

Raziskava hidrodinamičnih lastnosti toka v cevni kači z ovalnostjo in gubami

Govindaraj Periasamy^{1,*} – Senthilkumar Mouleeswaran² – Prabhu Raja Venugopal¹ – Chellapandi Perumal³

¹ Tehniški kolidž PSG, Oddelek za strojništvo, Indija

² Tehniški kolidž PSG, Oddelek za proizvodni inženiring, Indija

³ Indijski inštitut za tehnologijo Madras, Oddelek za uporabno mehaniko, Indija

Preoblikovanje cevnih kač z valjanjem povzroča pojav geometrijskih napak v obliki nagubanosti in ovalnosti, ki lahko vplivajo na hidrodinamične lastnosti toka fluida v cevni kači pri aplikacijah, kot so razvlaževalniki zraka. Ovalnost cevi povzroči tanjšanje sten na zunanji strani zaradi natezних napetosti ter odebelitev sten na notranji strani zaradi tlačnih sil med procesom preoblikovanja. Na notranji strani kače se pojavi tudi nagubanje zaradi čezmernih tlačnih sil. Najtanjša zunanja stena se lahko v primeru visokega porasta tlaka v kači celo poruši. Odvečen material v gubah na notranji steni vpliva na integriteto cevne kače ter povzroči povečanje teže prenosnikov toplote za aplikacije, kot so razvlaževalniki zraka. Geometrijske nepravilnosti vplivajo na hidrodinamične lastnosti toka v cevni kači ter povzročajo nezaželene turbulence in s tem večje pretočne izgube.

V tej študiji je bila opravljena eksperimentalna in numerična analiza hidrodinamičnega vedenja toka v cevni kači za primer prenosnika toplote v razvlaževalniku zraka. Meritev ovalnosti več cevnih kač je pokazala, da je največja vrednost ovalnosti 3,2 %, kar je še znotraj dopustnih mej po standardu ASME B31.3. Zato ni mogoče pričakovati, da bi ovalnost lahko vplivala na pretok.

Nagubanost kot druga vrsta geometrijske nepravilnosti se pojavlja na notranji strani kač zaradi stiskanja med postopkom preoblikovanja cevi. Za eksperimentalno analizo je bila izbrana bakrena cevna kača s tremi zavoji, gubami in ovalnostjo za ocenitev globalnih hidrodinamičnih lastnosti toka skozi cevno kačo, rezultati pa so bili primerjani s cevno kačo z idealno geometrijo, torej brez nagubanosti in ovalnosti. Ugotovljeno je bilo, da nagubanost pomembno prispeva k tlačnemu padcu v cevni kači. Pri vrednosti R_e v višini 100.000 je bila ugotovljena največja tlačna razlika v višini 2 kPa. Sicer gladka cev z gubami in ovalnostjo se tedaj obnaša kot groba cev. Vpliv nagubanosti je bil ocenjen s količnikom trenja, ustrezna ekvivalentna površinska hrapavost pa se je zaradi prisotnosti gub na cevni kači povečala za 5,7-krat. Ekvivalentna hrapavost cevne kače z gubami in brez nje pri vrednostih R_e nad 60.000 znaša 2,3 μm oz. 0,3 μm .

Opravljene so bile numerične simulacije za določitev porazdelitve tlaka, porazdelitve hitrosti in sekundarnega toka v cevni kači. Rezultati so bili nato še eksperimentalno potrjeni. Numerična analiza globalnega tlačnega padca in hitrostnega polja je razkrila vpliv gub na pretočno polje v obliki porasta ekvivalentne hrapavosti cevne kače in nihanj v hitrostni porazdelitvi zaradi spremenljivega preseka po dolžini cevne kače. V numeričnih simulacijah je bil zajet kritični del cevne kače z več gubami za preučitev lokaliziranega vpliva gub na pretočno polje. Lokalna analiza je pokazala povečanje turbulentnosti toka. Sekundarni tok povzroči znaten podtlak v pretočnem polju, ta pa je povezan z mehanizmi lokalnih poškodb, kot sta kavitacija in nastanek jamic. Omenjeni mehanizmi bi lahko povzročili resnejše posledice pri uporabi nagubanih cevnih kač v prenosnikih toplote za kritične aplikacije, kot sta npr. jedrska tehnika in medicina.

Rezultati pričujočega dela se nanašajo le na cevno kačo določene velikosti in zato veljajo le za to konfiguracijo oz. za podobne cevne kače s tako porazdelitvijo gub. Zato bo treba opraviti še parametrično študijo, ki bo upoštevala variabilnost geometrije cevnih kač ter s tem povezani porazdelitev in velikost gub. Potrebne bodo še dodatne analize poškodb v materialu in konstrukciji za kvantifikacijo vpliva ostalih dejavnikov poleg lokalnega podtlaka v pretočnem polju na prenos toplote in na druge procese, t.j. vpliva tanjšanja sten na zunanji strani ter odebelitve sten na notranji strani kače. Rezultati dajejo nov vpogled v vpliv geometrijskih nepravilnosti na zmogljivost cevnih kač med življenjsko dobo.

Ključne besede: cevna kača, pretočne lastnosti, ovalnost, nagubanost, računalniška dinamika fluidov, sekundarni tok