

Pregled uporabe laserskih tehnologij v avtomobilski industriji

Damjan KLOBČAR, Janez TUŠEK

Izvleček: Prispevek predstavlja pregled uporabe laserskih tehnologij v avtomobilski proizvodnji. Opisuje uporabo laserskega varjenja v primerjavi z uporovnim varjenjem ter njune prednosti in slabosti pri izdelavi avtomobilske karoserije. Predstavlja tudi uporabo laserskega rezanja pri izdelavi notranjih in zunanjih delov vozila pri proizvodnji vozil manjših serij. Predstavljeni so primeri pravilnega uvajanja laserskih tehnologij v proizvodni proces in oblikovanja izdelkov za lasersko varjenje.

Ključne besede: lasersko varjenje, lasersko varjenje s parnico, lasersko hibridno varjenje, lasersko transparentno varjenje, lasersko rezanje, uporovno točkovno varjenje

1 Uvod

V zadnjem času postajajo laserski sistemi cenejši in s tem bolj dostopni za množično proizvodnjo. Zato se že kmalu pojavi vprašanje smotrnosti takšne uvedbe, kakšne so tehnološke in ekonomske prednosti in ali jih bomo lahko uspešno izkoristili tudi v našem primeru. Namen tega prispevka je podati prednosti in opisati omejitve, ki jih je potrebno upoštevati pri oblikovanju in izdelavi izdelka v proizvodnih pogojih.

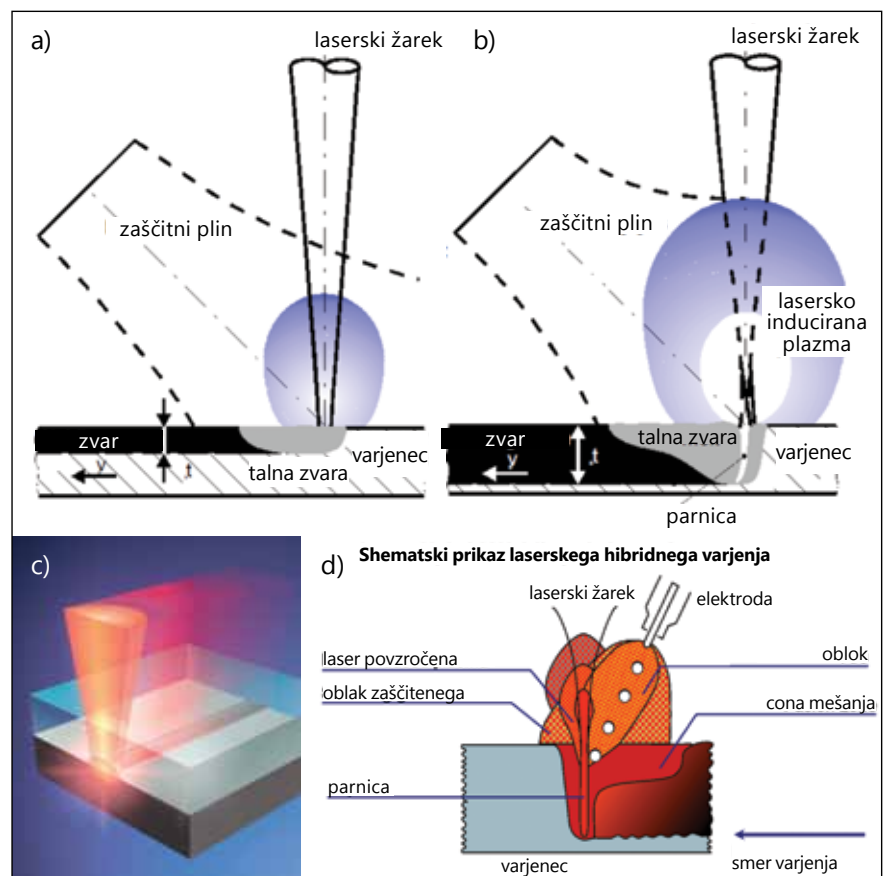
Laser se v proizvodnih pogojih lahko uporablja za rezanje, varjenje, vrtanje, spajkanje, toplotno obdelavo, površinsko obdelavo, označevanje in nabrizgavanje. Prednost laserskega žarka je njegova univerzalnost, saj lahko z manjšimi spremembami isti žarek uporabimo za različne tehnološke operacije na isti napravi.

Lasersko lahko varimo prevodno ali konduktivno brez izparevanja materiala ali s parnico (ang. key-hole) (slika 1a, b), polimere pa tudi

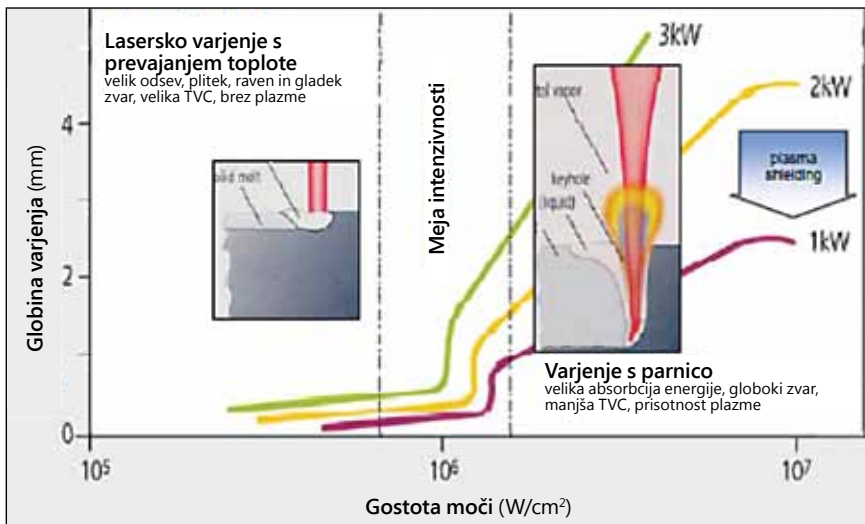
Doc. dr. Damjan Klobčar, univ. dipl. inž., prof. dr. Janez Tušek, univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, fakulteta za strojništvo

s prenosom laserskega žarka preko transparentnega polimera (slika 1c). V praksi se uporablja tudi hibridno lasersko varjenje, pri katerem običajno kombiniramo varjenje MIG z laserskim varjenjem (slika 1d). Pri prevodnem laserskem varjenju do-

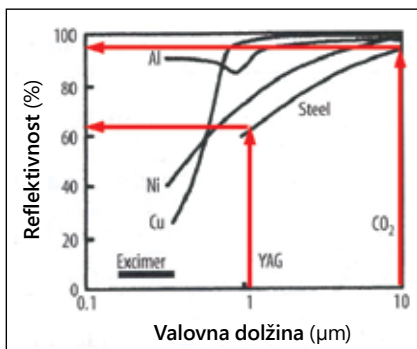
sežemo manjšo globino laserskega žarka, širši var in večjo toplotno vplivano območje (TVP). Videz zvara je lep in gladek. Ta način varjenja se uporablja za varjenje tanjših varjenec, kot so folije, žice, tankostenke cevi itd. Pri varjenju s parnico



Slika 1. Lasersko varjenje a) s prevajanjem toplote, b) s parnico, c) s prenosom žarka preko transparentnega polimera in d) hibridno varjenje [1]



Slika 2. Vpliv gostote moči laserskega žarka na globino uvara [1]



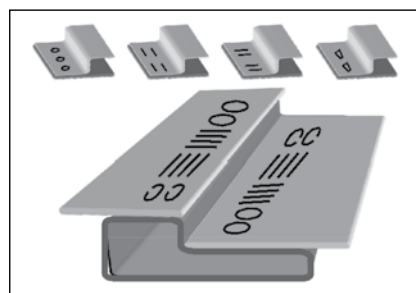
Slika 3. Vpliv valovne dolžine svetlobe na absorpcijo energije laserskega žarka [1]

se doseže večje globine vara, zvari so ožji, TVP pa je manjše. Varjenje s parnico je primerno za lasersko varjenje debelejših materialov, varjenje tankih materialov s parnico pa je izjemno zahtevno. Da dosežemo varjenje s parnico, potrebujemo laserje večjih moči oz. gostoto moči laserskega žarka nad 10^6 W/cm² (slika 2). Na izkoristek energije laserskega žarka vpliva tudi absorpcija laserske svetlobe v materialu, ki je odvisna od valovne dolžine laserskega žarka (slika 3).

■ Prednosti laserskega varjenja

Med prednosti štejemo minimalen vnos toplote, ki povzroča manj zvijanja in deformacij na izdelku, majhno toplotno vplivano območje in ozek var. Izdelani spoji lahko dosežejo višjo trdnost (možnost oblikovanja zvara – slika 4), izboljšano

togost konstrukcije (slika 7) ob sočasni manjši teži izdelka (slike 3–6). Z laserskim žarkom lahko varimo na težko dostopnih mestih, ki jih z ostalimi varilnimi postopki ne bi mogli doseči (ozka špranja, dostopnost samo z ene strani). Lasersko varjenje je varjenje visoke kakovosti, omogoča enakomerno penetracijo in videz zvara, ponovljivost, mogoče ga je avtomatizirati in ga integrirati v obstoječo opremo in v proizvodni proces. Lasersko varjenje je prilagodljivo, saj lahko z laserskim žarkom enostavno manipuliramo, ga delimo, varimo različne materiale in izdelke na različnih mestih v proizvodnji. Varjenje je zaradi visoke gostote energije laserskega žarka in naprednega ter hitrega vodenja običajno hitrejšo kot klasično obločno ali uporovno varjenje. Lasersko varjenje je lahko cenovno konkurenčno, če uspemo izkoristiti njegove prednosti, ki zajemajo visoko produktivnost, krajše čase ciklov (potrebno manjše število proizvodnih celic), zmanjšanje števila slabih izdelkov in popravil,



Slika 4. Oblikovanje zvara glede na obremenitev [1]

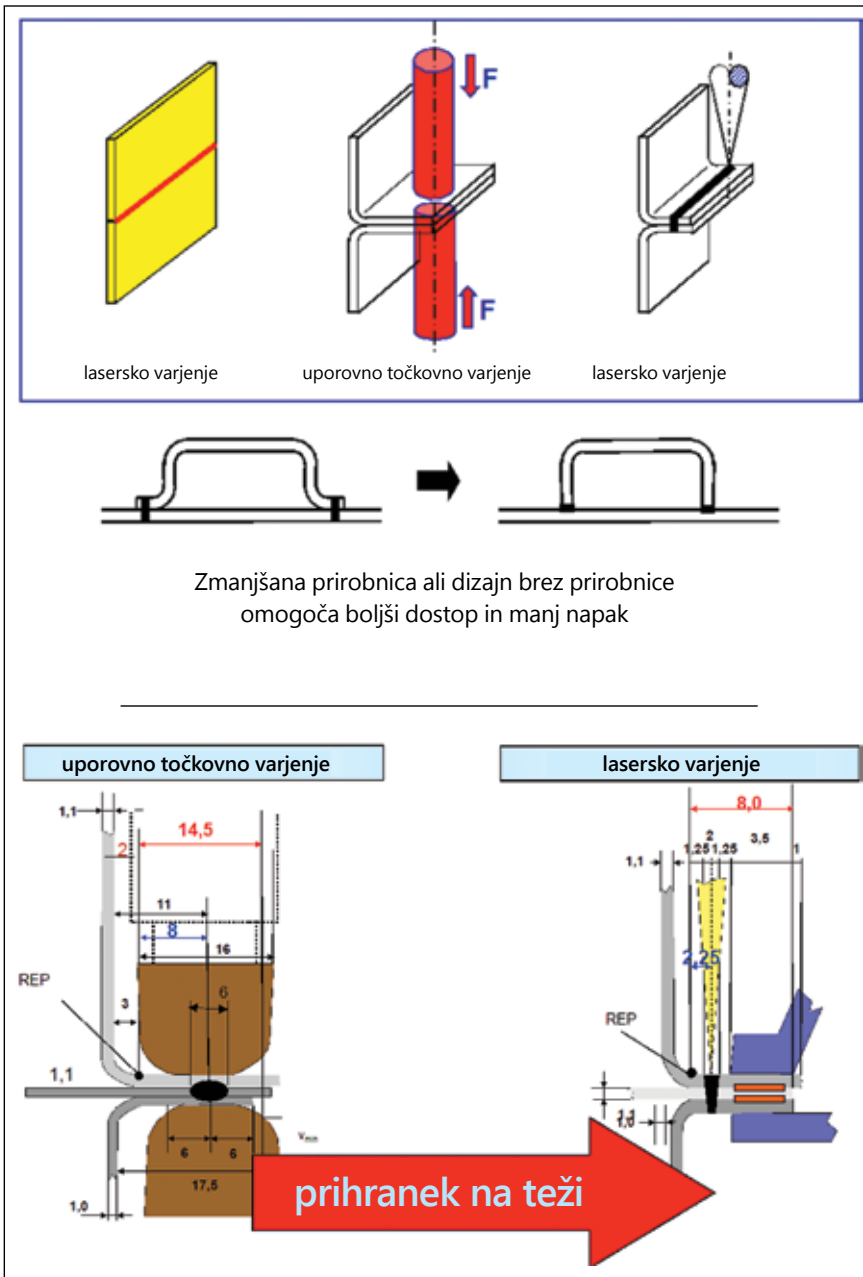
zmanjšanje količine ročnega dela, zmanjšanje potrebnega materiala in teže, ter če lahko z zamenjavo tehnologije eliminiramo kako tehnološko operacijo.

■ Prednost laserskega varjenja pred uporovnim varjenjem

Lasersko varjenje ima glede na uporovno točkovno varjenje kar nekaj prednosti. Prva je zmanjšanje velikosti prirobnic (slika 5). Manjše prirobnice, vgrajene v avtomobilsko karoserijo, imajo manjšo velikost in težo, za izdelavo se porabi manj materiala, kar znižuje stroške izdelave. Dodatni prednosti sta povečanje vidljivosti iz avtomobila in lažje dostopanje v vozilo (slika 5). Naslednji prednosti sta večja trdnost in togost komponent in izdelkov, ki ju dosežemo z lokalnim povečanjem trdnosti in togosti komponent, optimiranjem oblike in postavitve varov glede na obremenitve (slika 6a) ter eliminacijo odprtih za dostop elektrod (slika 6b). Z zaprtim nosilcem lahko namreč zmanjšamo debelino sten nosilca in s tem težo komponente. Ker se z uporabo laserskega varjenja hitrost spajanja običajno poveča, so lahko časi ciklov bistveno krajši, za varjenje se zato potrebuje manj varilnih mest in opreme, manjše pa so tudi prostorske potrebe (tabela 1 in slika 8). Pri uporabi laserskega varjenja ni potrebnega toliko prostora za dostop do mesta spajanja, mogoče je tudi varjenje na oddaljenih, težko dostopnih in utesnjenih mestih. S stališča vzdrževanja odpadejo vse dela, povezana s popravili obrabljenih in deformiranih elektrod za uporovno varjenje in njihove menjave, za kar potrebujemo tudi manj zaposlenih.

■ Izzivi laserskega varjenja glede na konvencionalno varjenje

Laserski sistemi so kljub padcem cen laserjev in razvoju novih vrst laserjev, ki imajo večji izkoristek energije, še vedno zelo dragi glede na klasične



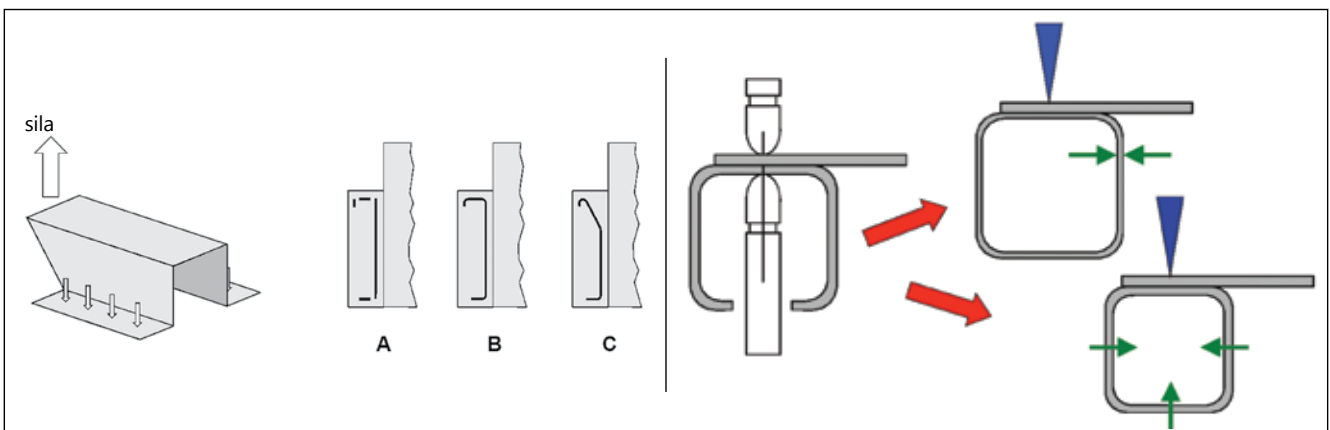
Slika 5. Optimiranje oblike spoja glede na uporabljeno tehnologijo za zmanjšanje teže (zgoraj) ter zmanjšanje velikosti prirobnice pri uporabi laserskega varjenja, ki poveča vidljivost iz vozila in dostopnost v vozilo (spodaj) [1].

varilne postopke. Za uspešno varjenje je potrebno pripraviti varjence v ozkih dimenzijskih tolerancah, z ustrezno pripravljenimi zvarnimi robovi (raven rez brez zaokrožitev in koničnih stranic pri sočelnem zvarnem spoju), ob uporabi ustreznih orodij in vpenjal. Poleg tega je potrebno zagotoviti natančno vodenje laserskega žarka, zlasti v primeru varjenja sočelnih zvarnih spojev. Na splošno velja, da je pri varjenju sočelnih zvarnih spojev potrebno izredno natančno pripraviti varjence, da eliminiramo vse špranje, saj se lahko pri reži, večji od debeline laserskega žarka, proces varjenja ustavi. Zato je bolj priporočljivo varjenje v prekrvnem zvarnem spoju.

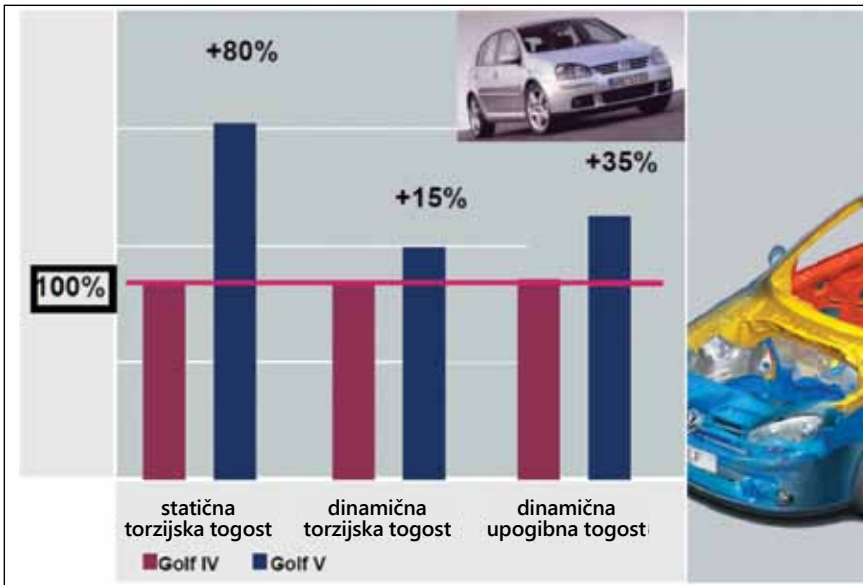
Izziv za lasersko varjenje je tudi varjenje pocinkane pločevine v prekrvnem zvarnem spoju. Pri postavitvi laserskega sistema v prostor je potrebno upoštevati sevanje laserskega žarka. Zato je potrebno laserski sistem izolirati od preostalega dela proizvodnje z ustreznimi zaščitnimi kabinami. Osebe v podjetju se mora dodatno izobraziti glede varstva pri delu pri uporabi laserja v proizvodnji. Dodatno izobrazbo za potrebe vzdrževanja opreme potrebuje tudi vzdrževalno osebje.

Primer iz avtomobilske industrije

Slika 7 prikazuje izjemno povečanje statične in dinamične torzijske togosti ter dinamične upogibne togosti z uporabo laserske tehnolo-



Slika 6. Oblikovanje zvara glede na obremenitev (levo) in povečanje togosti komponente z odstranitvijo odprtine in zmanjšanjem debeline in/ali velikosti nosilca, s čimer se zmanjša teža komponente (desno) [1].



Slika 7. Primerjava povečanja statične in dinamične torzijske togosti ter dinamične upogibne togosti z uporabo laserske tehnologije pri modelu Golf IV in Golf V [1]

logije pri modelu Golf V glede na prejšnjo generacijo Golf IV. To je bilo doseženo z delno zamenjavo tehnologije uporavnega točkovnega varjenja z laserskim varjenjem. Ostale prednosti, ki so bile dosežene pri modelu Golf V, so bile večja hitrost spajanja, povečana produktivnost, kratki časi ciklov (30 sekund), zmanjšanje težav z zvijanjem zaradi manjšega vnosa toplote, ožje prirobnice oz. spoji brez uporabe prirobnic, visoka fleksibilnost spajanja s prenosom energije laserskega žarka po kablilih do različnih celic in zmanjšanje velikosti proizvodnega prostora.

Pri novem modelu se je proizvodni prostor pri izdelavi stranic vozila zmanjšal za 50 %, pri izdelavi podvozja pa za 33 % (tabela 1). Prejšnji model Golfa je bil spojen s 4608 zvarnimi točkami in 1,4 metri zvara, model V pa s 1400 točkami ter 70 metri laserskega zvara.

Primer Passat

Naslednji primer je lasersko skenirno varjenje pokrova prtljažnika VW Passata (slika 8). Pri izdelavi pokrova s točkovnim uporavnim varjenjem so izdelali 34 zvarnih točk, pri tem so kodo izdelka zapisovali mehansko. Varilna celica je vsebovala štiri robote in pet varilnih klešč. Čas spajanja je znašal 34,7 sekund. Pri zamenjavi tehnologije z laserskim skenirnim varjenjem so izdelali 34 laserskih C-spojev in z laserjem izpisali kodo izdelka. Za celoten proces so potrebovali enega robota in eno skenirno optiko. Čas varjenja pri uporabi 4-kilovatnega laserja je znašal 13 sekund, pri uporabi 6-kilovatnega laserja pa pod 10 sekund.

V tem času (2004, Trumpf, [3]) so pri Volkswagenu laserje uporabljali za varjenje, spajkanje in rezanje. Na lokaciji v Wolfsburgu so instalirali 150 4-kilovatnih laserjev Nd:YAG (skupaj

250), en 1-kilovatni laser Nd:YAG (skupaj 3), 250 laserskih varilnih glav (skupaj 420) ter tri laserske glave za rezanje (skupno 9). Pri tem je bila za potrebe delovanja laserjev potrebnih 24 MW električne energije (skupno 40 MW) ter za hlajenje laserskih sistemov 23 MW (skupno 38 MW), kar veliko pove o izkoristku laserskih virov. Na tej lokaciji so s pomočjo teh laserjev dnevno izdelali 2000 vozil (skupno preko 3000) in 140 km laserskih spojev (skupno preko 210 km) [3].

Primeri varjenja in rezanja iz industrije

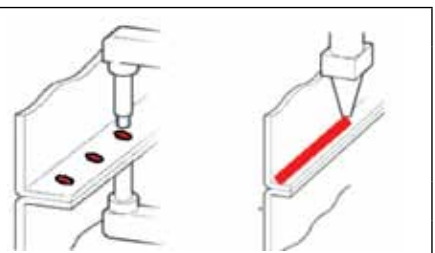
V industriji se v zadnjem času uporabljajo vlakenski laserji moči od 4 kW do 20 kW. Ti omogočajo visoko stopnjo fleksibilnosti ter posledično veliko kreativnosti pri oblikovanju izdelkov. V industrijskih pogojih se razni senzorji vgrajujejo v plastična ohišja. Tak primer je elektronika pri izdelavi žarometov. Včasih inženirji v fazi izdelave prototipov ugotovijo, da na primer ultrazvočno spajanje takih komponent vnaša v izdelek preveč vibracij, ki lahko poškodujejo elektronske komponente. V takih primerih je zelo dobra izbira lasersko spajanje.

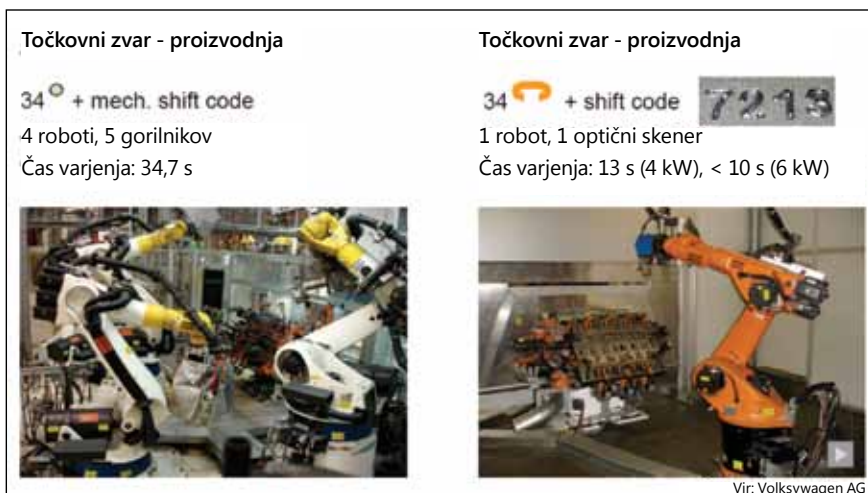
Detajli oblikovanja spoja

Pri vpeljavi laserskih tehnologij v proizvodni proces je pogosto potrebno narediti spremembe v obliki izdelka pri spremembi tehnologije iz klasičnega spajanja. To je zlasti v primeru, ko so tolerance rege spojev prevelike za lasersko varjenje. Najtežje je takšne novosti vpeljati v podjetja, ki že dolgo poznajo in uporabljajo klasično obločno varje-

Tabela 1. Zmanjšanje proizvodnega prostora pri proizvodnji novega modela na račun zamenjave tehnologije spajanja [1]

	Golf IV	Golf V	Razlika
Velikost proizvodnega prostora pri izdelavi stranic [m ²]	2816	1472	-50 %
Velikost proizvodnega prostora pri izdelavi podvozja [m²]	480	320	-33 %
Št. zvarnih točk	4608	1400	
Dolžina laserskega vara [m]	1,4	70	





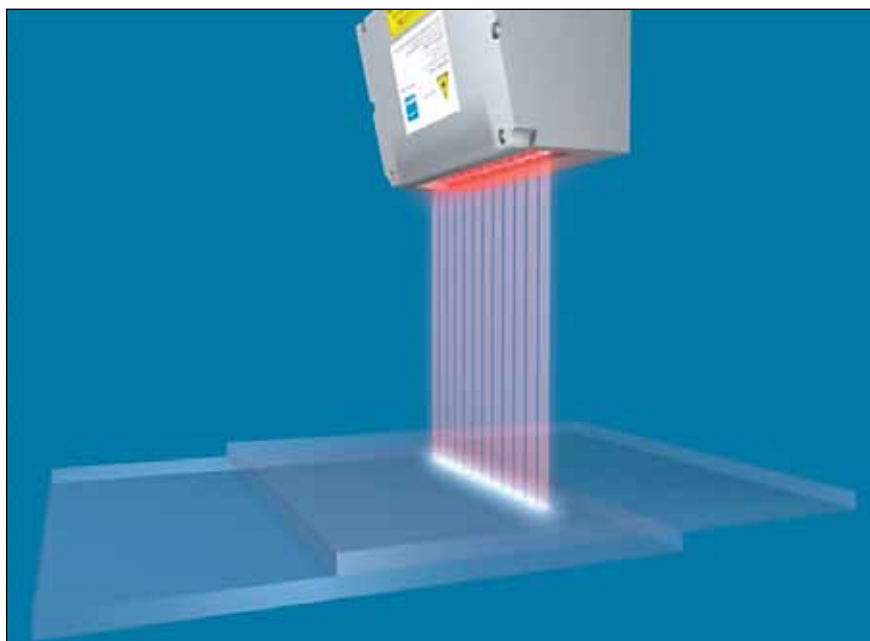
Slika 8. Lasersko skenirno varjenje pokrova prtljažnika VW Pasata [1]

nje, ki je bistveno manj občutljivo na slabše ujemanje spojev. V takih primerih je potrebno spremeniti obliko izdelka in s tem tudi spoja, da se zagotovi uspešno spajanje z laserjem.

V zadnjem času nekatere industrije težijo k zamenjavi kovinskih izdelkov s polimernimi. Tak primer sta letalska in avtomobilska industrija zaradi zmanjšanja teže izdelkov in tudi medicinska industrija, ki skuša z uporabo polimernih materialov pri izdelkih za enkratno uporabo preprečiti pojav infekcij. Zato je lasersko varjenje polimerov postalo popularno. Zlasti pri prenosu laserskega žarka skozi transparentni polimer je ključnega pomena izbira

materialov (slika 9). Zgornji polimer mora biti prevoden za laserski žarek, medtem ko mora spodnji dobro absorbirati energijo žarka. Za uspešno izvedbo spoja je potrebno varjenec stisniti s pritisno silo, da se pri raztalitvi spodnjega varjenca, ta sprime z zgornjim.

Pri oblikovanju izdelka za lasersko varjenje je priporočeno sodelovanje konstruktorjev izdelka s tehnologi za lasersko varjenje, saj lahko manjše oblikovne spremembe olajšajo izdelavo in učinkovitost v serijski proizvodnji. Tovrstno sodelovanje naj se prične v zgodnji fazi konstruiranja izdelka, saj so spremembe v tej fazi cenejše, kakor če se opravijo na že izdelanem orodju.



Slika 9. Lasersko varjenje polimerov skozi transparentni polimer [9]

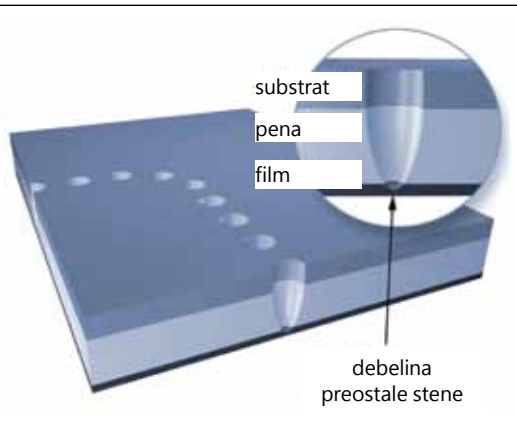
V zadnjem času se veliko dela s pikosekundnimi in femtosekundnimi pulznimi laserji. Njihova uporaba omogoča hladno varjenje brez večjega vnosa toplote.

Pri vpeljavi laserja v proizvodnjo je potrebno doseči določene prednosti pred klasičnim spajanjem. Sem spadajo majhna toplotno vplivana cona, spajanje brez brizganja in poškodb na površini izdelka, spajanje brez dimov, plinov in iskenja, trdnejši in bolj togi spoji in izdelki itd.

Lasersko rezanje

Tudi na področju rezanja se v zadnjem času opaža trend opuščanja tehnologije prebijanja z laserskim rezanjem, zlasti v avtomobilski industriji. Tehnologija prebijanja je izredno kakovosten proces za serije okoli 100.000 enakih izdelkov letno. Pri poplavi različnih modelov avtomobilov, ki dosegajo serije od 30.000 do 40.000 letno, pa postane posebno orodje predrago, zato se proizvajalci ozirajo po alternativnih rešitvah. Tipičen primer laserskega rezanja v avtomobilski industriji je izdelava perforacije za izdelavo oslabitev na delih armaturne plošče za zračne blazine (slika 10). Za integracijo zračne blazine v armaturno ploščo je bilo potrebno izdelek v celoti spremeniti. To je omogočilo številne prednosti pri izdelavi in sami funkciji zračne blazine. V preteklosti so zračne blazine izdelali s posebnim orodjem, nato jih je bilo potrebno vstaviti v armaturno ploščo. Za celoten proces je bilo potrebnih kar nekaj operacij, opreme in delavcev. Z uporabo laserske tehnologije in integracijo zračne blazine v armaturno ploščo so odpadle številne operacije, ki so prinesle velike prihranke pri izdelavi komponente.

Pri laserskem rezanju je potrebno upoštevati bistveno manj vplivnih faktorjev kot pri varjenju. Pri izbiri laserskega sistema za rezanje so pomembne velikost izdelka, debelina rezanja in hitrost rezanja. Tak laserski sistem mora biti dobro integriran v proizvodni proces. Tako lasersko rezanje kot manipulacija z



Slika 10. Lasersko perforiranje [9]

izdelkom morata biti enako zmogljiva, da je proces dobro integriran v proizvodnjo.

■ Ugotovitve

Sodobni laserski sistemi postajajo zelo konkurenčni »zrelim« tehnologijam spajanja, saj omogočajo natančno dovajanje energije in bistveno večje izkoristke kot predhodniki. Intenziven razvoj in raziskave na področju laserskih tehnologij so znižali cene laserskih sistemov, kriza pa je temu segmentu dala nov zagon. Ob uvajanju laserja v proizvodnjo je poleg tehnoloških vidikov potrebno upoštevati tudi varnost zaposlenih in njihovo izobraževanje. Sama uvedba laserja v proizvodnjo še ne zagotavlja uspeha, saj je podobno kot pri ostalih tehnologijah ključno celostno obravnavanje težave oz. izdelka.

Literatura

- [1] Dave Locke, David Havrilla, Design for Laser Welding Seminar, Trumpf, 2013
- [2] David Havrilla, Design Principles for Laser Welding, Uva 2014
- [3] Tim Morris, VW Golf V Laser Processing Concept and Production Implementation, www.autosteel.org. 2004
- [4] Jamie Vondruska, Golf 7 tech highlights, <http://www.vwvortex.com/features/technical-features/golf-7-technicalpreview/>
- [5] Rüdiger Brockmann, Laser Joining of Aluminium in the European Automotive Industry, TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH
- [6] Thomas Fittkau, Mariana Forrest, Laser beam welding – the alternative solution, Energy-Efficient Transportation Systems Conference, 13 May, 2014
- [7] Roger O'Brian, Richard Hewitt, Remote fibre laser welding benefits when applied to leading edge chassis structural and suspension products, LTS 2011 – WMG, 20th July, 2011
- [8] Wobbling the weight off cars, http://www.laser-community.com/technology/laser-remote-welding-wobbling_3448/
- [9] <http://www.iws.fraunhofer.de/>
- [10] Jorg Neukum Laser based polymer welding in medical device manufacturing, http://www.industrial-lasers.com/articles/2010/07/laser-based_polymer.html

An overview of use of laser technologies in the automotive industry

Abstract: The paper presents an overview of use of laser technologies in the automotive production. It describes the use of laser welding compared to resistance welding and their advantages and disadvantages in the production of car body in white. It also presents the use of laser cutting for production of parts for the car's interior and exterior in the smaller series production. It sets some examples on how laser technologies should be implemented in the production and how designing for laser welding should be done.

Keywords: laser welding, laser keyhole welding, laser hybrid welding, transparent laser welding, laser cutting, resistance spot welding

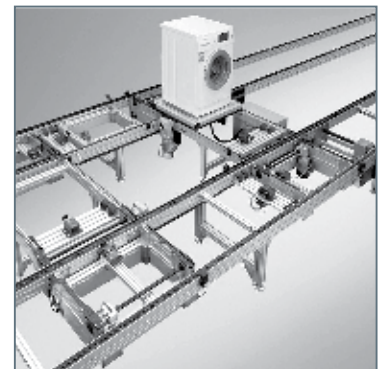
Rexroth

ORGATEX®

LEANPRODUCTS®



BOSCH



OPL

automation

OPL avtomatizacija, d.o.o.
Dobrave 2
SI-1236 Trzin, Slovenija

Tel. +386 (0) 1 560 22 40
Tel. +386 (0) 1 560 22 41
Mobil. +386 (0) 41 667 999
E-mail: opl.trzin@siol.net
www.opl.si