

Linearni in kvadratični telesno-lupinski elementi za kvazistatično in dinamično simulacijo tankostenskih 3D-konstrukcij: uporaba pri postopkih globokega vleka

Peng Wang – Hocine Chalal – Farid Abed-Meraim*

Arts et Métiers ParisTech, LEM3, Francija

Članek podaja predlog za oblikovanje družine linearnih in kvadratičnih telesno-lupinskih elementov, primernih za tridimenzionalno modeliranje tankostenskih konstrukcij v kontekstu kvazistatične (implicitne) in dinamične (eksplicitne) analize, kakor tudi za simulacijo preoblikovanja pločevine.

Tankostenske konstrukcije se tradicionalno modelirajo s konvencionalnimi lupinskimi elementi ali pa s telesnimi elementi nizkega reda. Konvencionalni lupinski elementi so pogosto le omejeno uporabni pri simulacijah različnih procesov preoblikovanja pločevine, pri telesnih elementih kontinuuma pa se pojavljajo težave z blokiranjem. V članku so kot možna rešitev za odpravo naštetih omejitev predstavljeni telesno-lupinski elementi za točno in učinkovito simulacijo tankostenskih konstrukcij. Telesno-lupinski elementi s svojo tridimenzionalno formulacijo združujejo prednosti formulacije teles in lupin za bolj realistično modeliranje različnih konstrukcij, saj se pri formulaciji izognemo geometrijskim (sredinska ravnina) ali kinematičnim domnevam, kakor tudi konstitutivnim (ravninske napetosti) omejitvam.

Formulacija predlagane družine prizmatičnih in heksaedrskih telesno-lupinskih (SHB) elementov v linearni in kvadratični različici uporablja čisti tridimenzionalni pristop, pri katerem edino prostostno stopnjo predstavljajo odmiki. Uvedena je ravninska reducirana integracijska shema s poljubnim številom integracijskih točk po debelini, ki omogoča modeliranje tankostenskih konstrukcij z eno samo plastjo elementov. Elementi SHB so deležni več posebnih obdelav v izogib vsem pojavom blokiranja ter zagotavljajo točnost in učinkovitost simulacij. Ustvarjeni elementi SHB so implementirani v programskem paketu ABAQUS in v namenskih paketih za kvazistatično in dinamično analizo tankostenskih 3D-konstrukcij.

Učinkovitost elementov SHB je najprej ovrednotena z vrsto selektivnih in reprezentančnih statičnih in dinamičnih nelinearnih primerjalnih testov. Predlagani elementi SHB so bili nato uporabljeni za simulacijo globokega vleka cilindrične skodele s kompleksnim nelinearnim potekom obremenitve, anizotropno plastičnostjo in dvostranskim stikom. Numerične simulacije so pokazale, da se rezultati, pridobljeni z elementi SHB, dobro ujemajo z referenčnimi rešitvami pri obeh vrstah analize (kvazistatični in dinamični).

Čeprav se rezultati numerične simulacije postopka globokega vleka cilindrične skodele dobro ujemajo z eksperimenti, bi bilo simulacijo v prihodnje mogoče še izboljšati z uporabo naprednih nekvadratičnih funkcij anizotropne plastičnosti, ki so primernejše za določene materiale, kot so aluminijeve zlitine.

Tehnologija telesno-lupinskih končnih elementov (SHB) s privzetimi deformacijami je v predstavljenem delu razširjena na eksplicitno dinamično analizo ter je povezana z naprednimi anizotropičnimi modeli plastičnosti pri modeliranju tankostenskih tridimenzionalnih konstrukcij, v pogojih kvazistatičnih ali dinamičnih obremenitev, kakor tudi pri procesih preoblikovanja pločevine. Predstavljeni rezultati numeričnih simulacij razkrivajo zmožnosti elementov SHB in dober potencial za njihovo uporabo pri simulaciji tankostenskih 3D-konstrukcij.

Ključne besede: metoda domnevnih deformacij, končni elementi, linearni in kvadratični telesno-lupinski elementi, kvazistatične in dinamične obremenitve, tankostenske 3D-konstrukcije, globoki vlek