

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора фізико-математичних наук, професора Ахундова Володимира Максудовича на дисертацію Столярової Анастасії Валеріївни «Гомогенізація композиційного матеріалу з порожнистими транстропними волокнами», що подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика»

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню важливої науково-практичної задачі, що полягає в отриманні аналітичних співвідношень для визначення ефективних пружних характеристик односпрямованого композиційного матеріалу з транстропними матрицею та порожнистими волокнами.

Актуальність обраної теми дисертації. Волокнисті композити є важливою конструктивною складовою багатьох сучасних матеріалів та елементів конструкцій. Здатність витримувати певний рівень деформацій без руйнування дозволяє використовувати їх у багатьох конструкціях. Для оцінки цієї здатності необхідні відомості про механічні властивості матеріалу, а саме про ефективні пружні характеристики композиту, що залежать, зокрема, від механічних властивостей його компонентів, відносного об'ємного вмісту волокна в матеріалі композиту, орієнтації армуючих елементів, схем армування тощо. Експериментальні методи визначення цих показників більш надійні, в порівнянні з чисельними та аналітичними. Однак, результати досліджень можуть видатися досить вартісними, а отримані результати неможливо буде використати для проектування нових композиційних матеріалів. На даному етапі, коли розрахунки напружено-деформованого стану та моделювання процесів деформування композиційних матеріалів можливо автоматизувати, актуальними є методи теоретичного дослідження. Одним із напрямків вирішення даної проблеми є метод гомогенізації на основі дослідження елементарної комірки композиту. У свою чергу, одним з припущень в постановці таких задач є ізотропність обох або одного з компонентів композиту. Це, звичайно, спрощує математичні модель, але віддаляє від реальної поведінки композиційних матеріалів з транстропними характеристиками складових. Розв'язання задачі ускладнюється також застосуванням порожнистих волокон як армуючих елементів. У зв'язку з цим актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору є розв'язання задачі



гомогенізації композиційного матеріалу з транстропними матрицею та порожнистим волокном, виконане у представленому дисертаційному дослідженні.

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (119 найменувань на 15 сторінках) та чотирьох додатків (на 19 сторінках). Загальний обсяг роботи становить 138 сторінок, 2 таблиці та 27 рисунків.

Обґрунтування актуальності обраної теми дослідження, формулювання мети, завдань, методів дослідження, наукову новизну, практичне значення, обґрунтування та достовірність отриманих результатів викладено у вступі. Надано відомості про зв'язок роботи з науковими темами, апробацію результатів дисертації та особистий внесок у дослідженнях, виконаних у співавторстві.

Перший розділ присвячено огляду та аналізу робіт за тематикою дисертаційного дослідження про моделі та методи визначення напружено-деформованого стану волокнистих композиційних матеріалів та конструкцій виготовлених з їх використанням, особливу увагу приділено підходам щодо гомогенізації композиційних матеріалів. Друга частина розділу сфокусована на дослідженнях композитів, армованих порожнистими волокнами. Наведено основні співвідношення, отримані Г. А. Ваніним та Д. М. Карпіносом, для визначення пружних характеристик двофазового односпрямованого композиційного матеріалу з порожнистими волокнами для випадку ізотропних властивостей складових композиту. Опрацювання як класичних, так і сучасних джерел, дозволило авторці виявити відкриті питання та рівень важливості їх вирішення.

У другому та третьому розділах, шляхом розв'язування чотирьох крайових задач, отримано аналітичні вирази для п'яти ефективних пружних сталих односпрямованого композиційного матеріалу з транстропними матрицею та порожнистим волокном. Отримані формули виражають залежність ефективних пружних сталих композиту від пружних характеристик його складових та об'ємного вмісту матеріалу волокна та порожнини у композиційному матеріалі. Розв'язання задачі гомогенізації здійснено з використанням кінематичного критерію узгодження.

Так, другий розділ починається з викладу основної ідеї методу представницького об'ємного елемента. Далі детально описується постановка та розв'язання задачі гомогенізації при поперечному розтягу і зсуві.

Третій розділ зосереджений на моделюванні поздовжнього розтягу і зсуву. В результаті отримано вирази для визначення основних поздовжніх характеристик досліджуваних композитів.

Отримані, в попередніх двох розділах, співвідношення використовуються для розрахунку пружних характеристик різних видів односпрямованих композиційних матеріалів. Результати цих обчислень зведені в четвертому розділі у вигляді таблиць та графіків, особливу увагу приділено аналізу залежності ефективних пружних сталих композиту від об'ємного вмісту порожнистого волокна.

Також проведено порівняння обчислень за отриманими виразами та за аналогічними співвідношеннями Г. А. Ваніна та Д. М. Карпіноса на прикладі композиту з ізотропними компонентами.

Сформульовані висновки узагальнюють отримані наукові результати проведеного дослідження.

У цілому, структура дисертації та послідовність викладу матеріалу є логічними, вони характеризують роботу як завершене обґрунтоване дослідження.

Обґрунтованість наукових результатів, отриманих у процесі дослідження, забезпечується правильністю сформульованих задач гомогенізації композиційного матеріалу при поздовжньому та поперечному розтягу та зсуві, коректним застосуванням аналітичних методів розв'язання, використанням загальновідомих співвідношень механіки деформівного твердого тіла, крайових умов та критеріїв узгодження при певних деформаціях.

Достовірність розрахунків за отриманими співвідношеннями забезпечується високою збіжністю з результатами обчислень за аналогічними формулами, отриманими іншими авторами, на прикладі композиційного матеріалу з ізотропними компонентами. Представлені чисельні результати не протирічають механічним уявленням про ефективні пружні сталі.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційному дослідженні отримано наступні нові науково-технічні результати:

1. Розширено метод представницького об'ємного елемента на задачу гомогенізації двохфазового односпрямованого композиційного матеріалу з трансропними матрицею та порожнистим волокном;
2. Для представницького об'ємного елемента неоднорідного матеріалу з трансропними компонентами та гомогенізованої моделі отримано

основні компоненти напружено-деформованого стану при поперечному та поздовжньому розтягу та зсуві;

3. Вперше отримано аналітичні вирази для визначення основних ефективних поперечних характеристик композиційного матеріалу з трансстропними матрицею та порожнистим волокном: поперечного модуля пружності та коефіцієнта Пуассона, що залежать від пружних властивостей його складових, а також об'ємного вмісту матеріалу волокна та порожнини у композиті;
4. Вперше отримано аналітичні вирази для визначення основних ефективних поздовжніх характеристик композиційного матеріалу з трансстропними матрицею та порожнистим волокном: поздовжнього модуля пружності, коефіцієнта Пуассона та поздовжнього модуля зсуву;
5. За допомогою отриманих співвідношень проведено розрахунки та проаналізовано ефективні пружні характеристики односпрямованих волокнистих композитів з ізотропними та трансстропними властивостями складових.

Наукова значимість результатів дисертаційного дослідження підтверджується тим, що авторкою розширене застосування методу представницького об'ємного елемента на задачу гомогенізації композиційного матеріалу із трансстропними матрицею та порожнистими волокнами та шляхом опублікування основних результатів у виданнях з відкритим доступом, надано усі умови для використання розробленого методу іншими науковцями у їх власних дослідженнях.

Практична значимість результатів дисертаційного дослідження полягає у можливості безпосереднього використання отриманих аналітичних виразів при створенні нових композиційних матеріалів, що забезпечує економію як часових, так і матеріальних ресурсів в процесі розрахунку ефективних пружних сталих односпрямованих композитів з трансверсально-ізотропними матрицею та порожнистим волокном, за рахунок варіювання матеріалами компонент композиту та об'ємним вмістом порожнистого волокна на стадії віртуального експерименту вдається виокремити раціональні параметри композиційного матеріалу.

Повнота викладу результатів дослідження в наукових публікаціях. Матеріали дисертаційного дослідження висвітлені у семи наукових працях. Дві статті опубліковано у вітчизняних фахових виданнях, одне з яких

індексується у наукометричній базі Scopus. Одна стаття – матеріали закордонної міжнародної конференції. Одна авторська монографія. Апробація результатів дисертаційного дослідження засвідчується участю у конференціях різного рівня, що підтверджується трьома тезами доповідей, опублікованими у відповідних збірниках.

Відповідність дисертації вимогам, передбаченим пунктом 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії». Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленої кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису, виконаної авторкою самостійно. Робота містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні результати проведених здобувачем досліджень, що мають істотне значення для галузі математики та статистики. Це підтверджено публікаціями, що розкривають основний зміст роботи. Дисертація свідчить про особистий внесок здобувача в науку та характеризується єдністю змісту.

Дисертацію оформлено у відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України (Наказ № 40 від 12.01.2017 зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН № 759 від 31.05.2019).

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації:

1. При викладенні розділу 2.2 зручно було б прийняти для осьового напруження (стор. 43) і радіального напруження на зовнішньому контурі (стор. 45) різні позначення. Це ще в більшій мірі сприяло б ясному і чіткому викладенню, властивому для розділу і дисертації в цілому;
2. У роботі не наведено приклад чисельного розрахунку ефективних пружних сталих композиційного матеріалу, у якого і матриця, і волокно мають трансропні властивості;
3. Для ефективного поперечного модуля пружності із різних умов узгодження отримано два аналітичних співвідношення, але не надано рекомендацій про критерії вибору цих співвідношень при практичних розрахунках;
4. Варто було відзначити, що у всіх існуючих підходах поперечні модулі визначаються з істотними похибками. Але це помітно позначається тільки в умовах екстремального навантаження, коли волокна розташовуються усередині елемента конструкції поперечно по відношенню до силового поля в ньому. А такі режими навантаження в якості робочих не застосовуються.

Загальний висновок. Зазначені зауваження не є такими, що суттєво впливають на загальну оцінку представленого наукового дослідження. Дисертація є завершеною самостійною науковою працею, яка містить нові наукові результати, що можуть бути використані в напрямку дослідження напружено-деформованого стану композиційних матеріалів з порожнистими волокнами.

Математичне моделювання процесів деформування волокнистих композитів с транстропними порожнистими волокнами відповідає напрямку спеціальності 113 «Прикладна математика».

За ступенем актуальності обраної теми, змістом, структурою, науковою новизною, обґрунтованістю методів дослідження та висновків, достовірністю та значущістю, повнотою висвітлення матеріалу дисертації у наукових публікаціях, відсутністю порушень академічної доброчесності, дисертаційна робота на тему «Гомогенізація композиційного матеріалу з порожнистими транстропними волокнами» відповідає вимогам «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 року, а її авторка, Столярова Анастасія Валеріївна, заслуговує на присудження наукового ступеню доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Офіційний опонент
професор кафедри прикладної механіки
Національної металургійної академії України,
доктор фізико-математичних наук, професор

Володимир АХУНДОВ



Вчений секретар
професор



Олег ПОТАП