

# Optimizacija hibridne izdelave za izboljšanje kakovosti površine, porabe materiala in produktivnosti

Damir Grguraš, Davorin Kramar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Hibridna izdelava (ang. *hybrid manufacturing*) je izdelava enega izdelka z dvema ali več različnimi izdelovalnimi tehnologijami. Značilnost hibridne izdelave je, da združi dobre lastnosti vseh uporabljenih izdelovalnih tehnologij in obenem odstrani slabe lastnosti posamezne izdelovalne tehnologije.

V tej raziskavi je predstavljena hibridna izdelava s postopkom ciljnega nalaganja taljenega polimera (ang. *Fused Deposition Modeling – FDM*) in frezanja. Vzorčni izdelki, kocke dimenzij 22 mm × 22 mm × 22 mm, so bili izdelani s postopkom FDM iz materiala PLA, hrapavost zunanjih površin izdelka pa je bila izboljšana s postopkom frezanja.

FDM je najbolj pogost postopek dodajanja materiala po plasteh, kjer material prihaja v neprekinjen toku skozi ekstrudorsko šobo. Material je običajno termoplastični polimer (najpogosteje PLA ali ABS), ki ga naprava segreje do določene temperature in v obliki tanke nitke nalaga na podlago, ter na ta način gradi izdelek. Material prihaja skozi ekstrudorsko šobo, ki je pri večini FDM sistemov standardnega premera  $D_1 = 0,4$  mm. S ciljem skrajšanja proizvodnega časa in povečanja produktivnosti, je v tej raziskavi bila uporabljena tudi ekstrudorska šoba večjega premera  $D_2 = 1,1$  mm.

Cilj raziskave je bil poiskati optimalne vhodne – tehnološke parametre hibridne izdelave (višina plasti nalaganja materiala, kompenzacijski pretok materiala, hitrost nalaganja materiala, vrtilna hitrost frezala, podajalna hitrost frezala in globina frezanja) za doseg maksimalne produktivnosti ob minimalni porabi materiala in najboljši kakovosti obdelane površine. Zato so bili kot izhodni parametri izbrani naslednji: hrapavost obdelane površine, poraba materiala in čas hibridne izdelave.

S pomočjo Taguchijeve ortogonalne matrike  $L_{27} (3^{13})$  sta bila oblikovana dva ločena načrta eksperimentov (za ekstrudorski šobi premera  $D_1$  in  $D_2$ ). Vpliv vhodnih parametrov na izhodne je bil popisan s pomočjo empiričnega modeliranja in pridobljenih regresijskih modelov. Pridobljeni regresijski modeli so bili ovrednoteni preko vrednosti  $R^2$ , prilagojenega in predvidenega  $R^2$ , ter preko razmerja signal/šum in so bili označeni kot zanesljivi.

Pridobljene rezultate in ugotovitve za obe ekstrudorski šobi premera  $D_1$  in  $D_2$  je možno interpretirati na enak način, kakor sledi. Ugotovljeno je bilo, da ima na hrapavost površine po hibridni izdelavi največji vpliv višina plasti nalaganja materiala. In sicer, za doseg minimalne hrapavosti obdelane površine je potrebno izbrati največjo višino plasti nalaganja materiala. Da se prepreči ovijanje materiala na frezalo in posledično poslabšanje hrapavosti obdelane površine, je potrebno izbrati najmanjšo vrtilno hitrost, ter največjo podajalno hitrost frezala. Minimalna globina frezanja zagotavlja najmanjšo hrapavost obdelane površine v primeru uporabe ekstrudorske šobe standardnega premera  $D_1$ . V primeru uporabe ekstrudorske šobe večjega premera  $D_2$  pa globina frezanja nima signifikantnega vpliva na hrapavost površine. Na porabo materiala ima največji vpliv kompenzacijski pretok materiala, ki vpliva premosorazmerna. Ta parameter je tudi ne vpliven na hrapavost obdelane površine, zato je kot optimalna vrednost tega parametra izbrana minimalna vrednost. Na čas potreben za hibridno izdelavo premosorazmerna vplivata višina plasti nalaganja materiala in hitrost nalaganja materiala. Ugotovljeno je bilo, da je pri obeh ekstrudorskih šobah možno doseči enako hrapavost površine po hibridni izdelavi, le da pri uporabi ekstrudorske šobe večjega premera  $D_2$  dosežemo trikratni časovni prihranek. Torej, trikratno povečanje produktivnosti ob ne poslabšani kakovosti površine, je možno doseči ob uporabi ekstrudorske šobe večjega premera  $D_2 = 1,1$  mm namesto standardne ekstrudorske šobe premera  $D_1 = 0,4$  mm.

Za nadaljnje raziskave na tem področju avtorji predlagajo optimizacijo istih tehnoloških parametrov takšne hibridne izdelave za primer uporabe materiala ABS, ki je poleg uporabljenega materiala PLA v tej raziskavi, najpogosteje uporabljen polimer pri postopku FDM.

**Ključne besede: hibridna izdelava, ciljno nalaganje taljenega polimera, frezanje, material PLA, načrtovanje eksperimentov, empirično modeliranje in optimizacija, metodologija odzivne površine**