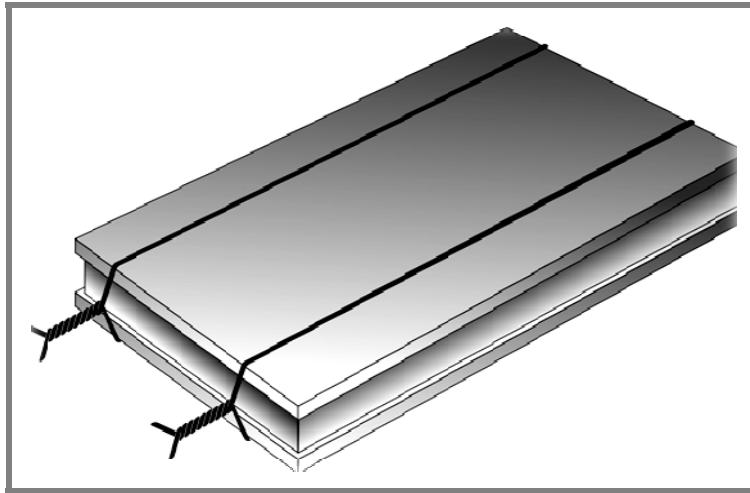
Čelična žica je jedno prilično zgodno pomagalo za vezivanje delova pre lemljenja [5], i to je dobrim delom čak u XX veku korišćeno prilikom lemljenja pločica tvrdog metala, a podloga je bila neki nosač strugarskog noža ili sličnog reznog alata. Podsećanja radi, tvrdi metal kakav ga mi danas poznajemo predstavlja

sinterovani volfram-karbid, koji je počeo da se proizvodi i primenjuje tek početkom XX veka. Njegovo pričvršćivanje običnom žicom za podlogu nekog reznog alata prikazano je na slikama 3 a) i b).

Pričvršćivanje pločica tvrdog metala, u principu, moguće je i primenom posebnog oblika pločica lema, kao što je prikazano na slikama 3 v) i g). Radeći na poslednji način ostvariće se izvestan gubitak istopljenog lema. Radne temperature tvrdog lemljenja za uobičajene primene lemova od mesinga ili srebra u industriji su u rasponu od 600 do 900 °C. Glodala, kao i burgije, sa više uložaka tvrdog metala, zalemljeni kao na slici 3 b), u eksploataciji su se pokazali kao vrlo kvalitetni proizvodi. Svako curenje istopljenog lema u ovakvoj konstrukciji ne bi dovelo do stvaranja kvalitetnog spoja.



Slika 3: Primeri pričvršćivanja delova pred lemljenje: a) i b) žicom; v) i g) oblikom lema.



**Slika 4:** Pričvršćivanje čeličnom žicom delova proizvedenih iz trake legure zlata

Međutim, pričvršćivanje delova koji će se lemiti nije ograničeno samo na delove alata već se često sreće i u juvelirstvu, ponajviše u zlatarstvu. Ovde se pod zlatarstvom, u širem značenju, podrazumevaju naravno i proizvodi od legura platine, legura srebra i tome slično. [12-15]. Jedan takav primer, kada se izrađuje medaljon u obliku kutijice a počinja se sa trakama od legure zlata, prikazan je na slici 4.

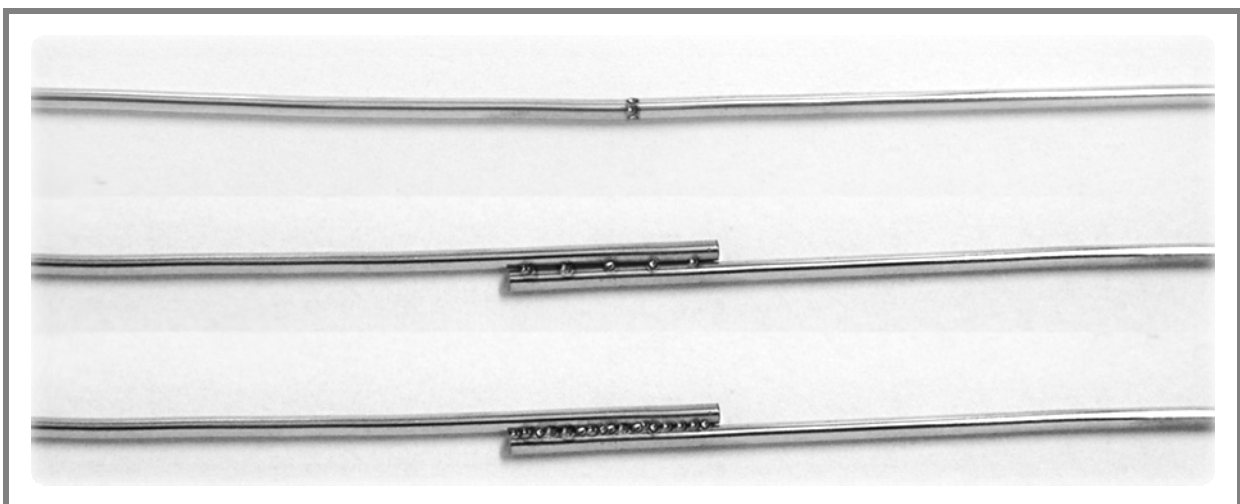
Iz metalurških razloga, žica za pričvršćivanje delova koji će se lemiti ne sme da reaguje (ili pak da reaguje što manje) sa istopljenim lemom. To je osnovni razlog da je bolje upotrebiti žicu od čelika nego npr. žicu od bakra, srebra ili zlata.

### PRIVARIVANJE

Privarivanje (ispravan je i termin „pripajanje” ali je ovaj termin, ipak, širi, dok se u našoj industrijskoj praksi dosta koristi germanizovani termini: „heftovanje” ili „heftanje”) vrlo često je neophodna tehnološka operacija u izradi složenih proizvoda, a skoro redovno pri spajanju dugačkih delova neke zavarene

konstrukcije. Kada se izrađuje izvesna zavarena konstrukcija, pripajanje se najčešće izvodi ručnim elektro – lučnim postupkom zavarivanja [1-11]. Međutim, u pripremnim operacijama lemljenja bilo alata ili nakita, do sada nije baš bila rasprostranjena primena neke zavarivačke tehnologije u svrhe pripajanja. Odavde bi se moglo zaključiti da je pripajanje neka nepotrebna tehnološka operacija. Pojava laserske tehnike zavarivanja, međutim, menja takvo razmišljanje i, kao što će se pokazati na sl. 5, menja i dosadašnju praksu.

Činjenica je da je laserski snop malog prečnika i da, kod tzv. impulsnog lasera, vreme trajanja u industrijskim uređajima traje svega nekoliko milisekundi. Ova činjenica, kao i snop malog prečnika, onemogućuje primenu lasera za zavarivanje delova sa debelim zidovima, ali takve karakteristike laserskog snopa su upravo dobrodošle kada se radi sa tankim delovima (bilo od lima ili žice). Kako izgleda efekat laserskog zavarivanja, u funkciji privarivanja tankih žica u juvelirstvu, prikazano je na slici 5.



**Slika 5:** Privarivanje tankih zlatnih žica korišćenjem lasera; prečnik žice 1 mm; zavareno Nd:YAG laserom



Posle dejstva laserskog snopa vidljivo je da su tanki delovi zaista spojeni jer je došlo do njihovog spajanja, tj. zavarivanja. Površina u okolini zavara je ostala čista, a to dalje znači manju upotrebu sredstava za čišćenje površine, zašta bi se inače morao upotrebiti agresivni hemijski rastvarač ili slično - ukoliko bi se koristio neki klasičan postupak zavarivanja.

Za neke specifične legure u juvelirstvu, kao što je npr. platina sa svojim legurama i tome slično, kao uspešna metoda spajanja koristi se TIG postupak zavarivanja. Međutim, ni TIG postupak zavarivanja ne bi dao takav čist i uzan zavar, kao što to čini laserski snop. Naprotiv, za spajanje tankih žica od (plemenitih) metala TIG je, ipak, neprikladna tehnika. Ovim se ističu prednosti laserske tehnike.

Ovako pripojeni delovi obavezno se leme, jer zavareni spoj nema tako dobar estetski izgled kao što to ima zalemljen spoj. Estetski izgled je od presudne važnosti kod nakita. Za dobar estetski izgled može se navesti još i primer izrade metalnih okvira naočara od nekog plemenitog metala.

Prednost laserskog pripajanja je u izbegavanju operacije pričvršćivanja žicom. Primena laserskog privarivanja sigurno je brži i efikasniji metod od do sada praktikovanog pričvršćivanja delova koji će se lemiti primenom vezivanja čeličnom žicom.

Tačnost u izradi delova primenom laserske tehnike je mnogo veća u odnosu na dosadašnje primenjivanje tehnologije pričvršćivanja i privarivanja. Ova činjenica utiče na znatno smanjenje ukupnih proizvodnih troškova.

## ZAKLJUČAK

Pričvršćivanje je jedna neophodna operacija u tehnološkom postupku proizvodnje, bilo zavarivanja ili lemljenja u izradi delova složene geometrije ili pak dugačkih delova. Pričvršćivanje delova koji će se lemiti upotrebom obične čelične žice je vrlo jednostavno i istovremeno vrlo jeftino.

Privarivanje je sledeća potrebna tehnološka operacija u izradi, takođe, delova složene geometrije ili dugačkih delova primenom tehnike zavarivanja. Privarivanje pre lemljenja alata vrlo retko se sreće u praksi, pogotovu kada su u pitanju rezni alati sa pločicama od tvrdog metala.

Ipak, primena laserske tehnike za privarivanje pre lemljenja pokazala se kao uspešna, brza i kvalitetna

metoda u juvelirstvu. Produktivnost rada primenom laserske tehnike (u cilju pričvršćivanja delova koji će se kasnije lemiti) višestruko je veća od ostalih metoda zavarivanja, ovde je razmatran TIG postupak, koji nije tako prikladan u slučajevima kada se radi radi sa jako tankim limovima i/ili žicom.

Cena laserskog uređaja jeste, još uvek, visoka i to je veliki ograničavajući faktor za širu primenu ove tehnike.

## LITERATURA

- [1] M. Vlaković: Tehnologija spajanja metala, Beograd 1958, Tehnička knjiga, pp. 102 – 120.
- [2] A.A. Alov: Osnovy teoriji processov svarki i pajki, Moskva 1964, Mašinstroenie, pp. 5 – 33.
- [3] Katalog firme Stankoimport: Tverdye splavy dlja obrabotki metallov rezaniem, Moskva 1978, pp. 118 – 124.
- [4] A.P. Lopatko, Z.V. Nikiforova: Novye metody svarki i pajki, Moskva 1979, Visšaja škola, pp. 51 – 86.
- [5] V.E. Hrjapin: Spravočnik pajaljščika, Moskva 1981, Mašinstroenie, pp. 136 – 177.
- [6] S.V. Laško, N.F. Laško, i dr.: Proektirovanie tehnologii pajki metalličeskih izdeljei, Moskva 1983, Metallurgija, pp. 88 – 147.
- [7] L.L. Gržimaljskij, A.I. Gubin, i dr.: Spravočnik po pajke, Moskva 1984, Mašinstroenie, pp. 255 – 263.
- [8] D.U. Chang: Analytical investigation of thick film ignition module soldering by laser, Proceedings of the Conference on Application of Lasers, San Francisco 1985, IFS, pp. 27 – 38.
- [9] H. Koebner: Industrial Application of Lasers, prevod na ruski, Moskva 1988, Mašinstroenie, pp. 25 – 40.
- [10] V.P. Novikov: Počtivsjo o juvelirnyh izdelijah, Sankt – Peterburg, 1955, Kontinent, pp. 94 – 103.
- [11] ASM Handbook: Welding, Brazing and Soldering, ASM International 1993, vol. 6, pp. 270 – 306.
- [12] P. Gertik: Plemeniti metali – svojstva, prerada i primena, Beograd 1997, Autorsko izdanje, pp. 337 – 346.
- [13] Praktikum: Goldschmieden Montiren – Fassungen, 2001/N03, pp. 6 – 9.
- [14] Praktikum: Goldschmieden Montiren – Verschlusse, 2004/N05, pp. 50 – 55.
- [15] P. Gertik: Umetnička obrada metala, Beograd 2004, Muzej primenjene umetnosti, pp. 88 – 107.
- [16] Z. Karastojković, R. Perić, i dr.: Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 60/2006/3, pp. 121 – 123.
- [17] Z. Karastojković, R. Perić, et al.: Searching for a reasons of brittleness after gas and laser welding of gold alloy 585, 39th International October Conference on Mining and Metallurgy, Soko Banja 2007, Proceedings book, pp. 290 – 296.