

УДК 539.3

СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТОНКИХ ПЛАСТИН, ЦИЛІНДРИЧНИХ І КОНІЧНИХ ОБОЛОНОК З ОТВОРАМИ ТА СТРІЧКОВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ

Етері Гарт, Олексій Семенча

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

hart@ua.fm, semencha.aleksey@gmail.com

Пластинчато-оболонкові конструкції мають широкий спектр застосування у різноманітних галузях техніки і промисловості, зокрема, у аерокосмічній, нафтогазовій, енергетиці, машинобудуванні, будівництві та багатьох інших. З конструктивних чи технологічних причин суцільність таких конструкцій часто порушується різного роду отворами, в околі яких виникають локальні напруження. Пошук шляхів зменшення концентрації напружень навколо отворів є актуальною проблемою механіки деформованого твердого тіла [1, 2].

У цій роботі проведено комп'ютерне моделювання і скінченно-елементний аналіз поведінки тонких пластин, циліндричних і зрізаних конічних оболонок з центрально розташованими круговими отворами за наявності навколо них стрічкових включень з іншого матеріалу. Пластини і оболонки знаходяться під дією одновісних рівномірних розтягувальних врівноважувальних зусиль. Здійснено порівняльний аналіз напружено-деформованого стану (НДС) досліджуваних пластинчато-оболонкових елементів конструкцій із відомими аналітичними розв'язками у випадку великих і малих отворів.

За допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) проведено дослідження впливу механічних і геометричних параметрів стрічкових включень на величину коефіцієнта концентрації напружень (ККН). Вважається, що стрічкове включення розташоване у серединних площині пластини та поверхні оболонки. Матеріал включення має інші, ніж основний матеріал, властивості ($E_{вкл} = E_0 / 3; E_0 / 2,5; E_0 / 2; E_0 / 1,5$, де E_0 – модуль пружності пластини/оболонки, $E_{вкл}$ – модуль пружності включення). На границі матриці і включення задано умови жорсткого зчеплення. Ширина включень $h_{вкл}$ змінюється ($h_{вкл} = r_0 / 2; r_0 / 4; r_0 / 8$, де r_0 – радіус кругового отвору).

Результати порівняльного аналізу отриманих ККН для пластин і циліндричних оболонок з малими круговими отворами ($r_0 / \sqrt{R_0 h} = 0,5$, де h – товщина пластини/оболонки; R_0 – радіус кривини циліндричної оболонки) для різних варіантів «жорсткості» матеріалу включень та їх ширини наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнт концентрації напружень в пластині і циліндричній оболонці з круговим отвором і різними стрічковими включеннями

Задача	Ширина включення $h_{вкл}$	Модуль пружності включення $E_{вкл}$			
		$E_0/3$	$E_0/2,5$	$E_0/2$	$E_0/1,5$
Пластина	$r_0/2$	1,80	1,69	1,70	2,09
	$r_0/4$	2,01	1,93	1,81	2,06
	$r_0/8$	2,20	2,15	2,07	2,00
Оболонка	$r_0/2$	2,45	2,31	2,13	2,53
	$r_0/4$	2,64	2,54	2,41	2,45
	$r_0/8$	2,82	2,76	2,68	2,55

З табл. 1 випливає, що за наявності стрічкового включення з більш «м'якого» матеріалу, ніж основний матеріал пластини/оболонки, вдається зменшити ККН на $\sim 13 - 34\%$, як для пластини, так і для оболонки, у порівнянні із відповідним варіантом без включення. Найбільш доцільним із розглянутих варіантів виявляється застосування включення ширини $h_{вкл} = r_0/2$ з модулем пружності $E_{вкл} = E_0/1,5$. У разі інших випадків (більш «м'яких» та тонких включень) має місце механічний ефект переміщення (зсуву) зони концентрації напружень від краю отвору до межі поділу між матеріалами включення та пластини/оболонки.

У разі кінчних оболонок спостерігається аналогічна картина розподілу інтенсивності напружень навколо отвору за наявності включення.

У результаті проведеного комп'ютерного моделювання і скінченно-елементного аналізу концентрації напружень навколо отворів в тонкостінних однорідних ізотропних пластинках, циліндричних і зрізаних кінчних оболонках з круговими (малими і немалими) отворами за наявності навколо них стрічкових включень з іншого матеріалу здійснено порівняльний аналіз коефіцієнтів концентрації напружень для різних випадків механічних і геометричних параметрів включень. Виявлено механічний ефект, пов'язаний із зсувом зони концентрації напружень.

1. Підстригач Я.С. Вибрані праці. – Київ: Наук. думка, 1995. – 460 с.
2. Гарт Е.Л., Семенча О.О. Числове дослідження напружено-деформованого стану пружної трапецієвидної пластини з прямокутним отвором і стрічковим включенням // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. – Дніпро: Ліра, 2021. – Вип. 33. – С. 43–54.

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THIN PLATES, CYLINDRICAL AND CONICAL SHELLS WITH HOLES AND TAPE INCLUSIONS

The stress-strain state of elastic plates, cylindrical and truncated conical shells with circular holes located in the center of the body has been studied. The finite element method is used to determine the influence of the geometric and mechanical parameters of the tape inclusion surrounding the hole on the stress concentration factor. A comparative analysis of the results was carried out with a change in the width and rigidity of the inclusion material. The conditions for reducing the stress concentration around the hole are analyzed.