

SANACIJA TERMORAZPOK NA ORODJIH ZA TLAČNO LITJE Z LASERSKO TEHNOLOGIJO

Matej Pleterski¹, Janez Tušek¹, Tadej Muhič², Klemen Pompe²

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana

²TKC, d. o. o., Trnovska 8, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Varjenje in nekatere sorodne tehnike so zdaj edine poznane tehnologije, s katerimi lahko poškodovana orodja popravimo in ponovno usposobimo za delo. Med poznanimi varilnimi postopki lahko v praksi uporabimo nekaj obločnih postopkov, lasersko varjenje, pa tudi varjenje z elektronskim curkom. Od poznanih postopkov v največji meri uporabljamo varjenje TIG in v novejšem času lasersko reparaturno varjenje.

Repair of thermal cracks on tools for die casting using laser technology

ABSTRACT

Welding and some other similar techniques have so far been the only technologies suitable for repairing of damaged tools and for their consequential implementation for work. Among the well-known welding techniques, some of the arc techniques can be applied in production, as well as laser welding and electron beam welding. The most widely applied procedure is the TIG welding, and in the last years also laser repair welding.

1 UVOD

Svetovna oziroma globalna konkurenca v industriji končnih izdelkov zahteva, da proizvajalci znižujejo stroške na vseh ravneh, povečujejo kakovost in dvigujejo produktivnost. Sanacija poškodovanih in izrabljenih orodij je ukrep, s katerim lahko v veliki meri znižamo stroške v proizvodnji, povišamo produktivnost ter povečamo dobiček. Zato se v zadnjem času vedno bolj uporablja laserska tehnologija, ki daje prednost predvsem ozkemu lokalnemu delovanju toplotne energije, majhni toplotno vplivani coni okoli vara in zanemarljivim obrobni zajedam.

Za lasersko varjenje lahko zapišemo, da je sploh ena izmed prvih industrijskih aplikacij laserja. Ta alternativna tehnologija daje nove možnosti obdelave, dodelave in sanacije, kjer je varjenje z drugimi varilskimi metodami oteženo ali celo onemogočeno.

Orodja za tlačno litje so izdelana iz kakovostnih jekel ter nato še toplotno obdelana. Ena izmed najpomembnejših karakteristik orodja je trdota. Pri orodjih za tlačno litje barvnih kovin mora biti *HRC* okoli 45. Za povečanje trajnostne dobe jih lahko cementiramo ali nitriramo in jim s tem povečamo površinsko odpornost proti obrabi. Ne glede na vrsto materiala, toplotno obdelavo in vrsto oplemenitenja površine orodja se ta med uporabo obrabljajo, poškodujejo in na njihovi površini nastanejo razpoke, ki segajo v globino. Z nadaljnjo uporabo se te razpoke večajo in na ulitkih puščajo sledi, ki pa za mnoge uporabnike niso sprejemljive (slika 1).

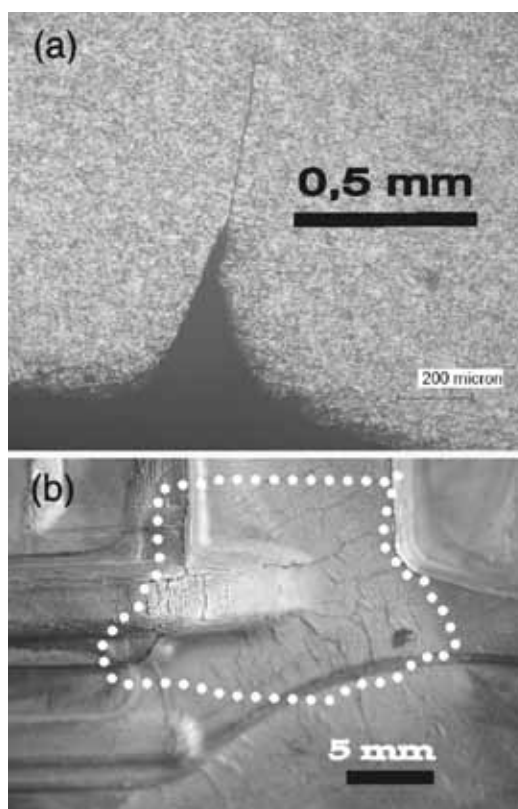
2 OPIS PROBLEMA

Orodja za tlačno litje barvnih kovin so med uporabo močno obremenjena z mehansko silo in s toplotno energijo. Zaradi teh obremenitev se orodja obrabljajo in razpokajo. Razpoke, ki jih imenujemo termomehanske, nastanejo na površini in se s časom širijo in poglobljajo v material orodja. Ko se razpoka poveča do te mere, da na ulitem izdelku vidimo napako oz. ta ogrozi njegovo funkcionalnost, moramo orodje sanirati.

Toplotne razpoke nastanejo zaradi temperaturnih šokov in velikih pritiskov taline na orodje. Med tlačnim litjem se dogodi, da je temperatura na površini kratek čas pod srednjo temperaturo orodja, tako da nastanejo natezne napetosti, ki privedejo do toplotnega utrujanja in do nastanka posameznih ali mrežasto razporejenih toplotnih razpok.

Na sliki 1a je prikazan del površine orodja, na katerem se je pojavila razpoka. Zaradi razpoke na orodju dobimo na površini ulitega izdelka hrapavo in ne popolnoma gladko površino, kar je razvidno s slike 1b.

Termične poškodbe so najbolj pogoste in najbolj delikatne poškodbe na orodju ter so v veliki večini vzrok drugih poškodb na vseh delih orodja. Pri procesu tlačnega



Slika 1: Prikaz toplotne razpoke na površini orodja (a) in njihov vpliv na površino ulitega izdelka (b)

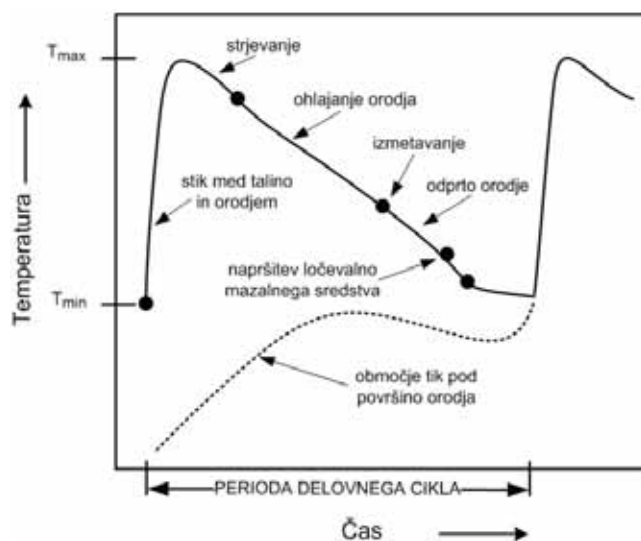
litja se pojavijo velika termična nihanja, t. i. termični šoki. Sprva priteče talina v ulivno votlino orodja s temperaturo od 650 °C do 720 °C, kar je za orodje prvi temperaturni šok. Po strjevanju se orodje odpre in temperatura začne padati; orodje doživi drugi temperaturni šok. Po odstranitvi odlitka se orodje ohladi na približno 350 °C, nato pa ga namažemo in ohladimo z mazalno emulzijo zaradi izmetavanja ulitka, pri čemer orodje doživi ponoven temperaturni šok; temperatura pade na približno (200 ±30) °C. Nato se cikel ponovi, orodje se zapre ter napolni s talino. Material orodja je tako izpostavljen velikim termičnim raztezanjem, ki so bolj izrazita, čim bolj je nehomogena struktura materiala in čim bolj je orodje razgibano.

Pogosto se dogodi, da se v razpokah na orodjih nahaja kovina, ki jo lijemo (aluminij ali magnezij), kar sanacijo orodja še otežuje. Z laserskim žarkom pa lahko razpoko izžlebimo in s tem iz razpoke odstranimo nečistoče in kovino, ki jo lijemo. Z žlebljenjem do neke mere odpravimo tudi napetostno stanje okoli razpoke in orodje pripravimo za lasersko varjenje z dodatnim materialom.

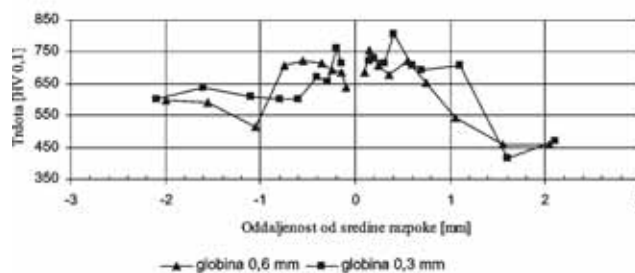
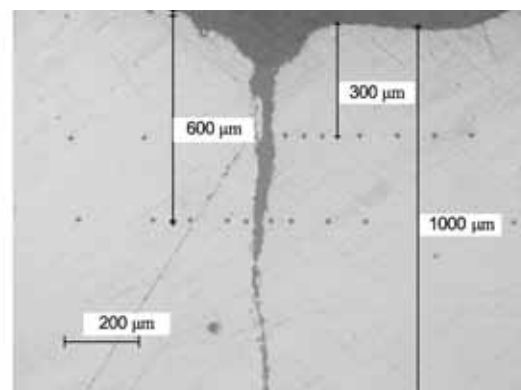
3 EKSPRIMENTALNI DEL

Rabljeno in razpokano orodje smo razrezali in iz nekaterih razpokanih delov izdelali makrobruse, da smo merili njihovo trdoto. Zanimalo nas je, kaj se dogodi z materialom orodja, ko je razpokano. Eno izmed pomembnih meril za oceno kakovosti materiala orodja je tudi trdota. Večina livarjev in orodjarjev, ki izdelujejo orodja za tlačno litje, se skoraj izključno pogovarjajo o trdoti, ki jo mora imeti orodje.

Z meritvami trdote smo ugotovili, da se le-ta okoli razpoke poveča. To je v splošnem poznano in teoretično tudi pojasnjeno. Večin raziskovalcev si povečanje trdote okoli razpoke razlaga z nakopičenjem dislokacij in s koncentracijo napetosti, ki nastanejo med uporabo orodja. Tretja razlaga za povišanje trdote pa temelji na difuziji legirnih elementov med ogrevanjem in ohlajanjem orodja. Predvsem krom, ki ima velik vpliv na trdoto, se s časom po orodju porazdeli neenakomerno in posledično je tudi trdota



Slika 2: Potek temperature na površini orodja in tik pod njo



Slika 3: Makrobrus razpoke na rabljenem orodju in označena mesta preko razpoke, kjer je bila merjena trdota

neenakomerno porazdeljena. Pri tem se moramo zavedati, da se s povišanjem trdote zniža žilavost.

Kot je razvidno z diagrama na sliki 3, dosegajo trdote HV ob razpoki tudi do 780 ($HRC = 62$). Področje, ki že vsebuje razpoko, je s tako visoko trdoto in posledično tudi povečano hrhkostjo še bolj občutljivo za toplotne šoke. Pri nadaljnjem obratovanju takega orodja se razpoka še hitreje širi, postaja vedno globlja in širša. Poleg tega vanjo čedalje bolj vdira liti material, prihaja do abrazije in adhezije. Tedaj v razpoki pogosto ostajajo odtrgani koščki odlitkov, tudi po izmetu iz orodja. Vse skupaj vodi do nesprejemljivih odlitkov, orodje pa pri nadaljnjem obratovanju v takem stanju počí po celotni globini. Tako poškodovana orodja se navadno sanirajo (če je sanacija sploh še stroškovno upravičena) po postopku TIG s predgrevanjem, zajede pa se nato popravijo z laserjem. Pri takšni sanaciji je potrebno veliko mehanske in toplotne obdelave.

Pri pripravi orodja za varjenje moramo razpoko izžlebiti. Najkvalitetnejše bi vsekakor bilo rezkanje utrjenega območja ob razpoki. Tako pripravljen žleb bi nato samo pretalili pri navadnih varilnih parametrih in ga pri teh parametrih tudi zavarili. Material se pri tem ne bi utrdil in trdota zvara bi bila enaka trdoti osnovnega materiala. V praksi se razpoke rezka zelo redko, še to navadno le predele razpok, kjer je odneseno veliko materiala in v notranjosti ostajajo kosi litine. Ročno rezkanje pa je prezahtevno (nevarnost poškodbe gravure), časovno potratno in pušča relativno velik žleb, ki pa ga je nato treba zapolniti.

Pri sanaciji bi poleg rezkanja omenili še varjenje razpok z različnimi materiali. Z dodajanjem mehkega materiala v koren zvara (notranjost žleba) bi ugodno vplivali na trdoto, saj kljub utrjevanju oz. zakalitvi zvar ne bi dosegel previsoke trdote. Poleg tega bi po dodajanju močno znižali visoko trdoto ob zvarnem žlebu, zvar pa bi pridobil tudi na žilavosti, kar bi zaviralo širjenje razpoke. Temenski zvar bi

opravili z materialom, primernim osnovnemu, kar bi verjetno občutno izboljšalo učinkovitost sanacije ter s tem povečalo cikle med reparaturami.

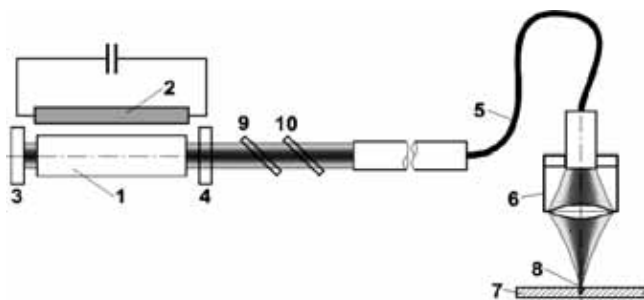
4 ŽLEBLJENJE IN VARJENJE RAZPOK

4.1 Žlebljenje razpok

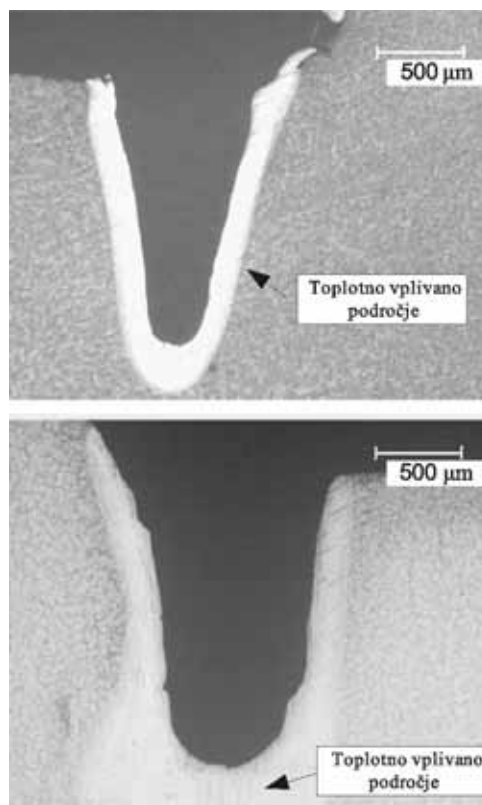
Če želimo razpoko izžlebiti z laserskim žarkom, moramo izbrati parametre z visoko gostoto energije v fokusu laserskega žarka. Material, tj. jeklo, je treba upariti in ga odstraniti iz razpoke. Na sliki 4 je shematsko prikazana laserska naprava, ki se zdaj največ uporablja za sanacijo razpok na orodjih za tlačno litje barvnih kovin. To je pulzni Nd-YAG laser, ki omogoča varjenje in žlebljenje razpok v različnih legah in na zapletenih površinah orodja, ker laserski žarek lahko vodimo po optičnem vlaknu, kar pomeni poljubno po prostoru.

Za žlebljenje je potrebna gostota energije nad 10^{10} W/m². To dosežemo z nastavitvijo visoke moči na laserskem izviru in izbiri leče s kratko goriščno razdaljo (posledično je manjši premer fokusirane točke na obdelovancu). Na začetku se nastavi fokus žarka na površino, lahko pa tudi malo pod njo (0,5 mm) in se ga med žlebljenjem še spušča. Ugodno je, da je porazdelitev energije v žarku Gaussova s čim manjšim raztrosom okoli sredine žarka. Za žlebljenje je takšna porazdelitev energije prednost, za varjenje z dodajno okroglo žico pa ni najprimernejša.

Na sliki 5 sta prikazana dva makroobrusa z izžlebljenima razpokama, ki sta nastali na njegovi površini med uporabo orodja za tlačno litje barvnih kovin. Z laserskim žarkom smo uparili del osnovnega materiala okoli razpoke, vse nečistoče in material, ki se je nahajal v razpokah. Tako izdelamo zvarni žleb za varjenje. Poleg tega se s toplotno lasersko energijo, ki učinkuje na material okoli razpoke, nekoliko odpravi zaostale napetosti, kar ugodno vpliva na napetostno stanje v orodju. Slabost pa je v tem, da se področje okoli izžlebljene razpoke, kar je razvidno s slike 5, med žlebljenjem raztali in nato zelo hitro ohladi ter strdi, kar močno poveča trdoto. To področje se med varjenjem ponovni raztali in delno razmeša z dodajnim materialom. Po varjenju se "relativno" počasi ohlaja, kar pomeni, da ne dobimo martenzitne strukture.



Slika 4: Shematski prikaz naprave za lasersko varjenje: 1 – aktivni medij (Nd:YAG-kristal) za ustvarjanje laserskega žarka, 2 – bliskovna luč, 3 – neprepustno zrcalo, 4 – polprepustno zrcalo, 5 – optični kabel, 6 – fokusirni optični sistem, 7 – varjenec, 8 – fokus laserskega žarka, 9 – sistem za časovno delitev žarka, 10 – sistem za energijsko delitev žarka

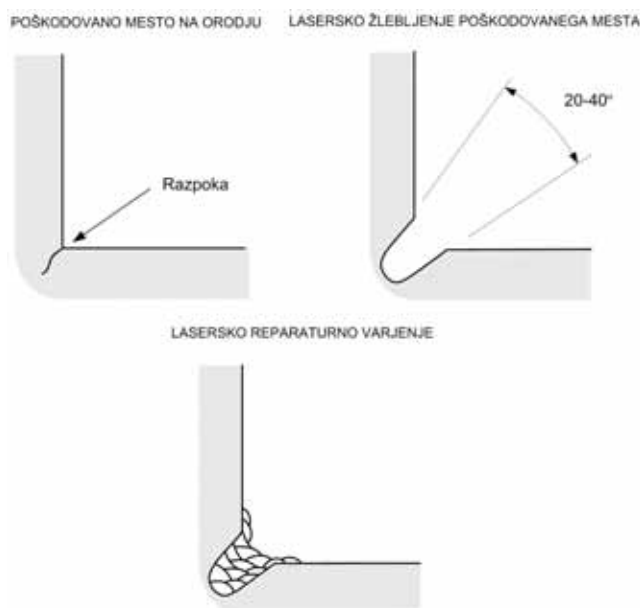


Slika 5: Prikaz dveh makroobrusov izžlebljenih razpok na površini rabljenega orodja, na katerih je tudi vidno toplotno vplivano področje (TVP)

4.2 Izbira dodatnega materiala

Kemična sestava zvara je odločilnega pomena za njegove mehanske lastnosti in s tem tudi vpliva na trajnostno dobo reparaturno varjenega orodja. Na kemično sestavo vara pa vpliva sestava dodatnega materiala, sestava osnovnega materiala in temperatura segretja osnovnega in dodatnega materiala med varjenjem oziroma varilni parametri. Dodatni material se mora optimalno mešati z raztaljenim osnovnim materialom. O optimalnem razmešanju govorimo, kadar je to minimalno in zadosti visoko, da ne nastane luščenje vara iz osnovnega materiala. Poleg mehanskih lastnosti mora dodatni material zagotoviti visoko čistočo vara in ne sme povzročati poroznosti in lunkejev ali drugih napak v varu. Orodna jekla so s svojo visoko trdoto še posebno občutljiva za lome v bližini nečistoč in por. Var mora imeti tudi primerne lastnosti za nadaljnjo mehansko obdelavo. Tu moramo dodati še to, da je obdelava laserskih varov na orodjih mnogo bolj preprosta kot obdelava varov, izdelanih s postopkom TIG.

Pri varjenju TIG v splošnem velja, da naj bi bila kemična sestava dodatnega materiala podobna osnovnemu. Pri laserskem reparaturnem varjenju pa ni tako. V primeru dodajanja materiala, enakega osnovnemu, dosežemo občutno višjo trdoto vara, kot jo ima osnovni material (pribl. HV 50–100). To je posledica zapletenih metalurških procesov, ki se odvijajo v majhnem volumnu taline in izredno kratkem času (pribl. 6 ms) segrevanja in pri hitrem ohlajanju. Zaradi majhne količine taline in velikega



Slika 6: Shematični prikaz laserskega reparaturnega varjenja in žlebljenja

gradienta temperature pride tako do prekomerne zakalitve raztaljenega materiala. Da bi se temu problemu izognili, uporabljamo pri laserskem reparaturnem varjenju dodatne materiale, ki imajo znižano vrednost ogljika in zvišano vrednost kroma ter molibdena glede na osnovni material.

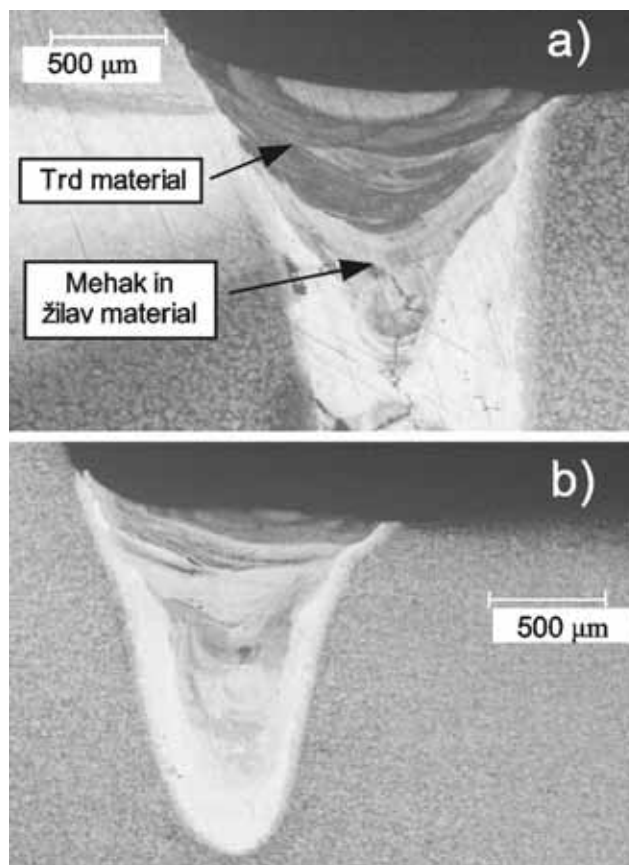
4.3 Varjenje izžlebljenih razpok

Izžlebljene razpoke nato zavarimo. Parametre laserskega žarka določimo na laserski napravi. Prilagojeni morajo biti velikosti izžlebljenega utora in premeru žice, ki jo uporabimo. Najpomembnejša parametra sta moč in čas trajanja laserskega bliska. Premer žarka v žarišču pa določimo na laserskem optičnem sistemu (slika 4).

V splošnem razpoke varimo z dodatnim materialom ene kemične sestave, včasih pa za varjenje razpok uporabimo dva različna materiala (slika 7). Za koren vara (tj. za varke v spodnjem delu izžlebljene razpoke) uporabimo mehak in žilav material, da preprečimo nastajanje novih razpok in širjenje starih, ki so morda še ostale v notranjosti orodja. Vrhnje (temenske) varke pa varimo s tršim materialom, da po varjenju dobimo na površini saniranega orodja ustrezno trdoto.

5 SKLEPI

Sklepamo lahko, da je laserski žarek zelo primerno sredstvo za sanacijo razpokanih orodij in da z njim lahko izvajamo zelo ustrezno tehnologijo. Z ustreznimi parametri laserskega žarka je mogoče razpoko izžlebiti ter tako



Slika 7: Makroobrus zavarjene razpoke z različnimi dodatnimi materialoma (a) in razpoke, zavarjene z enim dodatnim materialom (b)

odstraniti utrujeno območje materiala. Tak žleb se nato zavari, kvaliteta zvara pa je v veliki meri odvisna tudi od izbire dodatnega materiala. Razvoj reparaturnega laserskega varjenja je bistveno pripomogel k zmanjšanju stroškov vzdrževanja orodij in podaljševanju njihove trajnostne dobe, prav tako pa se je zmanjšal tudi izpad proizvodnje zaradi poškodovanih orodij v livarnah, pri preoblikovanju materialov in v industriji umetnih snovi.

6 LITERATURA

- ¹Dawes C.: *Laser welding*; Abington Publishing, Abington, 1992
- ²Vollrath K., Der Praktiker 55(9) (2003), 276–281
- ³Matsunawa A., El-Batahgy A., Zaghoul B.: *Laser beam welding of lap joints of dissimilar materials*; Transactions of J W R I, 27, (1998) 2, str. 13–19
- ⁴Brockmann R. Honekamp M., Dickmann K., Meier S., Letsch H., Matthes K.-J., Schweißen & Schneiden, 53(9) (2001), 596–603
- ⁵Duley W. W.: *Laser welding*; John Wiley & Sons, Inc., NY, 1999
- ⁶Thompson S.: *Handbook of mould, tool and die repair welding*; Abington Publishing, Cambridge, 1999