

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

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
δ	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. δ – логарифмический декремент при крутильных колебаниях (характеристика демпфирующей способности) взят при напряжениях: для чугуна СЧ25 – при $\tau = 26$ МПа (т.е. менее допустимого напряжения $[\tau] = 27\text{--}43$ МПа); для сплава Fe–Cr–Al – при напряжении максимума δ 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, ρ – 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.