

# Raziskava razvoja rezalne fronte abrazivnega vodnega curka z uporabo modela dvodimenzionalnega celičnega avtomata

Marko Jerman<sup>1,\*</sup> – Joško Valentinčič<sup>1</sup> – Andrej Lebar<sup>1,2</sup> – Henri Orbančič<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Slovenija

Za obdelovance izdelane z abrazivnim vodnim curkom (AVC) je značilna brazdava površina, usmerjena v nasprotni smeri rezanja. Ukrivljenost in debelina brazd sta v glavnem odvisni od materiala obdelovanca, prereza AVC, njegove intenzitete ter hitrosti rezanja. Proces odzemanja materiala vsebuje erozijo trdnih delcev in ga je zaradi kompleksnosti težko teoretično popisati. Posledično je bilo razvitih veliko modelov, ki skozi simuliranje procesa rezanja z AVC skušajo izboljšati poznavanje procesa. Glavni izziv predstavlja razviti model, ki dobro popisuje nastanek brazd, katerih nastanek želimo zmanjšati.

Pojav nastanka brazd smo raziskovali posredno, z uporabo modela dvodimenzionalnega celičnega avtomata (CA). Za izračun oblike rezalne fronte model CA uporablja naslednje vhodne parametre: hitrost rezanja, jakost AVC in vrsto materiala. Proces rezanja smo popisali v obliki pravil CA z uporabo poenostavljenih modelov odzema materiala in širjenja toka AVC. Pravila zajemajo sposobnost AVC, da erodira material obdelovanca in obratno, odpornost materiala na proces erodiranja.

Predstavljeni model upošteva preusmeritev toka AVC ob stiku z materialom, kar omogoča simuliranje situacij, kjer obdelovanca, zaradi previsoke rezalne hitrosti, curek ne prereže. Tega scenarija z uporabo prejšnjega modela ni bilo možno simulirati, ker je baziral izključno na energijskem modelu, ki ni upošteval vpliva toka abraziva ob rezalni fronti. V realnosti, pri dovolj velikih rezalnih hitrostih in določeni debelini materiala, obdelovanca ne prerežemo, četudi ima AVC dovolj energije za odzvem materiala. Pojav je posledica preusmeritve curka na dnu zareze in ne zmanjšanja jakosti AVC.

V prispevku smo pokazali, da lahko z uporabo CA uspešno popišemo proces rezanja z AVC za različne materiale. Za uspešno simuliranje razvoja rezalne fronte ob spreminjanju procesnih parametrov je potrebno ustrezno določiti mehanizme odzema materiala in toka AVC. Model odzema materiala zajema proces erozije s trdimi delci in njihovimi parametri, medtem ko model toka AVC upošteva tako energijski potencial kot tudi smer toka curka. Na ta način je možno z modelom predvidevati spremembe smeri toka AVC, primere, kjer AVC obdelovanca ne prereže in učinkovitost rezanja različnih materialov. Pokazali smo tudi, da je zaradi majhnih vpadnih kotov abrazivnih zrn na rezalni fronti, odvisnost med vpadnim kotom in stopnjo odzema materiala, ki se uporablja za žilave materiale, na mikro skali možno uporabiti tudi za krhke materiale kot je steklo. V primerjavi z ostalimi modeli je glavna prednost metode CA poenostavljen in učinkovit model makro-mehanizma rezanja z AVC, ki ga lahko uporabimo za nadaljnje študije procesa. Zaradi popisa problema v 2D prostoru lahko z modelom le delno potrdimo vpliv oblike površine rezalne fronte na nastanek brazd. Mehanizem nastanka brazd je namreč tri dimenzionalni problem, zaradi česar je potrebno za popolni popis mehanizma, model CA razširiti v 3D prostor, kar se izvede z uporabo dodatnih enačb za popis tretje dimenzije.

Model smo potrdili s preverjanjem trenda ukrivljenosti brazd na rezalni fronti pri različnih vhodnih parametrih. Predvidena ukrivljenost brazd na rezalni fronti se dosledno ujema z odzivom v realnem procesu. Predstavljeni model predstavlja korak v smeri modeliranja mehanizma nastanka brazd v 3D prostoru.

**Ključne besede:** abrazivni vodni curek, rezalna fronta, nastanek brazd, celični avtomati, simuliranje