

Analiza pretoka enokanalne mešanice kapljevitega CO₂ in MQL pri trajnostnem odrezavanju

Damir Grguraš¹ – Luka Sterle¹ – Aleš Malneršič¹ – Luka Kastelic¹ – Cedric Courbon² – Franci Pušavec^{1,*}

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

² Univerza v Lyonu, École nationale d'ingénieurs de Saint-Étienne (ÉNISE), Francija

Uporaba emulzije na bazi olja, kot hladilno-mazalnega sredstva (HMS), v kombinaciji z nizko rezalno hitrostjo, privede do nizke produktivnosti konvencionalnega odrezavanja. Inovativen način za dvig produktivnosti v luči trajnostnega razvoja je odrezavanje z asistenco kapljevitega ogljikovega dioksida – LCO₂ in oljne megle – MQL. Enokanalni dovod mešanica LCO₂ + MQL predstavlja stanje tehnike pri takšnem LCO₂ podprtem odrezavanju. Za popolno razumevanje in optimizacijo hlajenja in mazanja, ki ga zagotavlja mešanica LCO₂ + MQL, je bistvena analiza pretoka medija, ki pa še ni dovolj znanstveno raziskana. To raziskovalno vrzel izpolnjuje ta znanstveni prispevek.

Analiza pretoka enokanalne mešanice LCO₂ + MQL se je izvedla s pomočjo visoko-hitrostne kamere na treh različnih pozicijah: (i) pozicija A – za analizo pretoka v dovodni šobi, kjer je bila določena povprečna hitrost toka medija; (ii) pozicija B – za analizo pretoka ob izstopu iz dovodne šobe (neposredna bližina izstopne šobe), kjer sta bili določeni povprečna hitrost pretoka in povprečni premer oljnih kapljic; (iii) pozicija C – za analizo pretoka ob izstopu iz dovodne šobe (3 mm oddaljeno od izstopne šobe), kjer sta bili določeni povprečna hitrost toka in povprečni premer oljnih kapljic. Analiza pretoka je bila izvedena s pomočjo visoko-hitrostne kamere z naslednjimi nastavitvami: (i) ločljivost zajema 512 x 384 pik in (ii) hitrost zajema 67500 sličic na sekund. Nadzorovan dovod mešanice LCO₂ + MQL je bil zagotovljen z lastniškim enokanalnim sistemom ArcLub One. Na podlagi stanja tehnike se je pri tej študiji uporabilo naslednje pretoke: masni pretok LCO₂, \dot{m}_{LCO_2} , je znašal 100 in 200 g/min, volumski pretok olja (MQL), \dot{V}_{olje} , je znašal 20 in 60 ml/h. V tej študiji se je uporabilo različni MQL olji: (i) polarno olje MQL (olje 1) in (ii) nepolarno olje MQL (olje 2).

Ugotovljeno je bilo, da je hitrost toka mešanice LCO₂ + MQL odvisna od masnega pretoka LCO₂. Tako povečanje masnega pretoka LCO₂ zviša hitrost toka, npr. hitrost toka se poveča s 44 m/s na 49 m/s, ko se pretok LCO₂ poveča s 100 na 200 g/min ob nespremenjenem pretoku MQL 60 ml/h. V večji meri pa na hitrost toka mešanice LCO₂ + MQL vpliva tlačni padec in ekspanzija LCO₂ ob izstopu iz šobe. Hitrost toka se v tem primeru znatno poveča od povprečne 40 m/s v dovodni šobi na hitrost več kot 90 m/s na izstopu iz šobe. Ekspanzija LCO₂ vpliva tudi na velikost oljnih kapljic, saj se velikost le-teh ob izstopu iz šobe poveča do kritične, nestabilne velikosti. Temu sledi razpad takšnih kapljic. Velikost oljnih kapljic v mešanici LCO₂ + MQL pa je najbolj odvisna od topnosti med oljem in LCO₂. Ugotovljeno je bilo, da je topnost nepolarnega olja (olje 2), v primerjavi s polarnim oljem (olje 1), večja in tako, mešanica LCO₂ in olja 2 zagotavlja oljne kapljice premera 2 μm. Nasprotno, mešanica LCO₂ in olja 1, kjer je olje 1 delno topno v LCO₂, zagotavlja oljne kapljice s premerom več kot 5 μm. Ostanki, ki niso del mešanice LCO₂ + MQL, se pa izkažejo kot prosto leteče oljne kapljice, ki ne penetrirajo v rezalno cono, kar negativno vpliva na mazalne sposobnosti med odrezavanjem.

Prispevek te študije se kaže v izboljšanjem razumevanju vedenja LCO₂ in olja, kar pomaga pri praktični uporabi LCO₂ podprtega odrezavanja. Ugotovljeno je bilo, da za najdaljšo obstojnost orodja potrebujemo nepolarno olje (olje 2) v mešanici LCO₂ + MQL. Takrat znaša obstojnost orodja $L_f = 36,6$ m pri frezanju titanove zlitine Ti-6Al-4V z asistenco LCO₂ + MQL. Obstojnost orodja pa je krajša ($L_f = 28,0$ m) ob uporabi polarnega olja (olje 1) v mešanici LCO₂ + MQL. Za nadaljnje delo se predlagajo temeljne študije vpliva mešanice LCO₂ in nepolarnega olja (olje 2) na obstojnost orodja pri odrezavanju drugih težko-obdelovalnih materialov, kot je Inconel 718, nerjavno jeklo 316L itd. Predlaga se tudi analiza obdelane površine in rezalnih sil pri obdelavi teh materialov.

Ključne besede: analiza pretoka, hitrost pretoka, velikost kapljic, enokanalni dovod, kapljeviti ogljikov dioksid – LCO₂ (ang. *Liquid Carbon Dioxide*), oljna megla – MQL (ang. *Minimum Quantity Lubrication*), LCO₂ podprto odrezavanje