

LASERSKO VARJENJE KONTAKTOV OKOVA ŽARNICE E27

LASER WELDING OF E27 LAMP-HOLDER CONTACTS

Matej Juvan¹, Aleš Babnik², Janez Možina²

¹ETI, d. d., Obrezija 5, 1411 Izlake, Slovenija

²Katedra za optodinamiko in lasersko tehniko, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija
matej.juvan@eti.si

Prejem rokopisa - received: 2002-10-03; sprejem za objavo - accepted for publication: 2003-03-17

Z uvedbo postopka preoblikovanja kontaktov okova žarnice in uporabo mehkega vhodnega materiala se zelo poceni izdelava tega artikla. Za doseganje zahtevane trdnosti kontaktov je treba spoj dodatno utrditi z varjenjem. Uporabni so postopki, ki omogočajo dobro lokalizacijo zvara in enostavno avtomatizacijo procesa ter ne povzročajo neželenega dodatnega preoblikovanja izdelka. Varjenje s pulznim laserskim izvorom Nd:YAG je eden od postopkov, ki zadošča tem zahtevam.

Razvili smo cenovno ugoden sistem za lasersko varjenje kontaktov okova žarnice E27, katerega konstrukcija omogoča enostavno nadgradnjo v obstoječo proizvodilčno montažno linijo. V prispevku obravnavamo razvoj sistema in rezultate poizkusnega obratovanja.

Ključne besede: lasersko točkovno varjenje, jeklena pločevina, laser Nd-YAG, optično vlakno

The manufacturing of lamp holders has been made more economic with the remodelling of holder contacts and the introduction of low-strength basic material in the production process. We achieved the desired compactness/solidity of the contacts with additional welding of the twisted part junction. Only methods with precise localization of the weld, simple automation of the process and no additional product remodelling are useful. Welding with a Nd:YAG laser source is one such method.

We developed a low-cost system for laser welding of E27 lamp-holder contacts. The system construction enables a direct upgrade of the existing production line. In the present article we deal with the development of the system and the results of the test operation.

Key words: laser spot welding, steel plate, laser Nd-YAG, optical fiber

1 UVOD

Postopek izdelave kontakta okova žarnice vključuje krivljenje okoli trna, kar je kritična faza preoblikovanja. Mehanska preobremenjenost trna povzroča dimenzijske odmike izdelka, obraba pa prekomerno krajša trajnostno dobo orodja. Mehanske obremenitve kot tudi obrabo orodja je proizvajalec zmanjšal z uporabo mehkejšega vhodnega materiala, ki pa ni zagotavljal zahtevane togosti izdelka. Pri privijanju vijaka za pritrditev električnega vodnika z zahtevanim momentom namreč nastopi deformacija na mestu prekritja pločevine, ki ni več dopustna. Ena od možnih rešitev problema je dodatno varjenje kritičnega mesta na kontaktu.

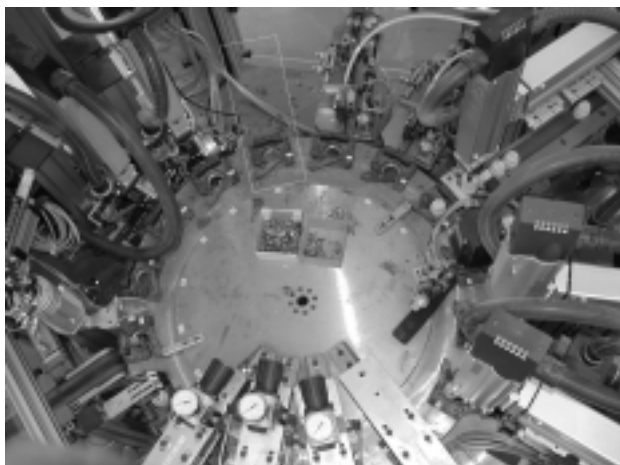
Lasersko točkovno varjenje je postopek, ki omogoča časovno in krajevno natančno dovajanje energije na mesto vara¹. Za varjenje so se v preteklosti uporabljali CO₂ laserski izvori velikih moči², ki jih v zadnjem času zaradi prednosti pri varjenju varilsko zahtevnejših materialov³ zamenjujejo izvori Nd-YAG. Nasprotno od klasičnih postopkov varjenja, kjer z mehanskim stikom varjenca in varilnih elektrod zagotovimo dovod varilne energije, je lasersko varjenje brezdotičen postopek. Primeren je predvsem za varjenje dimenzijsko majhnih obdelovancev, pri katerih bi pritisk elektrode povzročil neželeno deformacijo in pri katerih je zelo pomembno natančno lociranje zvarnega mesta. Zaradi istega vzroka

tudi ni obrabe varilnih elektrod, kot je to primer pri klasičnih uporovnih varjenjih. Obraba varilnih elektrod je še posebej izrazita pri varjenju majhnih varjencev, kjer je nujno uporabiti varilne elektrode s konicami majhnih dimenzij. Ker med varjenjem ni mehanskih pomikov elektrod, se proces lahko izvede izredno hitro, kar je še posebno pomembno pri uvedbi takšnega postopka v proizvodno linijo velike kapacitete. Za naš problem je torej lasersko točkovno varjenje dobra alternativa klasičnim postopkom.

V sodelovanju s konstrukcijskim oddelkom podjetja ETI smo uspešno zasnovali in izdelali sistem za lasersko točkovno varjenje kot nadgradnjo obstoječe montažne linije. V prispevku opisujemo postopek razvoja od izbire laserskega izvora, določanja varilnih parametrov, snovanja namenske odklonske glave in varnostnih elementov varilnega sistema, do opisa rezultatov varjenja z izdelanim sistemom.

2 EKSPERIMENTALNI SISTEM

Zasnovo laserskega varilnega sistema je določala zahteva po kompatibilnosti z obstoječo montažno linijo, ki jo je izdelal proizvajalčev konstrukcijski oddelek (velikost prostega delovnega mesta na montažni liniji, uporaba obstoječega ležišča in orientacija varjencev, kapaciteta montažne linije) in je prikazana na **sliki 1**.

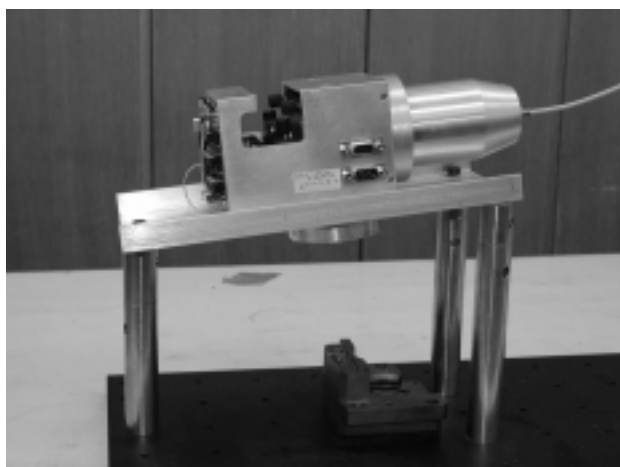


Slika 1: Lokacija varilne naprave v montažni liniji
Figure 1: Location of the welding device in the production line

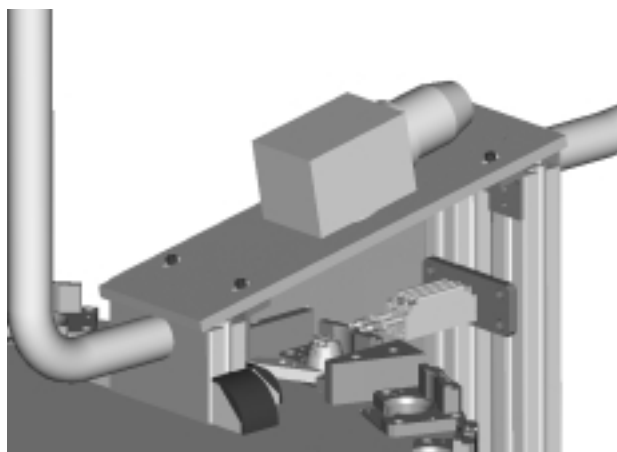
Upoštevali smo tudi izsledke raziskav s področja laserskega varjenja, ki smo jih izvedli v preteklosti^{4,5}.

Omejitev prostora je narekovala izbiro ločenega laserskega izvora, iz katerega preko optičnega vlakna dovajamo energijo na mesto varjenja. Varilni parametri laserskega žarka za točkovno varjenje jeklene pločevine debeline 0,5 mm morajo biti v območju 5 do 15 ms (izvor s prosto generacijo) pri premeru žarka v gorišču okoli 1,2 mm in energiji sunka okoli 20 J.

Z namenskim odklonskim sistemom omogočimo varjenje dveh kontaktov v enem montažnem ciklu. Osnova je vrtljivo zrcalo, s katerim nastavljam žarek v dva končna položaja. Dodaten optični sistem usmerja svetlobo iz optičnega vlakna na zrcalo in jo po odboju fokusira na površino izbranega obdelovanca. Optični sistem omogoča tudi spreminjanje premera žarka v gorišču. Vrtljivo zrcalo je gnano s koračnim motorjem v mikrokoračnem režimu, s čimer dosežemo nastavitve zrcala v novem položaju (kot $\pm 10^\circ$) v času, manjšem od 50 ms. Končna položaja odklona zrcala, ki določata obe



Slika 2: Odklonska glava na nosilcu (eksperimentalna postavitve)
Figure 2: Deflection head on the holder (experimental setup)



Slika 3: Predvidena postavitev odklonske glave na montažni liniji
Figure 3: Proposed setup of the deflection head in the production line

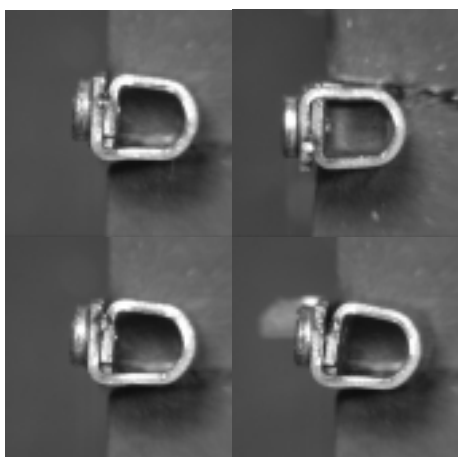
poziciji varilnega žarka, nastavimo z optičnima končnima stikaloma. Tako dosežemo točnost nastavitve obeh položajev gorišča pod 0,01 mm, kolikor je ponovljivost pozicioniranja krožno-delilne mize montažne linije. Odklonski sistem krmili mikroprocesor, ki hkrati skrbi za kontrolo prisotnosti komponent in preverja stanje varnostnih elementov. S tem zagotavlja popolno kontrolo nad procesom, status varilnega procesa pa sporoča krmilniku montažne linije, kar se prikazuje na zaslonu operaterja. Izdelana odklonska glava na nosilcu je prikazana na **sliki 2**.

Varnostni elementi zaščitijo okolico pred nevarnim laserskim sevanjem. Osnovo varovanja pomeni komora, v kateri potujejo obdelovanci pod odklonsko glavo, ki je pritrjena na vrhu komore (**slika 3**). Odprtine na straneh komore, skozi katere se pomikajo prijemala, se zapirajo z zastirali, pritrjenimi na vrtljivo mizo montažne linije. Komora zagotavlja tudi zahtevani naklon odklonske glave za izničenje vpliva odbitega laserskega žarka, ki sicer poškoduje izhodno čelo optičnega vlakna, ter zmanjšanje onesnaženje objektiva z izparelimi delci. V komori je pritrjeno tudi pnevmatsko prijemalo, ki izboljša ponovljivost nastavljanja obdelovancev v gorišče laserskega žarka, ter sistem za odsesavanje plinov, ki nastajajo pri varjenju.

3 EKSPERIMENTI

Namen eksperimentalnega dela je bil določiti parametre laserskega žarka s ciljem doseči zadovoljivo povečanje togosti varjencev ob čim manjši energiji laserskega bliska. S tem znižamo obratovalne stroške, ker poleg nižje porabe električne energije podaljšamo trajnostno dobo bliskavke in zmanjšamo onesnaženje izhodne optike, s čimer zagotovimo krajše čase periodičnega vzdrževanja sistema.

Z uvodnimi poizkusi, ki smo jih izvedli na laserskem izvoru Nd-YAG s statičnim optičnim fokusirnim

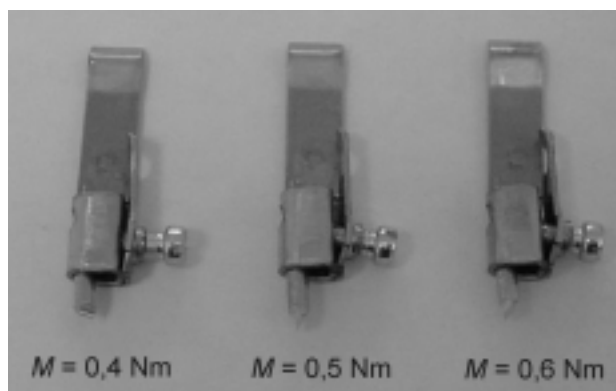


Slika 4: Uvodni rezultati varjenja. Spodaj desno je prikazan vzorec z režo širine 0,4 mm.

Figure 4: Preliminary results of welding tests. Specimen with 0.4-mm gap is shown in the lower-right picture

sistemom in klasičnim vodenjem žarka⁶, smo okvirno določili uporabne parametre žarka. Nastavljanje obdelovancev je bilo ročno. Ugotovili smo, da je za varjenje pločevine območje izbire časa in energije bliska precej širše kot pri varjenju aluminija in bakra^{4,5}. Pri širini reže prekrivnega dela kontakta do 0,2 mm smo dosegli zadovoljive rezultate pri času bliska v območju 8 do 15 ms, energiji bliska v območju 15 do 25 J in premeru žarka v gorišču v območju 1 do 1,3 mm. Merilo kvalitete zvara nam je bil vizualni videz vara (premer vara, profil temena vara, zlitje obeh robov kontakta). Primeri varjencev so prikazani na **sliki 4**. Kontakti so bili izdelani iz jekla 1.4310 (remanit) z natezno trdnostjo 1100 N/mm².

Nadaljnji poizkusi so bili izvedeni z odklonsko glavo, postavljeno nad ležiščem kontaktov, kakršen je vgrajen v vrtljivi mizi montažne linije. Za izvor smo uporabili prosto generiran laser Nd-YAG z vgrajenim optičnim vlaknom⁷ za dovod varilnega laserskega žarka v odklonsko glavo. Odklonska glava je bila glede na ravnino obdelovanca nagnjena, s čimer smo odmaknili vračajoči se odbiti žarek s čela optičnega vlakna. S to eksperimentalno postavitvijo smo simulirali dejanske razmere pri montaži z razliko, da smo kontakte v nosilec vstavljali ročno. Izvedli smo serijo poizkusov v območju parametrov, določenih z uvodnim preskušanjem, vendar s krajšimi bliski (5 in 10 ms). Tokrat je bil material kontaktov jeklo 1.4310 (remanit) z natezno trdnostjo 700 N/mm², ki zaradi nižje trdnosti manj mehansko obremeni krivilno orodje. Posledično se je pričakovala boljša oblikovna in dimenzijska ponovljivost kontaktov, predvsem širina reže na prekrivnem delu. Poleg vizualne kontrole varov smo pri tej raziskavi izvedli tudi trdnostni preizkus s privijanjem pritrdilnega vijaka z momentom 0,4 do 0,6 Nm. Vpliv obremenitve na videz kontakta prikazuje **slika 5**.

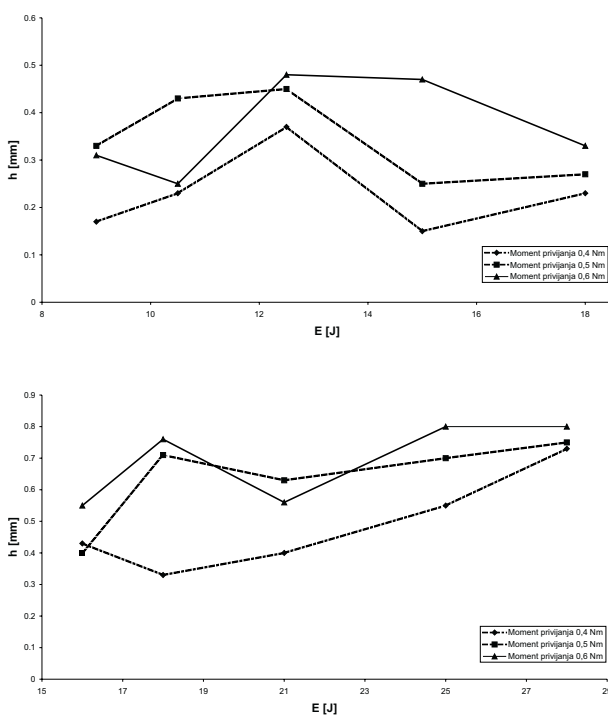


Slika 5: Posnetek preizkušancev po trdnostnem preizkusu (energija žarka 22 J, čas 10 ms, premer v gorišču 1,1 mm, moment privijanja od 0,4 do 0,6 Nm)

Figure 5: Specimens after the loading test (beam energy 22 J, duration 10 ms, focus diameter 1.1 mm, test torque 0.4 to 0.6 Nm)

Stopnja deformacije, ki smo jo opisali s širino reže prekrivnega dela kontakta, je prikazana na **sliki 6** v odvisnosti od časa in energije laserskega bliska. Podatki so dobljeni z merjenjem treh naključno izbranih preizkušancev iz serije kontaktov, varjenih z istimi parametri.

Dimenzijska ponovljivost kontaktov vpliva tudi na položajno ponovljivost vstavljanja v držalo, kar je posebno pomembno pri pozicioniranju varilnega žarka na mesto obdelave. Ponovljivost vstavljanja smo izboljšali z dograditvijo pnevmatskega prijemala (**slika 3**).



Slika 6: Trdnostni preizkus-odvisnost širine reže h od energije laserskega žarka E : (zgoraj) dolžina bliska 5 ms, (spodaj) dolžina bliska 10 ms

Figure 6: Loading test – gap width h versus laser-beam energy E : (upper) 5-ms beam pulse duration, (lower) 10-ms beam pulse duration



Slika 7: Prikaz ponovljivosti pozicije dveh različnih kontaktov v nosilcu (križ pomeni mesto vara): (levo) prosto vstavljanje, (desno) dodatno prijetanje

Figure 7: Position repeatability for contacts in the holder (the cross represents the position of the weld): (left) without additional fixing, (right) with additional fixing

Izboljšanje ponovljivosti pozicioniranja kontaktov ponazarja **slika 7**. Predhodno opisane poizkuse z uporabo odklonske glave smo že izvedli z uporabo tega prijemala.

4 SKLEPI

S poizkusi laserskega varjenja kontaktov okova žarnice smo pokazali, da postopek zadošča zahtevam serijske proizvodnje z gledišča povečanja togosti kontakta, izdelanega iz mehke jeklene pločevine, kot tudi zahtevane kapacitete proizvodne linije. Ker je postopek brezdotičen, ni obrabe varilnih elektrod (čas med okvarami je daljši) in ni kasnejših deformacij varjenca.

Ugotovili smo, da izbira parametrov laserskega bliska ni kritična in jih izberemo v smeri nižanja proizvodnih stroškov, kar pomeni izbiro nižjih energij varilnega žarka. Zadovoljivo kvaliteto zvarov dosežemo z energijo 22 J, dolžino bliska 8 ms in premerom žarka v

gorišču 1,2 mm. Pri teh parametrih var zapolni morebitno režo na mestu prekrivanja pločevine kontakta, če je širina reže pod 0,2 mm pri debelini pločevine 0,5 mm. Pri večji širini reže je kvaliteta zvarov nezadovoljiva, saj kljub večanju energije varilnega žarka ne dosežemo zlitja obeh koncev varjenca. V takem primeru je tudi nastavljanje kontakta na varilno mesto netočno. Probleme rešujemo z izbiro mehkejšega vhodnega materiala, ki manj obremeni krivilno orodje in s tem izboljša oblikovno in dimenzijsko ponovljivost kontaktov, ter z uporabo držala, ki zagotovi pravilno lego kontakta med varjenjem, tudi če se njegove dimenzije nekoliko odmikajo od načrtovanih.

Izdelan sistem za nastavljanje varilnega žarka omogoča enostavno vgraditev v obstoječo montažno linijo, kar je omogočila izvedba odklonske glave z mikrokoračnim pogonom odklonskega zrcala in uporaba optičnega vlakna za dovod laserskega žarka iz ločenega izvora na obdelovalno mesto v montažni liniji. Mikrokoračno krmiljenje je cenen in enostaven način upravljanja odklonskega zrcala, ki ga je možno enostavno nadzirati s krmilnikom montažne linije.

5 LITERATURA

- ¹ Walter W. Duley: *Laser welding*, A Wiley - Interscience publication, New York, 1999
- ² Y. Syang, S. H. Lee: A study on the joining strength of laser spot welding for automotive applications, *J. Material processing Tech.*, 94 (1999) 151-156
- ³ T. M. Yue, J. H. Du, H. C. Man: *High power Nd-YAG laser welding of SiC particle reinforced aluminium alloy 2124*, *Material science and technology*, 14 (1998) 906-911
- ⁴ M. Merlak: *Parametri laserskega varjenja priključkov elektrolitskih kondenzatorjev*, Bachelor's Degree (in Slovene), Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1998
- ⁵ A. Babnik, B. Zajec, J. Možina: Lasersko varjenje lakirane bakrene žice na priključnice elektromotorja, *Mater. tehnol.*, 35 (2001) 5, 287-290
- ⁶ Varilni laser WL-40, Technical documentation, FOTONA, Ljubljana, 1998
- ⁷ Medicinski laser NOVALIS, Technical documentation, FOTONA, Ljubljana, 1999