

## » Nedoumice prije uvođenja laserskih tehnologija u proizvodni proces

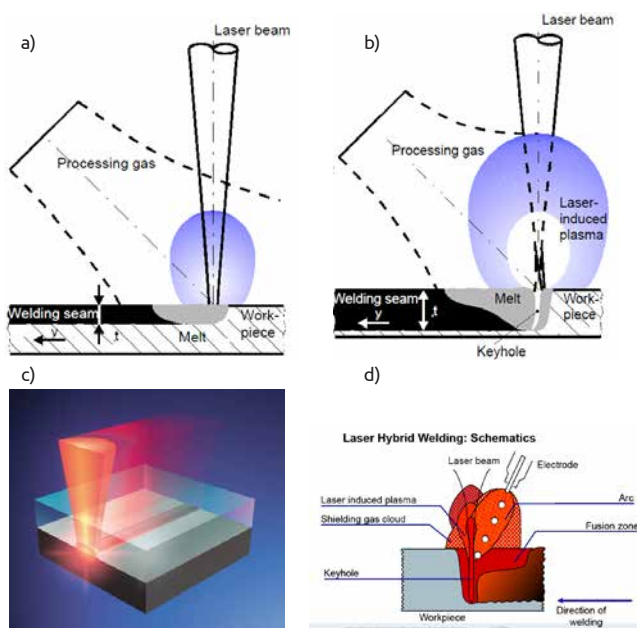
Damjan Klobčar

U posljednje vrijeme laserski sustavi postaju jeftiniji, a time i dostupniji za čitavu paletu proizvodnje. Stoga se ubrzo postavlja pitanje opravdanosti uvođenja laserskog sustava, koje su tehnološke ili ekonomske prednosti te hoćemo li ih moći uspješno iskoristiti i u svom slučaju.

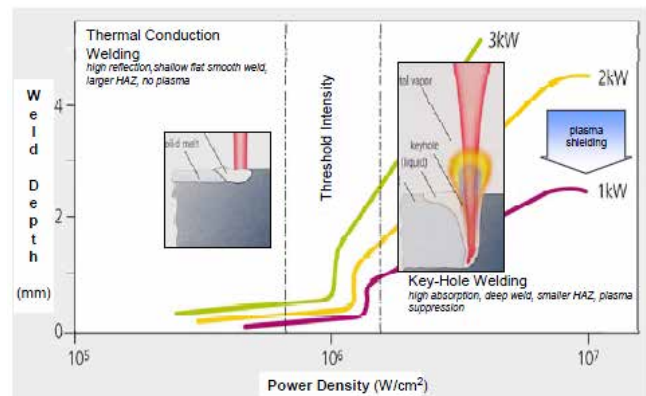
Cilj članka je dati prednosti i opisati ograničenja, koja valja imati na umu pri oblikovanju i izradi proizvoda u proizvodnim uvjetima.

Laser se u proizvodnim uvjetima može primjenjivati za rezanje, zavarivanje, bušenje, povezivanje, toplinsku i završnu obradu, za označavanje te nabrizgavanje. Prednost laserske zrake je njegoa univerzalnost, jer se uz manje promjene ista zraka može primijeniti za različite tehnološke operacije na istom uređaju.

Laserski možemo zavarivati provodno ili konduktivno bez isparivanja materijala, ili s isparavanjem u zazoru (Slika 1a, b), a polimere i prijenosom laserske zrake preko transparentnog polimera (Slika 1c). U praksi se primjenjuje i hibridno lasersko zavarivanje, gdje najčešće kombiniramo MIG zavarivanje s laserskim zavarivanjem (Slika 1d). Pri provodnom laserskom zavarivanju postižemo manju dubinu laserske zrake, širi zavar i veću zonu utjecaja topline (ZUT). Izgled zavara je estetski lijep i gladak. Takav način zavarivanja se primjenjuje za zavarivanje tanjih priprema, kao što su folije, žice, tankostijene cijevi itd. Pri zavarivanju s isparavanjem u zazoru,

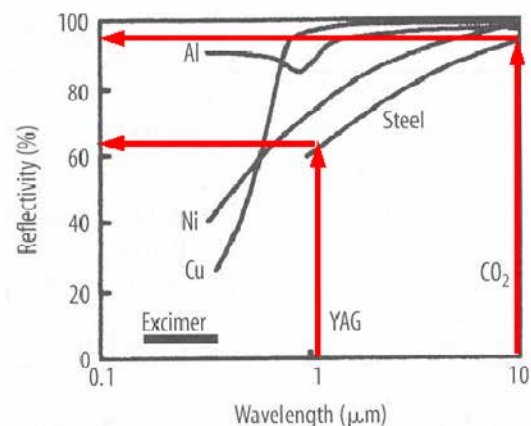


» Slika 1: Lasersko zavarivanje a) s provođenjem topline, b) s parnicom, c) s prijenosom zrake preko transparentnog polimera i d) hibridno zavarivanje [1]



» Slika 2: Utjecaj gustoće snage laserske zrake na dubinu zavara [1]

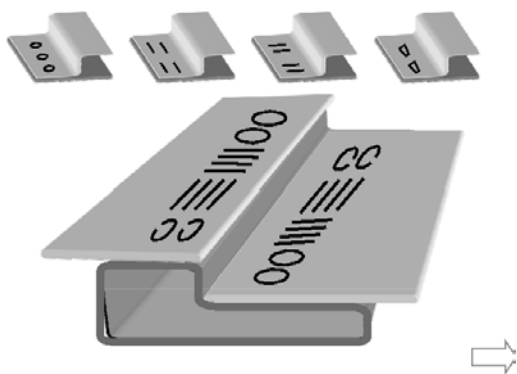
postižemo veće dubine zavara, zavari su užji, a ZUT je manja. Zavarivanje s isparavanjem u zazoru primjereno je za lasersko zavarivanje debljih materijala, dok je zavarivanje tankih materijala s isparavanjem u zazoru iznimno zahtjevno. Za postizanje zavarivanja s isparavanjem u zazoru, trebamo lasere većih snaga, odnosno gustoće snage laserske zrake više od 106 W/cm<sup>2</sup> (Slika 2). Na iskoristivost energije laserske zrake utječe i apsorpcija laserskog svjetla u materijalu, koja ovisi o valnoj duljini laserske zrake (Slika 3).



» Slika 3: Utjecaj valne duljine svjetlosti na apsorpciju energije laserske zrake [1]

### Prednosti laserskog zavarivanja

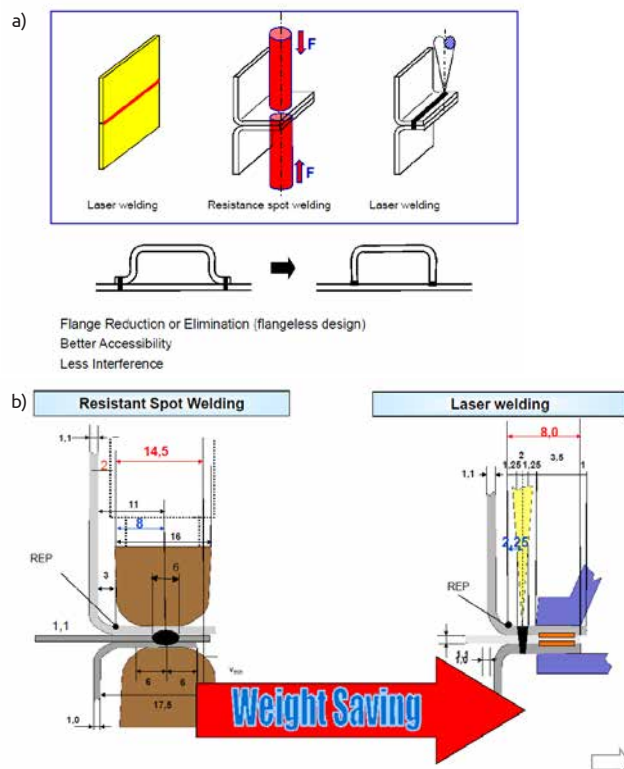
Među prednosti ubrajamo minimalni unos topline, koji uzrokuje manje savijanja i deformacija na proizvodu, manju zonu utjecaja topline i uski zavar. Načinjeni spojevi mogu postići veću čvrstoću (mogućnost oblikovanja zavara – Slika 4) te poboljšanju krutost konstrukcije (Slika 7), uz istodobnu manju masu proizvoda (slike od 3 do 6). S pomoću laserske zrake možemo zavarivati na teško dostupnim mjestima, koje s pomoću drugih postupak zavarivanja ne bismo mogli doseći (uski utori, dostupnost samo s jedne strane). Lasersko zavarivanje je zavarivanje visoke kvalitete, omogućuje ujednačenu penetraciju i izgled zavara, ponovljivost, moguće ga je automatizirati i integrirati u postojeću opremu i proizvodni proces. Lasersko zavarivanje je prilagodljivo, jer se laserskom zrakom može jednostavno upravljati, dijeliti je, zavarivati različite materijale i proizvode na različitim mjestima u proizvodnji. Zavarivanje radi visoke gustoće energije laserske zrake i naprednog te brzog upravljanja, najčešće je brže od klasičnog lučnog ili elektro-otpornog zavarivanja. Lasersko zavarivanje može biti i cjenovno konkurentno, ukoliko se uspiju iskoristiti njegove prednosti, koje obuhvaćaju visoku produktivnost, kratka vremena ciklusa (potreban je manji broj proizvodnih ćelija), smanjenje broja loših proizvoda i popravaka, smanjenje količine ručnog rada, smanjenje potrebnog materijala i mase proizvoda, te ukoliko s pomoću zamjene tehnologije zavarivanja isključimo neku drugu tehnološku operaciju.



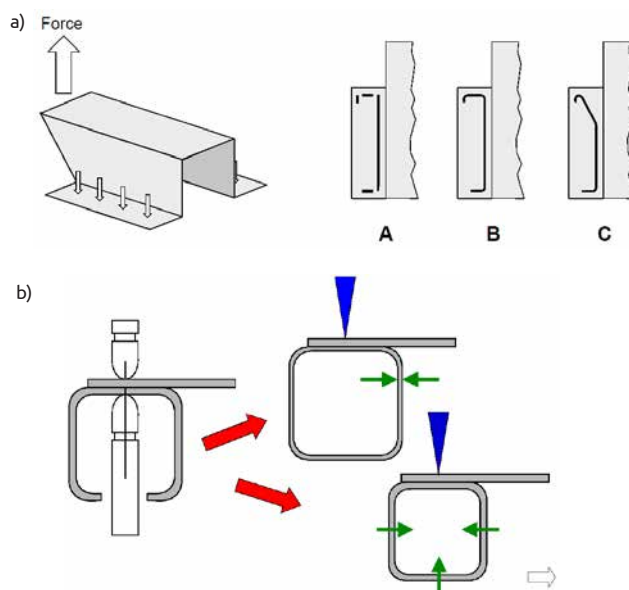
» Slika 4: Oblikovanje zavara obzirom na opterećenje [1]

### Prednost laserskog zavarivanja pred elektro-otpornim

Lasersko zavarivanje u odnosu na točkasto elektro-otporno zavarivanje ima nekoliko prednosti. Prva je smanjenje veličine prirubnica (Slika 5). Manje prirubnice, ugrađene u automobilsku karoseriju, imaju manju veličinu i masu, za izradu se koristi manje materijala, a to smanjuje troškove izrade. Dodatna prednost je povećanje vidljivosti iz automobila i lakši pristup u vozilo (Slika 5). Sljedeća prednost je veća čvrstoća i krutost komponenata i proizvoda, koje postižemo lokalnim povećanjem čvrstoće i krutosti komponenata, optimiranjem oblika i položaja zavara obzirom na opterećenja (Slika 6a) te uklanjanjem otvora za pristup elektroda (Slika 6b). Sa zatvorenim nosačem naime smanjujemo debljinu stijenke nosača, a time i masu komponente. Kako se laserskim zavarivanjem brzina spajanja obično povećava, vremena ciklusa mogu biti bitno kraća, pa za zavarivanje trebamo manje mjesta zavarivanja i opreme, a manje su i potrebe za prostorom (Tablica 2 i Slika 8). Pri uporabi laserskog zavarivanja nije potrebno toliko prostora za pristup mjestu spajanja, moguće je zavarivanje na udaljenim, teško dostupnim i tijesnim mjestima. Sa stajališta održavanja, otpadaju svi poslovi povezani s popravcima istrošenih i deformiranih elektroda za elektro-otporno zavarivanje i njihove zamjene, radi čega je potreban i manji broj zaposlenika.



» Slika 5: a) Optimiranje oblika spoja obzirom na smanjenje mase te b) smanjenje veličine prirubnica pri uporabi laserskog zavarivanja, koje povećava vidljivost iz vozila i pristup u vozilo [1]



» Slika 6: a) Oblikovanje zavara obzirom na opterećenje i b) povećanje krutosti komponente uklanjanjem otvora i smanjenjem debljine i/ili veličine nosača, čime smanjujemo masu komponente [1]

### Izazovi laserskog zavarivanja u usporedbi s konvencionalnim zavarivanjem

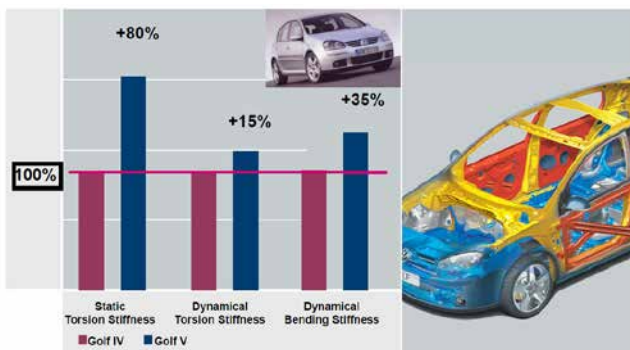
Laserski sustavi su još uvijek vrlo skupi u usporedbi s klasičnim postupcima zavarivanja, unatoč padu cijene lasera i razvoju novih vrsta lasera, koji imaju veću iskoristivost energije. Za uspješno zavarivanje potrebno je pripremiti obratke u uskim dimenzijskim tolerancijama, s odgovarajuće pripremljenim rubovima za zavarivanje (ravan rez bez polumjera i konusnih stranica pri sućeonom zavarenom spoju), odgovarajućim alatima i steznim napravama.

Pored toga, potrebno je osigurati točno vođenje laserske zrake, prije svega pri zavarivanju sućeonih zavarenih spojeva. Općenito vrijedi, da je pri zavarivanju sućeonih zavarenih spojeva potrebno iznimno precizno pripremiti obratke, kako bi se eliminirali svi žljebovi, jer pri zazoru većem od promjera laserske zrake dolazi do zaustavljanja procesa. Stoga je preporuka više koristiti preklapne zavarene spojeve.

Izazov za lasersko zavarivanje predstavlja i zavarivanje pocinčanog lima u preklapnom zavarenom spoju. Pri instaliranju laserskog sustava u prostoru, potrebno je voditi računa o zračenju laserske zrake. Stoga je laserski sustav potrebno izolirati od preostalog dijela proizvodnje s pomoću odgovarajućih zaštitnih kabina. Osoblje u tvrtki mora biti dodatno educirano obzirom na sigurnost na radu pri uporabi lasera u proizvodnji. Dodatnu edukaciju za potrebe održavanja opreme je potrebno i za osoblje održavanja.

## Primjer iz automobilske industrije

Primjer Golf na Slici 7 pokazuje usporedbu i iznimno povećanje statičke i dinamičke torzijske krutosti te dinamičke savojne krutosti – s pomoću laserske tehnologije pri modelu Golf V obzirom na prijašnju generaciju Golf IV. To je bilo postignuto djelomičnom zamjenom točkastog elektro-otpornog zavarivanja laserskim zavarivanjem. Druge prednosti, koje su bile postignute pri modelu Golfa V bile su veća brzina spajanja, povećana produktivnost, kratka vremena ciklusa (30 sekundi), smanjenje poteškoća s vitopereanjem radi manjeg unosa topline, uže prirubnice, odnosno spojevi bez primjene prirubnica, visoka fleksibilnost spajanja prijenosom energije laserske zrake preko kabela do različitih čelija i smanjenje veličine proizvodnog prostora.



» Slika 7: Usporedba i povećanje statičke i dinamičke torzijske krutosti te dinamičke savojne krutosti – s laserskom tehnologijom pri modelima Golf IV i Golf V [1]

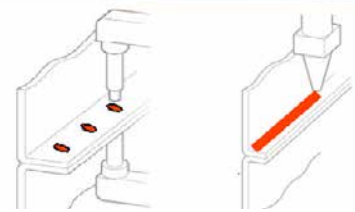
Pri novom modelu se proizvodni prostor pri izradi stranica vozila smanjio za 50 %, a pri izradi podvozja za 33 % (Tablica 1). Prijašnji model Golfa je bio spojen s 4608 zavarenih točaka i 1,4 metra zavara, a model V s 1400 točaka i 70 metara laserskoz zavara.

	Golf IV	Golf V	Razlika
Veličina proizvodnog prostora pri izradi stranica [m <sup>2</sup> ]	2816	1472	-50 %
Veličina proizvodnog prostora pri izradi podvozja [m <sup>2</sup> ]	480	320	-33 %
Broj zavarenih točaka	4608	1400	
Duljina laserskog zavara [m]	1,4	70	

Tablica 1: Smanjenje proizvodnog prostora pri proizvodnji novog modela na račun zamjene tehnologije spajanja

## Primjer Passat

Sljedeći primjer je lasersko zavarivanje sa skeniranjem poklopca prtljažnika VW Passata (Slika 8). Pri izradi pokrova točkastim elektro-otpornim zavarivanjem, izradili su 34 zavarene točke, pri čemu su kod proizvoda upisivali mehanički. Čelija za zavarivanje je trebala četiri robota i pet kliješta za zavarivanje. Vrijeme spajanja je iznosilo 34,7 sekundi. Pri zamjeni tehnologije laserskim zavarivanjem sa skeniranjem, načinili su 34 laserska C-spoja i laserom zapisali kod proizvoda. Za čitav proces su trebali jedan robot i jednu optiku za skeniranje. Vrijeme zavarivanja pri uporabi lasera snage 4 kW bilo je 13 sekundi, a pri uporabi lasera snage 6 kW, manje od 10 sekundi.



» Slika 8: Lasersko skenirno zavarivanje poklopca prtljažnika VW Pasata

Tada (2004, Trumpf, [3]) su pri Volkswagenu lasere primjenjivali za zavarivanje, lemljenje i rezanje. Na lokaciji u Wolfsburgu su instalirali 150 l Nd:YAG lasera snage 4 kW (ukupno 250), jedan Nd:YAG laser snage 1 kW (ukupno 3), 250 laserskih glava za zavarivanje (ukupno 420) te tri laserske glave za rezanje (ukupno 9). Pri tome je za potrebe rada lasera bilo potrebno osigurati 24 MW instalirane električne energije (ukupno 40 MW) te za hlađenje laserskih sustava 23 MW (ukupno 38 MW), što mnogo govori o iskoristivosti laserskih izvora. Na toj lokaciji su s pomoću tih lasera izradivali 2000 vozila dnevno (ukupno više od 3000) te izradili 140 km laserski zavarenih spojeva (ukupno više od 210 km) [3].

## Viri:

- [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.