

УДК 539.3

ПРО РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ КІЛЬЦЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ПОВЕДІНКИ ПЛАСТИНАТО-ОБОЛОНКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ОТВОРАМИ

Етері Гарт, Богдан Терьохін

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

hart@ua.fm, bogdan.teryokhin@gmail.com

Функціонально-градієнтні матеріали (ФГМ), які відносять до новітніх матеріалів, що характеризуються поступовою зміною своїх властивостей в об'ємі (жорсткість, пружність, теплопровідність та ін.), успішно використовуються в багатьох галузях техніки, включаючи машинобудування, авіацію, космічну техніку, медицину, електроніку та ін. Застосування ФГМ у тонкостінних конструкціях з отворами дає змогу впливати на коефіцієнт концентрації напружень (ККН) в їх околі [1–4]. Пошук раціональних параметрів ФГМ-включень навколо отворів з погляду зменшення локальних напружень, підвищення міцності та надійності конструкції у цілому, є актуальною задачею механіки деформівного твердого тіла.

Дана робота полягає в дослідженні впливу механічних і геометричних параметрів кільцевих ФГМ-включень навколо кругових отворів в пластинчато-оболонкових елементах конструкцій, що знаходяться під дією зовнішнього механічного навантаження. Розглянуто напружено-деформований стан (НДС) тонких прямокутних однорідних ізотропних пластин і тонкостінних циліндричних оболонок з центрально розташованим круговим отвором та кільцевим ФГМ-включенням. Вважається, що включення знаходиться у серединних площині пластини та поверхні оболонки, а на його межі з матрицею задано умови жорсткого зчеплення. Ширина включення варіюється. На бокові грані пластин та торці оболонок діє рівномірне одновісне розтягувальне навантаження, що не призводить до появи пластичних деформацій.

У числових розрахунках на основі методу скінченних елементів (МСЕ) вибрано модельний матеріал з коефіцієнтом Пуассона $\nu_0 = 0,25$ та змінним модулем пружності ФГМ-включення. Закон змінення модуля пружності ФГМ-включення має три характерні зони: 1) зона зростання ширини h_1 ; 2) зона незмінного (фіксованого) значення ширини h_2 ; 3) зона зменшення модуля пружності ширини h_3 . Модуль пружності пластини та оболонки $E_0 = 100 \text{ МПа}$.

У [3] встановлено, що найбільший вплив на величину ККН має ширина центральної зони ФГМ-включення (h_2). Пошук раціональних параметрів

кільцевого ФГМ-включення здійснено для різних варіантів його ширини при фіксованих значеннях $h_1 = h_3 = R$ та змінній величині h_2 ($h_2 = R, 2R, \dots, 7R$; R – радіус кругового отвору).

Наявність радіально-неоднорідного включення із обраним законом змінення модуля пружності дає змогу зменшити величину ККН, а також відповідні максимальні деформації у пластині на $\sim 21\%–38\%$. Для оболонок спостерігається аналогічна картина. Найкращим із розглянутих варіантів з точки зору зменшення ККН як для пластин, так і для оболонок виявилось ФГМ-включення 6 ($h_1 = h_3 = R$, $h_2 = 6R$) (рис. 1).

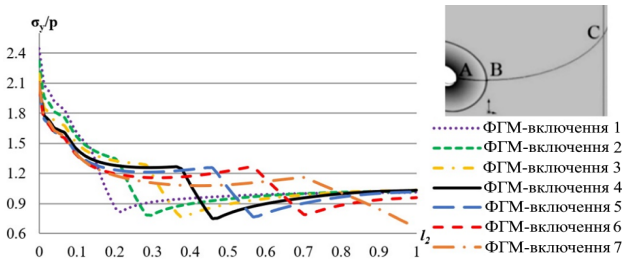


Рис. 1 – Розподіл відносних напружень σ_y/p в оболонці з ФГМ-включенням у перерізі AC у разі $h_2 = R, 2R, \dots, 7R$

Проведене комп'ютерне моделювання на основі МСЕ показало, що за допомогою ФГМ-включень з певними механічними властивостями і геометричними параметрами можна зменшити ККН в пластині та оболонці на понад 35%, а також пропорційно знизити інтенсивність деформацій в околі отвору. Використання ФГМ-включень дозволяє не лише впливати на величину ККН в околі локальних концентраторів напружень, але і на розподіл напружень по поверхні пластини та оболонки в цілому.

1. Підстригач Я.С. Вибрані праці. – Київ: Наук. думка, 1995. – 460 с.
2. Савин Г.Н. Концентрація напружень около отверстий. – Київ.: Наук. думка, 1968. – 888 с.
3. Гарт Е.Л., Гудрамович В.С., Терьохін Б.І. Вплив включення із функціонально-градієнтного матеріалу на концентрацію напружень в тонких пластинках та циліндричних оболонках з круговим отвором // Техн. механіка. – 2022. – № 4. – С. 67–78.
4. Yang Q.Q., Gao C.F., Chen W.T. Stress concentration in a finite functionally graded material plate // Sci. China Phys. Mech. Astron. – 2012. – 55. – P. 1263–1271.

ON RATIONAL PARAMETERS OF RING INCLUSIONS FROM FUNCTIONALLY GRADED MATERIAL IN COMPUTER SIMULATION OF THE BEHAVIOR OF PLATE-SHELL STRUCTURAL ELEMENTS WITH HOLES

Computer simulation of the behavior of thin plates and cylindrical shells with a round hole and an annular inclusion made of a functionally graded material (FGM) has been carried out. Rational parameters of a radially inhomogeneous FGM-inclusion are established, at which the stress concentration factor decreases by 35%. The results showed that the law of change in the elastic modulus of the FGM-inclusion and the width of the inclusion also affect the distribution of stresses on the surface of the plate and shell.