

Dinamska karakterizacija stožčastih ležajev – validacija od spodaj-navzgor

Matej Razpotnik¹, Thomas Bischof², Miha Boltežar¹

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

² ZF Friedrichshafen AG, Nemčija

Članek obravnava tematiko prenosa vibracij preko kotalnih ležajev. Analizirana sta kroglični in stožčasti tip ležaja. Najprej je podan način modeliranja ležajev, kjer analitično izračunano togostno matriko ležaja vstavimo v širši sistem, popisan z metodo končnih elementov (MKE). Zatem je predstavljena namensko zasnovana testirna naprava za validacijo numeričnega modela. Sledi popis poteka dela na način od spodaj navzgor, prikaz rezultatov ter diskusija in zaključki.

Rezultati v obliki frekvenčno prenosnih funkcij (FPF) so predstavljeni na nivoju celotne naprave, pri čemer je sistem impulzno vzbujen z modalnim kladivom na določenem mestu na gredi, odziv pa pomejen s pomočjo pospeškometra na ohišju. Sprva so v sistem vstavljeni togi obroči namesto ležajev. Prikazano je dobro ujemanje FPF med eksperimentom in numeriko. Različne aksialne obremenitve vnesene v sistem pokažejo, da sprememba obremenitve zanemarljivo vpliva na spremembo lastnih frekvenc sistema. S tem je potrjena predpostavka, da se togost zasnovanega sistema ne spreminja z aplicirano aksialno obremenitvijo. Sistem lahko torej znotraj znanih robnih pogojev in obremenitev obravnavamo kot linearen. Nadaljnje testiranje je izvedeno z vstavljenimi ležaji, vsaka morebitna sprememba dinamike sistema pa je posledično pripisana nelinearni spremembi togosti ležajev.

Nato so podani rezultati za sistem z ne-rotirajočo se gredjo in z vstavljenimi krogličnimi ležaji. Prikazano je dobro ujemanje med numerično izračunanimi FPF in pomejenimi. V izbranem frekvenčnem območju vidimo štiri različne vrhove, ki se z večanjem aksialne obremenitve pomikajo proti višjim frekvencam. Prikazane so tudi pripadajoče modalne oblike. V nadaljevanju je sistemu dodan motor povezan preko sklopke na gred. Rezultati pokažejo, da vnos rotacije ne povzroči spremembe lokacij lastnih frekvenc v obravnavanem območju do 6000 RPM. V tem območju vrtenja so torej rotodinamični vplivi (giroskopski efekt in centrifugalne sile) v obravnavanem sistemu zanemarljivi.

Enak postopek testiranja je nato prikazan za sistem z vstavljenimi stožčastimi ležaji. Sprva je izvedena analiza na sistemu z ne-rotirajočo se gredjo. Opaženo je, da pride do velikega odstopanja med numerično izračunanimi in eksperimentalno dobljenimi FPF. Ob dodatni primerjavi lastnih oblik je razvidno, da je dejanska togost stožčastega ležaja znatno večja od izračunane.

Za namen ugotovitve izvora omenjenega odstopanja je izdelan celoten model krogličnega in stožčastega ležaja s pomočjo MKE ter izvedena kvazi-statična analiza. Pridobljene so krivulje pomika v odvisnosti od obremenitve ter iz njih pridobljene togosti. Dobljene karakteristike so primerjane z rezultati pridobljenimi na analitični način in sicer po metodi avtojev Lim in Singh ter po industrijskem standardu ISO/TS 16281. Prikazano je dobro ujemanje za kroglični tip ležaja. Pri stožčastem tipu ležaja pa je opaziti dobro ujemanje med obema analitičnimi modeloma, vendar faktorsko odstopanje napram rezultatom iz numeričnega modela.

V diskusiji sta navedena dva možna razloga, ki bi lahko vplivala na opaženo neskladnost za stožčasti tip ležaja in sicer: 1) Analitični model ležaja upošteva zgolj povprečni naklonski kot stožčastih ležajev, v realnosti pa ima stožčasti ležaj dva različna kota in sicer med kotalnim elementom in notranjim obročem ter kotalnim elementom in zunanjim obročem. Posledično analitični model zanemari aksialno silo, ki kotalni element rine iz kontakta. Prav tako je zanemarljiv dodaten kontakt med kotalnim elementom in robom za nased lociranem na notranjem obroču, ki onemogoča da bi kotalni element aksialno zdrsel višje po tečini notranjega obroča; 2) Pojav trenja je izključen iz obeh uporabljenih analitičnih modelov kakor tudi pri numeričnem modeliranju z MKE. V realnosti pa je sistem obratoval v mejnem območju mazanja, kjer ima trenje lahko znaten vpliv.

V zaključku je podano, da analitični model togosti ležaja ustrezno popisuje realno dinamsko stanje za kroglični tip ležaja, medtem ko model togosti za stožčasti tip ni ustrezen. Obravnavana študija predstavlja izhodišče za morebitno prihodnjo izpeljavo nadgrajenega analitičnega modela togosti ležaja za stožčasti tip.

Ključne besede: Dinamski model ležaja, stožčasti ležaj, kroglični ležaj, togostna matrika ležajev, prenos vibracij, študija od spodaj-navzgor