

Список литературы: 1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В.Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.: ил. (Б-ка инструментальщика). 2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах / Под общей ред. Н.В.Новикова. – Киев: ИСМ им.В.Н.Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2005. Том 3: Композиционные инструментальные материалы / Отв. ред. А.Е.Шило. – Киев: ИСМ им.В.Н.Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2005. – 280 с. 3. Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр./ Отв. ред. Н.В.Новиков; НАН Украины. Ин-т сверхтвердых материалов им.В.Н.Бакуля. – К., 2005. – 255 с – (Сер. Материаловедение). 4. Шепелев А.А., Сороченко В.Г., Дрожжин В.И. Температура при алмазно-абразивном разрезании полимерных композиционных материалов // Наука і освіта: Збірник наукових праць (до 40-річчя співпраці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та Мішкольцького університету). – Харків: НТУ «ХП», 2004. – С.144-150. 5. Дрожжин В.И. Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс. – Автореф. дисс. . . . докт. техн. наук. - Киев, 1983. -39 с. 6. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Механизм образования поверхностного слоя при алмазно-абразивной обработке полимерных композиционных материалов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып.28. – С.202-205. 7. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1987. – 176 с. 8. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Высокоэффективное шлифование полимерных композиционных материалов алмазно-абразивными кругами-барабанами // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. Вип.30. – С.246-255. 9. Подураев В.Н., Тихонова Л.Г. Резание пластмасс. – В кн.: Итоги науки и техники. (Резание металлов. Станки и инструменты). М.:ВИНИТИ. 1979, т.5. С.306-309. 10. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения /Под общей редакцией Ф.В.Новикова и А.В.Якимова. В десяти томах. –Т.4. «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов». – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. 11. Износ алмазов и алмазных кругов. Т.Н.Лоладзе и Г.В.Бокучава. М., «Машиностроение», 1967, 113 стр. 12. Семко М.Ф., Сустан Г.К., Дрожжин В.И. Обработка резанием электроизоляционных материалов. – М.: Энергия, 1974. -176 с. 13. Хайнике Г. Трибохимия: Пер. с англ.. – М.: Мир, 1987. – 584 с. 14. Современные физические методы исследования полимеров: Справочник / Под ред. Г.Л.Сломинского. – М.: Химия, 1982. -256 с.

Сдано в редакцию 17.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Матюха П.Г.

ТЕРМОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА – КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА

Шишкин В.М., Кондратов В.М., Скворцов А.И., Агапов А.И.

(ВятГУ, г. Киров, Россия)

The thermomagnetic treatment of damping alloys on the basis of Fe have been developed. Their properties have been described. The methods of thermomagnetic treatment and the mechanism of magnetic-mechanical damping in Fe alloys are been discussed. Peculiarities of the alloys have been considered as well. From the structural point of view function of the thermomagnetic treatment of damping alloys on the basis of Fe are analyzed.

Введение

Актуальность. Большой научный и практический интерес представляет разработка демпфирующих материалов и способов их обработки, что связано с актуальностью снижения вредных вибраций и шума динамически нагружаемых изделий. В последнее время отечественными и зарубежными исследователями разработан ряд высокодемпфирующих сплавов на основе железа с магнитомеханической природой внутреннего трения. Однако оптимизация способов их обработки не завершена.

Одним из способов улучшения магнитных и, как предполагается, демпфирующих свойств магнитомягких сплавов железа является термомагнитная обработка.

Анализ литературных данных показывает, что термомагнитная обработка приводит к существенному изотропному улучшению максимальной магнитной проницаемости магнитомягких кремнистых электротехнических сталей с содержанием кремния более 2 % [1].

Исследование влияния термомагнитной обработки на демпфирующие свойства и структуру демпфирующих сплавов железа с магнитомеханическим затуханием является актуальным в силу следующих обстоятельств.

Во-первых, изучение закономерностей влияния термомагнитной обработки на демпфирующие свойства, структуру этих сплавов способствует более полному пониманию процессов, проходящих в них при термомагнитной обработке, и в перспективе позволяет выработать пути целенаправленного воздействия термомагнитной обработки на этот материал.

Во-вторых, улучшение демпфирующих свойств сплавов железа с магнитомеханическим затуханием, обладающих наивысшей демпфирующей способностью из известных металлических материалов, имеет большое значение для борьбы с вредными шумом и вибрацией.

Цель настоящей работы – установить закономерности влияния термомагнитной обработки на демпфирующие свойства, структуру сплавов Fe с магнитомеханической природой внутреннего трения.

Задачами настоящей работы является изучение влияния термомагнитной обработки на демпфирующие свойства (параметры внутреннего трения) сплавов железа с ферритной структурой, влияния величины зерна феррита в сплавах железа с ферритной структурой, легирующих элементов (V, Al) в ферритных сплавах системы Fe–Cr, включений графита в ферритной матрице на изменение демпфирующих свойств после термомагнитной обработки, а также проанализировать изменение структуры после термомагнитной обработки и определить направление практического использования термомагнитной обработки для демпфирующих сплавов железа.

Методы исследований и способы обработки

Объектами исследования являются материалы, основной механизм внутреннего трения которых - магнитомеханической природы: сплавы Fe с Cr, V, Al, а также графитизированные высокоуглеродистые стали с Si и Al.

Режим термомагнитной обработки: нагрев до температуры 450 °С с последующим ускоренным охлаждением в магнитном поле.

Характеристики внутреннего трения измерялись методом свободно затухающих колебаний обращенного крутильного маятника на установке, спроектированной и изготовленной в ВятГУ.

Рентгеноструктурный анализ проводили на установке ДРОН-3М в кобальтовом излучении со шлифа.

Съемку линий ферромагнитного резонанса проводили на радиоспектрометре РЭ-1301.

Результаты исследований и их обсуждение

Терромагнитная обработка повышает внутреннее трение сплавов Fe с ферритной структурой в интервале параметров внутреннего трения от δ_n до δ_m , соответствующих амплитудам от низкой $\gamma_n=3 \cdot 10^{-5}$ до амплитуды γ_m , соответствующей максимуму логарифмического декремента на его амплитудной зависимости (табл. 1, сплавы 1-4). Внутреннее трение этих сплавов обусловлено, в основном, магнитомеханическим затуханием. Эффект влияния терромагнитной обработки на прирост логарифмического декремента в интервале этих амплитуд имеет место и для сплавов Fe – Cr, и для сплавов, дополнительно легированных V, Al.

Таблица 1. Изменение параметров внутреннего трения в сплавах Fe в результате терромагнитной обработки

№ сплава	Сплав	$\Delta\delta_n$	$\Delta\delta_m$
		%	
1	Fe– 8%Cr	0,1	0,7
2	Fe–15%Cr	5	10
3	Fe–4%Cr–2%V	4	0
4	Fe–3%Cr–3%Al	5	4,5
5	Fe–1,2%C–2%Si–2%Al	0	0,15

Обозначения: $\Delta\delta_n$, $\Delta\delta_m$ даны в абсолютных %

В работах [2, 3] показано, что с укрупнением зерна магнитомеханическое затухание отожженных ферритных сплавов железа повышается. Можно предположить, что она повышается и с увеличением размера зерна. В результате проведенных в настоящей работе исследований это предположение подтвердилось.

Влияние размера зерна на эффект терромагнитной обработки было изучено на сплавах Fe–Cr. Обнаруженная закономерность иллюстрируются на следующем примере. В табл. 1 значительно больший прирост значений внутреннего трения в интервале параметров от δ_n до примерно δ_m для сплава Fe–15%Cr по сравнению со сплавом Fe–8%Cr в результате терромагнитной обработки обусловлен более крупным зерном в первом сплаве (средний диаметр зерна d равен соответственно 105 и 22 мкм). Разная величина зерна обусловлена тем, что сплав Fe–15%Cr – ферритный и при высокотемпературном отжиге зерно растет, а сплав с полным α - γ превращением Fe–8%Cr при ковке и последующем отжиге претерпевает фазовую перекристаллизацию, сопровождающуюся измельчением зерна.

Интенсивность воздействия терромагнитной обработки на внутреннее трение магнитомягких сплавов Fe в значительной мере зависит от их структуры. Из табл. 2 видно, что в результате терромагнитной обработки изменяется кристаллическая структура: увеличиваются период решетки и ширина рентгеновских линий мелкозернистого сплава Fe–8%Cr и крупнозернистого сплава Fe–19%Cr (d равен соответственно 22 и 75 мкм). Это свидетельствует, во-первых, о диффузионном перераспределении в сплавах атомов легирующих и, очевидно, примесных элементов при терромагнитной обработке. Во-вторых, увеличение периода решетки и ширины рентгеновских линий обусловлено обогащением α -твердого раствора атомами Cr и примесей, размеры которых больше по сравнению с атомом Fe. Источниками обогащения могут быть 1) сегрегации атомов Cr на границах зерен, растворяющиеся по телу зерна при терромагнитной обработке, что наиболее вероятно в мелкозернистых сплавах, а также 2) включения, разлагающиеся при терромагнитной обработке. Отсюда также следует, что необходимо учитывать вклад в эффект терромагнитной обработки внутризеренной структуры, в частности, структурной анизотропии.

Таблица 2. Увеличение периода решетки a и ширины линии $(310)\alpha_1 \beta$ сплавов Fe-Cr в результате термомагнитной обработки

Сплав	Δa , 10^{-5} нм	$\Delta\beta$, мрад
Fe-8%Cr	5	4
Fe-19%Cr	3	1

Структурную анизотропию исследовали методом ферромагнитного резонанса. В качестве характеристики степени структурной анизотропии был введен параметр:

$$k_a = S_a / I = S_a / [\sqrt{3}I_0(H_2 - H_1)],$$

где S_a – площадь, характеризующая отклонение линии поглощения $I'(H)$ от эталонной (рис. 1); $I = \sqrt{3}I_0(H_2 - H_1)$ – интенсивность линии поглощения, где I_0 – расстояние между максимумом и минимумом производной I' на графике $I'(H)$, H_2 и H_1 – напряжен-

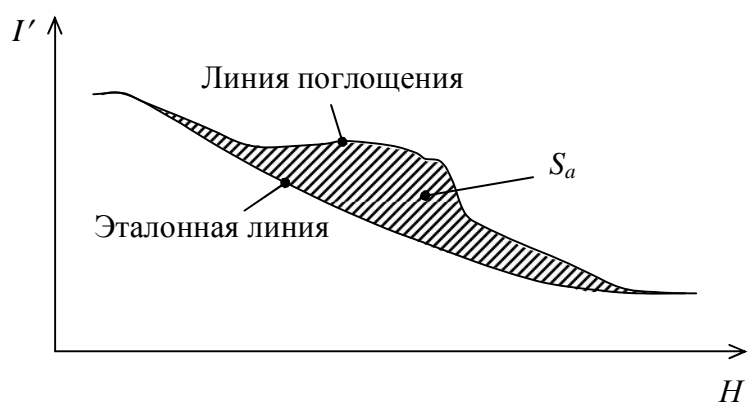


Рис. 1. Схема определения площади S_a , характеризующей отклонение линии поглощения ферромагнитного резонанса от эталонной.

ности постоянного магнитного поля, соответствующие минимуму и максимуму на графике $I'(H)$ [4]. За эталон принята одна из линий квазиизотропного мелкокристаллического сплава Fe-8%Cr.

В результате исследований было обнаружено (табл. 3), что: 1) степень структурной анизотропии в сплавах Fe-Cr соответствует размеру зерна; 2) термомагнитная обработка практически не меняет степень структурной анизотропии в мелкозернистых сплавах (в сплаве Fe-8%Cr с полным α - γ превращением) и заметно снижает ее в сплавах с более крупным зерном (в сплавах Fe-15%Cr и Fe-19%Cr без α - γ превращения).

Таблица 3. Изменение степени структурной анизотропии k_a в результате термомагнитной обработки (ТМагО) и средний размер зерна d в сплавах Fe-Cr

Сплав	k_a		Δk_a	d , мкм
	исх.	ТМагО		
Fe-8%Cr	0.18	0.18	0	22
Fe-15%Cr	3.03	2.82	0.21	105
Fe-19%Cr	2.02	1.77	0.25	75

Наиболее вероятным является то, что изменение структурной анизотропии в сплавах Fe-Cr при термомагнитной обработке обусловлено диффузионным перераспределением атомов Cr в объеме сплава, в том числе, и в объеме зерна.

Исследовано влияние графитных включений на изменение демпфирующих свойств сплавов Fe с ферритной матрицей при термомагнитной обработке. Объект исследований - графитизированные стали. Из табл. 1 видно, что принципиальное отличие во влиянии термомагнитной обработки на демпфирующие свойства графитизированной высокоуглеродистой стали (сплав 5) по сравнению со сплавами Fe с ферритной структурой (сплавы 1-4) заключается в том, что изменение демпфирующих свойств после термомагнитной обработки графитизированных сталей значительно меньше. Это объясняется большой плотностью диамагнитных графитных включений в относительно мелкозернистой ($d \approx 20$ мкм) ферритной матрице. Такая структура обладает низкой способностью к получению при термомагнитной обработке магнитной структуры, которая обладала бы облегченной перестройкой при циклических колебаниях.

Выводы

1. Для сплавов Fe с ферритной структурой установлены следующие закономерности:

1) Чем крупнее зерно феррита в сплавах с ферритной структурой, тем больше прирост внутреннего трения в интервале амплитуд до примерно амплитуды его максимума за счет термомагнитной обработки.

2) Результаты рентгеноструктурного анализа и метода ферромагнитного резонанса свидетельствуют о том, что в сплавах Fe-Cr при термомагнитной обработке происходит диффузионное перераспределение атомов легирующих элементов с изменением структурной анизотропии.

2. В высокоуглеродистых графитизированных сталях с феррито-графитной структурой изменение демпфирующих свойств в результате термомагнитной обработки невелико, что обусловлено большим числом диамагнитных включений графита в относительно мелкозернистой ферритной матрице.

3. Из экспериментальных результатов следует, что для улучшения демпфирующих свойств сплавов Fe за счет термомагнитной обработки наиболее рационально использовать ферритные сплавы.

Список литературы: 1. Старцева И.Е., Шулика В.В. Связь эффективности термомагнитной обработки и формы кривой температурной зависимости начальной проницаемости железокремнистых сплавов // Физика металлов и металловедение – 1974. – Т. 37, № 1. – С. 98-106. 2. Скворцов А.И. Влияние структуры на демпфирующую способность и механические свойства сплавов железа с магнитомеханическим затуханием // Металловедение и термическая обработка металлов - 2004. - № 5. - С. 18–25. 3. 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. 4. Зюзин А.М., Бажанов А.Г. Магнитные свойства атомов и магнитные резонансы: Под ред. Зюзина А.М. - Саранск: Изд. МорГУ, 2000. - 56 с.

Сдано в редакцию 12.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Малышко И.А.