

ПРО ВПЛИВ ПОЧАТКОВИХ НАПРУЖЕНЬ НА ШВИДКОСТІ ХВИЛЬ КРУЧЕННЯ У НЕСТИСЛИВОМУ КОМПОЗИТНОМУ МАТЕРІАЛІ ПРИ ПРОКОВЗУВАННІ ШАРІВ

Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України

Анотація

Отримано аналітичні залежності швидкостей поширення крутильних хвиль у нестисливому композитному матеріалі від початкових напружень для пружного потенціалу типу Бартенєва-Хазановича.

Ключові слова: шаруватий композитний нестисливий матеріал, початкові напруження, хвилі кручення, швидкості поширення симетричних і антисиметричних хвиль, пружний потенціал Бартенєва-Хазановича

Хвилі кручення (торсіонні хвилі) широко використовуються в неруйнівному контролі матеріалів завдяки їхній чутливості до дефектів і неоднорідностей. Основні переваги хвиль кручення - висока чутливість до дрібних тріщин, розшарувань, пустот і мікрodefектів. Хвилі кручення можуть поширюватись на великі відстані в матеріалі з мінімальними втратами, що дозволяє досліджувати важкодоступні ділянки. Торсіонні хвилі добре поширюються у циліндричних структурах: в стрижнях, трубах, дротах тощо. Хвилі кручення можуть краще виявляти локальні порушення або пошкодження в композитах. Хвилі кручення забезпечують високу точність діагностики при низьких частотах, що зменшує вплив шумів.

У даній роботі в рамках тривимірної лінеаризованої теорії пружності для тіл з початковими напруженнями [2] розглянуто задачу про поширення хвиль кручення у шаруватому нестисливому композитному матеріалі з початковими напруженнями.

Розглядається композитний нестисливий матеріал, що має періодичну структуру і складається з шарів двох типів, що чергуються. Для кожного типу шарів матеріали і початкові напружено-деформовані стани є однаковими. Початковий напружений стан шарів є однорідним і симетричним. Розглядається такий варіант контакту між шарами композитного матеріалу як повне проковзування. Хвилі поширюються вздовж шарів. Постановка задачі відповідає постановці, розглянутій в роботі [1]. Для розв'язку задачі використовується метод, викладений в монографії [3].

У розглянутому випадку для шаруватих композитних нестисливих матеріалів з початковими напруженнями вихідну задачу можна розділити на дві незалежні задачі: симетрична хвиля кручення (в кожному шарі $u_{\theta}^{(j)}$ симетричні відносно середини кожного шару), що поширюється уздовж вісі or' ; антисиметрична хвиля кручення (в кожному шарі $u_{\theta}^{(j)}$ антисиметричні відносно середини кожного шару), що поширюється уздовж вісі or' . У випадках симетричних та антисиметричних хвиль кручення при проковзуванні шарів композитного матеріалу дисперсійні рівняння можна розв'язати аналітично.

Для проведення аналізу конкретизуємо вигляд пружного потенціалу. Розглянемо закономірності впливу початкових напружень на швидкість поширення хвиль кручення в композитному матеріалі з пружним потенціалом типу Бартенєва-Хазановича [2].

Розрахунки проведені при початковому стані

$$S_{11}^{0(j)} = S_{22}^{0(j)} \neq 0; \quad S_{33}^{0(j)} = 0; \quad \lambda_1^{(j)} = \lambda_2^{(j)}; \quad h'^{(j)} = \lambda_3^{(j)} h^{(j)}; \quad j = 1, 2. \quad (1)$$

Тут $s_{ii}^{0(j)}$ - складові тензора узагальнених напружень Лагранжа, $h^{(j)}$, $h'^{(j)}$ - товщини j -го шару в природному і в початковому напружено-деформованому стані відповідно, $\lambda_i^{(j)}$ - коефіцієнти видовження уздовж відповідних вісей.

$$C_i^{(j)} = C_0^{(j)} \lambda_1^{(j)2} \sqrt{\frac{2}{\lambda_1^{(j)3} + 1}}; \quad C_0^{(j)} = \sqrt{\frac{\mu^{(j)}}{\rho^{(j)}}}; \quad i, j = 1, 2; \quad (2)$$

$$C_i^{(j)} = C_0^{(j)} \sqrt{\frac{2\lambda_1^{(1)2}}{\lambda_1^{(1)3} + 1} \left(\lambda_1^{(1)6} + \frac{4\pi^2 n^2}{k^2 h'^{(1)2}} \right)}; \quad (3)$$

$i = 3, 4; \quad j = 1, 2; \quad n = 0, 1, \dots$

$$C_i^{(j)} = C_0^{(j)} \sqrt{\frac{2\lambda_1^{(j)2}}{\lambda_1^{(j)3} + 1} \left(\lambda_1^{(j)6} + \frac{\pi^2 (1 + 2n)^2}{k^2 h'^{(j)2}} \right)}; \quad (4)$$

$i = 3, 4; \quad j = 1, 2; \quad n = 0, 1, \dots$

В формулах (2) - (4) k - хвильове число, $\mu^{(j)}$ - модуль зсуву, $\rho^{(j)}$ - щільність матеріалів в природньому стані для кожного з шарів.

Для симетричних хвиль кручення швидкості поширення будуть визначатися по формулам (2) і (3), для антисиметричних – по формулам (2) і (4).

Для довгохвильового наближення залежності величин швидкостей поширення симетричних і антисиметричних хвиль кручення від початкових напружень для кожного з шарів будуть визначатися формулами (2).

Швидкості розповсюдження хвиль кручення в кожному із шарів залежать від механічних параметрів матеріалу шару, товщини шару та початкових напружень

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глухов А.Ю., Бабич С.Ю., Млавець Ю.Ю., Рейтій О.К. Хвилі кручення в шаруватих композитних нестигливих матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика і інформатика», 2024, том 4, № 2. - С. 164 – 171.
2. Гузь А. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями: в 2-х частях. Ч. 1. Общие вопросы. Волны в бесконечных телах и поверхностные волны. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2016. 501 с.
3. Гузь А. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями: в 2-х частях. Ч. 2. Волны в частично ограниченных телах. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2016. 505 с.

Глухов Андрій Юрійович, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу динаміки і стійкості суцільних середовищ, Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України, Київ, ndrew.gl@gmail.com

ON THE INFLUENCE OF INITIAL STRESSES ON THE PROPAGATION SPEEDS OF TORSIONAL WAVE IN A INCOMPRESSIBLE COMPOSITE MATERIAL WITH INTERLAYER SLIP

Abstract

Analytical dependences of the propagation velocities of torsional waves in an incompressible composite material on the initial stresses for the Bartenev-Khazanovich type elastic potential were obtained.

Key words: layered composite incompressible material, initial stresses, torsional waves, propagation speeds of symmetric and antisymmetric waves, Bartenev-Khazanovich elastic

Andrew Glukhov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Research Fellow at Department of Dynamics and Stability Continuum, S.P. Timoshenko Institute of Mechanics of the NAS of Ukraine, Kiev, ndrew.gl@gmail.com