

# Vpliv geometrije orodja v območju mešanja na oblikovanje kavljev pri varjenju dveh različnih aluminijevih zlitin: parametrična analiza metalurških in mehanskih lastnosti

Nandakumar Navaneethakannan\* – Periyasamy Sivanandi – Balakrishnan Somasekaran

Vladni tehniški kolidž, Oddelek za strojništvo, Indija

Točkovno varjenje s trenjem in mešanjem (FSSW) je nedavno razvita tehnika spajanja v trdnem stanju, ki se uporablja za kombiniranje kovinskih zlitin s slabo varivostjo. Cilj pričujoče raziskave je analiza varivosti pri točkovnem varjenju dveh različnih aluminijevih zlitin s trenjem in mešanjem. Pri tej vrsti varjenja geometrija orodja in profil mešalnega čepa vplivata na metalurške in mehanske lastnosti varjencev.

Za boljše rezultate je zato treba poznati in izbrati optimalen profil mešalnega čepa. Glavna težava pri točkovnem varjenju s trenjem in mešanjem je oblikovanje kavljev. Sila, ki povzroča rinjenje materiala iz spodnje plasti navzgor, razvoj območij v obliki kavlja ter rast območja mešanja in širine spoja, se pojavi med časom zadrževanja zaradi penetracije rame orodja v površino zgornje plasti in penetracije čepa v spodnjo plast. Območja kavljev, ki nastanejo na preseku termomehansko vplivane cone (TMAZ) in toplotno vplivane cone (HAZ), se po formiranju odmaknejo od osi vrtečega se orodja. Tok materiala povzroča spremenljivo obliko kavljev. Geometrija kavljev sicer v veliki meri vpliva na mehanske lastnosti spojev FSSW, še vedno pa ni znano, kako bi bilo mogoče izboljšati geometrijo kavljev. Znano je, da temperatura in plastična deformacija materiala vplivata na makroskopski videz spoja FSSW. Na razvoj toplote zaradi trenja med varjenjem vplivajo naslednji parametri: vrtilna hitrost, čas zadrževanja, globina pogreznitve in hitrost pomika orodja v material. Prilagoditve varilnih parametrov lahko tako povzročijo spremembe v makroskopskem videzu.

V obsežnem eksperimentalnem delu študije je bilo opravljeno varjenje zlitin AA6063 in AA5083 po postopku FFSW. Na rezkalnem stroju so bila pripravljena vpenjala za različne velikosti varjencev. Uporabljena sta bila valjasta rama in konkaven profil ( $10^\circ$ ) kvadratnega čepa, varjenje pa je bilo opravljeno z različnimi procesnimi parametri. Za orodni material je bilo uporabljeno toplotno obdelano mnogoogljeno jeklo. Za eksperimentalni model je bilo izbrano ortogonalno polje Taguchi L9. Preučen je bil vpliv dejavnikov FSSW, kot so hitrost vretena, čas in globina, kakor tudi odvisnosti med natezno trdnostjo, trdoto v predelu stika in razvojem kavljev. S tem so bila zajeta osnovna metalurška dogajanja v coni varjenja med ploščami. Kavljasta struktura je bila odkrita v območju stika, termomehanski pojavi pa v območju točkovnega varjenja. Zaradi tokov materiala v smeri navzgor med fazo pogreznitve orodja se prekine stik. Oblikuje se kavelj, ki se postopoma rine navzgor. Kavelj nadaljuje z gibanjem v smeri nizekotlačnega predela, ki v fazi zadrževanja orodja obdaja cono mešanja. Za mehansko kakovost zvarov je težko jamčiti zaradi negotovosti glede napredovanja vrha razpoke vzdolž kavlja. Zvare s kljuko idealne oblike je mogoče izdelati pod pogojem, da konica kavlja ob zaključku varjenja še ne vstopi v nizekotlačno območje.

Izkazalo se je, da sta vplivni veličini hitrost vretena in globina pogreznitve. Boljše mehanske lastnosti so bile dosežene pri vrtilni hitrosti vretena 1200 obr/min, času 25 s in globini pogreznitve 0,10 mm. Mikrostrukturalna analiza območja zvara je bila opravljena pod vrstičnim elektronskim mikroskopom. Hitrost vretena je obratovalni parameter, ki ima največji vpliv na trdnost zvarov plošč iz materialov Al6063-T6 in Al5083-O-H111. Čas zadrževanja je najpomembnejši dejavnik za obvladovanje trdote. Na trdoto vplivata tudi hitrost vretena in globina pogreznitve. Metalurška preiskava je pokazala, da je višina kavlja minimalna pri naslednjih varilnih parametrih: hitrost vretena 1000 obr/min, čas zadrževanja 25 s in globina 0,20 mm, prispevek parametrov pa znaša 4,2 % za vrtiljaje, 66,23 % za čas in 15,75 % za globino. Povprečna širina kavlja se formira pri naslednjih parametrih: 2000 obr/min, 3 s in 0,10 mm, prispevek parametrov pa znaša 32,55 % za vrtiljaje in 27 % za čas. Trdnost spoja je obratno sorazmerna z njegovo trdoto.

**Ključne besede:** mikrostruktura, geometrija kavlja, območje mešanja, tehnika Taguchi, multipla regresijska analiza, ANOVA