

Elektrotermomehanska analiza Joulovega segrevanja dilatometrskih preizkušancev

Martin Herrejón-Escutia¹ – Gildardo Solorio-Díaz¹ – Héctor Javier Vergara-Hernández² –
Edgar López-Martínez³ – Gerardo Marx Chávez-Campos² – Octavio Vázquez-Gómez^{2,4,*}

¹ Univerza sv. Nikolaja Hidalga v Michoacanu, dodiplomski program strojništva, Mehika

² Inštitut za tehnologijo v Moreliji, Podiplomski in raziskovalni oddelek, Mehika

³ Univerza Tehuantepeške ožine, Mehika

⁴ Nacionalni svet za znanost in tehnologijo, Mehika

Razvit je bil matematični model Joulovega segrevanja votlega cilindričnega dilatometričnega preizkušanca iz nerjavnega jekla AISI 304. Model napoveduje potek temperature v odvisnosti od električnega toka in določa funkcijo toka, ki je potreben za konstantno hitrost segrevanja. Model povezuje temperaturno polje in temperaturne deformacije z enačbami za mehanske deformacije in temperaturni raztezek.

Matematični model obravnava Newtonsko segrevanje diferencialnega elementa volumna, kjer je energijsko ravnotežje doseženo s sklopitvijo člena za nastanek Joulove toplote in členov za akumulacijo in oddajanje toplote s konvekcijo in sevanjem. Iz energijskega ravnotežja izhaja vodilna diferencialna enačba za temperaturno polje. Enačba je razrešena po metodi končnih razlik s posebno programsko kodo v brezplačnem paketu Scilab®. Model določa termofizikalne in električne lastnosti jekla v odvisnosti od temperature.

Eksperimentalni preizkusi so bili opravljeni z napravo za Joulovo segrevanje, sestavljeno iz grelnika, infrardečega pirometra za merjenje temperature in laserskega mikrometra za merjenje temperaturnih raztezков. Naprave krmili vdelan sistem za zajem podatkov.

Za razrešitev matematičnega modela je bilo treba določiti tri toplotne robne pogoje: 1) skupni koeficient prenosa toplote na zunanji površini, 2) temperaturo v notranjosti in 3) skupni koeficient prenosa toplote na notranji površini preizkušanca. Trije toplotni robni pogoji so bili določeni kot funkcija temperature. Za oceno temperaturnega raztezka je bilo treba najprej določiti vrednost koeficienta temperaturnega raztezka jekla AISI 304 z eksperimentalnimi meritvami spremembe zunanjega premera glede na to, da je temperaturni raztezek enak dilataciji preizkušanca.

Model je bil validiran s primerjavo toplotnega odziva in eksperimentalno določenih temperaturnih raztezков ter rezultatov simulacije pri različnih hitrostih segrevanja. Ujemanje rezultatov eksperimentov in simulacije je sprejemljivo, zato so bili validirani tudi toplotni robni pogoji in eksperimentalni koeficient linearnega temperaturnega raztezka.

Z analizo občutljivosti je bil ocenjen vpliv kritičnih vhodnih spremenljivk na toplotno zgodovino preizkušanca. Za posnemanje materiala z večjo in manjšo prevodnostjo je bila uporabljena spremenjena električna prevodnost nerjavnega jekla AISI 304. Debelina vzorca je bila spremenjena z zmanjševanjem ogrevane mase in povečevanjem gostote električnega toka skozi preizkušane.

Simulacije so bile opravljene s superzlitino Hastelloy® C-276 in nerjavnim jeklom AISI 304, pri čemer je bila opravljena primerjava časovnega poteka temperature, funkcije električnega toka in temperaturnih deformacij.

Končno je bil razvit matematični model Joulovega segrevanja votlega cilindričnega preizkušanca z oceno poteka temperature, zgodovine električnega toka in odstotka dilatacije. Dokazano je bilo tudi, da je toplotne robne pogoje mogoče določiti z empiričnimi korelacijami, inverznim modelom prevoda toplote in eksperimentalnimi podatki. Model je bil uspešno validiran za dve kovinski zlitini, ki nimata faznega prehoda v obravnavanem temperaturnem območju. Z analizo občutljivosti je bil ugotovljen vpliv električne prevodnosti in debeline preizkušanca na potek temperature. Rezultati simulacij so pokazali, da nikljeva zlitina Hastelloy® C-276 zaradi svoje električne prevodnosti doseže nižjo temperaturo kot jeklo AISI 304, medtem ko je njen temperaturni raztezek večji kot pri nerjavnem jeklu 304.

Ključne besede: matematični model, neprekinjeno segrevanje, Joulov efekt, dilatometrija, nerjavno jeklo AISI 304