

Pregled uporabe kiralnosti pri elastičnih metamaterialih

Xiaoning Liu – Gengkai Hu

Državni laboratorij za dinamiko in krmiljenje zračnih plovil, Ministrstvo za šolstvo,
Šola za letalsko in vesoljsko tehniko, Institut za tehnologijo v Pekingu, Kitajska

Metamateriali so umetno zasnovani kompozitni materiali z neobičajnimi fizikalnimi lastnostmi, kakršnih običajno ni mogoče najti v naravi. Takšne lastnosti se navadno pojavijo v okolju z valovanji, ko nastopi pojav lokalne resonance. Načela snovanja metamaterialov se torej zanašajo na ustvarjanje primernih lokalnih resonanc in na njihove interakcije z valovi v ozadju. V tem pregledu smo pokazali, da je s povezavo med vrtenjem in deformacijami dvodimenzionalnih kiralnih trdnih teles mogoče doseči edinstven resonančni mehanizem za snovanje elastičnih metamaterialov, podan pa je tudi pregled novosti na tem področju.

Čeprav so že dolgo znani različni mehanizmi za pripravo elastičnih metamaterialov, pa je snovanje praktičnih elastičnih metamaterialov s kombiniranimi eksotičnimi lastnostmi še vedno težaven problem zaradi kompleksnosti elastičnih valov. Prispevek začnemo z metamaterialom negativne gostote, ki je ustvarjen z integracijo kiralne rešetke in resonančnih vključkov. Ta metamaterial ni le primeren za blaženje širokopasovnih vibracij, temveč zaradi kiralnosti izkazuje tudi mešano translacijsko-rotacijsko resonanco. Tovrstna mešana resonanca je še dodatno preučena za realizacijo dvakrat negativnega metamateriala na podlagi čistih trdnih materialov. Podan je tudi predlog zasnove praktičnega elastičnega metamateriala, ki ima istočasno negativno gostoto in modul elastičnosti ter je narejen iz enega samega materiala. Zasnova je bila eksperimentalno potrjena po tehniki plošč s pojavom negativnega loma. Za ustrežnejšo karakterizacijo dvodimenzionalnih kiralnih elastičnih materialov in metamaterialov so predstavljene tudi novosti na področju kiralnih mikropolarnih konstitutivnih modelov.

Za izračun pasovne strukture metamateriala s kompleksno konfiguracijo je bila uporabljena Blochova valovna analiza v povezavi z metodo končnih elementov. Dejanske dinamične lastnosti so bile ovrednotene s s tehniko makro-mikro prehoda, izposojeno iz tradicionalne mikromehanike, s harmonično obremenjenimi robnimi pogoji. Vsi demonstracijski diskretni modeli so formulirani analitično. Opravljene so bile tudi polne harmonične in tranzientne valovne simulacije negativnega loma s komercialno programsko opremo COMSOL in LS-DYNA za analizo po metodi končnih elementov. Vzorec z negativnim lomom je bil izdelan s tehniko laserskega rezanja velike plošče iz nerjavnega jekla, dvodimenzionalni val pa je bil posneman z najnižjo zvrstjo Lambovega vala. Valovni signal je bil ustvarjen s piezoelektričnim vzbujanjem in merjen z laserskim vibrometrom. Pri razvoju dvodimenzionalne kiralne mikropolarne konstitutivne relacije je bila uporabljena predstavitev s tenzorjem, ki ga ni moč reducirati.

Z integracijo resonatorjev z negativno gostoto v kiralno rešetko smo prikazali zmožnost dušenja valov v širokem pasu z enkrat negativnim elastičnim metamaterialom. Zasnovali smo dvakrat negativen elastičen metamaterial s praktično preprosto enotsko celico ter prvič eksperimentalno prikazali negativen lom pri elastičnem metamaterialu. Razvit je mikropolarni konstitutivni model dvodimenzionalnih kiralnih trdnih snovi in uporabljen pri materialih s kiralno rešetko.

Translacijsko-rotacijski resonančni mehanizem je trenutno še omejen pri dvodimenzionalnih kiralnih trdnih snoveh. Ostaja razširitev predlagane sheme na tridimenzionalni primer.

Dobre možnosti snovanja pri kiralnih trdnih snoveh bi bilo mogoče dodatno raziskati za izboljšanje funkcije elastičnih metamaterialov. S pomočjo kiralnosti in povezanih resonanc bi lahko občutno poenostavili zasnovo dvakrat negativnih elastičnih metamaterialov. Uvedba kiralnosti pa terja še bolj dovršeno teorijo kontinuuma, npr. teorijo mikropolarnosti, za boljše razumevanje in karakterizacijo tega materiala. Avtorji upajo, da bo predstavljena raziskava pomagala pri uporabi elastičnih metamaterialov z naprednimi valovi.

Ključne besede: razširjanje valov, dejanska lastnost, elastični metamateriali, kiralne trdne snovi, negativen lom, teorija mikropolarnosti