

# Metoda za določitev optimalne geometrije platine za izdelavo izdelka s preoblikovanjem na osnovi rezultatov računalniške simulacije

Nikolaj Mole<sup>1</sup> – Gašper Cafuta<sup>2</sup> – Boris Štok<sup>1,\*</sup>

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

<sup>2</sup> Cimos d.d., Avtomobilska industrija, Slovenija

V današnjem času se pri izdelavi serijskih izdelkov največ pozornosti posveča optimiranju izdelovalnih procesov z vidika ekonomske učinkovitosti in z vidika geometrijske ustreznosti izdelka. Pri preoblikovalnih procesih se, predvsem zaradi večje ekonomske učinkovitosti procesa, pogosto poskuša minimizirati število faz preoblikovalnega procesa, pri kateremu kot zadnja pogosto nastopa faza obreza izdelka. Če uspemo določiti tako geometrijo platine, da geometrija robu preoblikovanega izdelka dovolj dobro ustreza zahtevani geometriji le-tega, se je možno tej fazi v celoti izogniti. Poleg manjših proizvodnih stroškov za izdelavo takega izdelka, je ob ustreznem načrtovanju geometrije platine možno zmanjšati količino porabljenega materiala. Manj materiala v območju pridrženja pločevine zmanjša tudi možnost pojava gubanja ali trganja pločevine. Ker se izognemo obrezovanju pločevine po preoblikovanju, uporaba platine optimalne oblike omogoča doseganje večje učinkovitosti preoblikovalnega procesa in posledično zmanjšanje proizvodnih stroškov.

V prispevku predstavljena metoda za določevanje optimalne oblike platine omogoča določitev geometrije platine za izdelavo izdelkov poljubnih prostorskih geometrij. Cilj določevanja optimalne oblike platine je čim boljše ujemanje robu geometrije preoblikovanega izdelka z njegovo zahtevano geometrijo. Iterativni proces določevanja optimalne oblike platine se začne z le približno določeno obliko platine, ki pa se z izvajanjem korakov predstavljene metode določi tako, da rob izdelka izdelanega iz te platine natančno ustreza njegovi zahtevani geometriji. V vsaki iteraciji je oblika platine določena tako, da se na podlagi izvedene računalniške simulacije preoblikovanja izdelka in elastične povrnitve izdelka izračuna odstopanje robu izdelka od njegove zahtevane geometrije ter se nato na podlagi tega odstopanja izvede korekcijo oblike platine glede na njeno predhodno obliko. Računalniške simulacije, ki so osnova za optimizacijo oblike platine, so bile izvedene z računalniškim programom ABAQUS, ki je zasnovan na metodi končnih elementov.

V prvem delu se izvede računalniška simulacija procesa preoblikovanja in sicer, zaradi lažje obravnave kontaktnih razmer med pločevino in deli orodja, z uporabo eksplicitne sheme časovne integracije numeričnega problema. Sledi računalniška simulacija elastične povrnitve izdelka, pri kateri uporabimo implicitno shemo s čemer se ta problem obravnava kot statični problem.

Proces optimizacije oblike platine je popolnoma avtomatiziran, avtomatizacija pa je izvedena z izdelavo računalniškega programa v programskem jeziku Fortran. Ta program je nadgrajen z uporabo programskega jezika Python, ki omogoča branje in zapisovanje rezultatov posamezne iteracije optimizacijskega procesa. Ker je učinkovitost metode določevanja optimalne geometrije platine močno odvisna od fizikalne objektivnosti računalniške simulacije, je bil za potrditev učinkovitosti metode izveden tudi eksperiment.

Eksperiment je bil izveden v dveh korakih. S prvim smo potrdili ustreznost numeričnega modela za računalniško simulacijo preoblikovanja in elastične povrnitve, ki je osnova za izračun geometrije izdelka. V drugem koraku smo potrdili učinkovitost metode optimizacije oblike platine. Na podlagi rezultatov numeričnih izračunov in opravljenih eksperimentov lahko trdimo, da je predstavljena metoda numerično robustna in učinkovita.

**Ključne besede:** preoblikovanje pločevine, optimizacija, kompenzacija elastične povrnitve, eksperimentalna potrditev, računalniška simulacija, iterativni proces