

Ocena površinske temperature in toplotnega toka nad votlim valjem in ploščo z uporabo inverznega prevajanja toplote

Apoorva Deep Roy – Sushil Kumar Dhiman*
Inštitut za tehnologijo Birla, Oddelek za strojništvo, Indija

Neposredna meritev temperature površin in toplotnega toka bi povzročila uničenje tipal in motnje v toku fluidov pri mnogih tehničnih aplikacijah, kot so raketni motorji, kotlovske cevi, jedrski reaktorji itd. Možna rešitev je umik tipal pod zaščito trdne snovi in zajem temperaturne zgodovine, iz katere se nato ocenita površinska temperatura in toplotni tok. Gre za t.i. problem inverznega prevajanja toplote (IHCP). Rešitve IHCP so bile preučene v domeni direktnih in inverznih problemov. Pri inverznem problemu je znan samo en robni pogoj, reševanje pa zahteva posebne tehnike. Pričujoča raziskava obravnava novo tehniko.

Za določitev omenjenih neznank je bila razvita neiterativna aproksimacija IHCP z energijskim ravnovesjem med kontrolnimi volumni. Domena toplotnega toka ob normalni na površino je bila razdeljena na tri kontrolne volumne in preučena za tri ločene primere: ogrevan votli kovinski valj, hlajen v prečnem toku zraka, ogrevana ravna plošča v mirujočem zraku in ogrevana ravna plošča s hlajenjem v mirujočem zraku z naključnimi zračnimi piši. Časovni odvodi ocen temperature in toplotnega toka na površini v izpeljanih enačbah so bili določeni z aproksimacijo. Obe oceni sta bili pridobljeni iz izpeljanih enačb s sočasno meritvijo časovnega poteka temperature na dveh mestih: prvem na notranji površini in drugem kjerkoli znotraj kontrolnega volumna ob normalni na površino. Odstopanje je bilo preverjeno z realnočasovnimi sočasnimi meritvami časovnega poteka temperature na zunanji površini ob normalni na površino. Primerjava časovnega poteka temperature na površini, ocenjenega z izpeljanimi enačbami in določenega z meritvami, je pokazala odstopanja znotraj 0,5 % za valj, znotraj 0,03 % za ploščo v mirujočem zraku in znotraj 0,5 % za vpihovanje zraka. V vseh treh primerih so bile zabeležene dosledne in dobre ocene toplotnih tokov na podlagi časovne zgodovine.

Pristop temelji na metodi inverznega prevajanja toplote, kjer se domena toplotnega toka razdeli na več kontrolnih volumnov, enačbe za ocenjevanje temperatur in toplotnega toka pa se določijo na podlagi energijskega ravnovesja med njimi. Prednost inverznega pristopa je v zelo točnih rešitvah s preprostimi enačbami na podlagi neiterativne aproksimacije. Linearni problem inverznega prevajanja toplote je mogoče reševati tudi s podatki, ki vsebujejo naključne napake. Napake v temperaturnih podatkih pri reševanju IHCP običajno vplivajo na aproksimacijo časovnih odvodov z diferenciali, kar privede do velikih napak. Predstavljena tehnika ne vključuje sekvenčnega korakanja v času in tako odpravlja omenjeno pomanjkljivost. Prav tako ne zahteva računanja temperatur v vseh vozliščih za vsak časovni korak. Metoda za razliko od predhodnih metod reševanja IHCP ne zahteva informacij o začetni temperaturni porazdelitvi v trdni snovi. Toplotni tok na površini v danem trenutku je mogoče neposredno izračunati iz prehodno izmerjenih temperatur v trdni snovi, brez računanja po korakih v časovni domeni.

Ključne besede: površinska temperatura in toplotni tok, inverzno prevajanje toplote, pristop z energijskim ravnovesjem, votli valj in ravna plošča, izpeljane enačbe, Nusseltovo število