

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

12

Журнал технической физики, т. 63, в. 11, 1993

© 1993 г.

ЭФФЕКТ МАТТЕУЧЧИ В АМОРФНЫХ СПЛАВАХ

А. П. Жуков

Введение

Эффект Маттеуччи, открытый в 1847 г., заключается в наведении на концах образца в виде стержня, помещенного в переменное магнитное поле, переменной эдс E . Согласно современным представлениям, эффект Маттеуччи связан с появлением зависящей от времени поперечной компоненты магнитной индукции B_y (рис. 1, а) при приложении переменного магнитного поля вдоль оси X . Возникновение ненулевой поперечной компоненты B_y обычно связывается с закручиванием вектора магнитной индукции в плоскости YZ при перемагничивании образца ^[1,2]. В рамках этих представлений величина эдс Маттеуччи может быть рассчитана из уравнения Максвелла.

В последнее время эффект Маттеуччи находит широкое применение при конструировании различного рода сенсорных устройств из аморфных сплавов. Это связано с тем, что зависимость эдс Маттеуччи от времени и поля имеет вид резких максимумов. Такого рода зависимости (например, зависимость эдс измерительной обмотки образцов с прямоугольной петлей) и необходимы для изготовления чувствительных сенсоров или небольших импульсных трансформаторов ^[1,2].

В ^[1] предложена модель возникновения эдс Маттеуччи при движении двух 180°-ных доменных границ. В ^[2] предложены конкретные сенсорные устройства из аморфных лент, основанные на использовании эффекта Маттеуччи. Представлены конструкции сенсоров тока, частоты вращения вала, напряжений, а также импульсного трансформатора на основе использования эдс Маттеуччи.

Методика эксперимента и образцы

Принципиальная схема установки для измерения эдс Маттеуччи представлена на рис. 1, б. Намагничивающая цепь состоит из источника переменного тока, соленоида и балластного сопротивления r , включенного последовательно с соленоидом. Сигнал с балластного сопротивления,

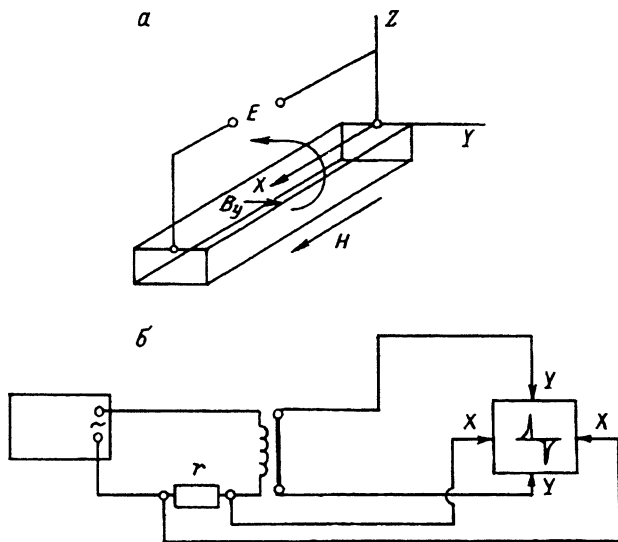


Рис. 1. Схема геометрии эксперимента при измерении эффекта Маттеуччи (а) и принципиальная схема установки для измерения эдс Маттеуччи (б).

пропорциональный току в намагничивающей обмотке соленоида, подавался на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа. На вертикально отклоняющиеся пластины осциллографа подавалась эдс снятая с концов образца, помещенного внутрь соленоида. Образцы представляли собой куски аморфной ленты длиной примерно 5 см. Таким образом, на экране осциллографа наблюдалась зависимость эдс Маттеуччи ϵ от магнитного поля. В ряде случаев использовалась дополнительная измерительная обмотка, намотанная на каркас соленоида. Сигнал с измерительной обмотки через интегратор поступал на вертикально отклоняющие пластины осциллографа. Это позволяло наблюдать на экране осциллографа петлю гистерезиса.

Конструкция установки позволяла производить закручивание измеряемых лент вокруг оси X (рис. 1, а) на угол θ от -90 до $+135^\circ$.

Измерения проведены на аморфных лентах $\text{Co}_{70}\text{Fe}_5\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$, $\text{Fe}_{82}\text{Si}_{14}\text{B}_4$, $\text{Fe}_{79}\text{Si}_{14}\text{B}_7$, $\text{Fe}_{83}\text{B}_{10}\text{P}_7$, $\text{Co}_{78}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ и $\text{Co}_{78}\text{Si}_{10}\text{B}_{12}$, полученных закалкой расплава.

Магнитное поле от времени менялось в режиме треугольной пилы с линейным ростом и последующим линейным убыванием поля от времени.

Эксперимент и его обсуждение

Наблюдались два типа зависимостей эдс Маттеуччи от поля. Зависимость $E(H)$ первого типа (такая же, как в [1,2]) — с одним пиком в поле, соответствующем крутому участку петли гистерезиса (рис. 2, а). Зависимость второго типа — с двумя пиками в области полей, соответствующим крутым участкам петли гистерезиса (рис. 2, б). Зависимость $E(H)$ второго типа ранее не наблюдалась.

Отжиг в продольном магнитном поле приводит к уменьшению E более чем на порядок. Такое изменение E наблюдалось в образцах аморфного

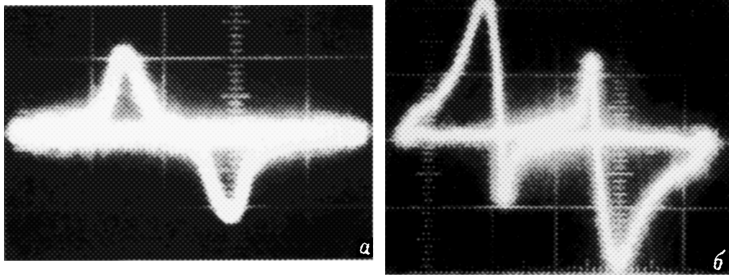
$Fe_{83}B_{10}P_7$ $Co_{78}Si_{10}B_{12}$ 

Рис. 2. Зависимости $E(H)$ для аморфных сплавов $Fe_{83}B_{10}P_7$ (а) и $Co_{70}Fe_5Si_{10}B_{15}$ (б).

сплава $Co_{70}Fe_5Si_{10}B_{15}$. Это, по-видимому, объясняется тем, что отжиг в поле приводит к уменьшению поперечной компоненты B_y .

В [3] было обнаружено увеличение эдс Маттеуччи с ростом частоты внешнего поля f . Зависимости $E(f)$ имели тот же характер, что и частотные зависимости эдс измерительной обмотки при перемагничивании. Полученные нами данные по зависимости E от частоты f и амплитуды H_0 внешнего поля в интервале $5 \cdot 10^2 \leq f \leq 6 \cdot 10^4$ Гц и $1.12 \leq H_0 \leq 4.37$ Э во всех исследованных сплавах представлены в виде зависимости E от скорости изменения поля dH/dt . Представленные на рис. 3 данные означают, что E является функцией скорости изменения внешнего поля, т.е. каждому значению dH/dt однозначно соответствует определенное значение E .

Зависимость величины E от угла закручивания θ в области $-90 \leq \theta \leq 135^\circ$ наблюдалась для всех образцов, включая и сплавы $CoFeSiB$ с близкой к нулю магнитострикцией, и имела немонотонный характер. В образцах, где наблюдался эффект Маттеуччи в виде двух пиков, при закручивании образца происходило перераспределение интенсивностей пиков вплоть до полного исчезновения одного пика и изменения его знака. Влияние закручивания на перераспределение интенсивностей пиков

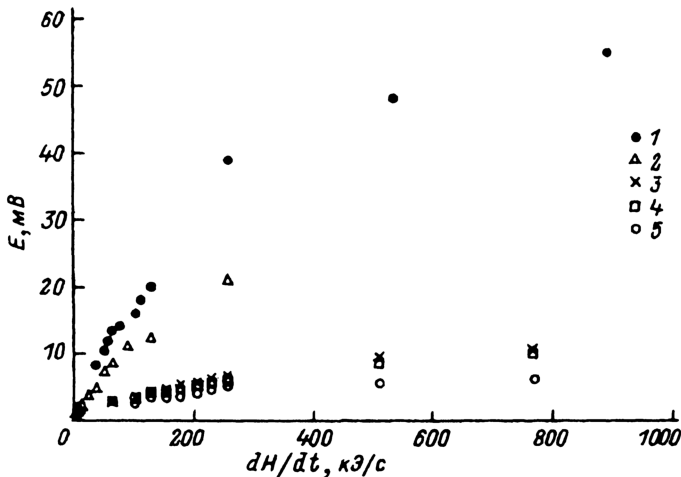


Рис. 3. Зависимость E от dH/dt для аморфных сплавов $Fe_{84.2}B_{15.8}$ (1), $Fe_{83}B_{10}P_7$ (2), $Fe_{82}B_{14}Si_4$ (3), $Co_{70}Fe_5Si_{10}B_{15}$ (4) и $Fe_{79}B_{14}Si_7$ (5).

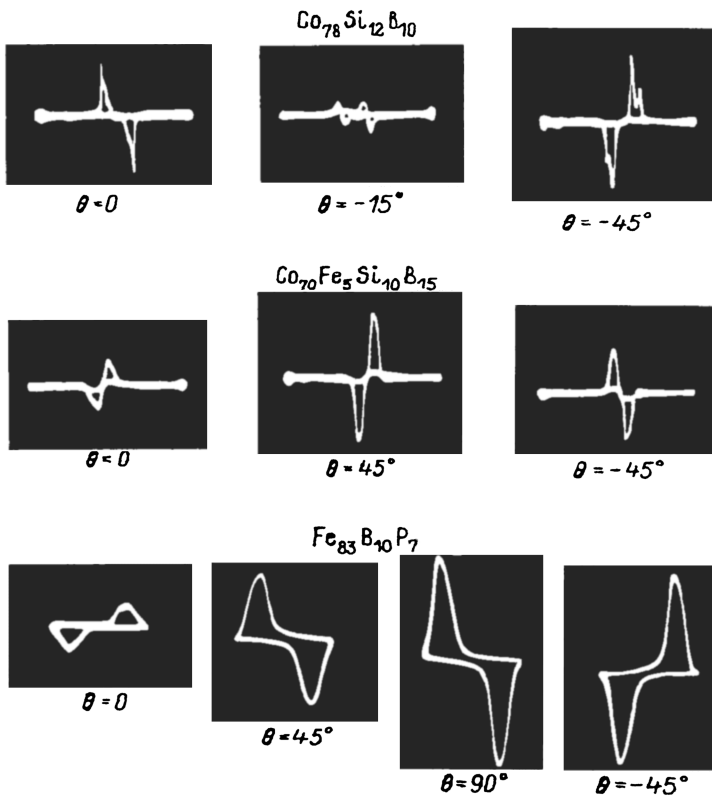


Рис. 4. Осциллограммы, иллюстрирующие зависимость E от θ для сплавов $Co_{78}Si_{12}B_{10}$, $Co_{70}Fe_5Si_{10}B_{15}$ и $Fe_{83}B_{10}P_7$.

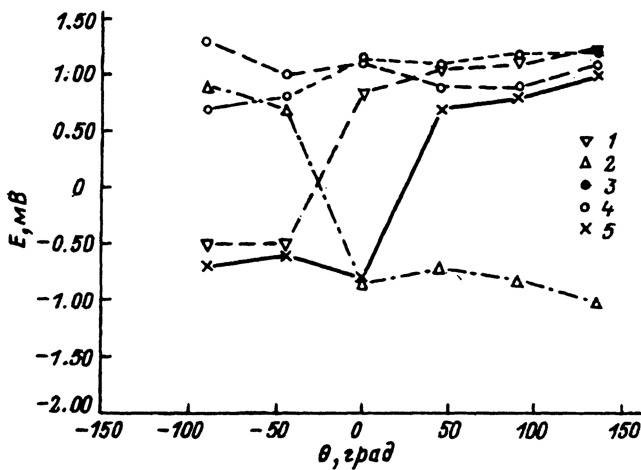


Рис. 5. Зависимость $E(\theta)$ для аморфных сплавов $Fe_{83}B_{10}P_7$ (1), $Co_{70}Fe_5Si_{10}B_{15}$ (2,3) и $Fe_{82}B_{14}Si_4$ (4,5) ($f = 10^3$ Гц).

зависимости $E(H)$ прииллюстрировано на рис. 4. Графики зависимости модуля E от θ представлены на рис. 5. Интересно отметить, что представленные в качестве иллюстрации на рис. 4 аморфные сплавы имеют различную магнитострикцию: отрицательную (CoSiB), околонулевую (CoFeSiB) и положительную (FeVP), т.е. прямой связи между зависимостью $E(\theta)$ и величиной и знаком магнитострикции не наблюдается.

С ростом частоты или амплитуды внешнего поля происходит смещение пиков по оси поля в сторону больших значений H_0 . Наблюдаемое смещение связано, по-видимому, с увеличением динамической коэрцитивной силы с ростом скорости изменения внешнего поля, обнаруженной нами в [4]. Очевидно, это смещение по полю максимумов эдс Маттеуччи является важной характеристикой материала, особенно с точки зрения возможного применения.

Существование второго максимума обратного знака на зависимости $E(\theta)$ связано с возникновением двух компонент усредненного магнитного момента образца разного знака в разных магнитных полях при перемагничивании. Возможной причиной впервые наблюдаемого эффекта Маттеуччи с двумя пиками могут быть существование двух составляющих доменной структуры (например, основной и системы замыкающих или краевых доменов) и их изменения при изменении поля. Кроме того, заметная зависимость $E(\theta)$ позволяет предположить возможное влияние коробления ленты в процессе получения или хранения на появление второго максимума зависимости $E(\theta)$. Наблюдаемая зависимость $E(\theta)$ и большая величина E при высоких частотах перемагничивающего поля позволяют сделать вывод о возможности применения аморфных лент с высокой E в качестве материала для различных сенсорных устройств.

В заключение автор выражает благодарность Б.К.Пономареву за полезные обсуждения работы.

Список литературы

- [1] Mohri K., Takeuchi S. // J. Appl. Phys. 1982. Vol. 53. N 11. P. 8386-8388.
- [2] Mohri K., Shirozagi T. // IEEE Trans. Magn. 1983. Vol. Mag-19. N 5. P. 2151-2153.
- [3] Mohri K., Humphrey F.B., Yamasaki J., Kinoshita F. // IEEE Trans. Magn. 1985. Vol. Mag-21. N 5. P. 2017-2019.
- [4] Жукое А.П., Пономарев Б.К. // ФТТ. 1989. Т. 31. Вып. 7. С. 26-30.

Институт физики твердого тела
Черноголовка
Московская область

Поступило в Редакцию
15 апреля 1992 г.
В окончательной редакции
4 июня 1993 г.