

ROBOTSKO LASERSKO VARJENJE NERJAVNE PLOČEVINE

Klemen Pompe, Robert Ivančič, Primož Repnik, Janez Tušek

Izvleček:

Članek predstavlja lasersko varjenje nerjavne pločevine z robotom in vlakenskim laserjem. Prikazane so prednosti sodobnih vlakenskih laserjev, priprava zvarnega mesta, tehnologija varjenja in težave, ki se pojavljajo pri laserskem robotskem varjenju.

Ključne besede:

lasersko varjenje, robotsko varjenje, vlakenski laser, nerjavna pločevina

1 Uvod

Lasersko varjenje si zaradi izjemnih lastnosti vse bolj utira pot tudi v serijsko proizvodnjo pločevinskih izdelkov. Njegove prednosti pred ostalimi postopki varjenja so tolikšne, da je njegova uvedba v serijsko proizvodnjo finančno upravičena, ne le pri novih, temveč tudi v primeru zamenjave starih tehnologij spajanja, kot so na primer: obločni postopki in uporovna varjenja. Glavne prednosti laserskega varjenja so vsekakor natančnost in majhen ter lokalni vnos energije, ki ne povzroča velikih deformacij, a obenem zagotavlja kvaliteten spoj brez mehanske obdelave ali le z minimalno mehansko obdelavo. Proizvajalci izdelkov iz pločevine iščejo nove oblikovalske rešitve, ki bi izpostavile njihove izdelke. Takšen primer je ravno lasersko varjenje pločevine. Z obločnim postopkom varjenja TIG se lahko brez večjih težav izdela vogelni spoj dveh pločevin. Seveda je potrebno takšen spoj dodatno mehansko obdelati, po obdelavi pa se vara praktično ne vidi. Vendar pa si proizvajalci na nekaterih izpostavljenih mestih vse bolj želijo viden var, ki mora biti lep in kvaliteten. To pa presega zmogljivosti klasičnih obločnih postopkov varjenja. Kot praktično edina rešitev se ponuja lasersko varjenje.

2 Laserji

Razvoj laserjev še vedno hitro napreduje, s tem pa se veča tudi njihova uporabnost. Še vedno se za varjenje največ uporabljajo Nd:YAG-laserji, delno pa tudi CO₂-laserji. Nd:YAG-laserji imajo slab izkoristek, ki znaša le okoli 5 %. Zaradi tega so veliki,

porabijo veliko električne energije, tej pa je potrebno prišteti še energijo, ki jo porabi hladilni sistem. Imajo pa Nd:YAG-laserji tudi nekaj dobrih lastnosti, kot sta na primer velika energija pulza in dejstvo, da lahko laserski žarek vodimo preko optičnega kabla ali zrcal. Pri CO₂-laserjih je namreč mogoče vodenje žarka le preko zrcal. Način delovanja CO₂-laserjev je večinoma kontinuirni, Nd:YAG-laserjev pa pulzni.

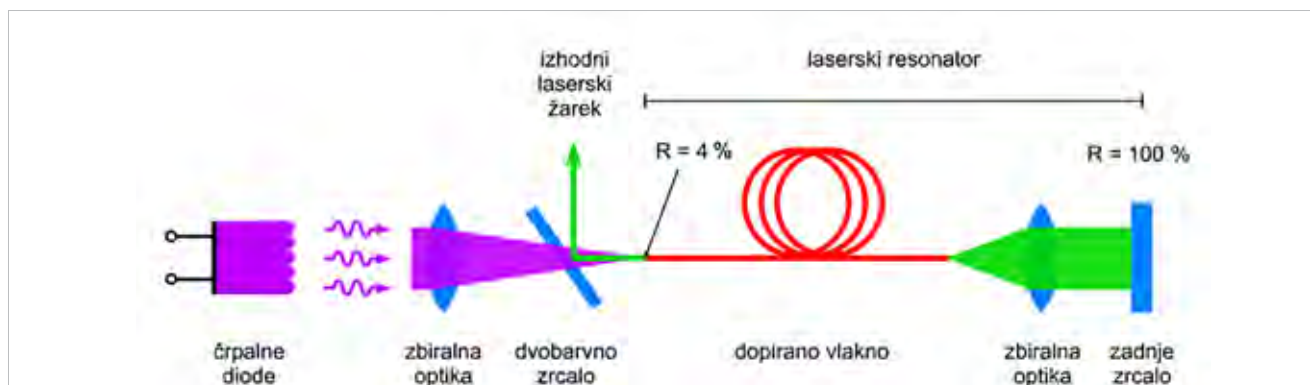
Prihodnost vlakenskih laserjev je svetla, saj zelo uspešno izpodrivajo tako Nd:YAG- kot tudi CO₂-laserje. Visok, okoli 30-odstotni izkoristek je njegova glavna prednost, zaradi česar je manjši, ima majhno maso in tudi potrebe po hlajenju so manjše. Do moči okoli 450 W so vlakenski laserji večinoma zračno hlajeni. Pri večjih močeh pa potrebujejo vodno hlajenje, a so potrebne moči hlajenja majhne. Boljši vlakenski laserji lahko delujejo v kontinuirnem, kontinuirnem moduliranem ali pulznem načinu. Ker laserski žarek nastaja v optičnem vlaknu, so tudi premeri optičnih kablov manjši od tistih pri Nd:YAG-laserjih, s tem pa so tudi bolj fleksibilni. Za primerjavo navajamo, da ima optični kabel vlakenskega laserja moči okoli 450 W, lahko le 50 mikrometrov premera, medtem ko potrebuje Nd:YAG-laser enake moči premer 600 mikrometrov. Vlakenske laserje lahko združujemo v celoto in tako dobimo laser praktično poljubne moči. Za nameček pa so vlakenski laserji še brez vzdrževanja, če odštejemo čiščenje oziroma menjavanje zračnega filtra pri zračno hlajenih laserjih.

Pri kvalitetnih vlakenskih laserjih je v pulznem načinu delovanja preko enostavnega uporabniškega vmesnika zelo lahko določiti tudi potek energije enega pulza. Z oblikovanjem pulzov lahko dosežemo različne oblike uvarov, temen varov, lahko pa se izognemo tudi morebitnim razpokam pri določenih materialih.

3 Material

Lasersko varjenje se že dolgo časa s pridom uporablja v avtomobilski industriji, počasi pa se njegovih

Klemen Pompe, univ. dipl. inž., dr. Robert Ivančič, univ. dipl. inž., oba Intech-les, d. o. o., Unec; Primož Repnik, univ. dipl. inž., prof. dr. Janez Tušek, univ. dipl. inž., oba TKC, d. o. o., Ljubljana



Slika 1 : Shema vlakenskega laserja [1]

Tabela 1 : Kemična sestava nerjavne pločevine AISI 304

Vrsta jekla	Oznaka	Vsebnost elementov (max. v %)							
		C	Si	Mn	P	S	N	Ni	Cr
Nerjavno jeklo	AISI304	0,07	1,0	2,0	0,045	0,015	0,11	8,0-10,5	17,0-19,5

prednosti zavedajo tudi domači proizvajalci izdelkov iz nerjavne pločevine za gospodinjstvo, medicinsko, farmacevtsko in drugo opremo. Lasersko varjenje se tako že uporablja za varjenje nekaterih naštetih gospodinskih elementov, za nekatere druge pa je v pripravi. Primeri: vgradne kuhalne plošče, samostojni indukcijski kuhalniki, kuhinjske nape, pomivalna korita, posamezni deli gospodinskih strojev itd.

Večina izdelkov je izdelanih iz nerjavne pločevine 18/10 oziroma bolj poznane pod imenom AISI 304 ali po Wr. Nr. 1.4301. Gre za avstenitno nerjavno pločevino, ki je dobro odporna na korozijo v naravnem okolju in ima dobro varivost. Kemična sestava je podana v tabeli 1.

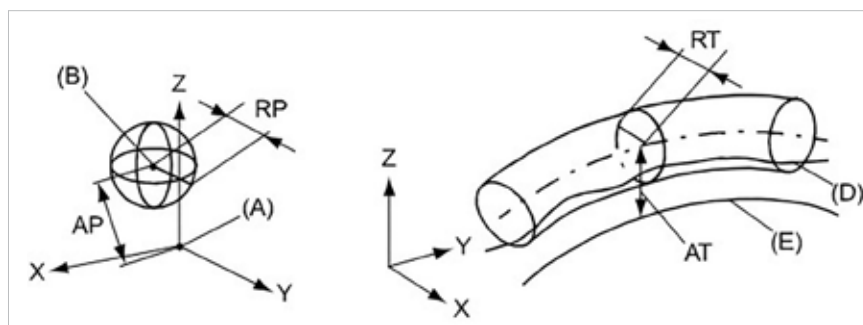
4 Krmiljenje

Laserske naprave za varjenje lahko glede na krmiljenje ločimo na dve skupini. Eno skupino predstavljajo stroji s triosnim krmiljenjem (osi X, Y in Z) z

morebitno četrto osjo rotacije kosa. Pri tem načinu se premika ali optika ali pa varjenec na koordinatni mizi. Drugi način pa je robotsko premikanje optike ali varjenca.

Pri strojih z linearnimi osmi se za krmiljenje laserskega žarka večinoma uporablja krmilna ročica (joystick). Lahko pa se optika seveda krmili tudi računalniško. Drugi primeri, kot so aktuatorji ipd., so izdelani namensko in se uporabljajo za enostavna varjenja. Včasih pa so oblike izdelkov tako kompleksne, da jih s stroji z linearnimi osmi ne moremo zavariti v eni potezi. Vara pač ne želimo prekinjati, saj je težko zagotoviti njegovo nadaljevanje, ne da bi se prekinitev varjenja poznala.

Zaradi kompleksnosti oblike hitro pomislimo na uporabo robota. Njegova pregovorna natančnost se zdi kot nalašč za precizno lasersko varjenje. Praksa pa pokaže, da tako enostavno vendarle ne gre. Izkušnje z uporabo robota pri laserskem varjenju v našem primeru (majhen robot) in pretekle izkušnje iz tujine (veliki roboti) kažejo, da so za lasersko varjenje primerni le specialni, namenski roboti. Resda



- A – programirana pozicija
- B – glavna poz. ob zagonu programa
- D – dejanska pot ob zagonu programa
- E – programirana pot
- AP – glavna razdalja od programirane pozicije
- RT – toleranca ponovljivosti poti
- AT – maksimalna deviacija med E in povprečno potjo
- RP – toleranca ponovljivosti poz. B

Slika 2 : Tolerančno polje gibanja robota [2]

Tabela 2 : Karakteristike robota [2]

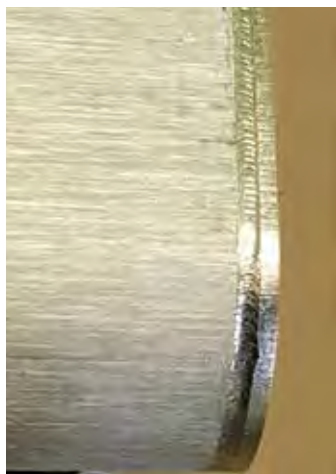
Opis	Vrednost
Ponovljivost [mm]	0,01
Natančnost [mm]	0,02
Ponovljivost linearne poti [mm]	0,07–0,16
Natančnost linearne poti [mm]	0,21–0,38

je natančnost robotov v točkah zelo dobra (v našem primeru 0,02 mm), toda težava je v natančnosti poti, ki pa je v našem primeru 0,38 mm. Laserski var ima običajno širino med 1 in 1,5 mm. Lahko je tudi ožji, a so potem potrebne še večje natančnosti pri pripravi pločevine. V primeru, da bi bil var širši, potrebujemo bistveno večjo moč laserskega žarka, s tem pa dobimo tudi večje deformacije in toplotno prizadetost površine. Kot najboljši način laserskega varjenja tankih pločevin se je izkazalo lasersko pulzno varjenje, saj se tako proces najlažje in najbolj natančno kontrolira. Pri laserskem kontinuirnem varjenju so deformacije večje in da se ne pozna obarvanost toplotno prizadetega območja, je potrebno ščititi, ne le taline vara, temveč tudi njegovo okolico (najbolje obojestransko).

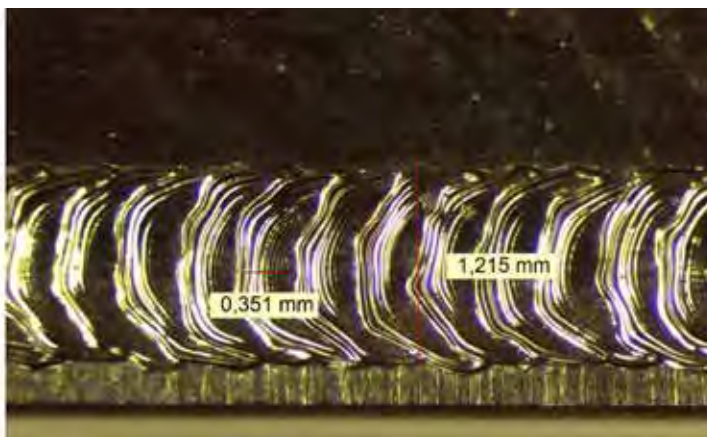
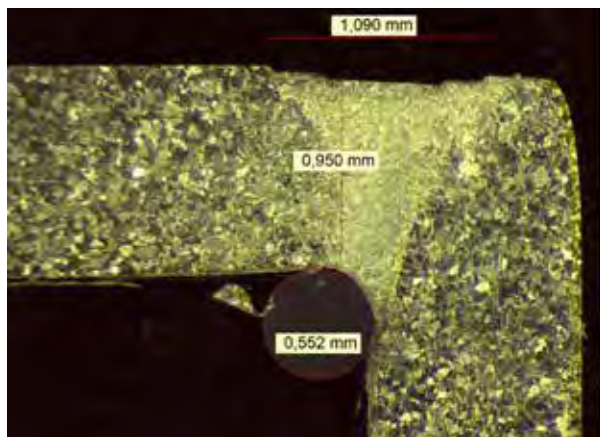
Ob upoštevanju napake robota in tega, da je širina laserskega vara od 1 do 1,5 milimetra, največja energija ter posledično najgloblji uvar pa ravno na sredini premera fokusa, pridemo do ugotovitve, da je linija spajanja lahko tik ob robu laserskega žarka. Takšen var pa vsekakor ne more biti kvaliteten, saj ne dosega zadostne prevaritve.

5 Tehnologija varjenja

Priprava zvarnega mesta je pri laserskem varjenju najpomembnejša. Zelo pomemben je natančen stik med pločevinama. Idealna priprava je takšna, ki zagotavlja stik pločevin brez rež in denivelacij pločevine. Tu pa že naletimo na prvo težavo, če so kosi štancani. Štanca eno stran pločevine »potlači« oziroma tlačno deformira, kar pomeni, da bo var na tem področju, zaradi manj materiala poglobljen. Če gre za estetski var, potem je za krojenje pločevine bolje uporabiti lasersko rezanje. Težavo pri laserskem varjenju lahko predstavljajo tudi nečistoče na zvarnem mestu, ki pod vplivom visoke energije laserskega žarka eksplodirajo. Eksplozija nečistoče povzroči brizg taline, posledica pa je lahko v obliki majhne luknjice ali neenakomernega vara. Nečisto-



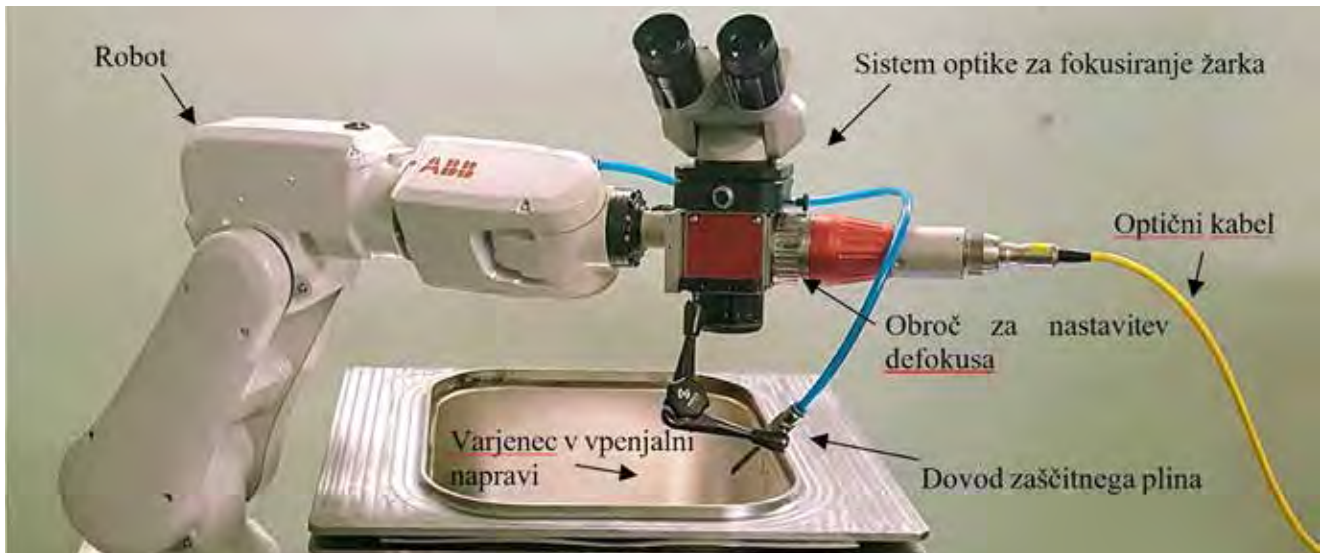
Slika 3 : Priprava zvarnega mesta in lasersko varjena pločevina



Slika 4 : Primer laserskega vogelnega zvara s popolno prevaritvijo – pulzni način. Desna slika 40-kratna povečava.



Slika 5 : Epruveta nateznega preizkusa sočelnega vara



Slika 6 : Sistem za lasersko robotsko varjenje

če so največkrat maščobe od predhodnih obdelav ali rokovanja delavcev brez rokavic ali pa oksidi kot posledica laserskega rezanja.

V večini primerov varjenja pločevine gre za lasersko varjenje brez dodajanja materiala.

Z laserskim varjenjem lahko izdelujemo različne oblike zvarnih spojev: sočelno varjenje, prekrovno varjenje, kotno varjenje ali vogelno varjenje.

Natezni preizkus sočelnega vara je potrdil kvaliteto laserskega varjenja, saj je do loma prišlo izven območja varjenja. Natezna trdnost pa je znašala 680 MPa.

Pri načrtovanju laserskega varjenja z robotom je potrebno upoštevati to, da je optični kabel, preko katerega je voden laserski žarek, speljan tako, da se ne more poškodovati. Manjši, kot je premer optičnega vlakna, manj je kabel občutljiv na upogibanje.

Na *sliki 6* je prikazan sistem za lasersko robotsko varjenje. Na robota je pritrjen sistem optike z eno kocko, ki fokusira laserski žarek in hkrati omogoča pogled na mesto varjenja. Okular se lahko po želji zamenja tudi s kamero. Pod okularjem je nameščena LCD-zaslonka, ki filtrira močno vidno svetlobo, ki se ustvarja med varjenjem. V tem delu je

tudi filter za lasersko svetlobo, ki je proti okularju ne prepušča. Z desne strani je na kocko pritrjen optični kabel za dovod laserskega žarka. Žarek v konusnem delu najprej ekspandira, nato gre skozi kolimacijsko lečo na poševno zrcalo, ta žarek usmeri na lečo, ki ga fokusira na določeni razdalji na površino varjenja. Kolimacijska leča je s pomočjo obroča nastavljiva in omogoča defokusiranje žarka. Tako lahko neposredno vplivamo na premer laserskega vara.

Lasersko varjenje je brezkontaktna obdelava, zato je potrebno poskrbeti le za natančno pozicioniranje varjenja. Seveda pa je potrebno poskrbeti tudi za dober stik med varjencema in ponovljivost pozicije varjenja pri serijskem varjenju. Ker je postopek računalniško krmiljen, je zelo prilagodljiv na različne korekcije izdelka ali menjavo oblike izdelka.

6 Zaključek

Težave z linearno natančnostjo poti robota se lahko rešijo z uporabo optičnega vida. Tudi natančnost zvarnega mesta se da dobro pripraviti, saj je veliko pločevin izdelanih ali s štanco ali laserskim rezanjem, pri čemer slednji ne deformira robu. Za videz in kvaliteto vara je pomembna predvsem priprava zvarnega mesta.

Lasersko varjenje je brezkontaktna obdelava, zaradi tega tudi ne prihaja do obrab in raznih poškodb, kot je to pri obločnih ali uporovnih varjenjih. V določenih primerih se lasersko varjenje uporablja iz estetskih razlogov in kot tako ne potrebuje nikakršne kasnejše obdelave, saj s primerno izbiro parametrov ne poškodujemo okolice vara. Če pa je mehanska obdelava po varjenju nujna, je ta minimalna. Če k naštetim prednostim dodamo še fleksibilnost postopka ob morebitnih spremembah oblike ali uvedbi novega proizvoda, vidimo, da je za zniževanje stroškov proizvodnje potrebno računati na lasersko varjenje.

Literatura

- [1] <http://lab.fs.uni-lj.si/kolt/>, ogled 9. 3. 2015.
- [2] <https://library.e.abb.com/public/1e22e4c2c6e647619b6d0bcd4a1a8fc/3HAC035960-en.pdf>, ogled 27. 5. 2018.
- [3] J. Tušek: Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2014.

Robot laser welding of stainless steel

Abstract:

This article represents robot laser welding of stainless steel with fiber laser. The advantages of modern fiber lasers, the preparation of the welding joint, the welding technology and the problems that arise with laser robotic welding are presented.

Keywords:

laser welding, robot welding, fiber laser, stainless steel

 **JAKŠA**
MAGNETNI VENTILI
od 1965

- vrhunska kakovost izdelkov in storitev
- zelo kratki dobavni roki
- strokovno svetovanje pri izbiri
- izdelava po posebnih zahtevah
- širok proizvodni program
- celoten program na internetu

www.jaksa.si



Jakša d.o.o., Šlandrova 8, 1231 Ljubljana
T (0)1 53 73 066, F (0)1 53 73 067, E info@jaksa.si