

Računska in numerična analiza razvoja duktilnih poškodb v nateznem preizkusu dvofaznega jekla s cikli obremenjevanja in razbremenjevanja

Juan Anduquia-Restrepo¹ – Carlos Narváez-Tovar² – Rodolfo Rodríguez-Baracaldo^{1,*}

¹ Kolumbijska nacionalna univerza, Oddelek za strojništvo in mehatroniko,
Skupina za inoviranje proizvodnih procesov in materiale, Kolumbia

² Kolumbijska nacionalna univerza, Oddelek za strojništvo in mehatroniko,
Skupina za inženirsko modeliranje in numerične metode, Kolumbia

Dvofazna (DP) jeklena pločevina je zelo razširjena v avtomobilski industriji. Material je sestavljen iz dveh faz: trdi otopki martenzita so vdeleni v mehki feritni osnovi, s tem pa je zagotovljena želena kombinacija visoke trdnosti in dobre obdelovalnosti. Od nezdržljivosti faz pri velikih deformacijah je odvisna mehanika odpovedi dvofaznih jekel, po kateri se ta jekla razlikujejo od konvencionalnih jekel: razpoke v martenzitu, dekohezija na stiku martenzita in ferita ali kombinacija obeh pojavov. V tem kontekstu se za napovedovanje duktilne odpovedi uporablja teorija mehanike poškodb v kontinuumu (CDM), ki pojasnjuje duktilne poškodbe kot trisopenjski proces akumulacije plastičnih deformacij v materialu do odpovedi. Prvi korak je iniciacija poškodbe z nastajanjem mikroskopskih praznin med plastičnim tečenjem. Praznine nato rastejo z akumulacijo plastičnih deformacij v materialu, vse dokler ni doseženo kritično stanje, ko se začnejo praznine zraščati in nastopi popolna odpoved. Material tako popolnoma izgubi svojo nosilnost in nastopi duktilni zlom. V fazah začetka in razvoja poškodb je mogoče pridobiti boljši vpogled v mehanske lastnosti jekla kot zgolj z analizo lomne mehanike, ter opredeliti meje preoblikovanja za nadzor procesa proizvodnje jeklenih komponent.

Glavni cilj predstavljene raziskave je karakterizacija poškodb jekla DP590 s kombinacijo numerične in eksperimentalne analize za ocenjevanje duktilne odpovedi brez dragih in zahtevnih mehanskih preizkusov. Proizvajalcem, ki se ukvarjajo s preoblikovanjem novih vrst jekel, bo tako omogočena zanesljiva identifikacija materialnih lastnosti s cikli obremenjevanja in razbremenjevanja na konvencionalnih strojih za enoosne natezne preizkuse. Najprej je za simulacijo duktilnih poškodb v skladu z rezultati eksperimentalnih preizkusov podan sklopljen elasto-plastični poškodbeni model po Lemaitreju v idealnih izotropnih pogojih. Formulirani so zakoni kinetike razvoja poškodb ob upoštevanju konstantne vrednosti trisnosti napetosti. Nato je razvit osnovni pristop z meritvami slabšanja togosti na podlagi enoosnih nateznih preizkusov s cikli obremenjevanja in razbremenjevanja gladkih pločevin. Eksperimentalno so določene naslednje mehanske lastnosti in parametri poškodb: zmanjšanje modula elastičnosti med procesom slabšanja \tilde{E} , naravna meja plastičnosti σ_{y0} , končna napetost σ_u , poškodbeni spremenljivka D , meja plastičnih deformacij za iniciacijo poškodbe $\bar{\epsilon}_D^p$, obstojnost proti poškodbam S in kritična poškodba D_c . Nato je obravnavan kriterij za določanje diagrama resničnih napetosti in deformacij ob upoštevanju lokalnih napetosti po zožitvi pravokotnih preizkušancev. Za obravnavo mehanskih lastnosti po pojavu lokalnih zožitev je bila uporabljena Scheiderjeva rešitev.

Rezultati so pokazali, da model omogoča dobro napovedovanje vedenja materiala v enoosnih nateznih preizkusih s cikli obremenjevanja in razbremenjevanja ob upoštevanju konstante trisnosti. Povprečna napaka rezultatov simulacije je bila minimalna. Poškodbeni model se dobro ujema z rezultati eksperimentalne analize mehanskega vedenja jekla DP590 v pogojih enoosne obremenitve. Predstavljeno metodologijo bi bilo mogoče neodvisno validirati ter jo izboljšati z upoštevanjem sprememb trisnega napetostnega stanja za replikacijo zahtevnejših napetostnih poti. To je nujno za določitev več kriterijev duktilnega zloma in upoštevanje vedenja materiala pri različnih napetostnih stanjih.

Ključne besede: mehanika poškodb v kontinuumu, dvofazna jekla, napovedovanje duktilnih poškodb, preizkus s cikli obremenjevanja in razbremenjevanja, končne deformacije, pločevinasti preizkušanci

*Naslov avtorja za dopisovanje: Kolumbijska nacionalna univerza, Oddelek za strojništvo in mehatroniko, Bogota, Kolumbia, rodriguezba@unal.edu.co