

# Vpliv varovalne atmosfere na kvaliteto laserskih zvarov

## Influence of a Protective Atmosphere on Laser Weld Quality

Spruk S<sup>1</sup>, L. Koller, B. Praček, M. Mozetič, IEVT, Ljubljana  
M. Jenko, IMT, Ljubljana

*Raziskali smo vpliv različnih varovalnih atmosfer (dušik, argon in helij) na kvaliteto laserskih zvarov naslednjih parov kovin in zlitin: relejno železo z galvansko nanoseno plastjo Ni-zlitina CuNi30Fe. Mikrostrukturo laserskih zvarov smo določili z optično in SEM mikroskopijo. Pojav, ki smo ga zasledili kot rezultat uporabe nečistega plina smo raziskali s spektroskopijo Augerjevih elektronov.*

*Ključne besede: varovalna atmosfera, laserski zvari*

*We investigated the influence of different protective atmosphere (nitrogen, argon, helium) on the laser weld quality of the following metal-alloy pairs: relay soft magnetic iron nickel galvanic plated, and CuNi30Fe alloy. The microstructure of laser welds was determined by the optical and SEM microscopy. The phenomenon detected as a result of the gas impurity was investigated by AES (Auger electron spectroscopy).*

*Key words: protective atmosphere, laser welds*

### 1. Uvod

Prednost uporabe laserskih naprav pred varilniki z elektronskim curkom je, da laserske naprave ne potrebujejo vakuumske komore, ker zrak ne ovira širjenja svetlobnega žarka. Vendar je priporočljivo, da lasersko varjenje poteka v atmosferi inertnega plina. Osnovni namen plinske zaščite v varilnih procesih je preprečevanje oksidacije varjencev in usedanja kovinskih par na fokusirano lečo laserskega varilnika<sup>1,2</sup>. Teoretično je zelo enostavno preprečiti oksidacijo. Kisikov potencial atmosfere moramo znižati pod potencial, potreben za oksidacijo železa. To je mogoče doseči z uporabo čistega dušika<sup>3</sup>. V tabeli 1 so podane osnovne lastnosti najpogosteje uporabljenih zaščitnih plinov<sup>1</sup>. Uporabnost zaščitnih plinov za različne materiale je prikazana v tabeli 2<sup>1</sup>.

Tabela 1: Osnovne lastnosti zaščitnih plinov

Zaščitni plin	Ionizacijski potencial (eV)	Gostota (kg/m <sup>3</sup> )
Argon	15,75	1,784
Helij	24,58	0,178
Vodik	13,59	0,083
Dušik	14,54	1,161
Kisik	13,61	1,326
Ogljikov dioksid	14,00	1,977

<sup>1</sup> mag. Sonja SPRUK, dipl. inž. mer.  
Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko  
Tovarna 30, 61111 Ljubljana

Tabela 2: Uporabnost zaščitnih plinov

Zaščitni plin	Uporaben za	Sporna področja
Argon in helij	vse materiale	/
Plinske mešanice vsebujoče kisik	nerjavna jekla	krhkost reaktivnih kovin (npr. Ti), oksidacija slabih varilnih profilov
Dušik	baker	poroznost v jeklu in niklju, krhkost reaktivnih kovin, zmanjšana trdnost v jeklenih zlitinah
Vodik	austenitna nerjavna jekla in zlitine z nikljem	poroznost v Al

Plini oz. mešanice plinov, ki jih uporabljamo za zaščito pri laserskem varjenju so:

- argon, helij, mešanico argona in helija uporabljamo pri varjenju večine materialov, vključno jekel in reaktivnih kovin
- dušik lahko uporabimo za manj zahtevne aplikacije na nerjavnih avstenitnih jeklih.

Najpogosteje uporabljan zaščitni plin je helij, ki je inerten in ima visok ionizacijski potencial, tako da ne pride do nastanka plazme. Argon je inerten, v primerjavi z drugimi plini ima višjo gostoto in na ta način nudi boljšo možnost zaščite<sup>1</sup>.

Raziskali smo vpliv različnih varovalnih atmosfer (dušik, helij, argon) na kvaliteto laserskih zvarov naslednjih parov kovin in zlitin: relejno mehkomagnetno železo z galvansko naneseno plastjo Ni-zlitina CuNi30Fe.

## 2. Eksperimentalni del

Za kontinuirne zware smo uporabili pulzirajoči laserski varilnik J. K. Lasers, sistem 2000 Welding z lasersko palico Nd-steklo<sup>1</sup>. Izhodna energija laserskega žarka je bila 4,5 J, frekvenca pulzov 19 Hz in trajanje laserskega pulza 11ms. Ena komponenta varjenca je relejno mehkomagnetno železo Vacofer S2, ki smo ga galvansko zaščitili s 4 µm debelo plastjo niklja. Druga komponenta je zlitina s sestavo 30% Ni, 1% Mn, 0,7% Fe in 68,3% Cu (CuNi30Fe). Da bi med procesom laserskega varjenja zaščitili zware, smo uporabili zaščitne pline, navedene v tabeli 3.

Tabela 3: Zaščitni plini in njihova čistost

Vrsta plina	Čistost (vol. %)
dušik	99,96
helij	99,996
argon	99,996

Na zavarjenih relejih smo kontrolirali vakuumsko tesnost s helijevim leak detektorjem trdke Varian tip 936-65 po standardih MIL-R-5757 G in MIL-STD-202-E metoda 112 A<sup>26</sup>. Zvare smo nato prečno prerezali in izdelali metalografske obruse. Kvaliteto laserskih zvarov smo preiskali s pomočjo elektronskega mikroanalizatorja JEOL JSM-35. Pojav, ki smo ga zasledili kot rezultat uporabe nečistega plina smo raziskali s spektroskopijo Augerjevih elektronov, s spektrometrom PHI SAM 545A.

## 3. Rezultati

Učinkovitost plina, da omogoči zaščito pred atmosferskim onesnaženjem je odvisna od njegove kemične reaktivnosti in njegovih fizikalnih lastnosti. Zvar moramo zaščititi pred škodljivimi reakcijami med plinom in kovino, ki povzročajo poroznost, površinsko oksidacijo ali krhkost. Uporabni aktivni plini, ki lahko povzročajo omenjene pojave, so kisik, dušik in vodik. Mnogi materiali pri segrevanju v oksidni atmosferi tvorijo okside, medtem ko dušik tvori netopne nitride z reaktivnimi kovinami (Ti, Ta, V, Nb) in topne z ostalimi kovinami (Fe, Mn, Cr, W). Ravnotežje topnosti obeh, dušika in vodika, je visoko v tekoči fazi večine uporabnih kovin, toda mnogo nižje v trdnem.

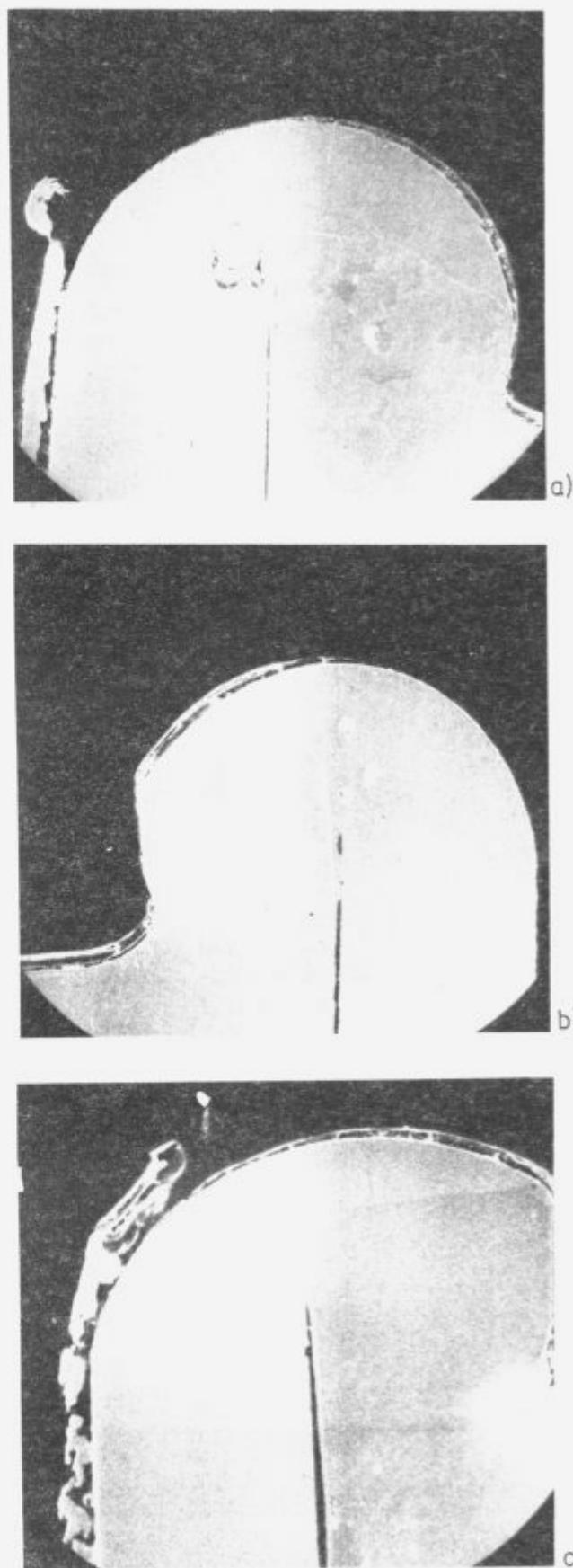
Če tekoča kovina absorbira več teh plinov, topnost v trdnem naraste do mere, ki lahko povzroči poroznost. Na slikah 1a, 1b in 1c so prikazani prečni preseki laserskih zvarov med zlitino CuNi30Fe in čistim mehkomagnetnim železom Vacofer S2. Za vsak zvar smo uporabili drugo zaščitno atmosfero: zvar na sliki 1a je varjen v zaščitni atmosferi dušika, zvar na sliki 1b v zaščitni atmosferi helija in zvar na sliki 1c v zaščitni atmosferi argona.

Slika 1: SEM posnetek prečnega preseka laserskega zvara.

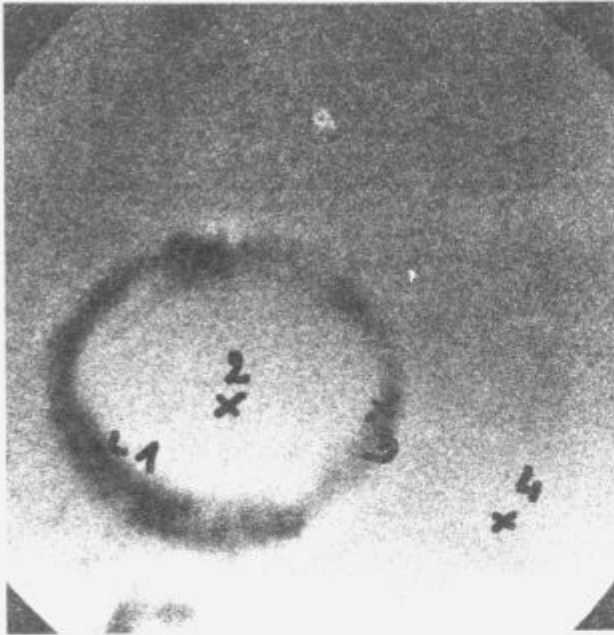
- a) varjenega v zaščitni atmosferi dušika
- b) varjenega v zaščitni atmosferi helija
- c) varjenega v zaščitni atmosferi argona

Figure 1: SEM cross section of the laser weld.

- a) welded in nitrogen protective atmosphere
- b) welded in helium protective atmosphere
- c) welded in argon protective atmosphere



V zvarih, varjenih v zaščitni atmosferi dušika in helija smo opazili mikroskopsko nehomogenost v obliki drobnih kapljic (od 5 do 45  $\mu\text{m}$ ) - **slika 2**, medtem ko v zvarih, varjenih v zaščitni atmosferi argona tega pojava nismo opazili.

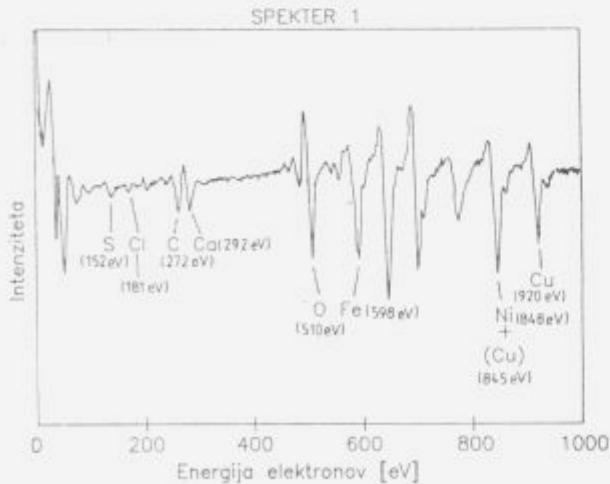


**Slika 2:** SEM posnetek kapljice zlitine  
**Figure 2:** SEM picture of alloy drop

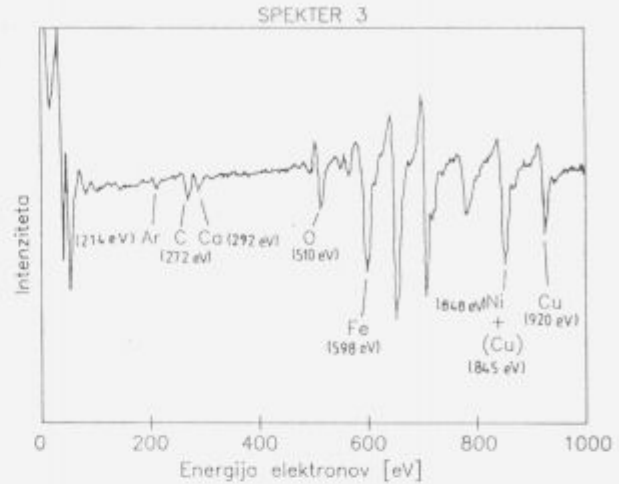
Površina teh drobnih kapljic je obdana z oksidom. Oksid na površini kapljic smo ugotovili s spektroskopijo Augerjevih elektronov, kar kažejo rezultati meritev, ki so prikazane na **slikah 3 in 4**. Kapljice so najverjetneje nastale zaradi brizganja taline pri varjenju in se zaradi nečistoč v zaščitnem plinu (vodna para in kisik) na površini oksidirale.

Kemijska sestava oksidiranih kapljic (0,5 % C, 25 % Fe, 22 % Ni, 52,5 % Cu) kaže, da je vsebnost železa v kapljici nižja kot v zvaru (0,5 % C, 55 % Fe, 16,5 % Ni, 28 % Cu), kar dokazujejo rezultati meritev, ki so prikazane na **slikah 5 in 6**.

Rezultati meritev hermetičnosti laserskih zvarov so pokazali, da oksidirane kapljice ne vplivajo na kvaliteto zvarov. Vsi



**Slika 3:** Spekter Augerjevih elektronov, posnet v točki 1 na **sliki 2**  
**Figure 3:** The Auger spectrum obtained in spot 1 of **Figure 2**

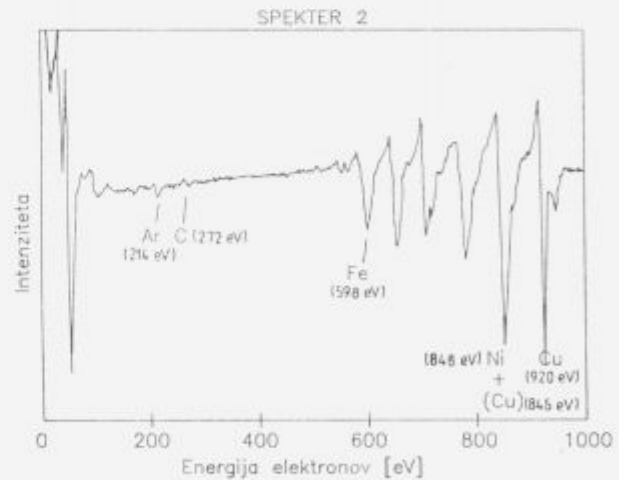


**Slika 4:** Spekter Augerjevih elektronov, posnet v točki 3 na **sliki 2**  
**Figure 4:** The Auger spectrum obtained in spot 3 of **Figure 2**

testirani vzorci ustrezajo zahtevam tesnosti po standardu MIL-R-5757 G, ki je  $1 \times 10^{-11}$  Pam/s.

#### 4. Sklep

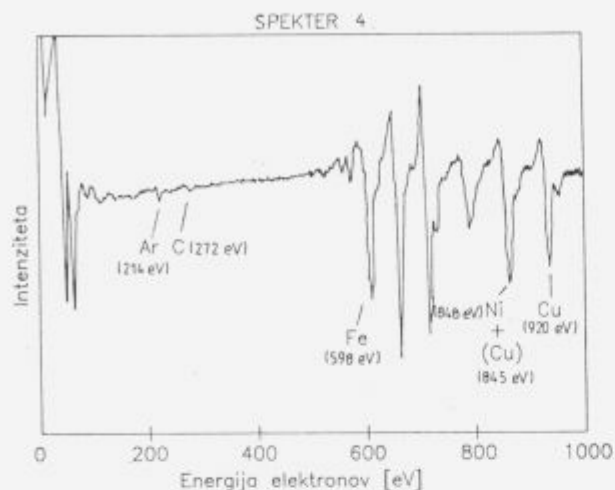
Z raziskavami zvarov, varjenih v zaščitni atmosferi dušika smo ugotovili, da v zvarih nastane mikroskopska nehomogenost v obliki drobnih kapljic (od 5 do 45  $\mu\text{m}$ ), katerih površina je obdana z oksidom. Kemijska sestava oksidiranih kapljic je enaka: 0,5 % C, 25 % Fe, 22 % Ni, 52,5 % Cu, vsebnost železa v kapljici je nižja kot v zvaru (0,5 % C, 55 % Fe, 16,5 % Ni, 28 % Cu). Tudi z raziskavami zvarov, varjenih v zaščitni atmosferi helija smo ugotovili, da v zvarih nastanejo drobne oksidirane kapljice.



**Slika 5:** Spekter Augerjevih elektronov, posnet v točki 2 na **sliki 2**  
**Figure 5:** The Auger spectrum obtained in spot 2 marked in **Figure 2**

Predpostavljamo, da so kapljice nastale zaradi brizganja taline pri varjenju in se zaradi nečistoč v zaščitnem plinu na površini oksidirale. Rezultati meritev hermetičnosti laserskih zvarov so pokazali, da oksidirane kapljice ne vplivajo na kvaliteto zvarov.

Vsi testirani vzorci ustrezajo zahtevam tesnosti po standardu MIL-R-5757 G, ki je  $1 \times 10^{-11}$  Pam/s. Z raziskavami zvarov, var-



Slika 6: Spektar Augerjevih elektronov, posnet v točki 4 na sliki 2  
Figure 6: The Auger spectrum obtained in spot 4 marked in Figure 2

jenih v zaščitni atmosferi argona smo ugotovili, da med varjenjem ni prišlo do škodljivih reakcij med plinom in kovino, zvari so kvalitetni in vakuumsko tesni.

#### Zahvala

Delo je finančno podprlo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Slovenije. (Projekt P2-5166-0204)

#### Literatura

- <sup>1</sup> J. Norrish, *Advanced Welding Processes* (New Manufacturing Processes and Materials Series), Institute of Physics Publishing, London, 1992.
- <sup>2</sup> J. Wilson, J. F. B. Hawkes, *Lasers, Principles and Applications*, Prentice Hall, London, 1987.
- <sup>3</sup> P. F. Stratton, Nitrogen-based protective atmosphere for ferrous treatments, *Metals and Materials*, 1991, 671-674.
- <sup>4</sup> J. K. Lasers: System 2000 for Welding, Manual.
- <sup>5</sup> MIL-R-5757 G, Military Specifications, Relays, Electromagnetic, 1982.
- <sup>6</sup> MIL-STD-202 E, Test methods for electronics and Electrical Component Parts, Method 112 A, 1980.