

# Uporaba mehke logike za napovedovanje površinske hrapavosti po elektroerozijski obdelavi titanove zlitine s primešanim prahom

Dragan Rodić\* – Marin Gostimirović – Milenko Sekulić – Borislav Savković – Andjelko Aleksić

Univerza v Novem Sadu, Fakulteta tehniških znanosti, Srbija

Elektroerozijska obdelava (EDM) spada med najbolj napredne obdelovalne postopke in se uspešno uporablja za obdelavo težavnih materialov v različnih industrijskih aplikacijah. Izbrana titanova zlitina je zaradi svojih izjemnih lastnosti, kot sta obstojnost proti visokim temperaturam in koroziji, prisotna v letalski in vesoljski industriji, v biomedicini in na mnogih drugih področjih. Elektroerozijska obdelava omenjenega materiala je zahtevna in še ni dovolj raziskana. Uporabnost EDM je trenutno omejena zaradi razmeroma nizke produktivnosti in pomanjkljive kakovosti površin. Rezultate EDM je mogoče izboljšati z dodajanjem električno prevodnega prahu v dielektrik. Tak postopek odnašanja materiala se imenuje elektroerozijska obdelava s primešanim prahom (PMEDM) in lahko pomembno prispeva h kakovosti elektroerozijske obdelave titanovih zlitin.

Objav na temo PMEDM sicer ne manjka, vseeno pa še ni jasnega odgovora na vprašanje, katera kombinacija koncentracije prahu in vhodnih parametrov procesa daje najbolj kakovostne površine. Glavni cilj študije je zato prispevek k razvoju adaptivnega nevro-mehkega inferenčnega sistema za napovedovanje površinske hrapavosti pri PMEDM titanovih zlitin. Uporabljena je bila tehnika centralne kompozitne zasnove eksperimentov (CCD). Izbrani variabilni parametri PMEDM so bili tok razelektritve, trajanje impulza, impulzni faktor in koncentracija grafitnega prahu. Pred načrtovanjem glavnega eksperimenta je treba določiti razpon spreminjanja vhodnih parametrov obdelave ter vrednosti drugih dejavnikov, ki med preizkusi ostanejo konstantne. Primerni pogoji za PMEDM so bili določeni na podlagi razpoložljive literature in preliminarnih eksperimentalnih študij.

Z orodjem ANFIS je bil na podlagi načrta CCD postavljen pametni model za napovedovanje površinske hrapavosti titanovih zlitin PMEDM. Prvi tip napake, ki je bil analiziran med razvojem modela, je bila srednja kvadratna napaka (MSE), ki je med učenjem in preizkušanjem modela znašala  $2,293 \cdot 10^{-5}$  oz. 0,4509. Poleg MSE je bila izračunana tudi srednja absolutna napaka MAE za kvantitativno ovrednotenje sposobnosti napovedovanja v obliki odstotne vrednosti odstopanj med pridobljenimi in pričakovanimi vrednostmi. Napaka modela po učenju in preizkusih je znašala 1,11 %, kar je bilo pričakovano glede na to, da so bili za učenje modela uporabljeni prav ti podatki. Povprečna vrednost v eksperimentih za potrditev modela je znašala 10,46 %. Poleg analize osnovnih tipov napak je bila opravljena tudi potrditev modela z determinacijskim koeficientom in po metodi Bland-Altman. Model ANFIS je bil razen za napovedovanje rezultatov uporabljen tudi za analizo vpliva vhodnih parametrov. Ugotovljeno je bilo, da ima največji vpliv na površinsko hrapavost tok razelektritve. Analiza variance je pokazala, da je drugi najvplivnejši parameter trajanje impulza, sledita pa mu grafitni prah in impulzni faktor. Preizkušen je bil tudi vpliv grafitnega prahu. Največje, 27-odstotno zmanjšanje površinske hrapavosti, je bilo doseženo pri koncentraciji 12 g/l in toku razelektritve 4,5 A.

Pričujoča raziskava pokriva le manjši del področja PMEDM, praktična uporabnost njenih rezultatov pa je zato omejena le na kontekst opravljenih eksperimentov. Predmet prihodnjih raziskav na področju modeliranja PMEDM bo lahko preizkušanje postopka obdelave PMEDM na titanovih zlitinah z večjim številom in razponom vhodnih dejavnikov, kakor tudi z različnimi globlinami erozije. Na rezultate PMEDM bi lahko vplivala tudi granulacija grafitnega prahu kot eden od vhodnih dejavnikov.

Študija odgovarja na vprašanje o koncentraciji grafitnega prahu, ki ima največji vpliv na površinsko hrapavost pri določenih vhodnih parametrih. Glavni prispevek študije je razkrivanje kompleksnih odvisnosti med spremenljivimi vhodnimi parametri (tok razelektritve, trajanje impulza, impulzni faktor in koncentracija grafitnega prahu) ter rezultati PMEDM obdelave (površinska hrapavost) titanove zlitine. Študija tako odgovarja na nekatera nerazrešena raziskovalna vprašanja in potrjuje uporabnost predlagane metode v industriji.

**Ključne besede:** ANFIS, tok razelektritve, trajanje impulza, impulzni faktor, grafitni prah