

Vakuumsko tesni laserski zvari za hermetično inkapsulacijo elektronskih sestavnih delov

Vacuum Tight Laser Welds for Hermetical Incapsulation of Electronic Parts

S. Spruk, *Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61111 Ljubljana*

M. Jenko, *Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 61001 Ljubljana*

L. Koller, D. Railič, *Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61111 Ljubljana*

Raziskali smo mikrostrukturo laserskih zvarov mehkomagnetnega železa Vacofer S2, zaščitene s 4 μm debelo galvansko plastjo Ni in 0.2 μm debelo galvansko prevleko Au z zlitino CuNi30Fe; njihovo geometrijo in vakuumsko tesnost ter študirali vpliv širjenja toplote med procesom laserskega varjenja na kompresijske spoje steklo-kovina. Določili smo optimalne pogoje procesa laserskega varjenja.

Ključne besede: lasersko varjenje, mikrostruktura laserskih zvarov, optimalni pogoji, vakuumsko tesnost

Our investigation deals with the microstructure of the vacuum tight laser welds of the welding pairs: soft magnetic iron Vacofer S2 protected with nickel plated coating of thickness 4 μm and gold plated coating of thickness 0.2 μm — CuNi30Fe alloy of thickness 0.25 mm their geometry and tightness. The thermal influence on the compression glass-to-metal seals during the process of laser welding, and the optimal conditions of the laser welding process have been also determined.

Key words: laser welding, microstructure of laser welds, optimal conditions, vacuum tightness

1 Uvod

Eden od pogojev za zanesljivost profesionalnih elektronskih sestavnih delov je njihova vakuumsko tesna inkapsulacija, ki nam jo zagotavlja hermetičen kompresijski spoj steklo-kovina ter zanesljiv laserski zvar. Hermetičen spoj steklo-kovina dosežemo s pravilno oblikovanimi komponentami spoja ter skrbno vodenim procesom zataljevanja; vakuumsko tesen laserski zvar pa s pravilno izbranimi optimalnimi pogoji procesa laserskega varjenja ter s primerno geometrijo obeh komponent varjenca¹. S predhodnimi poizkusi smo ugotovili, da je potrebno na podnožju releja izdelati varilni rob, ki štiti med postopkom laserskega varjenja spoje steklo-kovina pred toplotnimi šoki. Ugotovili smo tudi, da je galvanska prevleka niklja in zlata odlična protikorozijska zaščita podnožja². Za varjenje lahko uporabljamo kontinuirne ali pulzirajoče laserske varilnike. Za točkasto varjenje uporabljamo pulzirajoče laserje in ponavadi je že en sam pulz dovolj za kvaliteten zvar. Lahko pa s pulzirajočim laserjem dobimo verigo točkastih zvarov, ki se prekrivajo ter na ta način dobimo kvaliteten kontinuirni zvar. Osnovni princip varjenja je, da dve enaki ali različni kovini spravimo v tesen kontakt in področje okoli kontakta grejemo toliko časa, dokler se materiala ne raztalita in zlijeta skupaj. V kovini se absorbirani del svetlobne energije pretvori v toplotno. Dovedene toplotne energije mora biti dovolj, da se raztali zadosten volumen materiala⁴. Če je dovedene toplotne energije preveč, pride do izparevanja, kar povzroči poroznost zvarov, obenem pa lahko pride do toplotne preobremenitve podnožja, kar privede do porušitve kompresijskega spoja steklo-kovina zaradi pojava nateznih napetosti v steklu⁵.

Raziskali smo laserske zve mehkomagnetnega železa Vacofer S2, zaščitene s 4 μm debelo galvansko plastjo niklja in 0.2 μm debelo galvansko prevleko zlata z zlitino CuNi30Fe; njihovo mikrostrukturo, geometrijo in vakuumsko tesnost.

2 Eksperimentalno delo

Varjenje poteka v posebno oblikovani miniaturni komori v zaščitni atmosferi čistega dušika ali argona. Osnovni namen plinske zaščite je preprečevanje oksidacije in usedanja kovinskih par na fokusirno lečje. Za kontinuirne zve smo uporabili pulzirajoči laserski varilnik J.K. Lasers, system 2000 Welding z lasersko palico Nd-steklo, trajanje pulza 1-20 ms, maksimalna izhodna energija 100 J, moč napajalnika 10 kW, maksimalna frekvenca pulzov 100 Hz⁶.

Parametri laserskega varjenja:

- frekvenca pulzov /Hz: 20
izhodna energija /J: 3
trajanje pulza/ms: 10, 11, 12, 13, 14, 15
- frekvenca pulzov /Hz: 20
izhodna energija /J: 4
trajanje pulza/ms: 10, 11, 12, 13, 14, 15
- frekvenca pulzov /Hz: 20
izhodna energija /J: 4.5
trajanje pulza/ms: 10, 11, 12, 13, 14, 15

Vakuumsko tesnost laserskih zvarov smo kontrolirali s He-leak detektorjem Varian 936-65 po standardih MIL-R-5757 in MIL-STD-202-G, metoda 112A^{5,7}. Vpliv širjenja

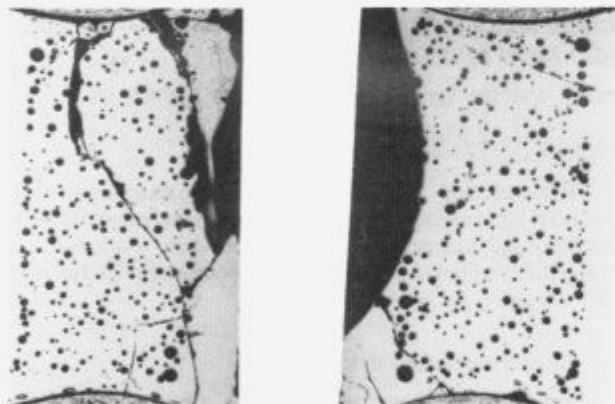
toplote na zanesljivost kompresijskih spojev steklo-kovina med procesom laserskega varjenja smo zasledovali z merjenjem temperature.

Termoelement Fe-CuNi (ϕ 1 mm) smo točkovno privarili na podnožje releja v bližino kompresijskega spoja steklo-kovina.

Na polovico vzorcev (podnožje releja) smo med procesom laserskega varjenja položili posebno oblikovane bakrene kvadre, ki naj bi imeli funkcijo odvajanja toplote.

3 Rezultati in diskusija

S predhodnimi eksperimenti smo ugotovili, da so poglavitni pogoji za zanesljiv laserski zvar pravilna izbira materiala obeh komponent varjencev, pravilna izbira protikorozijske zaščite podnožja ter pravilna geometrija zvara. Ohišje releja je izdelano iz zlitine CuNi30Fe debeline 0.25 mm, podnožje releja je iz mehkomagnetnega železa Vacofer S2, zaščiteno s 4 μ m debelo galvansko plastjo niklja ter 0.2 μ m debelo galvansko plastjo zlata. Kljub temu, da je bil na podnožjih releja izdelan varilni rob, smo pri naših poizkusih kontrolirali temperaturo v bližini kompresijskega spoja steklo-kovina. Med postopkom laserskega varjenja se razvijajo visoke temperature, spoji steklo-kovina pa po podatkih iz literature in naših eksperimentalnih dognanjih preneajo 250°C. Pri višjih temperaturah se v steklu pojavijo natezne napetosti in spoj se poruši (slika 1).



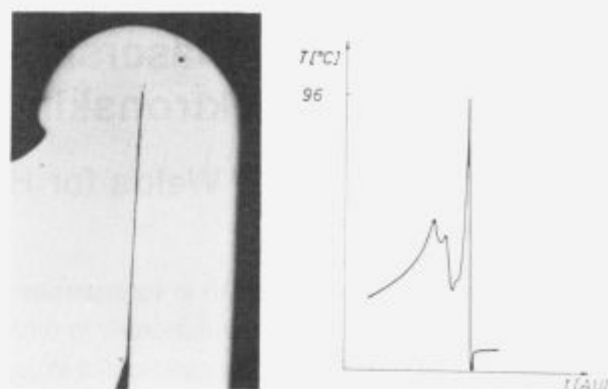
Slika 1. Prerez kompresijskega spoja steklo-kovina po toplotni preobremenitvi, 50 \times .

Figure 1. A cross section of the compression glass-to-metal seal after thermal overloading, 50 \times .

Širjenje toplote med laserskim varjenjem smo zasledovali z merjenjem temperature v neposredni bližini kompresijskega spoja steklo-kovina. Spremembo temperature smo beležili s pisalnikom.

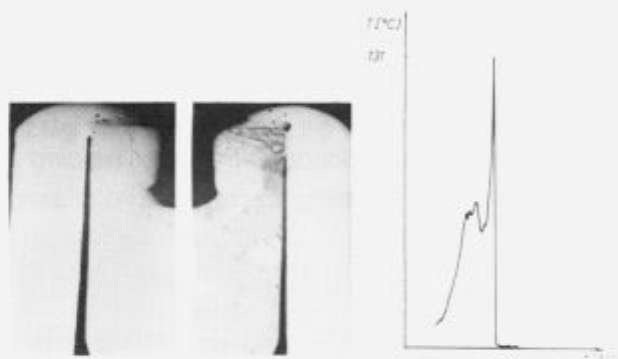
Slika 2a prikazuje presek laserskega zvara med ohišjem releja in podnožjem v primeru, ko smo na podnožje položili posebno oblikovan bakren kvader. Na sliki 2b je prikazana sprememba temperature v odvisnosti od časa laserskega varjenja za omenjeni vzorec. Parametri laserskega varjenja so bili: 20 Hz, 4 J, 11 ms. S slike je razvidno, da temperatura v bližini kompresijskega spoja steklo-kovina med laserskim varjenjem ne preseže kritične vrednosti 250°C ter da je zvar kvaliteten in neporozen.

Slika 3a prikazuje presek laserskega zvara med ohišjem releja in podnožjem v primeru, ko smo varili brez bakrenih kvadrov. Na sliki 3b je prikazana sprememba temperature v odvisnosti od laserskega varjenja za omenjeni vzorec.



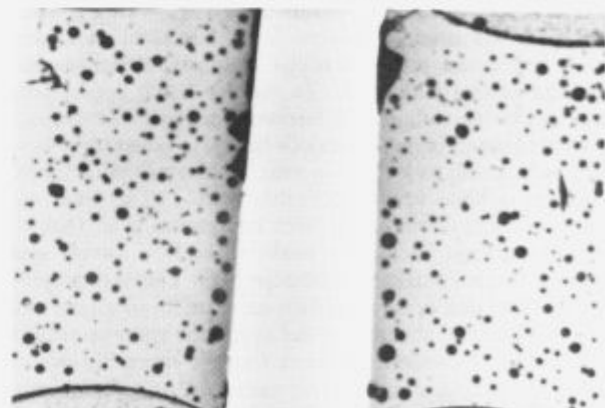
Slika 2. a) Prerez laserskega zvara v primeru, ko varimo s pomočjo posebno oblikovanega bakrenega kvadra. Parametri laserskega varjenja: 20 Hz, 4 J, 11 ms. Jedkano z nitalom, 100 \times . b) Sprememba temperature v odvisnosti od časa laserskega varjenja za omenjeni vzorec.

Figure 2. a) A cross section of the laser weld in the case of welding with a copper block. Laser welding parameters were: 20 Hz, 4 J, 11 ms. Etched with nital, 100 \times . b) Temperature variation with the laser welding time for the mentioned sample.



Slika 3. a) Prerez laserskega zvara v primeru, ko varimo brez bakrenega kvadra. Parametri laserskega varjenja: 20 Hz, 4.5 J, 15 ms. Jedkano z nitalom, 100 \times . b) Sprememba temperature v odvisnosti od časa laserskega varjenja za omenjeni vzorec.

Figure 3. a) A cross section of the laser weld in the case of welding without a copper block. Laser welding parameters were: 20 Hz, 4.5 J, 15 ms. Etched with nital, 100 \times . b) Temperature variation with the laser welding time for the mentioned sample.



Slika 4. Prerez kvalitetnega kompresijskega spoja steklo-kovina, 50 \times .

Figure 4. A cross section of a high quality compression glass-to-metal seal, 50 \times .



Slika 5. Prerez laserskega zvara v primeru, ko varimo brez bakrenega kvadra. Parametri laserskega varjenja: 20 Hz, 3 J, 12 ms. Jedkano z nitalom, 100 ×.

Figure 5. A cross section of the laser weld in the case of welding without a copper block. Laser welding parameters were: 20 Hz, 3 J, 12 ms. Etched with nital, 100 ×.

Parametri laserskega varjenja so bili: 20 Hz, 4.5 J, 15 ms. Kljub temu, da tudi tukaj temperatura v bližini kompresijskega spoja steklo-kovina med laserskim varjenjem ne presega vrednosti 250°C, je zvar porozen.

Iz tega lahko sklepamo, da bakreni kvadri ugodno vplivajo na proces laserskega varjenja, saj dobimo pri varjenju z bakrenimi kvadri kvalitetnejše in vakuumsko tesne zware. Tudi kompresijski spoji steklo-kovina so po končanem varjenju hermetični le v primerih, ko varimo z bakrenimi kvadri ob optimalno izbranih parametrih laserskega varjenja (slika 4).

Rezultati so pokazali, da energija pulza 3 J ni zadostna za izbrani rele, kajti laserski žarek raztali le eno od obeh komponent varjenca, kar je prikazano na **sliki 5**. Pri energiji pulza 4.5 J pride do poroznosti zvara, kar pomeni, da je dovedena energija previsoka.

Vakuumsko tesne laserske zware smo dobili pri energiji pulza 4 J ter pri trajanju pulza 10, 11, 12, 13 in 14 ms, vendar vedno le v primerih, ko smo varili s pomočjo bakrenih kvadrov.

4 Sklepi

Raziskave laserskega varjenja za hermetično inkapsulacijo elektronskih sestavnih delov so pokazale, da je za vakuumsko tesen laserski zvar ter obenem kvaliteten spoj steklo-kovina izredno pomembna geometrija zvara. Obe komponenti varjenca se morata tesno stikati, na podnožju, ki mora imeti primerno protikorozijsko zaščito mora biti izdelan varilni rob. Parametri laserskega varjenja morajo biti optimalno izbrani. Rezultati so pokazali, da je za raziskovani rele primerna energija pulza 4 J pri trajanju pulza 11ms. Kvalitetne in vakuumsko tesne zware dobimo vedno le v primerih, ko med procesom laserskega varjenja na podnožje položimo posebno oblikovane bakrene kvadre. Dosežena vakuumska tesnost, ki jo moramo obvezno kontrolirati, je bila $1 \times 10^{-8} \text{ Pa m}^3/\text{s}$, kar ustreza zahtevam standarda.

5 Literatura

- ¹ M. Jenko, B. Jenko, L. Koller, D. Railič, A. Miklavčič, B. Miklavž, B. Kordiš: Študij laserskega varjenja kovin in zlitin za elektroniko, IEVT poročilo P-646/D1, 1989
- ² S. Spruk, M. Jenko, L. Koller, D. Railič: Vacuum tight laser welds, Vacuum 43, p. 769-771, 1992
- ³ S. Spruk, M. Jenko, L. Koller, D. Railič: The influence of heat transfer on the reliability of glass-to-metal seals, Proceedings MIEL-SD 92, p. 369-374, Portorož 1992
- ⁴ J. Wilson, J.F.B. Hawkes, Lasers, Principles and Applications, Prentice Hall, London, 1987
- ⁵ MIL-STD-202 E, Test methods for electronics and Electrical Component Parts, Method 112 A, 1980
- ⁶ J.K. Lasers: Systems 2000 for Welding
- ⁷ MIL-R-5757 G, Military Specifications, Relays, Electromagnetic, 1982