

## ВЫСОКОДЕМПФИРУЮЩИЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА, ЦИНК–АЛЮМИНИЙ

Скворцов А.И., Мельчаков М.А., Скворцов А.А. (ВятГУ, г. Киров, Россия)  
Тел. +7 (8332) 74-24-91; E-mail: [scvortsovai@mail.ru](mailto:scvortsovai@mail.ru)

**Abstract:** *Shown that the structure needed for strong internal friction must be metastable. Comparison of different types of high damping alloys by comprehensive characterization of physico-mechanical properties of damping capacity, showed a significant superiority of alloy magneto-mechanical nature internal friction over the alloys with the mechanisms of the internal friction non-magnetic in nature.*

**Keywords:** *Alloys of Fe and of systems Al–Zn, damping capacity, mechanisms of the internal friction, properties, structure.*

### Введение

Высокодемпфирующими сплавами являются чугуны с пластинчатым графитом, сплавы железа с магнитомеханической природой внутреннего трения, сплавы на основе системы Zn–Al. Общим для них является то, что основные механизмы внутреннего трения при циклической деформации связаны со структурными поверхностями раздела.

### Механизмы внутреннего трения

**Чугуны с пластинчатым графитом.** В чугуне с пластинчатым графитом структурными областями, которые могут быть ответственными за сильное рассеяние энергии механических колебаний: графит, а механизмом внутреннего трения при этом является его пластическая деформация [1]; граница между графитом и матрицей, а механизм рассеяния энергии – «трение» на этой границе; матрица, а механизм рассеяния энергии обусловлен микропластической деформацией в микрообластях матрицы с большой концентрацией напряжений [2, 3]. Большая протяженность границы графита с матрицей, их сильно различающиеся физико-механические свойства являются предпосылкой сильного рассеяния энергии механических колебаний в приграничных областях.

Наибольшая демпфирующая способность чугуна с пластинчатым графитом соответствует матрице, основной фазой которой является мартенсит. При закалке поверхностные слои графита получают «разрыхленными». «Рыхлость» образуется из-за различия в теплофизических свойствах, параметрах кристаллической структуры графита и матрицы [4]. Эти «разрыхленные» слои графита на границе являются наиболее податливым местом для деформации, структурной перестройки при внешнем механическом воздействии, и поэтому они обладают повышенной способностью к рассеянию энергии механических колебаний.

Приграничным с графитом слоям матрицы после закалки свойственна повышенная степень дефектности и напряженного состояния, характерная метастабильному, пересыщенному углеродом мартенситу, а при циклической деформации – повышенная интенсивность сдвиговых процессов, процессов диффузии атомов углерода. Микродеформация, диффузионные процессы в поверхностных слоях графитных включений при мартенситной матрице более активны, чем при других матрицах, в частности: ферритной, феррито-карбидной, – в области напряжений, важных с практической точки зрения, – от низких (от  $\tau \approx 1$  МПа) до допускаемых.

**Сплавы железа с магнитомеханической природой внутреннего трения.** Механические колебания вызывают в ферромагнитных сплавах Fe перестройку

доменной структуры путем смещения доменных границ, изменения конфигурации доменной структуры, площади и типа доменных границ [5, 6]. Движение, эволюция доменных границ, чему соответствует изменение магнитной индукции во времени, приводит к возникновению микротоков в их окрестности. Энергия микротоков рассеивается в виде джоулева тепла. Этот механизм внутреннего трения магнитомеханической природы базируется на сильном – электрическом виде взаимодействия.

**Сплавы на основе системы Zn–Al.** Повышенное, высокое демпфирование в сплавах на основе системы Zn–Al характерно для сплавов, близких по содержанию Zn и Al к монотектоидному составу, после термической обработки, включающей закалку от температуры, выше температуры монотектоидного превращения [7–9]. Закалка измельчает зерна фаз, а также создает в сплаве концентрационные неоднородности, что может быть причиной структурной нестабильности при механических колебаниях [7–10]. Основным механизмом высокого демпфирования, по-видимому, обусловлен диффузией атомов Zn, Al и вакансий в приграничных областях фаз, а также внутризеренными концентрационными неоднородностями, инициирующими при механических колебаниях диффузию атомов замещения, вакансий внутри зерен этих фаз в соответствии с градиентом их концентрации. О высокой вероятности диффузионного механизма свидетельствует малое различие атомных радиусов Zn и Al – 3 %.

#### **Сравнительный анализ**

Наибольшей демпфирующей способностью среди сравниваемых сплавов, а также по сравнению с другими металлическими демпфирующими сплавами обладают сплавы железа с магнитомеханической природой внутреннего трения (см. таблицу). Причиной этого является то, что в сплавах железа с магнитомеханической природой внутреннего трения, во-первых, сильное внутреннее трение может быть во всем объеме сплава за исключением приграничных областей с мелкодоменной, мало восприимчивой к перестройке структурой. Во-вторых, этот механизм внутреннего трения, как уже упоминалось, базируется на сильном – электрическом виде взаимодействия.

В таблице приведены данные по комплексной характеристике физико-механических свойств, учитывающей демпфирующую способность,  $\delta\sigma_{0,2} E/\rho$  для высокодемпфирующих сплавов различного типа. Для сравнения с ними взята традиционная для машиностроения сталь 40X. Из таблицы видно, что и по комплексной характеристике сплав Fe–Cr–Al с магнитомеханической природой внутреннего трения значительно превосходит сплавы с механизмами внутреннего трения немагнитной природы, а те в свою очередь – сталь 40X.

Демпфирующая способность и комплексная характеристика физико-механических свойств высокодемпфирующих сплавов и стали 40X

Сплав	Fe–Cr–Al	СЧ25	Zn–Al	40X
$\delta$	0,35	0,07	0,06	0,002
$\delta\sigma_{0,2} E/\rho, (\text{МН})^2/\text{кг}\cdot\text{см}$	25	2,6	2,5	0,13

*Примечания.*

1.  $\delta$  – логарифмический декремент при крутильных колебаниях (характеристика демпфирующей способности) взят при напряжениях: для чугуна СЧ25 – при  $\tau = 26$  МПа (т.е. менее допускаемого напряжения  $[\tau] = 27\text{--}43$  МПа); для сплава Fe–Cr–Al – при напряжении максимума  $\delta$  на его амплитудной зависимости в области упругой деформации; для сплава Zn–Al и стали 40Х – при напряжении, равном 0,1 от предела текучести.

2.  $E$  – модуль упругости,  $\rho$  – плотность. 3. Для СЧ25 условно принято  $\sigma_{0,2} = \sigma_b$ .

Необходимо отметить, что демпфирующую способность сплавов с механизмами внутреннего трения магнитомеханической природы можно увеличить за счет термомагнитной обработки [11, 12].

*Работа выполнена в рамках НИР № 1091 госзадания Минобрнауки России № 2014/66.*

**Список литературы:** 1. Просвирин В.И., Моргунова Н.Н. Влияние структуры стали на относительное затухание крутильных колебаний // Новые исследования в области прочности машиностроительных материалов: Труды ЦНИИТМаш. М.: Машгиз, 1952. Т. 49, № 6. С. 48–102. 2. Пивоварский Е. Высококачественный чугун. М.: Metallurgy, 1965. Т. 1. 650 с. 3. Литовка В.И., Снежко А.А., Яковлев А.П. и др. Циклическая вязкость чугуна. Киев: Наукова думка, 1973. 168 с. 4. Скворцов А.И. Механизм сильного внутреннего трения в сплавах железа с пластинчатым графитом // Физика металлов и металловедение. 2004. Т. 97, № 1. С. 102–106. 5. Скворцов А.И. Роль кристаллической и магнитной структур в формировании высокого магнитомеханического затухания в сплавах железа // Физика металлов и металловедение. 1993. Т. 75, № 6. С. 118–124. 6. Скворцов А.И. Структурный механизм магнитомеханического затухания в ОЦК-сплавах железа // Известия Академии наук. Серия физическая. 1993. Т. 57, № 11. С. 159–162. 7. Tagamai M., Ohtani T., Usami T. Effects of heat treatment, contents of Cu and Mg, and rolling reduction on the damping capacity and mechanical properties of Zn–Al alloy // J. Japan Institute of Light Metals. 1988. V. 38. P. 107–113. 8. Скворцов А.И. Демпфирующие и механические свойства сплавов цинк–алюминий // Известия вузов. Цветная металлургия. 1991. № 1. С. 118–122. 9. Скворцов А.И. Влияние легирования, термической обработки и деформации на структуру и свойства демпфирующих Zn–Al-сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. 1996. № 9. С. 27–29. 10. Скворцов А.И. Структурообразование и внутреннее трение в неравновесных сплавах на основе цинка и алюминия // Известия Академии наук. Серия физическая. 1997. Т. 61, № 2. С. 298–303. 11. Скворцов, А.И. Скворцов А.А. Влияние термомагнитной обработки на демпфирующие свойства магнитно-мягких сплавов железа // Металловедение и термическая обработка металлов. 2006. № 10. С. 14–19. 12. Скворцов А.И., Мельчаков М.А. Исследование влияния температуры термомагнитной обработки на демпфирующую способность сплавов системы Fe–Cr–Al // Деформация и разрушение материалов. 2015. № 7. С. 34–37.