

LASERSKO ZAVARIVANJE PLASTOMERA

LASER WELDING OF THERMOPLASTIC POLYMERS

Pero RAOS¹⁾, **Josip STOJŠIĆ**¹⁾, **Marija SOMOLANJI**²⁾

Ključne riječi: zavarivanje, plastomeri, laser

Key words: welding, thermoplastics, laser

Sažetak: Polimeri su materijali koji zadovoljava svojim svojstvima pojedinačne i društvene potrebe u nizu područja. Danas postoji više od 10000 komercijalnih tipova polimernih materijala i sve se veći broj upotrebljava u strojarstvu i tehnici općenito. Najzastupljenija skupina sintetskih polimera su plastomeri. U radu se opisuje postupak spajanja plastomernih materijala postupkom laserskog zavarivanja. Objašnjen je osnovni princip i dane su prednosti laserskog zavarivanja u odnosu na konvencionalne postupke zavarivanja polimernih materijala. Te su u konačnici dani zahtjevi koje moraju zadovoljiti polimerni materijali da bi bili zavarljivi ovim postupkom.

Abstract: Polymer materials satisfy single and communal demands in numerous fields with their features. Nowadays, there are over 10000 commercial types of polymer materials and their usage in mechanical engineering and technics in general is increasing. Plastomers are the most represented group of synthetic polymers. Procedure for joining plastomer materials with laser welding method is described in the paper. Main principle is explained and also are given advantages of laser welding over conventional welding procedures as well as demands that polymer materials must satisfy for welding with this procedure.

¹⁾ Strojarški fakultet Slavonski Brod (HR)

²⁾ Hep plin d.o.o. Osijek (HR)



1. UVOD

Razvoj novog proizvoda je težak i mukotrpan, ali i kreativan zadatak posebno s toga jer se pred izvršitelje postavljaju mnogobrojni zahtjevi, a tiču se kvalitete, funkcionalnosti, težnje lijepom i estetskom oblikovanju. Posebno se to odnosi na razvoj i proizvodnju polimernih proizvoda koji značajno i sve više sudjeluju u ukupnoj industrijskoj proizvodnji. Posebnost polimera kao konstrukcijskih materijala, njihovi postupci preradbe, posebna konačna i uporabna svojstva predstavljaju i teškoće u njihovom razvoju.

Polimeri su tipični materijali današnjice i još više budućnosti koji zadovoljavaju pojedinačne i društvene potrebe u nizu područja. Od 2.svjetskog rata ukupna proizvodnja polimera narasla je otprilike s jednog milijuna tona na današnjih više od dvije stotine milijuna tona, a posljednjih 25 godina proizvodnja sintetskih (umjetnih) polimera po volumenu je veća od svjetske proizvodnje čelika.

2. POLIMERI

Danas postoji više od 10000 komercijalnih tipova polimernih materijala, sve se veći broj upotrebljava u strojarstvu i tehnici općenito.[1] Radi ekonomičnosti i recikliranja, broj različitih temeljnih vrsta nastoji se smanjiti. Čisti polimeri (polimerizati) rijetko su primjenljivi u tehničke svrhe, posebno kada se radi o izrazito mehaničkom opterećenju (konstrukcijska primjena). Zbog toga se o polimernom materijalu u pravilu govori kao o materijalu dobivenom nakon što se čistom polimeru dodao neki dodatak (tablica 1). Prednosti u primjeni ove skupine materijala su: mala gustoća, korozivna i kemijska postojanost, laka oblikovljivost, dobra klizna svojstva itd. Radi navedenih svojstava zamjenjuju metale, naročito Al, Cu i Mg legure kao i nehrđajuće čelike. Kao upotrebljive polimerne tvorevine mogu biti krute ili savitljive, krhke ili žilave, s organskim ili anorganskim dodacima a prema posebnim zahtjevima mogu se modificirati i proizvoditi u praktično neograničenom broju nijansi i boja.

Tablica 1. Dodaci čistim polimerima [2]

| Naziv skupine dodataka | Primjer i opis djelovanja |
|---|---|
| REAKCIJSKE TVARI | Pjenila, dodaci za smanjenje gorivosti, umrežavala |
| DODACI ZA POBOLJŠANJE PRERADLJIVOSTI | Maziva, odvajala, punila, toplinski stabilizatori, regulatori viskoznosti, tiksotropni dodaci |
| MODIFIKATORI MEHANIČKIH SVOJSTAVA | Omekšala, dodaci za povišenje žilavosti, punila, prijanjala, ojačala |
| MODIFIKATORI POVRŠINSKIH SVOJSTAVA | Vanjska maziva, regulatori adhezivnosti, antistatici |
| MODIFIKATORI OPTIČKIH SVOJSTAVA | Bojila, pigmenti |
| DODACI ZA PRODULJENJE TRAJNOSTI PROIZVODA | Svjetlosni stabilizatori, antioksidansi, antistatici, biocidi |
| OSTALO | Mirisi, dezodoransi |

Promatrajući njihovo ponašanje pri zagrijavanju polimere se može svrstati u tri skupine: plastomere, duromere i elastomere.

2.1 Plastomeri

Plastomeri su najzastupljenija skupina sintetskih polimera i obično se dijele na tri skupine. Masovni polimeri čine najveći dio proizvodnje i primjene iako se radi o samo nekoliko

vrsta plastomera: polietilen – PE, polipropilen – PP, polistiren – PS, poli(vinil-klorid) – PVC. Volumni udio ovih polimera u ukupnoj svjetskoj proizvodnji veći je od 80 %. [1]

Slijedeća skupina su konstrukcijski polimeri. Imaju bolja mehanička i tehnička svojstva, ali isto tako i višu cijenu od masovnih plastomera. Među najznačajnije konstrukcijske plastomere ubrajaju se: poliamid – PA, polikarbonat – PC, poli(metil-metakrilat) – PMMA, stiren/akrilonitril kopolimer – SAN, akrilonitril/butadien/stiren – ABS, poli(etilen-tereftalat) – PET. Najšire polje u tehnici zauzimaju PA, PC i ABS. Njihov volumni udio u njihovoj svjetskoj proizvodnji je nešto manji od 20%. Posljednjih godina naročito veliki rast bilježi PC koji se uvodi u automobilsku industriju s ciljem zamjene automobilskih stakala, te u prehrambenoj industriji kao materijal za izradu povratnih boca.

Osim plastomera, postoje i plastomerne legure, tj. kombinacije dvaju ili više plastomernih materijala. Neke poznate plastomerne legure su PC+PBT – izrada automobilskih odbojnika, PC+ABS – izrada kućišta u bijeloj tehnici i elektronici, PA+PP – dijelovi visoke žilavosti, dimenzijske i toplinske stabilnosti.



Slika 1. Primjeri primjene plastomera u strojarstvu

Prema nekim predviđanjima, a dobrim dijelom zbog zaštite okoliša, u budućnosti će se težiti jednostavnim i jeftinim plastomerima. U prednosti će biti monofazni plastomeri u odnosu na plastomerne legure. Po mišljenju glavnih proizvođača polimera, kemijski potpuno novi plastomeri u budućnosti će biti iznimka, osim u slučaju ako se mogu proizvesti s postojećim postupcima i kapacitetima iz postojećih jeftinih i dostupnih monomera. Razvoj i istraživanje ide prema pronalasku novih postupaka i procesa, gdje će se novim postupcima i opremom, temeljenim na novim katalizatorima proširiti i poboljšati svojstva masovnih plastomera o kojima

se dosad nije ni razmišljalo. To znači zamjena puno skupljih konstrukcijskih plastomera sa novim generacijama masovnih plastomera.

3. ZAVARIVANJE POLIMERNIH MATERIJALA

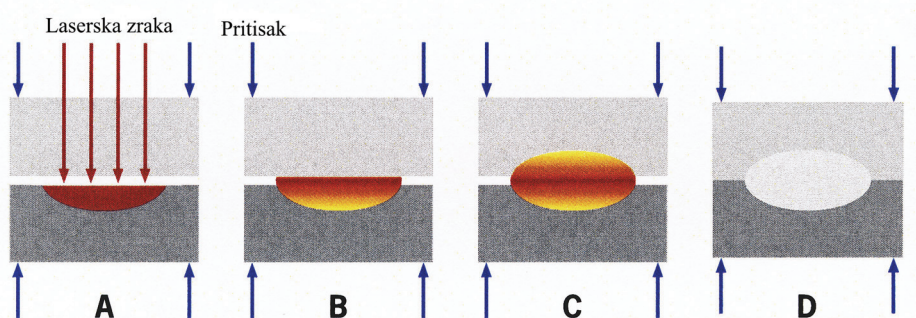
Zavarivanje je spajanje plastomernih i fizikalno umreženih elastomernih tvorevina djelovanjem pritiska i topline s uporabom ili bez uporabe dodatnog materijala. Površine u dodiru moraju biti prevedene u kapljasto, elastoviskozno stanje i djelovanjem pritiskne sile spojene kako bi se ostvario po mogućnosti homogeni spoj, zavar. Postupci zavarivanja dijele se na:[3]

- Postupci zavarivanja provođenjem
- Postupci zavarivanja konvekcijom
- Postupci zavarivanja zračenjem
- Postupci zavarivanja trenjem
- Postupci zavarivanja indukcijom

Dalje u radu će biti opisano lasersko zavarivanje (koje pripada u postupke zavarivanja zračenjem) plastomernih tvorevina.

3.1 Lasersko zavarivanje plastomera

Lasersko zavarivanje plastomera je relativno novi postupak koji je prvi puta demonstriran sedamdesetih godina prošlog stoljeća, ali je tek nedavno našao svoje mjesto u industriji. Princip rada ovog postupka je zagrijavanje plastomera bez fizičkog kontakta. U većini slučajeva postupak sadrži usmjeravanje jakog snopa zračenja (obično u infracrvenom području elektromagnetskog spektra) koji je fokusiran na materijal koji je potrebno spojiti. To pobuđuje rezonantnu frekvenciju unutar molekule, rezultirajući zagrijavanjem materijala. Postupak laserskog zavarivanja obuhvaća lokalno zagrijavanje površine dva plastomerna predmeta koji će proizvesti snažan spoj, hermetički zatvoren s minimalnim toplinskim i mehaničkim deformacijama, bez čestica otpada i vrlo malim odbljescima čini ga idealnim za primjenu u medicinskoj opremi. U većini slučajeva postupak sadrži usmjeravanje infracrvenog zračenja na površinu za zavarivanje prolazeći kroz jedan od dijelova koji se zavaruje.



Slika 2. Faze procesa laserskog zavarivanja [4]

Dio koji prenosi većinu energije se ne zagrijava, dok će se zagrijati dio koji apsorbira energiju. Pošto većina organskih plastomera ne apsorbira energiju na infracrvenoj valnoj duljini laserskog snopa, koriste se boje (npr. crna) za upijanje energije na površini zavarivanja.

Slika 2 prikazuje shematski prikaz laserskog zavarivanja. Dovedena enrgija se apsorbira

na površini donjeg materijala (A), a razlog tome je porast temperature istoga (B). Blizak kontakt gornje i donje površine zavarivanja je važan da bi se osigurao prijenos topline s donjeg na gornji materijal (C), te se nakon skrućivanja dobiva kvalitetan zavareni spoj (D).

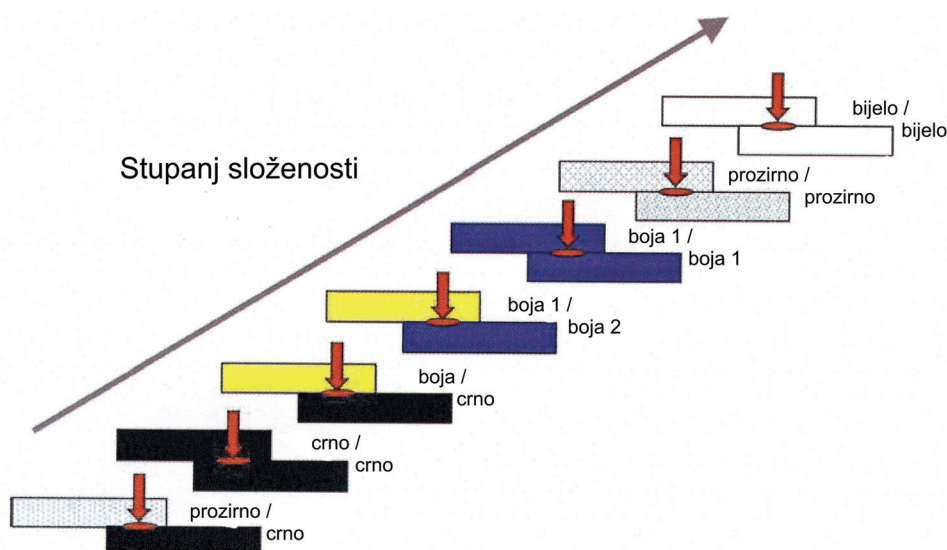
Vrijeme trajanja procesa je vrlo kratko, mjerljivo u sekundama. Lasersko zavarivanje se upotrebljava kod zavarivanja krutih ili fleksibilnih materijala kao i kod malih ili velikih dijelova.

3.2 Prednosti laserskog zavarivanja

- Skriveni preklopni spojevi se mogu napraviti bez utjecaja na površinu dijela koji se zavaruju
- Nema ili jako malo iskrenje prilikom zavarivanja
- Nema oštećenja vanjskog dijela proizvoda zbog prisutnog mehaničkog opterećenja prilikom zavarivanja
- Prikladno za minijaturizaciju
- Isto tako vrlo prikladno za velike proizvode s nekoliko metara dužine zavara.
- Mogu se zavarivati elastoplastomeri (fizikalno umreženi elastomeri)
- Vrlo kratka vremena procesa zavarivanja
- Mala zona utjecaja topline što rezultira malim zaostalim naprezanjima
- Nema pojave električnih polja niti mehaničkih vibracija, suprotno većini ostalih postupaka zavarivanja polimernih materijala
- Nema potrebe za dodatnim materijalom.

3.3 Prikladni materijali

Samo određeni materijali i kombinacije tih materijala daju mogućnost laserskog zavarivanja plastomera.



Slika 3. Kombinacija različito obojanih polimera kao stupanj težine zavarivanja [4]

Jedan od plastomera mora biti optički provodljiv dok drugi mora biti apsorbirajući. U prošlosti, donji dijelovi priprema su bili tamniji, sadržavajući malu količinu ugljika. Sukladno tome grupacije su komercijalizirale spektar NIR – upijajućih proizvoda, stvarajući prozirne NIR upijajuće pigmente za lasersko zavarivanje. Razvojem pigmentata omogućeno je lasersko zavarivanje od potpuno prozirnih do potpuno tamnih priprema kao što je prikazano na slici 3. Priprema sa crnim donjim dijelom i prozirnim gornjim dijelom je najpoželjnija opcija. S kombinacijom plastomera različitih boja povećava se i kompliciranost laserskog zavarivanja.

Aditivi za povećavanje apsorpcije laserskog zračenja postoje u dvije forme. Kao aditivi koji se mogu unijeti u masu od koje će se napraviti priprema ili kao sloj koji će se nanijeti na dio priprema prije zavarivanja.

Svi plastomeri i skoro svi elastoplastomeri se mogu zavarivati ovim postupkom. Također različite vrste polimernih materijala se mogu spajati bez problema uz uvjet da su kemijski kompatibilni i njihova područja temperatura taljenja se dovoljno preklapaju. Slika 4 prikazuje neke primjere materijala koji se daju laserski zavarivati.

| | PP | POM | PBT | PBT/ASA | PA6 | PA6.6 | PES | PSU | ABS | ASA | SAN | MABS |
|---------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| PP | Dark Blue | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey |
| POM | Grey | Dark Blue | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey |
| PBT | Grey | Grey | Dark Blue | Dark Blue | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue |
| PBT/ASA | Grey | Grey | Dark Blue | Dark Blue | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue |
| PA6 | Grey | Grey | Grey | Grey | Dark Blue | Dark Blue | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey |
| PA6.6 | Grey | Grey | Grey | Grey | Dark Blue | Dark Blue | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey |
| PES | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Grey | Grey | Dark Blue | Dark Blue | Light Blue | Light Blue | Light Blue | Light Blue |
| PSU | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Grey | Grey | Dark Blue | Dark Blue | Light Blue | Light Blue | Light Blue | Light Blue |
| ABS | Grey | Grey | Dark Blue | Dark Blue | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue |
| ASA | Grey | Grey | Dark Blue | Dark Blue | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue |
| SAN | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue |
| MABS | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue |
| ABS/PA | Grey | Grey | Light Blue | Light Blue | Dark Blue | Dark Blue | Light Blue | Light Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue | Dark Blue |
| PS | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey | Grey |

Slika 4. Kompatibilnost laserskog zavarivanja sa odabranim plastomerima [5]

4. ZAKLJUČAK

Polimeri su tipični materijali današnjice i još više budućnosti koji zadovoljavaju pojedinačne i društvene potrebe u nizu područja. Najčešće korištena skupina tehničkih polimernih materijala su plastomeri. Prednosti u primjeni ove skupine materijala su: mala gustoća, korozijska i kemijska postojanost, laka oblikovljivost, dobra klizna svojstva itd. Radi navedenih svojstava zamjenjuju metale, naročito Al, Cu i Mg legure kao i nehrđajuće čelike.

Lasersko zavarivanje plastomera je relativno novi postupak i tek je nedavno našao svoje mjesto u industriji. Zahvaljujući brojnim prednostima, velikom rasponu polimernih materijala koji se mogu laserski zavarivati te brzini procesa za očekivati je da će se baš ovaj postupak zavarivanja polimernih materijala koristiti kako bi se ubrzao razvoj novog proizvoda. Najvažniji uvjet za materijale je da jedan dio proizvoda mora biti proziran za laserski snop a drugi dio taj snop mora upijati što dovodi do oslobađanja topline koja je potrebna da bi se dva plastomerna dijela lokalno rastalila te da bi nakon hlađenja dobili čvrst i kvalitetan zavareni spoj.



5. LITERATURA

- [1] Filetin, Tomislav: *Neki trendovi razvoja i primjene materijala*,
URL:http://titan.fsb.hr/~tfiletin/pdf/razvoj_mater_tehn_razvoj.pdf, rujan,2009.
- [2] Filetin, Tomislav; Kovačićek, Franjo; Indof, Janez: *Svojstva i primjena materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Zagreb, 2006., str.: 209-230
- [3] Čatić, Igor: *Proizvodnja polimernih tvorevina*, Društvo za plastiku i gumu, Biblioteka polimerstvo, Zagreb, 1996., str.: 2-7
- [4] ROFIN Laser Micro, *Laser Welding of polymers Shows Great Potential*, 2003.,
<http://www.rofin.de/index.php?id=737&L=1>, rujan,2009.
- [5] BASF-treffert, *Laserwelding of polymers*,
URL:http://www.treffert.org/engl/pdf/treffert_laserschw_en.pdf, rujan, 2009.