

Praktična metoda odkrivanja prečnih razpok na rotorjih s prehodnim odgovorom

Xiaofeng Wang – Jun Liu* – Weimin Ge

Tehniška univerza v Tianjinu, Državni laboratorij za konstruiranje in inteligentno upravljanje naprednih mehanskih sistemov, Kitajska

Avtorji so v pregledu literature zaznali določene težave pri odkrivanju prečnih razpok na rotorjih, zato so se osredotočili na razvoj diagnostičnih metod. Obstoječi diagnostični sistemi imajo s praktičnega vidika naslednje napake: (1) Verjetnost resonance zaradi razpoke v nazivnem območju vrtilnih hitrosti je majhna. (2) Opazovanje vibracij v resonančnem območju je zelo nevarno. Da bi odpravili opisano težavo in zagotovili varnost odkrivanja razpok, so se avtorji zato osredotočili na prehodni odgovor med zagonom, ustavljanjem in spreminjanjem vrtilne hitrosti rotorja, saj je v prehodnih stanjih mogoče pokriti široko območje vrtilnih hitrosti. Nekateri rezultati eksperimentov in simulacij so zanimivi. Praktična diagnostična metoda je bila preverjena numerično in eksperimentalno.

Cilj raziskave je bil premagati zgoraj opisane težave. Za postavitev modela so bili uporabljeni teorija dinamike rotorjev, nelinearna dinamika, enačbe gibanja sistema rotorja z razpoko, model razpoke itd. Diferencialne enačbe so bile rešene z numerično integracijo.

V raziskavi so bile preučene vibracijske lastnosti prehodnega odgovora na podlagi teorije dinamike rotorjev. Uporabljen je bil značilen odprto-zaprti model za preučevanje značilnosti nestacionarnih nihanj rotorja z razpoko pri prehodu skozi glavno kritično hitrost in več podkritičnih hitrosti. Posebna pozornost je bila posvečena vplivu kotnega pospeška ter velikosti in faze neravnotežja na maksimalno amplitudo. Uspešnost metode je bila sistematično preverjena s simulacijami in eksperimenti. Raziskava je bila omejena na prečne razpoke v sistemu rotorja.

Vrtilna hitrost ob prehodnih pojavih, kot so zagoni in zaustavitve, zavzame širok interval vrednosti pod nazivno hitrostjo. Če torej obstaja možnost iskanja znamenj pojava razpoke v nestacionarnih nihanjih, se izboljša verjetnost odkritja napake. Preučene so vibracijske lastnosti ob prehodu poškodovanega rotorja skozi različne resonančne hitrosti. Podrobneje so pojasnjene naslednje lastnosti: (1) V sistemu vertikalnega rotorja je nestacionarno nihanje med prehodom skozi glavne kritične hitrosti odvisno od položaja neuravnoteženosti. Če sta neuravnoteženost in razpoka na isti strani, se maksimalna amplituda občutno poveča. V primeru, da sta na nasprotnih straneh, pa se maksimalna amplituda ne spremeni. (2) Horizontalni rotorji izkazujejo podobne lastnosti kot vertikalni rotorji pod pogojem, da je neuravnoteženost razmeroma velika. Pri manjši neuravnoteženosti se pojavi nestabilno območje in sprememba maksimalne amplitude je velika pri vsaki legi neuravnoteženosti. (3) Ob prehodu rotorja skozi kritične nižje in višje harmonične frekvence zabeležimo velike spremembe maksimalne amplitude pri kateri koli vrednosti pospeška. (4) Pri nižji harmonični frekvenci reda 3/2, nižji harmonični frekvenci reda 1/2 in kombinirani resonančni frekvenci se maksimalna amplituda s povečevanjem pospeška hitro znižuje.

Iz teh lastnosti nestacionarnih nihanj izhajajo naslednje omejitve pri odkrivanju razpok. (1) Pri horizontalnem rotorju z razmeroma majhno neuravnoteženostjo lahko razpoko odkrijemo na podlagi zvišanja amplitude ob prehodu skozi glavno kritično hitrost. Pri vertikalnem ali horizontalnem rotorju z veliko neuravnoteženostjo lahko razpoko zgrešimo, ker se maksimalna amplituda ne poveča v primeru, da sta neuravnoteženost in razpoka na nasprotnih straneh. (2) Pri nižji harmonični frekvenci reda 3/2 in nižji harmonični frekvenci reda 1/2 ni mogoče vedno odkriti napake.

Sistem mora biti zato za zanesljivo odkrivanje razpok razmeroma dobro neuravnotežen.

Predstavljene so lastnosti prehodnih vibracij rotorja z razpoko, vključno z višjimi in nižjimi harmoničnimi frekvencami. Za pridobivanje natančnih merilnih podatkov je bila razvita občutljiva in natančna eksperimentalna rešitev z visokokakovostnim sistemom za zajem podatkov. Eksperimenti so potrdili rezultate teoretičnih simulacij in metoda je primerna tudi za rabo v industriji.

Ključne besede: diagnostična metoda, prehodni odgovor, motor z razpoko, nelinearno, vibracijske lastnosti, eksperimenti