

Modeliranje procesa preoblikovanja pločevine z upoštevanjem plastične anizotropije in evolucije modula elastičnosti

Bojan Starman – Marko Vrh – Mirko Halilovič – Boris Štok*

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Članek obravnava konstitutivno in numerično modeliranje procesa preoblikovanja nerjavne pločevine s poudarkom na napovedi elastične povračljivosti. Znano je, da se med obremenjevanjem v pločevini poleg trajne deformacije razvija tudi poškodovanost v obliki mikropraznin, votlinic in razpok. Pojav je razpoznaven z opazovanjem mikrostrukture pločevine, ki je bila predhodno obremenjena do določene stopnje trajne deformacije. Glede na teorijo mehanike poškodb so tako nastale praznine in mikrorazpoke glavni vzrok za degradacijo togosti v duktilnih materialih, kar ima nadalje pomembno vlogo pri napovedovanju elastične povračljivosti. Ker je pločevina zaradi procesa izdelave anizotropna, ima tudi to pri napovedovanju pomemben vpliv.

Glavni predmet obravnave je izgradnja konstitutivnega modela, ki iz fenomenološkega vidika sočasno upošteva anizotropijo pločevine, evolucijo poškodovanosti ter degradacijo togosti v materialu med preoblikovanjem. Predstavljeni elastoplastični model tako temelji na Gurson–Tvergaard–Needlemanovem (GTN) poškodbenem modelu, ki je ustrezno razširjen z vgrajenim modelom plastične anizotropije Hill48 ter Mori–Tanaka pristopom degradacije togosti na nivoju materialne točke. Konstitutivni model, poimenovan GHM, je bil nadalje implementiran v program končnih elementov ABAQUS/Explicit prek uporabniškega podprograma VUMAT, parametri modela pa so bili usklajeni z eksperimentalnimi vrednostmi.

Za namen uskladitve parametrov konstitutivnega modela so bili izvedeni standardni natezni preizkusi v treh smereh (0° , 90° in 45°) glede na smer valjanja pločevine, ter preizkusi, pri katerih so standardni preizkušanci najprej predhodno deformirani do določene stopnje plastične deformacije in nato razbremenjeni. Mehanski odziv za karakterizacijo mehanskih lastnosti je nadalje določen na osnovi ponovnega obremenjevanja in razbremenjevanja teh preizkušancev v elastičnem področju v vzdolžni in pravokotni smeri glede na smer valjanja. Uskladitev parametrov konstitutivnega modela je bila izvedena z Levenberg–Marquardtovim optimizacijskim algoritmom na podlagi simulacije izvedenih preizkusov.

Zasnovani konstitutivni model je bil v zadnji fazi eksperimentalno verificiran v preizkusu elastične povračljivosti. Preizkus je sestavljen iz upogibnega obremenjevanja in relaksacije pravokotnega pločevinastega vzorca, ki je bil predhodno plastično deformiran do določene stopnje tako v pravokotni kot tudi v vzdolžni smeri glede na smer valjanja pločevine. Primerjava predlaganega pristopa k modeliranju in klasičnega pristopa samo z upoštevanjem utrjevanja in anizotropije pločevine v modelu Hill48 jasno pokaže, da sočasno modeliranje materialnih pojavov, še posebej z združevanjem anizotropije in degradacije materialne togosti, vodi v natančnejšo napoved elastične povračljivosti v procesih preoblikovanja pločevine.

Ključne besede: elastična povračljivost, poškodovanost, elastične lastnosti, degradacija togosti, plastična anizotropija