



Zoran Karastojković^{1,a}, Milan Miladinov², Miroslav Miladinov²

KARAKTERISTIKE MIG ZAVARIVAČKOG LEMLJENJA

CHARACTERISTICS OF MIG BRAZE WELDING

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Novembar 2022.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Mart 2023.

Adresa autora / Author's address:

¹ Društvo za etičnost i vrednovanje u kulturi i nauci, 11000 Beograd, Strahinjića bana 27, Srbija

² Sanacija i ispitivanje metala, d.o.o, 11060 Beograd, Danila Ilića 2, Srbija

Email: ^a zoran.karastojkovic@gmail.com

Ključne reči: lemljenje, MIG zavarivanje, primene.

Keywords: brazing, MIG welding, applications

Rezime

Novine u tehnologijama lemljenja nisu tako česte kao u tehnologijama zavarivanja. Mnogi podaci/artefakti iz davnina pokazuju da su tehnologije lemljenja u primeni već 5000 godina, što ih čini starijim od zavarivačkih. Dugo se lemljenje upražnjavalo samo na carskim dvorovima, u izradi nakita i ukrasnih predmeta. Za neke od tih tehnologija se teško može reći da su „primitivne“, jer neke počivaju na primeni (danas bi rekli) difuzionih postupaka lemljenja, a koje se danas u izmenjenom obliku (uz istovremenu primenu pritiska) primenjuju čak u avio- i kosmičkoj industriji.

Primena MIG postupka je poznata i raširena u postupcima zavarivanja čelika (kako običnih konstrukcionih tako i nerđajućih) kao i brojnih obojenih metala (aluminijuma, bakra, titana i dr.), ali je prilično manje zastupljena primena istog postupka za lemljenje. Ovde će biti prikazano par primena lemljenja korišćenjem MIG postupka, uskoro primenjivanog isključivo za zavarivanje.

1. Uvod

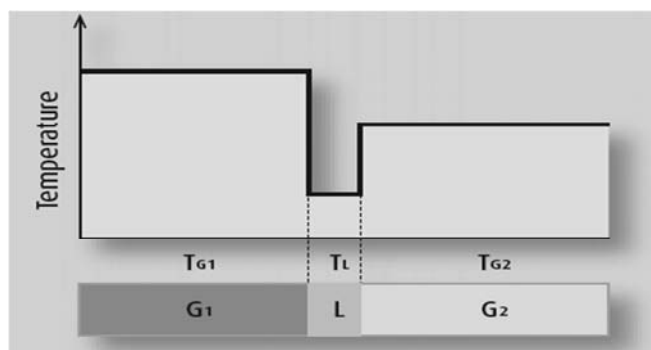
Korišćenje inertnih gasova je prvo započeto u litarstvu [1 - 3], zatim u tehnologijama zavarivanja a onda u tehnologijama lemljenja [4 - 10]. Lemljenje nije masovno zastupljena tehnologija u industriji i, uopšte, u životu, ali je u izvesnim prilikama, u izradi nekih visoko sofisticiranih delova i proizvoda iz avio ili kosmičke industriji prosto nemoguće spojiti ih bez primene lemljenja.

Abstract

Improvements in brazing technologies are not widely present as in welding technologies. Many artefacts from the ancient times show that brazing technologies are in use over 5000 years, what make them older from welding procedures. A long time the brazing was applied on the king courts for making jewels and/or ornamental pieces. For a particular technologies from that time hardly to be said that they are „primitive“, because they are founded in application (as we today use to say *diffusion welding/brazing* procedure), which are nowadays are in use in changed form (by application of a pressure) in production of reliable components from air- or cosmic industry.

The application of MIG method is known and widely used in welding procedures, almost for steels (both for common structural or stainless) also in numerous non-ferrous metals (aluminium, copper, titanium, etc.), but this method markably less is used for brazing. Here will be shown couple of examples of MIG brazing of some complex structural shapes.

Za ovaj termin, a ovde se radi se o lemljenu primenom MIG i TIG postupaka [11, 12], zakuje se u anglosaksonskoj literaturi koriste dve reči braze welding, označavajući da se radi prvo o lemljenju a onda o zavarivanju, a na srpski se može adekvatno prevesti kao lemljenje zavarivanjem, a ne bi bila greška ako se nazove i zavarivačko lemljenje. Podsećanja radi, kao kriterijum za razvrstavanje na postupke zavarivanja i lemljenja su temperature topljenja, sl. 1. U svakom slučaju radi se o lemljenje jer se topi samo dodatni materijal – lem.



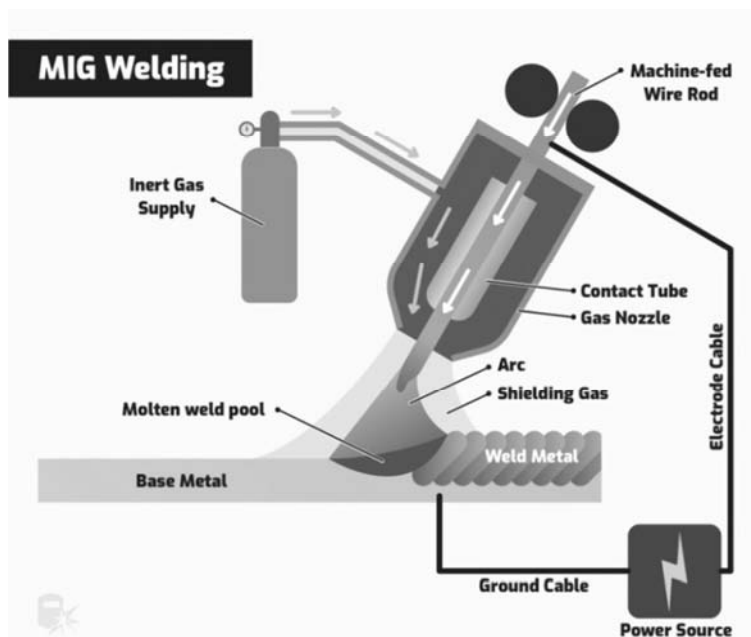
Slika 1. Temperature topljenja lema (T_L) i dva različita materijala koji se spajaju (T_{G1} i T_{G2})

Figure 1. Solder melting temperatures (T_L) and two different materials to be joined (T_{G1} and T_{G2})

2. Karakteristike mig postupka

Za topljenje dodatnog materijala u svim poznatim tehnologijama [7-9] se koriste različiti izvori toplote, izuzimajući ultrazvučno zavarivanje ili

lemljenje. Na slici 2 prikazan je koncept MIG postupka koji je dobro poznat, čime se može obezbediti kontinualan rad.



Slika 2. Šematski prikaz MIG postupka

Figure 2. Schematic representation of the MIG procedure

U postupku MIG zavarivanja se postižu radne temperature na nivou od oko 4000°C , što mnogim čelicima ne smeta, ali to jeste rizik za isparavanje laktopivih komponenti ukoliko se nađu u dodatnom materijalu, bilo da se radi o primeni za lemljenje ili zavarivanje. To je razlog da se ovaj postupak ne koristi za meko već za tvrdo lemljenje, istina u ograničenoj meri. TIG postupak jeste primenljiv za lemljenje kao MIG, ali je očekivano komplikovaniji može se reći i rizičniji za rad, usled još intenzivnijeg isparavanja laktopivih komponenti.

3. Pogodni materijali za mig lemljenje

Dodatne materijale za lemljenje, u principu ne odlikuje velika čvrstoća ali je jedan od osnovnih zahteva za lemljenje, uopšte, dobra kvašljivost [6,7], zahtev koji nije tako izražen u zavarivačkim tehnologijama. Za ove namene se mogu, u principu, koristiti mesinzi (legure Cu i Zn), kalajne bronzе (legure Cu i Sn) ili češće neka specijalna bronza na bazi silicijuma, mangana i aluminijuma. Sa aspekta topljenja dodatnog materijala, korišćenje mesinga nije problem, još manje u MIG postupku. U svakom slučaju dodatni materijal za razmatrane namene je u obliku žice, tako da se u

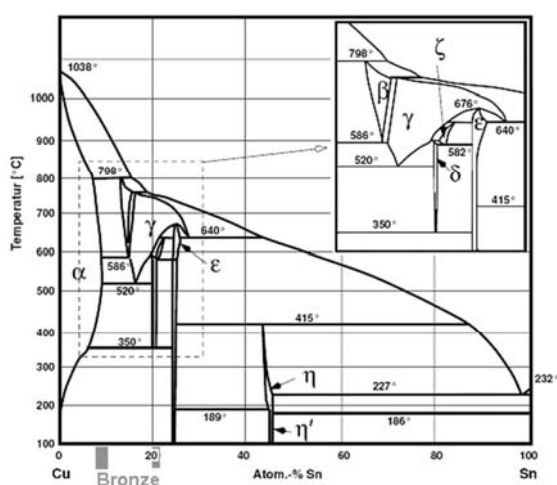


razmatranje moraju uzeti i karakteristike deformabilnosti dodatnog materijala. Međutim, primena mesingane žice u MIG postupku ima vrlo ograničenu primenu baš zbog isparavanja cinka, jer cink iako pripada grupi teških metala ima prilično nisku temperaturu topljenja ($419,50^{\circ}\text{C}$) i spada u metale koji lako isparavaju, tako da posle očvršćavanja takvog lema dolazi do neželjenih promena osobina te legure, naravno i takvog spoja.

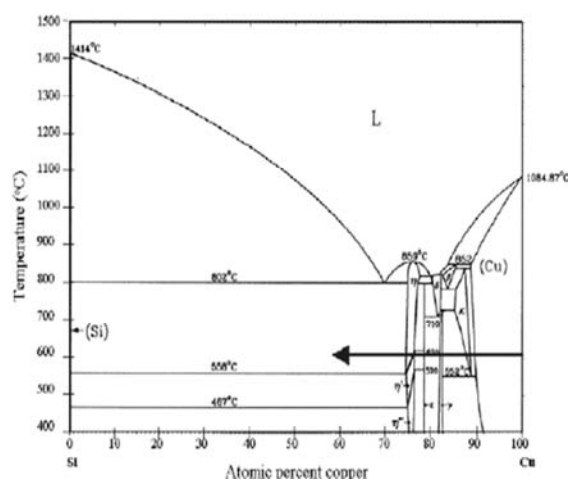
Sledeća grupa legura za izradu dodatnog materijala pripada bronzama. Najstariji i najpoznatiji tip bronzе je kalajna bronza, poznata još iz antičkih vremena – čak je u istoriji čovečanstva jedan period

nazvan *bronzano doba*. Bronze karakteriše dobra livkost, što su uočili još drevni narodi za livenje predmeta složene geometrije, pre svega spomenici, npr. Kolos sa Rodosa i mnogi drugi (ukrasni) predmeti.

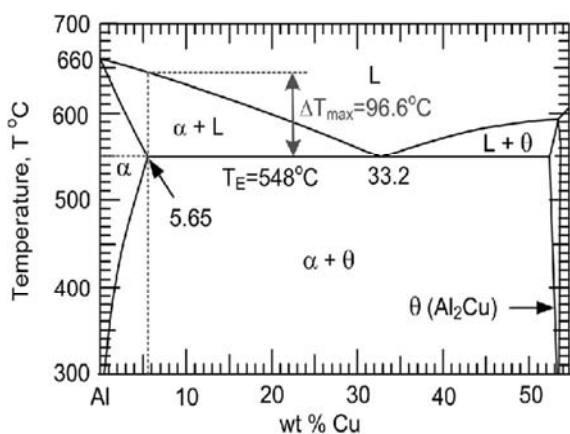
Iako i kalaj pripada grupi lakotopivih metala ($231,9^{\circ}\text{C}$) on ne isparava tako lako kao cink, odakle je ova bronza u tom smislu pogodnija za ovakvu upotrebu. Podvlači se da niska temperatura topljenja metala ne znači obavezno da je tj. metal lako isparljiv. Dijagrami stanja nekih bronzi, interesantnih za ove namene, pokazani su na slici 3.



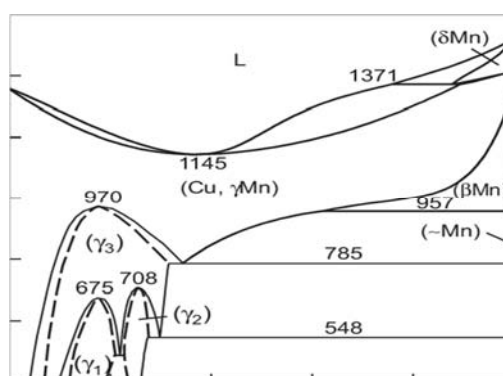
a)



b)



c)



d)

Slika 3. Dijagrami stanja: a) Cu – Sn; b) Cu – Si; c) Al – Cu i d) Cu – Mn

Figure 3. Phase diagrams: a) Cu – Sn; b) Cu – Si; c) Al - Cu and d) Cu - Mn

Kalaj i silicijum se u bakru rastvaraju u uskom koncentracijskom području, videti slike 3a) i b). Proizvodnja žice od bronzе, naročito kalajne, jeste problematična, za razliku od mesinga, koji se lako deformiše izvlačenjem u hladnom stanju, dakle manji je tehnološki problem proizvesti mesinganu

žicu. Grupa specijalnih bronzi na bazi silicijuma, aluminijuma i mangana, kao i neke njihove kombinacije, se pokazala uspešnom za razmatrane namene - lemljenje. Za lemljenje u automobilskoj industriji se već ustalila upotreba žice prečnika oko 1 mm iz serije bronzanih legura tipa CuSi_3 ,



CuSi_3Mn , CuAl_8 ili CuSn_6 . Za neke druge namene nije isključena upotreba mesinga sastava CuZn40 ili slično, koji su eksperimentalno provereni samo za neke namene. Boja svih navedenih materijala za lemljenje je svetlo žuta, što ostavlja lep vizuelni utisak i po obavljenom lemljenju omogućuje bojenje cele čelične konstrukcije.

Sve naveden legure odlikuje dobra kvašljivost, u svakom slučaju to je dobra osobina za svaki postupak lemljenja pa i ovde razmatran MIG postupak. Navedene legure bakra omogućuju lemljenje ne samo različitih materijala, kao što su livena gvožđa, čelici i legure bakra, već i raznorodnih (inače teško zavarljivih) materijala.

Lemljenje sa navedenim lemovima na bazi bakra se izvodi na temperaturama u intervalu od 620°C do 870°C , odakle je jasno da će nastala krivljenja biti manja u odnosu na zavarene spojeve.

4. Primena mig postupka za lemljenje

Pokazalo se da su zavarivački zalemljeni spojevi manje podložni lomovima u odnosu na zavarene

spojeve, posebno kada se radi sa čelikom i to neosporno predstavlja prednost u izboru postupka spajanja.

Postupak zavarivačkog lemljenja se pokazao uspešnim za spajanje tankih limova i cevi, debljine do čak 0,2mm, ali ne i debljih preseka preko 3mm. Interesantno je da se posle lemljenja običnih konstrukcionih čelika nekada mogu dobiti veće čvrstoće u odnosu na čvrstoću osnovnog materijala. MIG lemljenjem je moguće spajati materijale istog ili različitog sastava. Treba imati u vidu da se u slučajevima zavarivanja materijala različitog sastava javlja veći broj problemi, u pogledu ostvarivanja zadovoljavajuće čvrstoće u odnosu na zalemljene spojeve.

Primena MIG postupka za lemljenje je našla mesto u industriji, ovde je izabran inače komplikovan primer za rad – spajanje cevi, zaključno sa izgledom posle brušenja što je prikazano na slici 4.



a)



b)



c)



d)

Slika 4. Elementi rama bicikla koji se leme i zavaruju a), cevasti elementi za lemljenje b), spoj posle lemljenja c) izbrušen i ispoliran zalemljen spoj d)

Figure 4. Bicycle frame elements which are brazed and welded a), tubular elements which are brazed b), joint after brazing c) ground and polished brazed joint d)



Napon struje pri ovakvom lemljenju treba da je u rasponu od 10V do 16V, a jačina struje od 30 do 100A. Upotreba pulsirajuće struje (kod nas je češći termin *impulsna struja*) i tokom lemljenja obezbeđuje bolje rezultate, što se tumači nižim unosom toplote u odnosu na režim rada bez pulsiranja struje. Za potrebe zavarivačkog lemljenja bolje je koristiti 100%Ar, dok je za obične čelika moguće koristiti smešu gasova od 75%Ar i najviše do 25%CO₂.

Sve navedene osobine omogućuju širu primenu MIG postupka i za lemljenje sve prisutnijih mikrolegiranih čelika sa borom [13]. Ovi čelici postižu inače visoku čvrstoću kombinovanom primenom termičke obrade i kontrolisanog režima toplog valjanja, tako da bi se stvoreni efekti ojačavanja ozbiljno narušili zavarivanjem u kojima

5. Zaključak

Zavarivačko lemljenje, kako se pokazalo, je izvodljivo MIG i TIG postupcima, s tim da su niže radne temperature pri korišćenju MIG postupka. Upotreba dodatnih materijala za lemljenje na bazi bronzе osetno snižava radne temperature u odnosu na "klasično" zavarivanje čelika. Ovde su ukratko razmatrane legure bakra namenjene lemljenju iz reda bronzī, bilo da se radi sa *klasičnom* kalajnom bronzom ili pak sa, za ove namene, kvalitetnijim *specijalnim* bronzama na bazi silicijuma, mangana, aluminijuma ili nekih njihovih kombinacija.

Dalje, primena MIG lemljenja osetno smanjuje probleme u vezi sa pojavom krivljenja čeličnih delova, a moguće je zalemiti istorodne i raznorodne metale/legure. Raznorodni materijali sigurno je da predstavljaju problem za zavarivanje, naravno i sa MIG postupkom. I još, MIG postupak je mnogo prikladniji za automatizovanu proizvodnju u odnosu na TIG postupak.

Literatura / References

- [1] B. Kočovski (1991): Bakar i bakarne legure, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 37-118. [2] B. Kočovski (1996): Metalurgija legura obojenih metala, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 187-194.
- [3] V. Sedlaček (1986): Non-ferrous metals and alloys, Amsterdam, ed. Elsevier, 166-174.
- [4] V.F. Grabin (1982): Metallovedeniye svarki plavljeniyem, Kiyev, Naukova dumka, 292-308.
- [5] D. Smith (1995): Veštine i tehnologija zavarivanja, Paraćin, Vuk Karadžić, 151-174.

se između ostalog postižu temperature od min. 1500°C, tako da je njihovo zavarivanje diskutabilnije.

Primena zavarivačkog lemljenja se pokazala uspešnijom u odnosu na zavarivanje cinkovanih čeličnih limova. Naime, pri zavarivanju ovih čelika primenom uobičajenih zavarivačkih procesa nastaje intenzivnije isparavanje cinka, tj. nastaje decinkacija na rastojanju od 1-2mm u okolini zavara, što za posledicu ima stvaranje poroznih varova sa smanjenim mehaničkim osobinama i još, uklanjanje cinka vodi ka smanjenju korozione postojanosti takvih limova, što nije zanemarljivo. Još jednu novinu u tehnologijama lemljenja predstavlja uvođenje oksida bakra (I) i železa (III) u bakar, kao dodatni materijal za lemljenje.

5. Conclusion

Welding brazing, as it turned out, is feasible with MIG and TIG processes, with the fact that the working temperatures are lower when using the MIG process. The use of additional bronze-based soldering materials significantly lowers operating temperatures compared to "classic" steel welding. Copper alloys intended for soldering from the bronze series are briefly discussed here, whether working with classic tin bronze or, for these purposes, better quality special bronzes based on silicon, manganese, aluminum or some of their combinations.

Furthermore, the application of MIG welding significantly reduces problems related to the occurrence of bending of steel parts, and it is possible to weld dissimilar and dissimilar metals/alloys. Diverse materials are certainly a problem for welding, of course also in the MIG process. Furthermore, the MIG process is much more suitable for automated production than the TIG process.

- [6] V.Ye. Khrjapin (1981): Spravochnik pajalshika, Moskva, Mashinostroyeniye
- [7] A.I. Gubin, V.V. Orlova (1984): Pripoji i pajalnije smesi, u praktikumu: Spravočnik po pajke, Moskva, Mašinostroeniye, str. 58-102.
- [8] A.P. Lopatko, Z.V. Nikiforova (1979): Noviye metodi svarki i pajki, Moskva, Visshaĳa shkola, 51-85.
- [9] S.V. Laško, N.F. Laško, i dr. (1983): Proektirovanie tehnologii pajki metalličeskih izdeljev, Moskva, Metallurgija, 58-78.



[10] Z. Karastojković (1990): Fizička metalurgija za više škole, Novi Beograd, Politehnička akademija, 270-297.

[11] M. Way, J. Willingham, R. Goodal (2020): Brazing filler metals, Int. Material Reviews 65/5, 257-285.

[12] M. Berczeli, Z. Wektsch (2018): Experimental studies of different strength steels MIG brazed joints, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 46/2, 63-68.

[13] Z. Karastojković (2022): Mikrolegirani čelici: osobine i njihova upotreba, Inženjerska komora Srbije juni, Predavanje po pozivu.

[14] Z. Karastojković, A. Kostov, R. Perić (2022): Reasons for brazing with copper filler metal alloyed with copper (I) and iron (III) oxides, 53th Int. October Conf. on Mining and Metallurgy, Bor, Proceedings book, str. 93-96.



SIGMA LAB

Laboratorija Za Ispitivanje
Materijala & Zavarenih Spojeva



www.sigmalab.rs