

Ekvivalenca harmonskih in impulznih obremenitev v vibracijskem utrujanju

Primož Ogrinec – Janko Slavič* - Miha Boltežar
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

V vibracijskem utrujanju se tipično srečujemo s tremi tipi obremenitev: naključnimi, harmonskimi in impulznimi. V praksi pa so možne vse njihove kombinacije. Obvladovanje dobe trajanja sodobnim inženirjem predstavlja vse večji izziv, saj strukture zaradi optimizacije mase s svojo lastno dinamiko intenzivneje prehajajo v frekvenčno območje obremenitev.

Dobo trajanja je mogoče analizirati v frekvenčni ali časovni domeni. Oba pristopa temeljita na števnih metodah, ki popisujejo obremenitve strukture. V časovni domeni številne metode obratujejo na znanih zgodovinah, med njimi pa se je najbolj uveljavila padavinska števna metoda. Identifikaciji obremenitvenih ciklov, v analizi utrujanja, sledi seštevek doprinosov posameznih ciklov v cenilko poškodovanosti materiala. Na področju strukturne dinamike, kjer so obremenitve pogosto stohastične in zato predstavljene v časovni domeni, se časovni pristop k analizi dobe trajanja izkaže za numerično zahtevnega in časovno potratnega. V ta namen so se razvile številne metode v frekvenčni domeni, ki imajo pogosto za osnovo spektralne momente močnostnega spektra odziva obravnavane strukture. Večina teh metod deluje na predpostavki, da je močnostni spekter odziva strukture Gaussovo porazdeljen in stacionaren. To ne velja za primer, ko so v obremenitvah prisotni impulzi. Ti impulzi so lahko posledica geometrijskih nelinearnosti, kontaktnih pogojev, povečanih nivojev obremenitve, obrabe v kontaktih ali pa nepredvidene rabe komponente.

Nedavne študije so pokazale, da napovedovanje dobe trajanja z metodami v frekvenčni domeni za nestacionarne, ne-Gaussove signale vrnejo bistveno napačne rezultate. Iz praktičnih razlogov se v praksi najpogosteje uporablja sinusne signale za utrujenostne teste. Vendar pa se ob prej omenjenih pogreških pri napovedi dobe trajanja s frekvenčnimi metodami pojavlja vprašanje o veljavnosti parametrov Wöhlerjeve krivulje, ki so bili identificirani s harmonskimi utrujenostnimi testi. Zato je eksperimentalna validacija, kot tudi analitična obravnava enakosti teh dveh tipov obremenitev z vidika identifikacije materialnih parametrov ključnega pomena.

Ta raziskava se osredotoča na teoretično analizo ekvivalentnosti harmonskih in impulznih obremenitev za primer sistema z eno prostostno stopnjo, ki potrjuje uporabnost impulznih testiranj za potrebe vibracijskega utrujanja. V tem delu je prikazano razmerje med impulznimi in harmonskimi obremenitvami, ki je povezano z dinamskimi lastnostmi strukture (npr. dušenje, lastna frekvenca). V časovni domeni je za primerjavo služila padavinska števna metoda, v frekvenčni pa t.i. ozko-spektralna števna metoda. Z uporabo modalne dekompozicije se lahko teoretična analiza na nivoju sistema z eno prostostno stopnjo prevede na sistem z več prostostnimi stopnjami.

Na podlagi teoretične analize, je bilo zasnovano preskuševališče tako za impulzna, kot za harmonska vibracijska testiranja. Pol-sinusni impulz je bil izbran za validacijo teoretičnega postopka, saj se le-ta izkaže za najbolj realno aproksimacijo impulzov, s katerimi se srečujemo v praksi. Testiranih je bilo 18 vzorcev, 9 je bilo vzbujanih impulzno, 9 pa harmonsko. S spreminjanjem uteži je bilo mogoče predlagano hipotezo preveriti tudi za različne lastne frekvence in razmernike dušenja vzorca.

Predlagani analitični časovno-frekvenčni model potrjuje ekvivalenco harmonskih in impulznih obremenitev v vibracijskem utrujanju.

Ključne besede: Vibracijsko utrujanje, naključne obremenitve, spektralne metode, utrujanje materiala, stacionarne in ne-stacionarne obremenitve