

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМОМАГНИТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

О.В. Григорьева

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», пр. Победы, 37, Киев, 03056
e-mail: grigoks@mail.ru

Развита методика дифференциального термомагнитного анализа магнитных свойств аморфных сплавов на основе железа. Исследованы изменения намагниченности при нагреве тонких аморфных лент сплава $Fe_{80}B_{20}$. Предложен метод расчета регистрируемых дифференциальным способом магнитных эффектов. Исследован процесс кристаллизации и определены магнитные свойства аморфного сплава $Fe_{80}B_{20}$.

Исследование магнитных свойств аморфных сплавов является одной из актуальных задач современной физики конденсированного состояния, как с точки зрения развития физических представлений в этой области, так и в плане возможных практических приложений.

В данной работе исследовались изменения намагниченности при нагреве аморфных сплавов $Fe_{80}B_{20}$, рассчитывая получить информацию о процессах кристаллизации этих сплавов и о магнитных свойствах этих сплавов.

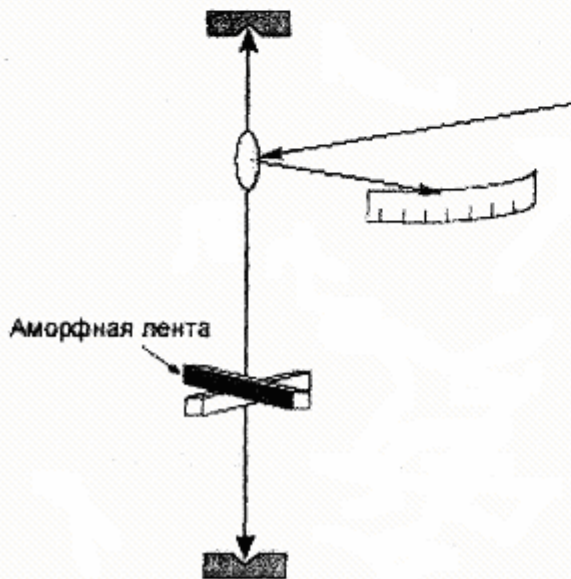


Рис.1. Схема магнитометрического исследования аморфных сплавов.

Был применен метод дифференциального термомагнитного анализа с использованием двух эталонов из армко-железа. Был применен также метод внутреннего эталона, в котором градуировку регистрируемых изменений намагниченности производили по известному магнитному эффекту в точке Кюри карбида железа $\theta-Fe_3C$. Рентгенографические исследования были проведены на дифрактометре в излучении железного анода. Схема магнитометрического исследования показана на рис.1.

На рис.2 показана термомагнитная кривая нагрева и охлаждения аморфного сплава $Fe_{80}B_{20}$. Характерной особенностью термомагнитных кривых является то, что они носят обратимый характер в интервале температур от комнатной до приблизительно $380^{\circ}C$ ($653 K$). Обратимый характер термомагнитных кривых свидетельствует о том, что регистрируемые изменения намагниченности обусловлены приближением к точке Кюри аморфного сплава $Fe_{80}B_{20}$. Известные соотношения термодинамической теории температурной зависимости самопроизвольной намагниченности ферромагнетика вблизи от точки Кюри позволяют дать приближенную оценку значения температуры Кюри аморфного сплава $Fe_{80}B_{20}$.

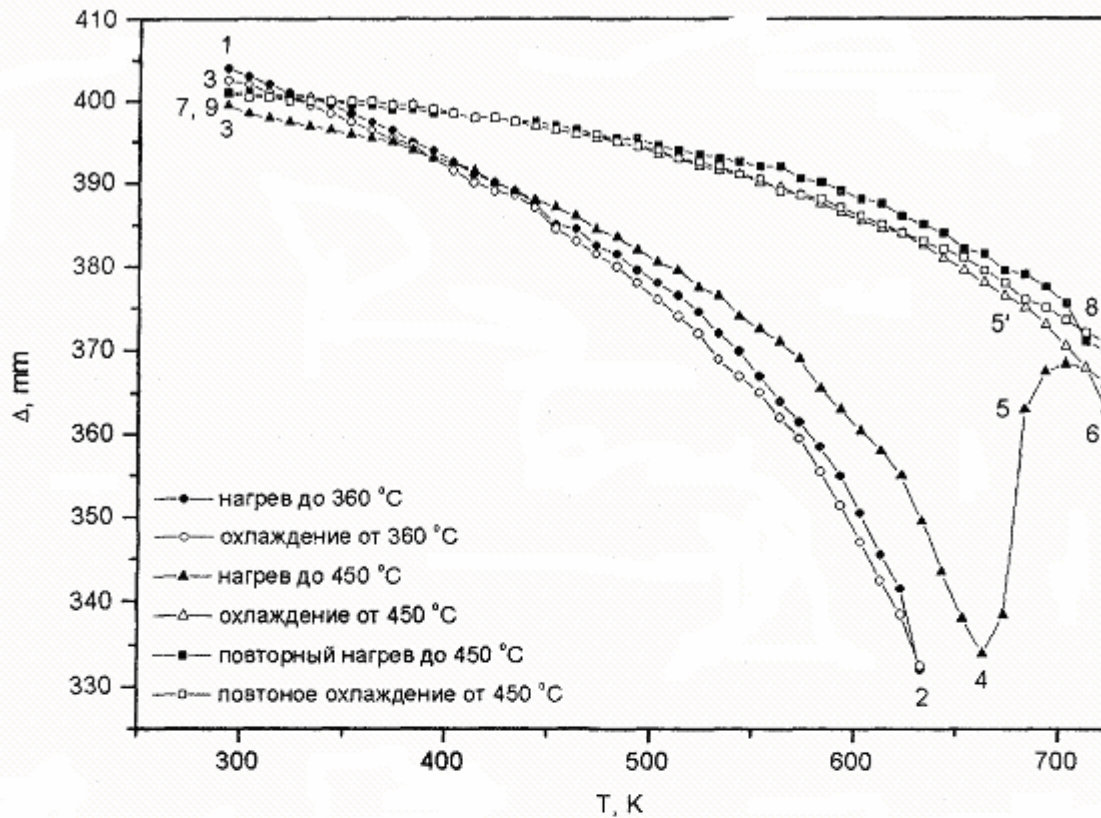
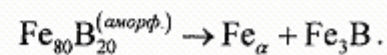


Рис. 2. Термомагнитная кривая циклического нагрева аморфной ленты $Fe_{80}B_{20}$.

При этом необходимо использовать конкретное значение соответствующего термодинамического коэффициента, который для исследуемого аморфного сплава неизвестен. В данной работе был проведен расчетный анализ основного термодинамического коэффициента для чистых ферромагнетиков Fe, Ni, Co и для фаз θ - Fe_3C , Fe_3B , Fe_4N . Усредненное значение термодинамического коэффициента было использовано для оценки температуры Кюри аморфного сплава $Fe_{80}B_{20}$. Полученное значение $375^\circ C$ ($648 K$), является, судя по литературным данным [1], вполне разумной величиной.

Характерной особенностью всех исследованных термомагнитных кривых является то, что в температурном интервале $388\text{--}425^\circ C$ ($653\text{--}698 K$) кривые носят необратимый характер: при нагреве на-

блюдается необратимое возрастание намагниченности. При этом на рентгенограммах регистрируются четкие рефлексы α -железа и борида Fe_3B , а также очень слабые интерференционные линии боридных фаз Fe_2B и FeB . Эти данные позволяют утверждать, что обсуждаемое необратимое изменение намагниченности исследуемой ленты обусловлено кристаллизацией аморфного сплава



Используя общие принципы количественного анализа аддитивных физических свойств сплавов при фазовых превращениях [2], было получено следующее уравнение, которое описывает магнитный эффект при кристаллизации аморфного сплава $Fe_{80}B_{20}$:

$$\frac{\Delta(I_0V_0)_{cr}}{\Delta(I_0V_0)_\theta} = \frac{\Delta_{cr}}{\Delta_\theta} = \frac{\sigma_\alpha^{673} (1-0,76) M_b}{\sigma_\theta^{293} 15C \cdot 10^{-2} M_0} + \frac{\sigma_{Fe_3B}^{673} 0,76 M_b}{\sigma_\theta^{293} 15C \cdot 10^{-2} M_0} - \frac{\sigma_{Fe_{80}B_{20}}^{673} M_b}{\sigma_\theta^{293} 15C \cdot 10^{-2} M_0}$$

где $\Delta(I_0V_0)_{cr}$ – изменение магнитного момента «составного» образца при кристаллизации аморфного сплава; $\Delta(I_0V_0)_\theta$ – магнитный эффект в точке Кюри фазы θ -Fe₃C (на эту известную из литературных данных [3] величину нормируется исследуемый магнитный эффект); Δ_{cr} и Δ_θ – обсуждаемые магнитные эффекты в единицах шкалы магнитометра; M_b и M_0 – массы ленты аморфного сплава и образц-эталоны из Fe; $\sigma_{Fe_{80}B_{20}}^{673}$ и $\sigma_{Fe_3B}^{673}$ – удельные намагниченности аморфного сплава Fe₈₀B₂₀ и борида Fe₃B, определенные при 673 К (400°С=673 К – средняя температура интервала кристаллизации).

Аналогичным образом было получено уравнение для определения удельной намагниченности борида Fe₃B, который образуется при кристаллизации аморфного сплава Fe₈₀B₂₀. Удельная намагниченность борида Fe₃B составляет 192×10^{-4} Тл·см³/г; эта величина в 1,5 раза больше удельной намагниченности цемента θ -Fe₃C и в 1,1 раза меньше удельной намагниченности α -железа.

Согласно полученным данным, намагниченность сплава Fe₈₀B₂₀ после его кристаллизации, измеренная при комнатной температуре, не отличается от намагниченности этого сплава в аморфном состоянии, то есть приблизительно выполняется равенство

$$\sigma_\alpha (1 - 16,55B \cdot 10^{-2}) + \sigma_{Fe_3B} 16,55B \cdot 10^{-2} = \sigma_{Fe_{80}B_{20}}$$

где B – процентное содержание (по массе) бора в сплаве.

Проведенные расчеты показали, что численное значение $\sigma_{Fe_{80}B_{20}}$ составляет

198×10^{-4} Тл·см³/г, что близко к литературным данным [4]. Косвенно этот результат подтверждает данные рентгенофазового анализа о том, что количество боридных фаз FeB и Fe₂B в закристаллизовавшемся сплаве Fe₈₀B₂₀ невелико.

Расчет измеренных изменений намагниченности в интервале температур фазового превращения позволил определить удельную намагниченность аморфного сплава при 653 К (380°С, средняя температура узкого интервала кристаллизации). Уравнение, описывающее магнитный эффект кристаллизации, имеет вид:

$$\frac{\Delta_{cr}}{\Delta_\theta} = \frac{\sigma_\alpha^{(653)} (1-0,76) M_b}{\sigma_\theta 15C \cdot 10^{-2} M_0} + \frac{\sigma_{Fe_3B} 0,76 M_b}{\sigma_\theta 15C \cdot 10^{-2} M_0} - \frac{\sigma_{Fe_{80}B_{20}}^{(653)} M_b}{\sigma_\theta M_0}$$

где Δ_{cr} – магнитный эффект кристаллизации в единицах шкалы магнитометра; Δ_θ – эффект магнитного превращения в точке Кюри “градуировочного” цемента в тех же единицах; M_b – масса аморфной ленты.

Численные коэффициенты определены из баланса масс.

Произведенные расчеты показали, что удельная намагниченность аморфного сплава Fe₈₀B₂₀ при температуре 380°С (653 К) составляет величину 3×10^{-4} Тл·см³/г т.е. 1,5% от удельной намагниченности сплава при комнатной температуре. Этот результат показывает, что температура Кюри сплава Fe₈₀B₂₀ близка к 400°С (673 К), что находится в согласии с проведенной выше оценкой.

Развитая методика исследования магнитных свойств аморфных лент и покрытий из ферромагнитных материалов может быть использована при изучении диффузионных слоев, зон, полученных при лазерной обработке сплавов, и других многослойных структур.

Литература

1. С.В.Вонсовский. *Магнетизм* (Наука, Москва. 1971).
2. М.В.Белоус, В.Т.Черепин, М.А.Васильев. *Превращения при отпуске стали* (Металлургия, Москва. 1973).
3. Р.Бозорт, *Ферромагнетизм* (Иностранная литература, Москва. 1956).
4. *Физическое металловедение*, под ред. Р.У.Кана, П. Хаазена (Металлургия, Москва. 1987).

**APPLICATION OF DIFFERENTIAL
THERMOMAGNETIC ANALYSIS FOR THE STUDIES
OF IRON-BASED AMORPHOUS ALLOYS**

O.V.Hryhoryeva

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
Prospect Peremohy 37, Kyiv, 03056
e-mail:grigoks@mail.ru

The methods of differential thermomagnetic analysis of magnetic properties of iron-based amorphous alloys are developed. The changes of magnetization at heating of thin amorphous bands of Fe₈₀B₂₀ alloy are studied. The method of calculation of magnetic effects, registered by differential technique, is suggested. The process of crystallization is investigated and the magnetic properties of Fe₈₀B₂₀ amorphous alloy are determined.