

*д.т.н., проф., Павленко Т.П.
аспірант, Токар М.Н.
(Національний технічний університет "Харківський
політехнічний інститут" (НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)
E-mail: khpavlenko@yandex.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АМОРФНОГО СПЛАВА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

У роботі показані дослідження параметрів і властивостей аморфних сплавів для визначення можливості їх у електромагнітних системах електричних апаратів.

***Ключові слова:** аморфний сплав, анізотропія, магнітні властивості, магнітопровід.*

В работе показаны исследования параметров и свойств аморфных сплавов для определения возможности их применения их в электромагнитных системах электрических аппаратов.

***Ключевые слова:** аморфный сплав, анизотропия, магнитные свойства, магнитопровод.*

Введение. Применение новых материалов в современной технике способствует уменьшению массогабаритных показателей, улучшению свойств и характеристик срабатывания. Все эти возможности также распространяются и на электротехнические устройства, которые широко применяются в системе электроснабжения, промышленности, на транспорте и в быту.

Для практического значения большую роль в магнитных системах электрических аппаратов играют магнитомягкие материалы. Чаще всего в таких системах используют электротехническую сталь, пермаллой или феррит, в зависимости от назначения и области применения электрического аппарата.

Анализ изменения параметров и свойств магнитных материалов, а именно магнитной проницаемости при различных частотах, скорости смещающихся доменных границ, магнитного гистерезиса, коэрцитивной силы частных и предельных петель гистерезиса, потерь энергии при перемагничивании, подвижности цилиндрических доменов и др. – обычно производится на основе единых физических представлений. Большое разнообразие таких свойств обусловило широкое применение в технике различных ферромагнитных материалов [1].

В настоящее время в электротехнических устройствах начали широко применяться так называемые нанокристаллические, микросталлические и другие сплавы, которые способствуют улучшению характеристик срабатывания электротехнических устройств. В группу таких уникальных материалов входят также и, так называемые, аморфные сплавы, которые обладают высокой индукцией насыщения, прямоугольностью петли гистерезиса, высокой магнитной проницаемостью. Эти и другие свойства могут быть использованы в магнитных системах электрических аппаратов, а именно в тех системах, где необходимо повысить чувствительность срабатывания электрического аппарата при возникновении токов короткого замыкания, например, в устройствах защитного отключения или в расцепителях максимальной токовой защиты.

Анализ результатов исследований. Для определения области применения любого нового материала необходимо изучить его свойства, параметры или характеристики. Чтобы определить возможности применения аморфных сплавов в магнитных системах электрических аппаратов были проведены исследования их намагниченности насыщения

и перпендикулярной анизотропии. Анизотропия структуры аморфных сплавов и их остаточные напряжения определяют магнитную анизотропию, формирующую доменную структуру, от которой и зависят магнитные свойства аморфных сплавов. В частности, от соотношения различных магнитных доменов зависят максимальная магнитная проницаемость μ_{max} , индукция насыщения B_s , коэрцитивная сила H_c , начальная магнитная проницаемость μ_n [2].

При термообработке в магнитном поле в аморфных сплавах наводится анизотропия, которая может быть результатом образования в аморфном сплаве локальной атомной структуры с преимущественной ее ориентацией, или вследствие роста (также с преимущественной ориентацией) микроскопических зародышей, уже существующих в аморфном сплаве. Анизотропия может существовать в сплаве и в не термообработанном состоянии, что также объясняется наличием зародышей кристаллической фазы или образующихся при закалке (при получении ленты из расплава) ориентированных пар атомов [2, 3].

Для исследования свойств выбран образец ленты из аморфного сплава марки 7421. В исходном состоянии ленты индукция насыщения сплава составляет $B_s = 1,2$ Тл; коэрцитивная сила $H_c = 8$ А/м, остаточная индукция B_r – до 0,65 Тл.

Термомагнитная обработка, проведенная при 400°C в продольном (по отношению к длине ленты) поле напряженностью от 800 до 2000 А/м заметно сужает петлю гистерезиса, увеличивая ее прямоугольность. При этом значения необходимых параметров изменяются, а именно B_s – до 1,55 Тл; $H_c = 5$ А/м; $B_r = 1,0$ Тл. Удельные потери составляют $P_{1,45/400} = 1,2-1,5$ Вт/кг, что значительно меньше потерь в электротехнических сталях.

Определение намагниченности насыщения J_s и степени перпендикулярной (плоскости ленты) анизотропии производилось по трем осям (вдоль, поперек и перпендикулярно ленте) на не термообработанных образцах ленты с помощью вращающегося анизометра на базе баллистического гальванометра и мощного магнита марки ФЛ-1 (рис. 1).

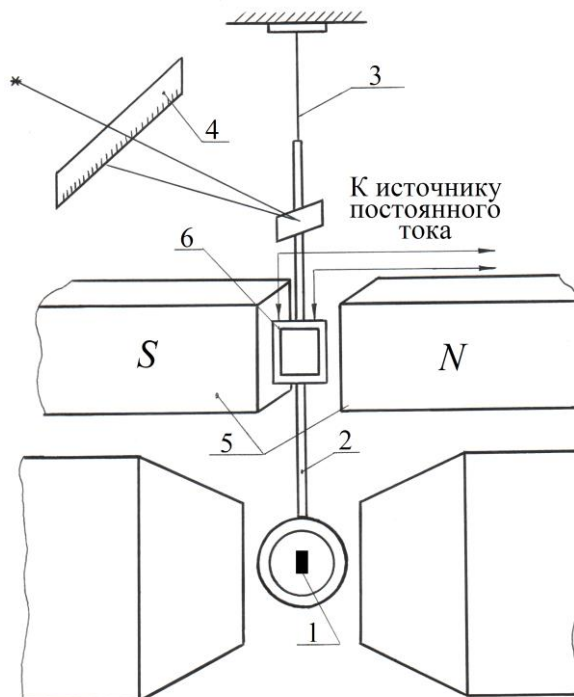


Рисунок 1 – Схема установки для измерения намагниченности насыщения и константы перпендикулярной анизотропии

Образец из ленты аморфного сплава 1 жестко связанный со стержнем 2, подвешенным на упругой нити 3, помещался в однородное магнитное поле. На него со стороны поля действовал вращающий момент, закручивающий нить. Угол закручивания определялся по шкале 4. Магнитное поле в зазоре изменялось путем изменения постоянного тока в катушках магнита 5. При измерениях образец с помощью рамки 6 с током удерживался под некоторым постоянным углом ψ по отношению к внешнему полю напряженностью \vec{H} для определения вектора намагниченности \vec{J}_s (рис.2).

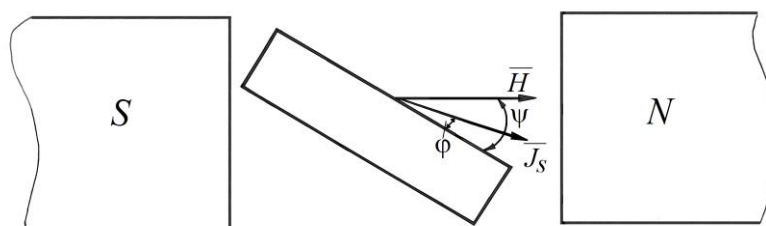


Рисунок 2 - Взаимное расположение векторов напряженности поля и намагниченности

Как показали результаты исследования увеличение напряженности поля \vec{H} вызывает отклонение вектора намагниченности \vec{J}_s в сторону магнитного поля при изменении вращающего момента M_r . Этот момент компенсируется рамкой с током.

Энергия одноосной анизотропии определяется как

$$E = K_1 \sin^2 \varphi \quad (1)$$

где K_1 – константа перпендикулярной анизотропии;

φ – угол между вектором намагниченности \vec{J}_s и осью намагничивания.

Из условия равновесия системы (рамки с током и образца на подвесе) при приложенной напряженности магнитного поля H значение перпендикулярной анизотропии:

$$\frac{\dot{I} \psi}{\dot{I}_r} = \frac{1}{J_s V} + \frac{H}{2(2\pi \cdot J_s^2 - K_1) \cdot V}, \quad (2)$$

где V – объем образца.

Результаты измерений для двух образцов размером $0,6 \times 0,3 \times 0,0025$ см приведены в табл.1.

Таблица 1 – Значения измерений $\frac{\dot{I} \psi}{\dot{I}_r}$ при $\psi = 8,69 \cdot 10^{-2}$ рад (5^0).

Номер образца	Величина	Напряженность магнитного поля, А/см							
		1120	2240	3360	4400	5440	7360	9200	10480
1	$\frac{\dot{I} \psi}{\dot{I}_r}$	1,33	2,28	2,51	2,7	2,85	3,14	3,45	3,65

2	$\frac{\dot{I}_\psi}{\dot{I}_r}$	1,84	2,18	2,4	2,58	2,73	3,0	3,31	3,5
---	----------------------------------	------	------	-----	------	------	-----	------	-----

Исходя из расчетов по экспериментальным значениям, было определено, что намагниченность насыщения $J_s = 1272$ Гс, а индукция насыщения $B_s = 4\pi \cdot J_s = 1,6$ Тл.

Угол φ (между векторами приложенного магнитного поля и вектором намагниченности) определяется из формулы:

$$\varphi = \frac{\dot{I}_r}{V \cdot H \cdot J_s} \quad (4)$$

Результаты исследований показывали, что в поле до 1200 А/см при практическом изменении угла ψ , равному $4^{\circ}55'$ и 5° соответственно, между плоскостью образца и вектором напряженности поля \vec{H} перпендикулярная анизотропия практически отсутствует. При превышении напряженности поля 1200 А/см происходит незначительное отклонение вектора \vec{J}_s в сторону вектора напряженности \vec{H} , при этом происходит уменьшение угла ψ ($\sim 2^{\circ}$), что приводит к развитию анизотропии.

Выводы.

1. Исследованные образцы ленты из аморфного сплава марки 7421 показали хорошие магнитные свойства, что дает возможность применения их в электромагнитных системах электрических аппаратов.

2. Впервые выполненные измерения перпендикулярной анизотропии показали намагниченность насыщения ленты при изменении магнитного поля определенной напряженности, что позволяет определить магнитную анизотропию, формирующую доменную структуру, от которой и зависят магнитные свойства аморфных сплавов. Отсутствие перпендикулярной анизотропии при напряженности поля до 1200 А/см говорит о том, что магнитные свойства аморфных сплавов при изменении напряженности поля не изменяются.

Библиографический список:

1. Мишин Д.Д. *Магнитные материалы*. –М.: Высш.шк., 1991. –384 с..
2. *Аморфные металлические сплавы*. / Под ред. Люборского Ф.Е.: Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1987. – 584 с.
3. Кекало И.Б. *Атомная структура аморфных сплавов и ее эволюция*. –М.: Высш.шк., 2006. –340с.

T.P. Pavlenko The amorphous alloy parameters for The electromagnetic systems defining electrical vehicles are designed

The paper shows the study parameters and properties of amorphous alloys to determine their possible application in electromagnetic systems of electric vehicles.

Key words: amorphous alloy, anisotropy, magnetic properties, the magnetic circuit.