

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ И ДЕМПФИРОВАНИЕ

Скворцов А. И., Кондратов В. М.

*Вятский государственный университет, Киров*

Одним из методов снижения нежелательных шумов и вибраций в технических изделиях является применение демпфирующих материалов. При использовании демпфирующих материалов важен правильный подход к использованию характеристик демпфирующей способности, критериев физико-механических свойств материала, учитывающих демпфирование, прочность. Такие характеристики могут быть использованы в качестве расчетных при конструировании изделий с низкой виброшумовой активностью [1–3]. Это предполагает их анализ, систематизацию.

Комплексные характеристики, учитывающие прочность и демпфирующую способность материалов, можно разделить на две группы [1, 4]. К первой группе относятся характеристики демпфирующей способности, соответствующие гомологическому напряжению, например,  $\Psi_{0,1\sigma}$  ( $\Psi$  – удельная энергия затухания, удельная демпфирующая способность). Ко второй группе относятся показатели, дополнительно содержащие характеристику прочности, например:  $\Psi_{0,1\sigma_{0,2}}\sigma_b$ ,  $\delta_{\Delta\varepsilon}\varepsilon_y$  ( $\delta_{\Delta\varepsilon}$  – среднее значение логарифмического декремента в интервале амплитуд деформаций  $\Delta\varepsilon$ ,  $\varepsilon_y$  – параметр деформации, соответствующий пределу упругости при циклической деформации [5]).

В работах [4, 5] показано, что комплексные характеристики первой группы имеют тот недостаток, что не учитывают особенности амплитудной зависимости внутреннего трения материала. Если между значениями параметров внутреннего трения  $\delta_m$  (параметр внутреннего трения, являющийся максимумом на амплитудной зависимости внутреннего трения) и  $\delta_{\Delta\varepsilon}$  существует прямая связь, то между этими параметрами и параметром  $\delta_{0,1\tau_{мч}}$  закономерной связи нет. Величина  $\delta_{0,1\tau_{мч}}$  может быть меньше, совпадать с  $\delta_m$ , находиться между  $\delta_m$  и  $\delta_{\tau_y}$ . Это является следствием того, что значение  $0,1\tau_{мч}$  в зависимости от материала «блуждает» в окрестности амплитуды напряжения  $\tau_m$ , соответствующей максимуму внутреннего трения на его амплитудной зависимости.

Если речь идет не о конструкции, а о материале, то, в общем случае, комплексные характеристики второй группы по признаку увеличения предпочтительности образуют ряд от предела прочности до допускаемого напряжения. Исходя из этих соображений, известные из литературы комплексные характеристики, учитывающие демпфирование, можно расположить в порядке снижения предпочтительности следующим образом:

1)  $\delta_{\varepsilon_{н-1[\varepsilon]}}[\varepsilon]$  ( $\varepsilon_{н-1}[\varepsilon]$  – интервал усреднения логарифмического декремента от амплитуды деформации, соответствующей низкоамплитудному внутреннему трению, до амплитуды допускаемой деформации, соответствующей допускаемому напряжению); 2)  $\delta_{\varepsilon_{н-1}\varepsilon_y}$ ; 3)  $\delta_i = \delta_{\varepsilon_i}$ , где  $\varepsilon_i$  – критический предел чувствительности материала к циклической деформации (ниже него демпфирующая способность не меняется или слабо меняется при увеличении числа циклов колебаний [3]); 4)  $\delta_b = \delta_{\varepsilon_{н-1}}\varepsilon_{н-1}$  – критерий вибропрочности ( $\varepsilon_{н-1}$  – амплитуда деформации, соответствующая пределу выносливости [6]); 5)  $\delta_m\sigma_{0,2}$  или  $\delta_{0,1\sigma_{0,2}}\sigma_{0,2}$ , если на амплитудной зависимости внутреннего трения отсутствует максимум, [4] (в общем случае обозначение параметра –  $\delta\sigma_{0,2}$ ); 6)  $\Psi_{0,1\sigma_{0,2}}\sigma_b$  (параметр Сугимото [7]).

При выборе подходящей комплексной характеристики второй группы надо учитывать трудоемкость их определения. Из перечисленных показателей меньшей трудо-

емкостью определения обладают  $\delta_{\Delta\epsilon_y}$ ,  $\delta\sigma_{0,2}$ ,  $\psi_{0,1\sigma_{0,2}}\sigma_a$ . Сравнение двух последних критериев показывает предпочтительность критерия  $\delta\sigma_{0,2}$  по двум причинам. Во-первых, характеристика  $\delta$  более адекватно отражает скорость снижения амплитуды колебаний, чем характеристика  $\psi$ , в случае, когда речь идет о высокодемпфирующих материалах [8]. Во-вторых, предел текучести в большей мере отражает несущую способность материала по сравнению с пределом прочности. Поэтому использование  $\sigma_{0,2}$  для характеристики достаточно пластичных демпфирующих материалов, каковыми являются большинство демпфирующих сплавов, более предпочтительно. Для некоторых материалов (например, для серых чугунов)  $\sigma_{0,2}$  не достигается вплоть до  $\sigma_a$ . Несущую способность в этом случае определяет предел прочности. Поэтому для них можно использовать критерий  $\delta\sigma_a$ .

Для сравнения материалов различного типа (например, сплавов на различной металлической основе) критерии  $\delta\sigma_{0,2}$  или  $\delta\sigma_a$  целесообразно дополнить такими важными характеристиками материала, как модуль упругости  $E$ , плотность  $\rho$ :  $\delta\sigma_{0,2}E/\rho$  или  $\delta\sigma_{0,2}E/\rho^2$ . Известно, что эти характеристики входят в состав других комплексных характеристик свойств, например: 1) в модуль потерь  $\eta E$  ( $\eta$  – коэффициент потерь), который характеризует виброшумопоглощающую способность и упругодеформационную стабильность материала, 2) в показатель  $\sigma_{0,2}E/\rho^2$ , используемый при конструировании [9]. Из структуры предложенных характеристик  $\delta\sigma_{0,2}E/\rho$  и  $\delta\sigma_{0,2}E/\rho^2$  видно, что первая, по сути, является произведением модуля потерь на удельную прочность, а вторая – произведением удельной прочности на удельную жесткость и на характеристику демпфирующей способности.

В таблице приведены значения комплексных характеристик физико-механических свойств, учитывающих прочность и демпфирование, для новых и используемых в технике демпфирующих металлических материалов.

Таблица. Комплексные характеристики физико-механических свойств демпфирующих металлических материалов

| Основа сплава, сплав       | $\delta\sigma_{0,2}$ , МПа | $\delta\sigma_{0,2}E/\rho$ , (МН <sup>2</sup> /кг·см) | $\delta\sigma_{0,2}E/\rho^2$ , (МН·см/кг) <sup>2</sup> | $\psi\sigma_a$ , МПа | $\eta E$ , ГПа | Лит. источ.    |
|----------------------------|----------------------------|---|--|----------------------|----------------|----------------|
| Fe: C425                   | 18,5                       | 2,6   | 0,36   | 36                   | 2,4            | [10-13]<br>[4] |
| типа Silentalloy           | 60-75                      | 14-17   | 1,9-2,3  | 100-175              | 10-14          |                |
| Fe-Cr-V                    | 150-230                    | 40-60   | 5,1-7,6  | 230-310              | 40-80          |                |
| 40X                        | 0,5                        | 0,13  | 0,024  | 1,9                  | 0,13           |                |
| Mn-Cu: Sonoston, Incramute | 82-94                      | 8,7-10,1  | 1,2-1,3  | 200-225              | 6,5-7,5        | [12, 13]       |
| Ni-43%Ti                   | 37-45                      | 4-4,8   | 0,62-0,74  | 280-320              | 4,7-5,6        | [12, 13]       |
| Mg горячепрес.             | 7,2-9                      | 1,8-2,3   | 1,0-1,3  | 30-36                | 1,1-1,4        | [14]           |
| Zn-Al: ЦА26                | 12-16                      | 2,4-2,7   | 0,45-0,51  | 29-32                | 1,5-1,7        |                |
| Co-Ni: Nivco-10            | 46                         | 10,7  | 1,24   | 134                  | 3,8            | [13, 15]       |
| Al: АК7Ц9 (АЛ11)           | 0,06-0,09                  | 0,013-0,02  | 0,0042-0,0064  | 0,2-0,3              | 0,008-0,012    |                |

1. Характеристики демпфирующей способности  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $\eta$  взяты при напряжениях: а)  $\sigma_m$  – для сплавов Silentalloy, Vacrosil 010, Nivco-10, Fe-Cr-V; б) при  $\tau = 26$  МПа <  $[\tau] = 27-43$  МПа – для С425; в) равных 0,1 предела текучести – для остальных сплавов.

2. Для С425 условно принято  $\sigma_{0,2} \approx \sigma_a$ .

3. Из указанных литературных источников взяты значения демпфирующей способности материалов и использованы данные для подсчета комплексных характеристик.

Для сравнения взяты традиционные для технических изделий сталь 40Х и литейный сплав алюминия АК7Ц9. Анализ таблицы показывает, что характеристика  $\delta\sigma_{0,2}E/\rho^2$  по сравнению с характеристикой  $\delta\sigma_{0,2}E/\rho$  и другими характеристиками предпочтительнее там, где предъявляются повышенные требования к весу материала (сравни, например, сплавы Sonoston, Incramute с Mg). Необходимо также отметить, что логичный порядок в чередовании сплавов по значениям комплексных характеристик заметно нарушается лишь для характеристики  $\psi\sigma_v$  (сравни, например, сплавы Ni-43%Ti и Silentalloy). Поэтому эту характеристику для сравнения материалов, для использования в расчетах применять надо осторожно.

### Список литературы

1. Скворцов А. И. Характеристики физико-механических свойств машиностроительных материалов, учитывающие демпфирование // Вестник машиностроения. 2004. № 4. С. 16-19.
2. Борьба с шумом на производстве: Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
3. Lazan B. J. Energy dissipation mechanisms in structures, with particular reference to material damping // Structural Damping. Oxford: Pergamon Press, 1960. P. 1-34.
4. Скворцов А. И. Создание высокодемпфирующих сплавов железа, цинк-алюминий и основ технологии их термической обработки: Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. док. техн. наук. Екатеринбург: УГТУ, 1995. 38 с.
5. Скворцов А. И., Кондратов В. М. О характеристиках демпфирующей способности сталей // Материаловедение. Воронеж: ВПИ, 1977. С. 43-50.
6. Цобкалло С. О., Никигин М. Д., Челноков В. А., Тимофеева В. И., Вальтер И. Г., Привалов Л. А. Изучение в жаропрочных сплавах при высоких температурах рассеяния энергии колебаний (внутреннего трения) как резерва прочности // Структура и свойства жаропрочных металлических материалов. М.: Наука, 1967. С. 115-120.
7. Сугимото К. Современные достижения в производстве высокодемпфирующих сплавов // Тэцу то хагане. 1974. Т. 60, № 14. С. 127-144. (Пер. ВЦП № Ц-96700. М.: 1976. 62 с.)
8. Скворцов А. И. Демпфирующие сплавы на основе железа и цинк-алюминий // Техническая акустика. 1993. Т. 2, № 4 (6). С. 40-44.
9. Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. Кн. 1. М.: Машиностроение, 1988. 560 с.
10. Новый сплав «Сайлентэллой» с высокой демпфирующей способностью (для снижения шума и вибрации): Проспект фирмы Метл Продактс дивизион (Тосиба-Токио сибатура илектрик Ко), Япония. (Пер. ВЦП с англ. № 9804. М.: 1977. 21 с.)
11. Vacrosil 010, eine Dampfungsliegierung // Drant. 1980. В. 31, № 10. S. 743-744.
12. Schetky L. M., Perkins J. The «quiet» alloys // Machine Desigt. 1978. V. 50, № 8. P. 202-206.
13. Warlimont H. Zur Bedeutung des Gefuges hochdampfender Legierungen // Radex-Rundschau. 1980. H. 1/2. S. 108-114.
14. Свойства элементов: Справочник / Под ред. Дрица М. Е. М.: Металлургия, 1985. 672 с.
15. Кочард А. Магнитомеханическое затухание // Магнитные свойства металлов и сплавов. М.: Изд. иностр. лит., 1961. С. 328-363.