

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

В 573

P14-88-789

Н.М.Владими́рова, И.Е.Карпунина

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ
И ОСТАТОЧНАЯ НАМАГНИЧЕННОСТЬ
КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ 4,2 К

1988

ВВЕДЕНИЕ

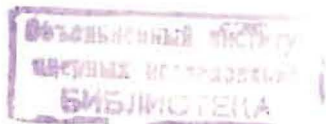
Полимеры демонстрируют большое разнообразие механических и физических свойств. В настоящее время известны органические диэлектрики, проводники, сверхпроводники. Несколько исследовательских групп интенсивно работают над созданием органического полимерного ферромагнетика¹⁻³. Следует отметить, что магнитные свойства полимеров изучены гораздо хуже, чем механические или электрические. С развитием сквидовой техники, обеспечивающей недостижимую ранее чувствительность при измерении намагниченности, возрос интерес к магнитным свойствам конструкционных полимерных материалов. Данная работа посвящена измерению магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности семи широко используемых полимерных материалов при гелиевой температуре.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения проводились на магнитометре со сквидом⁴, чувствительность которого по магнитному моменту составляет $3 \cdot 10^{-13} \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Гц}^{-1/2}$. Образцы имели цилиндрическую форму длиной 5 мм и диаметром 3,5 мм. Проходя через две встречновключенные катушки сверхпроводящего трансформатора магнитного потока со скоростью $1 \text{ см} \cdot \text{мин}^{-1}$, образец давал симметричный относительно нулевой линии сигнал, фиксируемый на самописце. По амплитуде сигнала вычислялся магнитный момент. Коэффициент пропорциональности определялся предварительно при калибровке прибора по образцовой катушке такого же размера. Измерения проводились при 4,2 К в магнитном поле напряженностью от 0 до 200 Э, которое создавалось сверхпроводящим соленоидом и сверхпроводящим экраном в замороженном режиме. При измерении остаточной намагниченности образцы предварительно намагничивались при комнатной температуре в течение нескольких секунд в электромагните с максимальной напряженностью поля 4 кЭ.

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ

Погрешность, вносимая измерительной аппаратурой, мала по сравнению с методическими погрешностями, обусловленными неточным воспроизведением размеров, а главное, загрязнением поверхности образцов ферромагнит-



ными частицами в процессе механической обработки. С целью определения правильного способа подготовки и хранения образцов было предпринято следующее методическое исследование. Было приготовлено 15 образцов из эпоксидной диановой смолы одной партии: 2 изготавливались обычным способом на токарном станке, а 13 отливались и полимеризовались в тщательно очищенных тефлоновых формах. После изготовления все образцы хранились в отдельных стерильных стаканчиках из кварцевого стекла с притертыми крышками и вынимались только на несколько минут для измерений.

Магнитная восприимчивость 13 литых образцов хорошо воспроизводилась во времени и от образца к образцу:

$$\chi_V = -(6,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-7} \text{ см}^3/\text{г}. \quad (1)$$

Это значение согласуется с данными для эпоксидной смолы Stycast 1266¹⁵. Точные образцы сразу после изготовления были парамагнитны, и только длительное травление в концентрированной соляной кислоте с последующей промывкой в дистиллированной воде ликвидировало поверхностные загрязнения, и магнитная восприимчивость приобрела такое же значение (1). При работе с образцами можно не предпринимать особых мер предосторожности, т.к. такие операции, как погружение в водопроводную воду, контакт с руками, длительное (в течение часа) нахождение на воздухе, не приводили к изменению χ_V в пределах ошибки. Полученная ошибка порядка 7% в большей степени обусловлена неоднозначностью формы и объема образцов (литые образцы не всегда были строго цилиндрические и имели внутри воздушные пузыри). Образцы, изготовленные механически, имеют более точную форму.

В результате образцы для измерения восприимчивости готовились следующим образом:

- вытачивались на токарном станке,
- погружались в 60% HCl на 24 часа при комнатной температуре,
- многократно промывались в дважды дистиллированной воде,
- хранились в закрытых стеклянных стаканчиках.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице представлены характеристики всех образцов и результаты измерений магнитной восприимчивости. Образцы 1-3, представляющие собой композиты из армирующего материала и полимера, являются парамагнетиками, а чисто полимерные образцы 4-7 диамагнитны.

После помещения образцов в магнитное поле при комнатной температуре они намагничивались и сохраняли остаточный магнитный момент M_T после снятия внешнего поля, который составлял $(0,3 - 10) \cdot 10^{14}$ магнетонов Бора. Остаточная намагниченность уменьшается при нагревании¹⁶, т.е. магнитное упорядочение разрушается тепловым движением.

Таблица

№ п/п	Материал	Химический состав	Структура	Кол-во образцов	Обозначение образцов	χ_V , $10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$	M_T , $10^{-10} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
1.	Стеклотекстолит СТЭФ	Стеклокань + эпоксибензол	Аморфная	2	C1 C2	+166,2 +148,8	89,3 63,3
2.	Эбонит	Галогенид серы + каучук	Аморфная	1	Э1	+77,5	82,2
3.	Текстолит	X/б ткань + фенолформальдегидная смола	Аморфная	3	T1 T2 T3	среднее +4,9	18,5 17,8 26,1
4.	Фторопласт Ф-4	Политетрафторэтилен $(-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -)_n$	Кристаллическая на (50-85)%	2	Ф1 Ф2	-3,8 -2,5	2,3 3,8
5.	Оргстекло	Полиметилметакрилат $(-\text{CH}_2 - (\text{CO}_2 \text{CH}_3) (\text{CH}_3) \text{C} -)_n$	Кристаллическая на 80%	2	O1 O2	-3,9 -3,7	9,2 5,3
6.	Капролон	Капролактан $(-\text{NH}_2 (\text{CH}_2)_5 \text{CO} -)_n$	Кристаллическая на (40-80)%	2	K1 K2	-6,8 -6,8	14,5 7,2
7.	Диановая эпоксидная смола	$\begin{matrix} \text{O} \\ \\ (-\text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{диан} - \\ \\ -\text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 -) \end{matrix}$	Кристаллическая на (20-30)%	15	ЭС1	-6,8 ± 0,5	2,5 - 14

Магнитное поведение образцов похоже на поведение вязкой среды, в которой расположены магнитные диполи со случайным направлением магнитных моментов. Сильное внешнее поле выстраивает их, и после его снятия они релаксируют с разной скоростью в зависимости от величины момента и локального потенциального барьера перехода их в состояние с меньшей энергией.

Для стеклотекстолита остаточная намагниченность $j_r = M_r / V$ составляет 0,0023 Э, что всего в 10 раз меньше спонтанной намагниченности полимера на основе полидиацетилена, представленного в работе^{1/2} в качестве полимерного ферромагнетика. Поэтому мы считаем полезным тестировать любые известные полимеры на наличие остаточной намагниченности, т.к. это может помочь найти путь к синтезу ферромагнитных полимеров.

Авторы выражают благодарность В.Н.Трофимову и В.М.Дробину за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peterson I. – *Science News*, 1987, v.131, p.252.
2. Коршак Ю.В. и др. – *Письма в ЖЭТФ*, 1986, т.43, вып.6, с.309.
3. *Магнитные и резонансные свойства магнитодиэлектриков. (Сборник статей под ред. Г.А.Петраковского)*, Красноярск, ИФ СО АН СССР, 1985, с.1.
4. Дробин В.М. и др. *ОИЯИ*, P8-85-190, Дубна, 1985.
5. Azevedo L.J. – *Rev.Sci.Instrum.*, 1983, 54, No.12, p.1793.
6. Владимирова Н.М. и др. *ОИЯИ*, 14-86-690, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 ноября 1988 года.

Владимирова Н.М., Карпунина И.Е.

P14-88-789

Магнитная восприимчивость и остаточная намагниченность
конструкционных полимерных материалов при 4,2 К

На установке со сквидом измерена магнитная восприимчивость стеклотекстолита, эбонита, текстолита, фторопласта, оргстекла, капролона, и эпоксидной смолы в полях от 0 до 200 Э при 4,2 К. Приведены значения остаточного магнитного момента полимеров после намагничивания в поле 4 кЭ при комнатной температуре. Образцы имели объем $5 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3$ и значения остаточного магнитного момента $(0,3 - 10) \cdot 10^{14} \mu_B$.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод Л.И.Барабаш

Vladimirova N.M., Karpunina I.E.

P14-88-789

Magnetic Susceptibility and Remanent Magnetization
of Structural Polymer Materials at 4.2 K

The magnetic susceptibility of "STEF" compound, ebonite, textolite, teflon, plastic, caprolon and epoxide resin has been measured in the fields from 0 to 200 Oe at 4.2 K using the setup with SQUID. Remanent magnetic moments of the polymers after magnetization in a field of 4 KOe at room temperature are presented. The volume of the samples was $5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3$ and the remanent magnetic moment $(0.3 - 10) \cdot 10^{14} \mu_B$.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988