

ЧЕБЫШЕВСКИЙ СБОРНИК

Том 22. Выпуск 3.

УДК 539.3

DOI 10.22405/2226-8383-2021-22-3-438-442

О эффективных упругих свойствах слоистого композиционного материала, изготовленного по 3-D технологии

И. К. Архипов, В. И. Абрамова, О. В. Кузовлева, А. Е. Гвоздев

Архипов Игорь Константинович — доктор технических наук, профессор, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: iarh@list.ru

Абрамова Влада Игоревна — кандидат технических наук, доцент, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: abramova_vi@mail.ru

Кузовлева Ольга Владимировна — кандидат технических наук, доцент, Российский государственный университет правосудия (г. Москва).

e-mail: kusovleva@yandex.ru

Гвоздев Александр Евгеньевич — доктор технических наук, профессор, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: gwozdew.alexandr2013@yandex.ru

Аннотация

Рассматривается слоистый композит, изготовленный по 3D-технологии из порошков меди и нержавеющей стали. Каждый слой обладает пористостью, обусловленной технологическим процессом спекания порошковых материалов. Вычисляются эффективные упругие характеристики такого композита, учитывающие слоистость и пористость в компонентах.

Ключевые слова: изотропия, многослойный композит, пористость, слои композитного материала.

Библиография: 7 названий.

Для цитирования:

И. К. Архипов, В. И. Абрамова, О. В. Кузовлева, А. Е. Гвоздев. О эффективных упругих свойствах слоистого композиционного материала, изготовленного по 3-D технологии // Чебышевский сборник, 2021, т. 22, вып. 3, с. 438–442.

CHEBYSHEVSKII SBORNIK

Vol. 22. No. 3.

UDC 539.3

DOI 10.22405/2226-8383-2021-22-3-438-442

On the effective elastic properties of a layered composite material made using 3-D technology

I. K. Arkhipov, V. I. Abramova, O. V. Kuzovleva, A. E. Gvozdev

Arkhipov Igor Konstantinovich — doctor of technical sciences, professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: iarh@list.ru

Abramova Vlada Igorevna — candidate of technical sciences, associate professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: abramova_vi@mail.ru

Kuzovleva Olga Vladimirovna — candidate of technical sciences, docent, Russian State University of Justice (Moscow).

e-mail: kusovleva@yandex.ru

Gvozdev Alexander Evgenievich — doctor of engineering, professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: gvozdev.alexandr2013@yandex.ru

Abstract

A layered composite made using 3D technology from copper and stainless steel powders is considered. Each layer has a porosity due to the technological process of sintering powder materials. The effective elastic characteristics of such a composite are calculated, taking into account the layering and porosity in the components.

Keywords: isotropy, multilayer composite, porosity, layers of composite material.

Bibliography: 7 titles.

For citation:

I. K. Arkhipov, V. I. Abramova, O. V. Kuzovleva, A. E. Gvozdev, 2021, "On the effective elastic properties of a layered composite material made using 3-D technology", *Chebyshevskii sbornik*, vol. 22, no. 3, pp. 438–442.

1. Введение

Определяются эффективные характеристики упругости многослойного композита, состоящего из чередующихся слоев различных материалов. При этом каждый из слоев обладает пористостью, обусловленной технологическим процессом изготовления по 3-D технологии. Указано, что в целом композит обладает свойством трансверсальной изотропии [1].

2. Основной текст статьи

Определены все независимые константы упругости такого материала. Все физические эффективные константы определены в работе [2] в виде:

$$c_{11}^* = \langle \chi \rangle - M_{\chi}^{-1} D_{\chi}$$

$$\begin{aligned}
c_{12}^* &= \langle \lambda \rangle - M_\chi^{-1} D_\lambda \\
c_{13}^* &= \langle \lambda / \chi \rangle \langle \chi^{-1} \rangle^{-1} \\
c_{33}^* &= \langle \chi^{-1} \rangle^{-1} \\
c_{44}^* &= \langle \mu^{-1} \rangle^{-1} \\
c_{66}^* &= \langle \mu \rangle,
\end{aligned} \tag{1}$$

где

$$\begin{aligned}
M_\chi &= \vartheta_1 \chi_2 + \vartheta_2 \chi_1 \\
D_{xy} &= \vartheta_1 \vartheta_2 (x_1 - x_2)(y_1 - y_2) \\
\chi &= \lambda + 2\mu.
\end{aligned} \tag{2}$$

Угловыми скобками обозначены соответствующие значения величин, через ϑ_1 и ϑ_2 обозначены объемные концентрации материалов, из которых составлены чередующиеся слои. По условиям технологии изготовления слоев в них наблюдается пористость. Поэтому свойства материалов каждого слоя будут учитывать эту пористость. Как известно, трансверсальный изотропный материал содержит пять независимых технических констант: $E_1, E_2, \nu_1, \nu_2, \mu_1, \mu_2$.

Из работы [2] можно установить связь между техническими и физическими константами. Эта связь следующая:

$$E_1 = 2(1 - \nu_1)\mu_1 \tag{3}$$

$$E_2 = 2(1 + \nu_2)\mu_2.$$

В дальнейшем, выражая технические константы через физические, используем соотношения (1), после чего удастся найти эффективные технические характеристики многослойного композита, но без учета пористости в слоях. В работе [3] получена зависимость технических констант в зависимости от пористости. Рассмотрим простейший случай. Имеется два слоя: верхний — пористая медь, нижний — пористая хромистая сталь. Каждый слой обладает эффективными свойствами, определяемыми из работ [3].

$$K_* = \vartheta_2 K_2 - \frac{\vartheta_1 \vartheta_2 K_2^2}{\vartheta_1 K_2 + a_1}, \tag{4}$$

$$\mu_* = \vartheta_2 \mu_2 - \frac{\vartheta_1 \vartheta_2 \mu_2^2}{\vartheta_1 \mu_2 + b_1}, \tag{5}$$

$$a_1 = \frac{4}{3} \vartheta_2 \mu_2, \quad b_1 = \frac{1}{6} \frac{\vartheta_2 \mu_2 \langle 9K_2 + 8\mu_2 \rangle}{\langle K_2 + 2\mu_2 \rangle} \tag{6}$$

Здесь K_2, μ_2 — объемный и сдвиговый модули, $\vartheta_1 = p$ — пористость медной матрицы.

Аналогичные формулы составляются для второго слоя. Только вместо индекса 1 ставится 2. Это означает, что соответствующие модули принадлежат нержавеющей стали. Физические константы c_{ij}^* определены по формулам (1), где $\chi = \lambda + 2\mu$ для каждого слоя. Угловые скобки означают усреднение, а величины дисперсий $D_\lambda, D_{\lambda\chi}, D_\chi, D_{\mu\chi}$ определяются по формулам (2).

Здесь $\lambda = k - \frac{2}{3}\mu$.

Полные эффективные физические константы композита находятся из формул (3) – (6), если использовать в (3) при этом дважды определенные константы для каждого слоя композитного материала.

3. Заключение

Полученные результаты дополняют комплекс работ по исследованию композиционных металлических материалов в различных условиях и состояниях [4, 5, 6, 7].

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фокин А. Г., Шермергор Т. Д. Статистическое описание упругого поля слоистых материалов. // Инженерно-физический журнал. Механика твёрдого тела. 1968. №4. С. 9.
2. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник. Т.1. М.: Машиностроение, 1968. 812 с.
3. Архипов И. К., Абрамова В. И., Гвоздев А. Е., Кузовлева О. В. Математическое моделирование свойств упругости в механике композиционных материалов // Чебышевский сборник. 2020. Том 21. Впуск 3. С.262–271.
4. Архипов И. К., Абрамова В. И., Губанов О. М., Гвоздев А. Е., Кутепов С. Н. Эффективные характеристики вязкоупругости металлических и полимерных композитов // Технология металлов №10. 2020. С.14–18.
5. Архипов И. К., Абрамова В. И., Гвоздев А. Е., Кутепов С. Н., Калинин А. А. Определение амплитудной зависимости внутреннего трения при крутильных колебаниях пористого металлического композита // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. №4. С.190–196.
6. Архипов И. К., Абрамова В. И., Гвоздев А. Е., Кутепов С. Н., Агеев Е. А., Калинин А. А. К построению амплитудной зависимости внутреннего трения при колебаниях пористых металлических композитов // Известия Юго-Западного университета. 2020. Т.24. №2. С.37–48.
7. Архипов И. К., Абрамова В. И., Гвоздев А. Е., Колмаков А. Г., Панин А. В. Моделирование микропластичности и механического поведения пористых материалов // Деформация и разрушение материалов. 2021. №1. С. 23–29.

REFERENCES

1. Fokin A. G., Shermergor T. D. 1968, «Statistical description of the elastic field of layered materials», *Engineering and physical journal. Solid mechanics*, no. 4, pp. 93.
2. *Strength, stability, vibrations*. Handbook. Vol. 1. Moscow. Mashinostroenie, 1968. 812 pp.
3. Arkhipov I. K., Abramova V. I., Gvozdev A. E., Kuzovleva O. V. 2020, «Mathematical modeling of elasticity properties in the mechanics of composite materials», Volume 21, Intake 3, pp. 262–271.
4. Arkhipov I. K., Abramova V. I., Gubanov O. M., Gvozdev A. E., Kutepov S. N. 2020, «Effective characteristics of viscoelasticity of metal and polymer composites», *Technology of metals*, No.10, pp. 14–18.
5. Arkhipov I. K., Abramova V. I., Gvozdev A. E., Kutepov S. N., Kalinin A. A. 2020, «Determination of the amplitude dependence of internal friction during torsional vibrations of a porous metal composite», *News of TulSU. Technical sciences*, No.4, pp. 190–196.

6. Arkhipov, I. K., Abramova, V. I., Gvozdev, A. E., Kutepov, S. N., Ageev, E. A., and Kalinin, A. A. 2020, «On constructing the amplitude dependence of internal friction during vibrations of porous metal composites», *Izvestiya Yugo-Zapadnogo universiteta*, Vol.24. no.2. pp. 37–48.
7. Arkhipov I. K., Abramova V. I., Gvozdev A. E., Kolmakov A. G., Panin A.V. 2021, «Modeling of microplasticity and mechanical behavior of porous materials», *Deformation and destruction of materials*, No.1, pp. 23–29.

Получено 06.05.21 г.

Принято в печать 20.09.2021 г.