

Влияние отжига на магнитоимпедансный эффект в аморфных FeCoMoSiB лентах

© А.А. Анашко, А.В. Семиров, А.А. Гаврилюк, К.В. Душутин

Иркутский государственный педагогический университет,
664011 Иркутск, Россия
e-mail: semirov@isttu.irk.ru

(Поступило в Редакцию 4 декабря 2003 г.)

Проведено исследование влияния отжига электрическим током, протекающим через образец, изготовленный из аморфного металлического сплава Vitrovac 6025 Z состава $\text{Fe}_4\text{Co}_{67}\text{Mo}_{1.5}\text{Si}_{165}\text{B}_{11}$ на характер зависимости импеданса образца от внешнего постоянного магнитного поля. Дано объяснение полученных результатов на основе представлений об изменении в процессе отжига преимущественного направления намагниченности образца.

Целью данной работы являлось изучение влияния отжига электрическим током, протекающим через образец, на характер зависимости импеданса образца от внешнего постоянного магнитного поля. Исследования проводились на образцах, изготовленных из лент аморфного металлического сплава Vitrovac 6025 Z состава $\text{Fe}_4\text{Co}_{67}\text{Mo}_{1.5}\text{Si}_{165}\text{B}_{11}$ в виде полосок длиной 20 мм, шириной 1 мм и толщиной $25 \mu\text{m}$. Магнитострикция насыщения сплава составляла $\lambda_s \approx -3 \cdot 10^{-7}$, индукция насыщения $B_s \approx 0.55 \text{ Т}$. Образцы для исследований влияния отжига на эффект магнитоимпеданса вырезались вдоль длины исходной ленты.

Отжиг осуществлялся протекающим через образец переменным током частотой $f = 50 \text{ Hz}$, последовательным увеличением силы тока от 0.5 А до 1.3 А на 0.1 А в течение 20 с.

Эффект магнитоимпеданса исследовался в магнитных полях до 9600 А/м и частотах переменного тока, протекающего через образец от 0.1 до 10 МГц. В ходе всех измерений внешнее магнитное поле было ориентировано вдоль длины образца.

Измерение эффекта магнитоимпеданса проводилось по схеме, состоящей из последовательно соединенных высокоомного резистора и исследуемого образца. Величина эффекта магнитоимпеданса $\Delta Z/Z$ определялась как

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{Z_H - Z_0}{Z_0} = \frac{U_H - U_0}{U_0},$$

где Z_0 — импеданс образца при $H = 0$, Z_H — импеданс образца в магнитном поле H , U_0 — напряжение на образце при $H = 0$, U_H — напряжение на образце в поле H .

Зависимость $Z(H)$, полученная на исходном образце, имеет два характерных участка: первый участок, наблюдаемый в слабых магнитных полях, на котором импеданс Z не зависит от величины внешнего магнитного поля H , и второй, соответствующий монотонному уменьшению Z с ростом H и выходом зависимости $Z(H)$ на насыщение (рис. 1, кривая 1). Максимальное значение отрицательного эффекта магнитоимпеданса при этом составляет 62%.

В процессе отжига, на первом этапе, увеличивается импеданс образца Z_0 в поле $H = 0$, при этом характер зависимости $Z(H)$ сохраняется (кривая 2). С дальнейшим отжигом увеличивающимся током величина Z_0 уменьшается, при этом на зависимости $Z(H)$ появляется участок, на котором $Z > Z_0$ (кривые 2–9). Первоначально с ростом тока отжига происходит рост положительного эффекта магнитоимпеданса (кривые 3, 4), максимальное наблюдаемое значение которого составляет 59%. Дальнейший отжиг при более высоких значениях величины тока приводит к уменьшению импеданса Z_+ образца, соответствующего максимуму положительного эффекта (кривые 6–9), и уменьшает величину максимального положительного и отрицательного эффекта магнитоимпеданса.

Следует также отметить, что в процессе отжига с ростом тока происходят увеличение ширины максимумов зависимостей $Z(H)$ и смещение их в область больших магнитных полей.

Характер зависимости импеданса образца от внешнего постоянного магнитного поля $Z(H)$ определяется взаим-

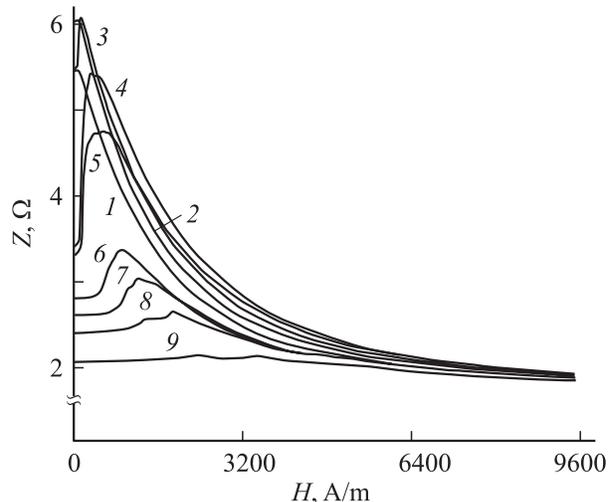


Рис. 1. Зависимость импеданса Z образца от внешнего магнитного поля H для различных этапов отжига образца.

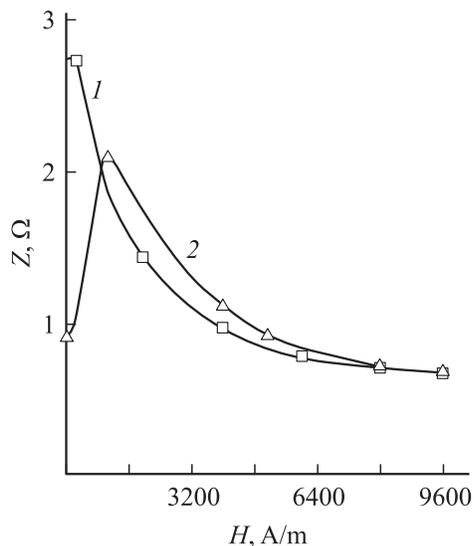


Рис. 2. Зависимость импеданса Z образца от внешнего магнитного поля H , полученная на образцах состава $\text{Fe}_4\text{Co}_{67}\text{Mo}_{1.5}\text{Si}_{16.5}\text{B}_{11}$, вырезанных в виде полосок длиной 10 мм, шириной 1 мм, толщиной 25 мкм, вдоль (1) и перпендикулярно (2) оси прокатки аморфной ленты. Направление приложения внешнего постоянного магнитного поля и высокочастотного тока совпадают с длинной стороной образцов.

ной ориентацией оси легкого намагничивания на поверхности образца, направлением приложения внешнего постоянного магнитного поля H , направлением протекания высокочастотного тока I и обусловлен различными механизмами процесса перемещения доменных границ [1,2]. Необходимо отметить, что в аморфных металлических сплавах на основе кобальта, полученных методом быстрой закалки, в частности Vitrovac 6025 Z , ось легкого намагничивания на поверхности образца совпадает с осью прокатки ленты [3]. Это подтверждается результатами исследований из магнитных гистерезисных свойств.

Если ось легкого намагничивания образца параллельна направлению приложения внешнего постоянного магнитного поля H и высокочастотного тока I , тогда с ростом H в исследуемых образцах протекают преимущественно процессы смещения доменных границ. При этом в относительно слабых магнитных полях импеданс образца Z остается неизменным. При дальнейшем увеличении H происходит монотонное уменьшение импеданса образца Z с выходом зависимости $Z(H)$ на насыщение (рис. 2, кривая 1).

Если ось легкого намагничивания образца перпендикулярна направлению приложения внешнего постоянного магнитного поля H и высокочастотного тока I , тогда с ростом H в исследуемых образцах протекают процессы перемещения доменных границ путем поворота намагниченности в направлении магнитного поля H . При этом импеданс образца Z сначала возрастает, достигает максимального значения Z_+ , а затем монотонно уменьшается с дальнейшим выходом зависимости $Z(H)$ на насыщение (рис. 2, кривая 2).

На основании вышеизложенного изменение характера зависимости $Z(H)$ в процессе отжига может быть объяснено следующими причинами. При отжиге током, протекающим через образец, происходят нагрев образца током и воздействие на образец магнитного поля, созданного протекающим током. Под воздействием этого магнитного поля происходит формирование доменной структуры с преимущественным направлением намагниченности и, следовательно, оси легкого намагничивания в плоскости образца перпендикулярно его длине. Это подтверждается соответствием характера зависимостей $Z(H)$ на рис. 1 (кривые 3–8) и 2 (кривая 2). Наблюдаемое при отжиге образцов увеличение ширины максимумов зависимостей $Z(H)$ и смещение их в область больших магнитных полей может являться следствием роста коэрцитивной силы и поля анизотропии в процессе кристаллизации образца.

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено следующее.

1. В результате отжига током, протекающим через образец, происходит изменение характера зависимости импеданса образца от внешнего постоянного магнитного поля $Z(H)$, что может быть обусловлено формированием при отжиге доменной структуры с преимущественным направлением намагниченности в плоскости образца перпендикулярно его длине.

2. В процессе отжига происходят увеличение ширины максимумов зависимостей импеданса образца от внешнего магнитного поля и смещение их в область больших магнитных полей, что может являться следствием роста коэрцитивной силы и поля анизотропии в процессе кристаллизации образца.

3. Отжиг завершается последовательным уменьшением импеданса образца до его значения в насыщающем магнитном поле, т.е. импеданс образца перестает зависеть от внешнего магнитного поля и соответственно эффект магнитоимпеданса становится равным нулю.

Список литературы

- [1] Анашко А.А., Семиров А.В., Гаврилюк А.А. // ЖТФ. 2003. Т. 73. Вып. 4. С. 49–51.
- [2] Vazquez M. // JMMM. 2001. Vol. 226–230. P. 693–699.
- [3] Судзуки Х., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. М.: Металлургия, 1987. 328 с.