

Fenomen tečenja in ciklična plastifikacija konzolnega nosilca

Andrej Žerovnik* – Ivan Prebil – Robert Kunc

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Fenomen tečenja je na napetostno-deformacijskih krivuljah enoosno obremenjenih preizkušancev viden ob prvem prehodu iz elastičnega v elasto-plastično področje kot ostra konica (točka tečenja), kateri sledijo padec napetosti, napetostna planota (t. i. Lüders-ova planota) ter nadaljnje utrjevanje. Padec napetosti in napetostna planota sta posledici hitrega večanja števila mobilnih dislokacij. Posledica takšnega odziva je nehomogena plastična deformacija materiala tekom tvorjenja napetostne planote. Pojav je značilen za železo, nizkolegirana jekla, titanove in aluminijeve zlitine ter nekatere druge kovinske zlitine, kot tudi za polimere, kompozite in laminate ter nekatere kamenine.

Fenomen tečenja je bil v povezavi z enoosnim obremenjevanjem podrobneje raziskan že v preteklosti. Za popis fenomena tečenja so bile izpeljane različne formulacije konstitutivnih modelov, ki pa so se v večji meri osredotočale na monotone obremenitvene primere. Večina obstoječih konstitutivnih modelov za popis ciklične plastifikacije omenjenega fenomena ne upošteva, dejanski vpliv upoštevanja fenomena tečenja na ciklično plastifikacijo pa do sedaj ni bil poznan. Avtorji prispevka so v preteklosti predstavili konstitutivni model ciklične plastifikacije, ki vsebuje tudi popis fenomena tečenja.

Z namenom verifikacije razvitega konstitutivnega modela in prikaza doprinosa enačb popisa fenomena tečenja na rezultate numeričnih simulacij ciklične plastifikacije je v prispevku predstavljena analiza ciklične plastifikacije konzolnega nosilca. Nosilec je izdelan iz materiala EN 42 CrMo 4 v normaliziranem stanju (184 HV), ki izkazuje ciklično utrjevanje, in v poboljšanem stanju (296 HV), ki izkazuje ciklično mehčanje. Analiza zajema primerjavo numeričnih simulacij z rezultati eksperimentalnega dela. Zaradi dolgih računskih časov je primerjava omejena na prvih 100 obremenitvenih ciklov.

Eksperimentalno delo je izvedeno na enoosnem dinamičnem preizkuševališču Instron 8802, za ustrezno vpetje konzolnega nosilca pa je izdelano posebno vpetje, ki zagotavlja ustrezno togost. Konzolni nosilci so obremenjeni z različnimi robnimi pogoji (različne amplitude pomika), tekom preizkusa pa so bili opazovani sila, pomik ter deformacije na mestu največjih pričakovanih deformacij konzolnega nosilca. Za merjenje deformacij je uporabljen optični merilni sistem GOM Aramis 5M, medtem ko sta sila in pomik merjena s pripadajočo opremo preizkuševališča.

Za izvedbo numeričnih simulacij po metodi končnih elementov je generirana in uporabljena simbolno-numerična koda končnega elementa, simulacije pa so izvedene za primer konstitutivnega modela z upoštevanjem enačb popisa fenomena tečenja in brez njih. Na podlagi predhodnih meritev so določeni parametri konstitutivnega modela za obe stanji materiala.

Primerjava sile konzolnega nosilca v odvisnosti od pomika in števila ciklov kaže na dobro ujemanje rezultatov eksperimentalnega dela z rezultati numeričnih simulacij v primeru upoštevanja fenomena tečenja, medtem ko v primeru neupoštevanja fenomena tečenja rezultati izraziteje odstopajo. Podobne ugotovitve glede doprinosa popisa fenomena tečenja potrjuje tudi primerjava deformacijskih polj konzolnega nosilca, kjer je izrazita razlika vidna predvsem v začetni fazi obremenjevanja, medtem ko v nadaljevanju nekoliko izzveni. Za samo razumevanje in prikaz doprinosa popisa fenomena tečenja v konstitutivnih modelih so prikazane največje primerjalne napetosti (Von Mises). Primerjava posameznih rezultatov prikazuje popolnoma drugačen potek primerjalnih napetosti v primeru upoštevanja fenomena tečenja in kaže na to, da je v primeru upoštevanja fenomena tečenja cona plastične deformacije manjša, iz česar je možno sklepati, da je ciklična plastifikacija v najbolj obremenjenem delu izrazitejša. Analiziran je tudi vpliv cikličnega utrjevanja/mehčanja na ciklično plastifikacijo.

Analiza sprememb posameznih parametrov konstitutivnega modela, prikazanih v delu, omogoča razumevanje vpliva fenomena tečenja na ciklično plastifikacijo konzolnega nosilca. Predstavljeni rezultati potrjujejo ustreznost in smiselnost popisa fenomena tečenja v konstitutivnem modelu ciklične plastifikacije.

Ključne besede: fenomen tečenja, ciklična plastifikacija, mehanski preizkusi, MKE-simulacije, konstitutivni model, mehanika kontinuuma

*Naslov avtorja za dopisovanje: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija, andrej.zerovnik@fs.uni-lj.si