ЧЕБЫШЕВСКИЙ СБОРНИК

Том 22. Выпуск 3.

УДК 539.3

DOI 10.22405/2226-8383-2021-22-3-443-447

Оптимальное проектирование демпфирующих свойств пористых металлических композитов

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

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

Семенова Галина Владимировна — кандидат педагогических наук, доцент, Тульский государственный университет (г. Тула).

Аннотация

Определено максимальное значение декремента колебаний пористого металлического композита, изготовленного по 3D – технологии. Изучено влияние пористости на демпфирующие и жесткостные свойства композита. Получено оптимальное значение пористости, обеспечивающее максимум декремента колебаний при значимом уровне нагрузки на образец. Приведены результаты численного расчета декремента для композита из хромоникелевой пористой стали.

Ключевые слова: амплитуда напряжений, декремент, демпфирующие свойства, металлический пористый композит, статистическая модель.

Библиография: 7 названий.

Для цитирования:

И. К. Архипов, В. И. Абрамова, О. В. Кузовлева, А. Е. Гвоздев, Г. В. Семенова. Оптимальное проектирование демпфирующих свойств пористых металлических композитов // Чебышевский сборник, 2021, т. 22, вып. 3, с. 443–447.

CHEBYSHEVSKII SBORNIK

Vol. 22. No. 3.

UDC 539.3

DOI 10.22405/2226-8383-2021-22-3-443-447

Optimal design of the damping properties of porous metal composites

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

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**Semenova Galina Vladimirovna** — candidate of pedagogical sciences, associate professor, Tula State University (Tula).**Abstract**

The maximum value of the vibration decrement of a porous metal composite made using 3D technology is determined. The influence of porosity on the damping and stiffness properties of the composite is studied. The optimal porosity value is obtained, which provides a maximum of the vibration decrement at a significant load level on the sample. The results of numerical calculation of the decrement for a composite made of chromium-nickel porous steel are presented.

Keywords: stress amplitude, decrement, damping properties, metallic porous composite, statistical model.

Bibliography: 7 titles.

For citation:

I. K. Arkhipov, V. I. Abramova, O. V. Kuzovleva, A. E. Gvozdev, G. V. Semenova, 2021, "Optimal design of the damping properties of porous metal composites", *Chebyshevskii sbornik*, vol. 22, no. 3, pp. 443–447.

1. Введение

При нагрузке в матрице пористого материала возникают микропластические зоны, в которых интенсивность напряжений будет превышать предел текучести материала матрицы. Эти зоны концентрируются в матрице вокруг пор (концентрация напряжений). Для определения концентрации микропластических зон построена статистическая модель [1], основанная на результатах теории функционалов, заданных на процессах и полях [2]. Ранее эта модель с успехом применялась в теории шероховатости поверхности. [2] В данном случае концентрация микропластических зон определяется как средняя длительность пребывания случайного процесса $\sigma_i(x)$ — интенсивности напряжений над уровнем σ_{s2} — пределом текучести матрицы.

2. Основной текст статьи

В соответствии с рекомендациями [1], [2] концентрация микропластических зон определяется как

$$C_p = c_2 L^{-1} \int_0^L P\{\sigma_i(x) > \sigma_{s2} - \langle \sigma_i \rangle\} dx, \quad (1)$$

где L — длина реализации случайного процесса $\sigma_i(x)$, c_2 — концентрация матрицы, $\langle \sigma_i \rangle$ — среднее значение интенсивности напряжений, $\sigma_i(x)$ — флуктуация этой интенсивности, P — вероятность того, что флуктуация процесса больше разности $\sigma_{s2} - \langle \sigma_i \rangle$.

В частности для стационарного нормального процесса $\sigma_i(x)$ имеем [1]:

$$C_p = c_2 \left[1 - \Phi \left(\frac{\sigma_{s2} - \langle \sigma_i \rangle}{\sqrt{D_{\sigma\sigma}}} \right) \right] : \Phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что для вычисления C_p нужно знать дисперсию $D_{\sigma\sigma}$ процесса $\sigma_i(x)$. Вычисление дисперсии производится приближенно, пользуясь корреляционной теорией упругости микронеоднородных сред [3]. В работе [4] величина дисперсии $D_{\sigma\sigma}$ для пористого материала в корреляционном приближении определяется как

$$D_{\sigma\sigma} = p(1-p) \frac{\mu_2^2}{\mu_*^2} \langle \sigma_i \rangle^2 \chi^2, \quad (3)$$

где p — объемная пористость, μ_2 — модуль сдвига матрицы, μ_* — эффективный модуль сдвига композита, $\chi = \frac{3-4\nu_2}{5(1-\nu_2)}$; ν_2 — коэффициент Пуассона материала матрицы.

В работе [5] показано, что зависимость концентрации микропластических зон от средних напряжений в любом микронеоднородном материале идентична амплитудной зависимости декремента колебаний композита. Аналогичное утверждение содержится и в других работах [6], [7]. Таким образом, нахождение экстремума функции $C_p(\langle \sigma_i \rangle)$ аналогично нахождению экстремума декремента в композите при соответствующем приложении нагрузки.

Поскольку все величины, входящие в формулу (2) зависят от одной переменной (объемной пористости p), определение экстремума C_p можно произвести традиционными методами математического анализа. Для нахождения стационарной точки p_k требуется найти производную $\frac{dC_p}{dp}$, приравнять ее к нулю и решить соответствующее уравнение. В дальнейшем следует показать, что p_k есть точка максимума и найти этот максимум. В качестве примера, влияющего на зависимость декремента от амплитуды прикладываемых напряжений, в зависимость следует включить амплитудное значение соответствующих напряжений.

Найдем производную $\frac{dC_p}{dp}$, используя (2), (3), учитывая, что эффективный модуль сдвига композита зависит от пористости p по формуле (3):

$$\mu_* = (1-p)\mu_2 - \frac{p(1-p)\mu_2}{p + (1-p)\chi_1}, \quad (4)$$

где $\chi_1 = \frac{7-5\nu_2}{2(4-5\nu_2)}$.

По формуле производной сложной функции имеем вместо (2):

$$\frac{dC_p}{dp} = \frac{dC_p}{dy} \cdot \frac{dy}{dp} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} \Big|_{-\infty}^y \cdot \frac{dy}{dp} = 0. \quad (5)$$

При конечных значениях $y \frac{dC_p}{dy}$ в ноль не обращается. Таким образом, нахождение точки экстремума p_k сводится к решению уравнения:

$$\left. \frac{dy}{dp} \right|_{p=p_k} = 0. \quad (6)$$

Можно показать, что, используя соотношения (2)-(5), решение уравнения имеет вид $p_k = \frac{2}{5}$.

Нетрудно установить по знакам приращений Δp справа и слева от p_k , что это точка максимума. Его величина соответственно равна:

$$C_{p \max} = c_2 \left[1 - \Phi \left(\frac{\sigma_{s2} - \langle \sigma_i \rangle}{\sqrt{D_{\sigma\sigma}}} \right) \right] \Big|_{p=p_k} \quad (7)$$

Величина $\langle \sigma_i \rangle$ определяет амплитудное значение прилагаемых напряжений. Расчет $C_{p \max}$ по формуле (7) сведем в таблицу.

Таблица. Зависимость максимального значения декремента от амплитудного значения напряжений $\langle \sigma_i \rangle$

$\sigma_{s2} / \langle \sigma_i \rangle$	2	2,5	2,7	3
$C_{p \max}$	0,08 c_2	0,05 c_2	0,03 c_2	0,01 c_2

3. Заключение

Таким образом, увеличение амплитуды напряжений приводит к увеличению максимального значения декремента.

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хусу А. П. О некоторых встречающихся в технике функционалах, заданных на процессах // Вестник ЛГУ. №1, 1956, С. 3–25.
2. Хусу А. П. О некоторых функционалах на случайных полях. // Вестник ЛГУ. №1, 1957, С. 11–33.
3. Шермергор Т. Д. Теория упругости микронеоднородных сред. М.: Наука, 1977. 399 с.
4. 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.
5. Архипов И. К., Абрамова В. И. Определение концентрации микропластических зон в композите по амплитудной зависимости декремента колебаний // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. С. 490–493.
6. Архипов И. К., Головин С. А., Петрушин Г. Д. Рассеяние энергии в композиционных материалах // Проблемы прочности. №8. 1984. С. 92–94.
7. Трощенко В. Т. К вопросу о рассеянии энергии в материале. Физика твердого тела. 1960. №6. С. 1060–1069.

REFERENCES

1. Husu A. P. 1956, «On some functionals found in technology, set on processes», *Bulletin of LSU*, No.1, pp. 3–25.
2. Husu A. P. 1957, «On some functionals on random fields», *Bulletin of LSU*, No.1, pp. 11–33.
3. Shermergor T.D. 1977, *Theory of elasticity of micro-homogeneous media*. Moscow. Nauka, 399 pp.
4. 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.
5. Arkhipov I. K., Abramova V. I. 2019, «Determination of the concentration of microplastic zones in a composite by the amplitude dependence of the vibration decrement», *News of TulSU. Technical sciences*, Issue 3, pp. 490–493.
6. Arkhipov I. K., Golovin S. A., Petrushin G. D. 1984, «Energy dissipation in composite materials», *Problems of strength*, No.8, pp. 92–94.
7. Troshchenko V. T. 1960, «On the issue of energy scattering in a material», *Solid state physics*, No.6, pp. 1060–1069.

Получено 06.05.21 г.

Принято в печать 20.09.2021 г.