

Metoda mejne plasti za nestacionaren transonični tok

Frane Majić^{1,*} – Ralph Voss² – Zdravko Virag¹

¹ Fakulteta za strojništvo in ladjedelništvo, Univerza v Zagrebu, Hrvaška

² Institut za aeroelastičnost, nemški letalski in vesoljski center, Nemčija

Pojav drhtenja (*flutter*) pri letalih je aeroelastični problem, ki je odvisen od interakcije elastičnih, blažilnih in vztrajnostnih sil konstrukcije ter nestacionarnih aerodinamičnih sil, ki jih ustvarja oscilatorno gibanje same konstrukcije. Najzahtevnejši je izračun nestacionarnih aerodinamičnih obremenitev, zato je bila razvita učinkovita metoda za napovedovanje aerodinamičnih sil. Cilj raziskave je bil predstaviti metodo viskozno-neviskozne interakcije za določevanje nestacionarnih aerodinamičnih obremenitev. Metoda viskozno-neviskozne interakcije se uporablja v preliminarni fazi konstrukcije letala, kjer je treba preizkusiti več konfiguracij. Rezultati so primerjani z eksperimentalnimi podatki in rezultati izračunov po Reynoldsovo povprečenih Navier-Stokesovih enačbah.

Predstavljena je dvodimenzionalna metoda nestacionarne interakcije z uporabljenim modelom prehoda mejne plasti in konceptom hitrosti transpiracije kot sredstvom interakcije. Neviskozna okolica aerodinamičnega profila je izračunana z Eulerjevimi enačbami, območje viskozne mejne plasti pa z integralnimi enačbami mejne plasti. Eulerjeve enačbe so bile rešene s pomočjo C-mreže na telesu ter z uporabo Van Leerove delitve vektorja pretoka z natančnostjo drugega reda. Eulerjeve enačbe so bile eksplicitno rešene z natančnostjo prvega reda v času. Integralne enačbe mejne plasti so bile rešene z metodo Runge-Kutta četrtega reda. Hitrost transpiracije je predstavljala vpliv zgoščevanja mejne plasti in je bila uveljavljena na konturi aerodinamičnega profila v Eulerjevem programu za reševanje. Na meji oddaljenega polja je bil uporabljen značilni pogoj meje. Za določitev začetka prehoda v mejni plasti je bila uporabljena metoda e^n . Viskozno-neviskozna sklopitev je izvedena v neposrednem načinu, kjer se viskozni in neviskozni računi izvajajo zaporedoma.

Izračunani viskozno-neviskozni rezultati so bili primerjani z Reynoldsovo povprečenimi Navier-Stokesovimi (RANS) izračuni ter z eksperimentalnimi podatki. Izračunani viskozno-neviskozni rezultati kažejo prednosti v primerjavi z izračuni RANS z ozirom na računski čas, zahtevnost priprave in zahtevano velikost mreže. Študija konvergence je pokazala, da 9.600 kontrolnih volumnov zadostuje za viskozno-neviskozne izračune, medtem ko se izračuni RANS izvajajo na mreži s 50.000 kontrolnimi volumni. Procesorski čas, potreben za izračune RANS, se močno razlikuje od potrebnega časa za viskozno-neviskozne izračune.

Prikazani so nestacionarni rezultati za aerodinamični profil NACA64A010 pri transoničnih hitrostih s pojavom udarnega vala. Aerodinamični profil je izvajal harmonično gibanje in udarni val se je premikal v skladu s tem gibanjem. Rezultati tlačnih koeficientov pri viskozno-neviskozni metodi so se delno ujemali z eksperimentalnimi podatki pri večini faznih kotov, medtem ko so se izračunani rezultati RANS dobro ujemali pri vseh faznih kotih. Položaj udarnega vala je večinoma dobro napovedan. Vključitev mejne plasti v nestacionarno Eulerjevo metodo se je izkazala kot natančnejša metoda za določanje nestacionarnih aerodinamičnih obremenitev. Metoda daje rezultate skoraj enake natančnosti kot višji matematični modeli kot je RANS, računski čas je krajši in zahteve glede strojne opreme so manjše.

Uporabljena metoda izkazuje oscilatorno vedenje v primerih z majhnim ločilnim mehurčkom za udarnim valom in divergenco v primerih z ločitvijo. Takšno vedenje je pričakovano zaradi neposredne viskozno-neviskozne sklopitve. Boljše vedenje v primerih z majhnim ločilnim mehurčkom bi bilo mogoče doseči z močno viskozno-neviskozno sklopitvijo, kjer bi se enačbe za viskozni tok in enačbe za neviskozni tok reševale sočasno v istem sistemu.

Članek prikazuje uspešno uporabo metode prehoda na osnovi Orr-Sommerfeldove enačbe v nestacionarnih aerodinamičnih simulacijah. Prikazana je tudi uporaba koncepta hitrosti transpiracije pri vključitvi mejne plasti v nestacionarne aerodinamične simulacije.

Ključne besede: nestacionaren transonični tok, viskozno-neviskozna sklopitev, aerodinamični profil, hitrost transpiracije, napovedovanje prehoda