

Izračun kombinirane torzijske togosti ubiranja čelnih zobnikov z dvo- in tridimenzijskimi parametričnimi modeli po metodi končnih elementov

Timo Kiekbusch^{1,*} – Daniel Sappok¹ – Bernd Sauer¹ – Ian Howard²

¹ Univerza v Kaiserslauternu, Institut za strojne elemente, zobnike in prenosnike, Nemčija

² Curtinova univerza v Perthu, Oddelek za strojništvo, Avstralija

Zobniki so ena glavnih komponent najrazličnejših rotacijskih strojev in imajo pogosto ključno vlogo pri delovanju strojev. Ena od najpomembnejših značilnosti čelnih zobnikov je torzijska togost ubiranja. Poznavanje torzijske togosti ubiranja zobniških parov je zato izjemno pomembno pri analizi in razvoju menjalnikov. V zadnjih letih je bilo več poskusov preučitve in popisovanja procesa ubiranja čelnih zobnikov. Proces ubiranja je zelo zahteven, zlasti ob upoštevanju sprememb bokov zob in realne situacije pri montaži zobnikov, ki vključuje tako napake pri poravnavi kot odstopanja razdalje med osema. Prva izbira metode pri preučevanju medsebojnih razmerij je zato analiza po metodi končnih elementov. Upoštevanje vseh vplivov geometrije na proces ubiranja zahteva podrobno 3D-analizo po metodi končnih elementov. 3D-simulacije s končnimi elementi pa zahtevajo veliko časa in virov in tako niso primerne npr. za simulacije več teles. Zato je poleg 3D-analize s končnimi elementi potreben še dodaten pristop. Za kompenzacijo slabosti 3D-modela po metodi končnih elementov je bil razvit 2D-model po metodi končnih elementov, iz katerega je bila izpeljana enostavna formula za izračun togosti ubiranja.

V članku je predstavljen razvoj podrobnih dvo- in tridimenzionalnih modelov po metodi končnih elementov, ki so uporabni za izračun torzijske togosti ubiranja. Simulacija se izvede samodejno s pomočjo parametričnega jezika programske opreme ANSYS za simulacije po MKE. Simulacija vključuje ustvarjanje zobniške dvojice, ubiranje zobnikov, uveljavitev robnih pogojev in obremenitev ter postopek reševanja in naknadne obdelave. Pri reševanju je bil za kontaktne površine uporabljen adaptivni algoritem mreženja, ki daje majhne elemente za izračun stika. Avtomatizirani postopek omogoča ustvarjanje in analizo različnih parov čelnih zobnikov. 2D-model je zaradi kratkih računskih časov primeren za hitro izvedbo simulacij različnih zobniških parov. Zahtevnejši 3D-model daje več možnosti za preučevanje sprememb bokov zob v nadaljnjih študijah. Dobljene vrednosti torzijske togosti je mogoče uporabiti npr. pri simulacijah menjalnikov z več telesi. Rezultati 2D-analize s končnimi elementi so bili uporabljani za izpeljavo enostavne formule za kombinirano torzijsko togost čelnih zobnikov v ubiru. Predstavljeni so rezultati na osnovi posamičnih togosti treh glavnih komponent – telesa, zob in stika. Izpeljana formula določa s pomočjo teh treh delov celotno togost za različne kombinacije zobnikov in prestavnih razmerij.

Končno je predstavljena primerjava rezultatov dvo- in tridimenzionalnega modela po metodi končnih elementov ter rezultatov izpeljane formule, ter verifikacija rezultatov 3D-modela glede na rezultate analitičnih enačb. Primerjave kažejo verodostojnost tako obeh modelov MKE kakor tudi formule za togost ubiranja. Pri simulacijah in izračunih je bilo sicer nekaj poenostavitev z ozirom na realno kontaktno situacijo, upoštevano ni bilo npr. mazanje, trenje in tolerance. Dobljeni rezultati in ugotovljena odstopanja so v tem pogledu popolnoma zadovoljivi.

V članku sta predstavljena dva različna načina za analizo parov čelnih zobnikov. Enostavna formula omogoča hiter izračun torzijske togosti ubiranja samo iz glavnih parametrov zobnikov. Za razliko od drugih metod izračunavanja togosti ubiranja, npr. po DIN 3990, tukaj ni potrebno določati množice koeficientov, zato je uporaba formule zelo enostavna. Drugi način je uporaba 3D-modela s končnimi elementi. Model omogoča izračunavanje torzijske togosti ubiranja ob upoštevanju vseh geometrijskih vidikov zobnikov, zlasti sprememb bokov zob. Ena glavnih prednosti modela je tudi v tem, da se celotna simulacija izvaja v razširjenem komercialnem programskem paketu za analize po metodi končnih elementov.

©2011 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

Keywords: modeliranje dinamike zobnikov, čelni zobnik, modeliranje s končnimi elementi, torzijska togost ubiranja, kontaktna togost

*Naslov avtorja za dopisovanje: Univerza v Kaiserslauternu, Institut za strojne elemente, zobnike in prenosnike, Gottlieb-Daimler-Str., 67663 Kaiserslautern, Nemčija, timo.kiekbusch@mv.uni-kl.de