

## Adaptivno lasersko bliskovno varjenje električnih lamel

David Vegelj<sup>1,\*</sup> – Boštjan Zajec<sup>1</sup> – Peter Gregorčič<sup>2</sup> – Janez Možina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hidria Rotomatika, Slovenija

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Hibridna in električna vozila se vse bolj uveljavljajo na svetovnem trgu vozil. S tem se povečuje tudi potreba po učinkovitih elektromotorjih. Za njihovo izdelavo potrebujemo boljše materiale, primernejšo izbiro postopka izdelave ali uporabo frekvenčnih pretvornikov. Bliskovno in kontinuirno lasersko varjenje lamel v jedrih elektromotorjev se uveljavlja kot eden izmed glavnih postopkov izdelave. Oba trenutna postopka pa imata veliko pomanjkljivost, saj pretalita celotno stransko ploskev lamel. Poleg pretirane porabe optične energije za taljenje materiala, ki v zvaru ne sodeluje, pa trenutni postopki povzročajo tudi velike zware. Velikost zvara posredno vpliva na magnetne lastnosti elektromotorja. V članku smo zato predstavili sistem adaptivnega bliskovnega laserskega varjenja in rezultate raziskav na področju adaptivnega varjenja. Dokažemo, da je razviti in predstavljeni postopek varjenja boljši od trenutno poznanih postopkov, in sicer tako z vidika porabljene optične energije kot tudi z vidika kakovosti izdelave posameznih zvarov.

V okviru raziskovalnega dela smo razvili sistem adaptivnega bliskovnega laserskega varjenja električnih lamel, ki avtomatsko zazna reže med lamelami. Za zaznavanje rež uporablja na trgu dostopen laserski odbojnostni senzor. Na podlagi signala, ki ga iz sensorja dobimo na režah, s krmilno enoto ustrezno krmilimo laserski izvor, ki deluje v načinu posameznih bliskov. Pri tem uporabljamo dva mikrokrmilnika, v katerih delujeta posebej za ta namen razvita programa. Varili smo s klasičnim bliskovnim Nd:YAG laserjem. Laserske parametre (čas in vršno moč bliska) smo nastavljali ročno na laserskem izvoru. Sistem posamezne bliske proži zgolj na tistih mestih, kjer potrebujemo zware, t.j. na stiku med dvema lamelama.

Razviti adaptivni sistem smo preizkusili na dveh tipih vzorcev. Kot prvi tip vzorec smo uporabili manjše statorske pakete, izdelane iz različnih tipov in debelin elektroplöčevine, kot drugi tip vzorcev pa smo uporabili standardne statorske pakete, ki jih v proizvodnji trenutno varijo v kontinuirnem načinu. Zavarjene pakete smo vizualno, mehansko in magnetno preskusili. Mehanski test smo izvedli z modificiranim nateznim preskusom, pri čemer smo vzorce v vzdolžni smeri obremenili do točke porušitve zvara. Magnetno testiranje je vključevalo merjenje specifičnih skupnih izgub in relativne permeabilnosti paketa. Na manjših vzorcih smo izvedli vse opisane analize, medtem ko smo na standardnih vzorcih izvedli le magnetno testiranje, saj je bila mehanska trdnost zvarov povsem sprejemljiva.

Rezultati analiz so pokazali, da adaptivno bliskovno lasersko varjenje porabi do približno 80 % manj optične energije na zvar, pri tem pa je bila mehanska trdnost adaptivno varjenih vzorcev povsem primerljiva s standardnim bliskovnim načinom varjenja. Magnetno testiranje je pokazalo, da uporaba adaptivnega načina varjenja pri malih vzorcih ne izboljša bistveno skupnih specifičnih izgub. Po drugi strani pa pri standardnih lamelnih paketih z adaptivnim načinom varjenja dosežemo bistveno izboljšanje magnetnih lastnosti paketa v primerjavi s kontinuirnim načinom varjenja.

Glavni prispevek tega članka je v razvoju metode in sistema za adaptivno bliskovno lasersko varjenje električnih lamel, ki porabi znatno manj optične energije za izdelavo boljših zvarov. Manjši zvari tudi omogočajo izdelavo učinkovitejših elektromotorjev. Predlagani sistem bi lahko še nadgradili v smeri izboljšanja zanesljivosti in hitrosti varjenja.

**Ključne besede:** lasersko varjenje, varjenje lamel, magnetne lastnosti, stator, rotor