

Neposredna določitev koeficienta Coulombovega trenja s preizkusi stiskanja valja

Deniz Duran* – Celalettin Karadogan

Center odličnosti za preoblikovanje kovin pri univerzi Atılım, Turčija

Razvita je bila nova metoda za neposredno določitev koeficienta Coulombovega trenja pri aplikacijah kovanja v hladnem s preizkusi stiskanja valja. Pri klasičnem pristopu se meri deformirana neenakomerna oblika stisnjene preizkušance in meritve se nato primerjajo z rezultati kalibracijskih simulacij, ki pokrivajo različne koeficiente trenja. Klasični pristop je zelo zamuden in zahteva vnaprejšnje poznavanje krivulj tečenja materiala. Težave nastopijo zaradi nehomogene porazdelitve spremenljivk polja, ki so posledica trenja na stiku med ploščo in preizkušancem. Nova metoda odpravlja potrebo po podrobnem poznavanju krivulje tečenja ter lahko zamenja kalibracijske simulacije za vse materiale in koeficiente trenja s preprostim polinomskim metamodelom.

Metamodel je sestavljen na podlagi osnosimetričnih simulacij s končnimi elementi za preizkus stiskanja valja premera 10 mm in višine 15 mm. Realistično območje vedenja materiala in koeficientov trenja je bilo izbrano po podatkih iz literature. Izbrana območja za K in n v potenčni formuli ter μ kot koeficient Coulombovega trenja so bila $250 < K < 1250$ (MPa), $0,05 < n < 0,5$ in $0,05 < \mu < 0,3$. Po velikem številu simulacij v tem območju parametrov se je izkazalo, da je premaknjena stična površina ICA pri stiskanju na polovično višino, ki predstavlja lateralni del površine v stiku s ploščami, le funkcija koeficienta trenja in eksponenta deformacijskega utrjanja. Ta omejena odvisnost omogoča opis metamodela z enostavnimi polinomskimi relacijami.

Enačba (2) podaja koeficient Coulombovega trenja μ v odvisnosti od širine ICA u pri znanih koeficientih a_n , b_n , c_n in d_n . Ti koeficienti so funkcije eksponenta deformacijskega utrjanja n , skladno z enačbo (3).

Zgornji metamodel zahteva le eksperimentalno določitev eksponenta deformacijskega utrjanja materiala in širine ICA na stisnjem valju u . Eksponent deformacijskega utrjanja je treba določiti z mehanskim preizkusom, meritev u pa je preprosta in natančna s tehnikami digitalne korelacije posnetkov (DIC). ICA po kompresijskem testu se lahko navadno določi brez težav na podlagi razlike kontrastov. Vrednost u se izračuna z notranjimi in zunanji krogi na končni ploskvi stisnjenih valjev, ki pa niso idealni zaradi nehomogenosti materiala in stične površine. Za te površine je zato treba izračunati ekvivalentne polmere. Območja se v ta namen od zunaj obrišejo z zlepkami in določijo se polmeri ustreznih ekvivalentnih krogov. Ekvivalentna vrednost u je razlika med obema ekvivalentnima polmeroma. MATLAB-ova skripta za kvazisamodejni izračun vrednosti u je podana v prilogi. Skripta uvozi sliko stisnjene preizkušance in dela z milimetrsko razdaljo umerjanja. Najprej se poiščejo slikovne točke, ki ustrezajo končnim točkam razdalje umerjanja. V naslednjem koraku se po zunanosti notranjega kroga (t. j. po površini, ki ustreza končni ploskvi začetnega valja) in po zunanosti zunanjega kroga (t. j. po končni skupni kontaktni površini) razporedi ustrezno število znamenj. Iz koordinat postavljenih znamenj se periodično konstruirajo zaprti kubični zlepkami, iz katerih se nato izračuna površina znotraj teh sklenjenih krivulj.

Predlagana metoda torej izkorišča uveljavljeni inverzni pristop in vse njegove možnosti. Praktična uporaba je neposredna in preprosta ter odpravlja potrebo po inverzni numerični analizi za širok razpon materialov. Ko je območje koeficienta trenja omejeno na razpon $0,1 < \mu < 0,25$, je napaka zaradi polinomske interpolacije omejena največ na 5 %, povprečna napaka pri reprodukciji osnovnih podatkov pa ne presega 1,5 %. Točkovna napaka reprodukcije v celotnem območju $0,05 < \mu < 0,3$ je največ 10 %, pri čemer je celotna povprečna napaka največ 2 %. Glavna prednost predstavljene metode je v njeni praktičnosti, saj za karakterizacijo trenja ne zahteva nobene posebne opreme. Pri karakterizaciji trenja se lahko uporabijo tudi kompresijski preizkusi za vrednotenje krivulj tečenja. Koeficient trenja, pridobljen po predlagani metodi, je uporaben tudi za inverzno vrednotenje kompresijskega testa pri določevanju korektur. Metoda uporablja običajne fotografske tehnike in je primerna za različne materiale. Rezultati eksperimentalne študije dokazujejo, da je predlagana metoda ustrezna in dovolj točna zamenjava za zamudno inverzno analizo.

Ključne besede: koeficient Coulombovega trenja, preizkus s stiskanjem valja, spremenjena kontaktna površina, digitalna analiza posnetkov