

О НЕКОТОРЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ПРОНИКНОВЕНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕКСТУРИРОВАННЫЕ ИТТРИЕВЫЕ ВТСП

© 2011 В. Е. Милошенко, И. М. Шушлебин, О. В. Калядин, М. А. Авдеев

Воронежский государственный технический университет, Московский пр-т 14, 394026 Воронеж, Россия

Поступила в редакцию 20.09.2010 г.

Аннотация. Индуктивным методом изучалось проникновение и распространение магнитного поля в текстурированных высокотемпературных сверхпроводниках на основе иттрия, различающихся фазовым составом и геометрическими размерами. Обнаружен рост величины поля проникновения как с уменьшением площади поперечного сечения образца, так и с уменьшением содержания в нем сверхпроводящей фазы. Отмечены сложный характер изменения индукции сверхпроводника в области от поля проникновения до поля перегрева и влияние содержания сверхпроводящей на скорость роста индукции в полях выше поля перегрева, предложены возможные объяснения.

Ключевые слова: текстурированные ВТСП, поле проникновения, поле перегрева, нормальная фаза, фактор размагничивания, энергетический барьер, связки вихрей.

ВВЕДЕНИЕ

Текстурированные высокотемпературные сверхпроводники, ввиду их структурных особенностей и перспектив практического использования, представляют определенный интерес для исследователей. Их слабо развитая джозефсоновская среда обуславливает принципиальное отличие от обычных ВТСП металлооксидов. Зарождение вихрей Абрикосова происходит здесь в условиях, подобных существующим в классических сверхпроводниках, где отсутствует возможность трансформации одной формы вихрей (джозефсоновских) в другую (абрикосовские) [1].

В этой связи представляется необходимым изучить влияние энергетического барьера, фазового состава и фактора размагничивания на физические процессы, протекающие в таких ВТСП. Наиболее информативными с точки зрения решения этой задачи являются магнитомеханические [2] и индуктивные [3] методы, позволяющие изучить отклик сверхпроводника на воздействие внешних постоянного и переменного магнитных полей и их суперпозиции.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В настоящей работе в качестве объекта исследования выбраны иттриевые металлооксиды, по-

лученные по методике текстурирования в расплаве (MTG) [4]. Предварительно синтезированные порошки фаз $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (Y-123) и Y_2BaCuO_5 (Y-211) смешивались в соотношении 1: (0,1÷0,3). Спрессованные из этой смеси таблетки помещались в печь и выдерживались при 1050 °С в течение 15 мин., при этом происходило частичное плавление образца. Затем образцы быстро охлаждались (100 град./ч) до 1000 °С, после чего проводилась кристаллизация расплава путем медленного охлаждения (со скоростью 1 град./ч) до 850 °С. На заключительной стадии таблетки охлаждались до комнатной температуры со скоростью 20 град./ч.

В работе исследовались 4 партии металлокерамик (Y-I-01 — Y-I-04), которые различались содержанием нормальной (несверхпроводящей) фазы Y_2BaCuO_5 (Y-211). Результаты изучения состава ВТСП посредством рентгенофазного анализа представлены в табл. 1 (столбцы 2, 3). Также в столбцах 4 и 5 табл. 1 приведены характеристики сверхпроводящих резистивных переходов изучаемых металлооксидов.

Кроме того изучалось влияние еще и фактора размагничивания на характер проникновения магнитного поля и оно проводилось на образцах металлокерамик партии Y-I-01, подвергавшихся механической обработке.

Исследования выполнялись индуктивным методом, на установке, описанной в [5]. Чувствитель-

Таблица 1. Данные о фазовом составе и электрофизических параметрах исследуемых ВТС

Партия №	Сверхпроводящая фаза (Y-123), доля (1 - x)	Нормальная фаза (Y-211), доля (x)	Температура N-S перехода, К	Ширина N-S перехода, К
1	2	3	4	5
Y-I-01	~0,68	~0,32	90,7	0,55
Y-I-02	~0,73	~0,27	90,9	0,50
Y-I-03	~0,80	~0,20	90,5	0,60
Y-I-04	~0,92	~0,08	91,0	0,60

ным элементом служила измерительная катушка из 110—150 витков тонкого (0,07 мм) медного провода, плотно намотанная на образец. Магнитный поток Φ в сверхпроводнике в зависимости от внешнего постоянного однородного магнитного поля B_e , создаваемого катушкой, измерялся с помощью электронного микроверметра Ф-191, обеспечивающего разрешение по потоку до 10^{-8} Вб. Выбор индуктивной методики определялся и необходимостью изменения сечения образца на порядок. При этих исследованиях магнитный поток Φ пересчитывался на один виток измерительной катушки, а изменение величины этого потока вследствие появления в объеме сверхпроводника вихрей Абрикосова $\Delta\Phi(B_e)$ было найдено графическим вычитанием из экспериментальной зависимости вклада

измерительной катушки. Кривые $B_i(B_e)$ получены нормированием $\Delta\Phi$ на площадь поперечного сечения образца. Все измерения проводились при температуре жидкого азота.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерения магнитного потока для партий с различным содержанием фазы Y-211 приведены на рис. 1, где на кривых $B_i(B_e)$ заметны три участка: на участке I при изменении B_e от 0 до B' (поле проникновения, т.е. поля, при достижении которого в сверхпроводнике начинается зарождение вихрей Абрикосова) зависимость $B_i(B_e)$ совмещается с осью абсцисс; далее на участке II от B' до $B_{к1}^*$ (поле перегрева) происходит проникновение магнитного поля, и кривая имеет более сложный

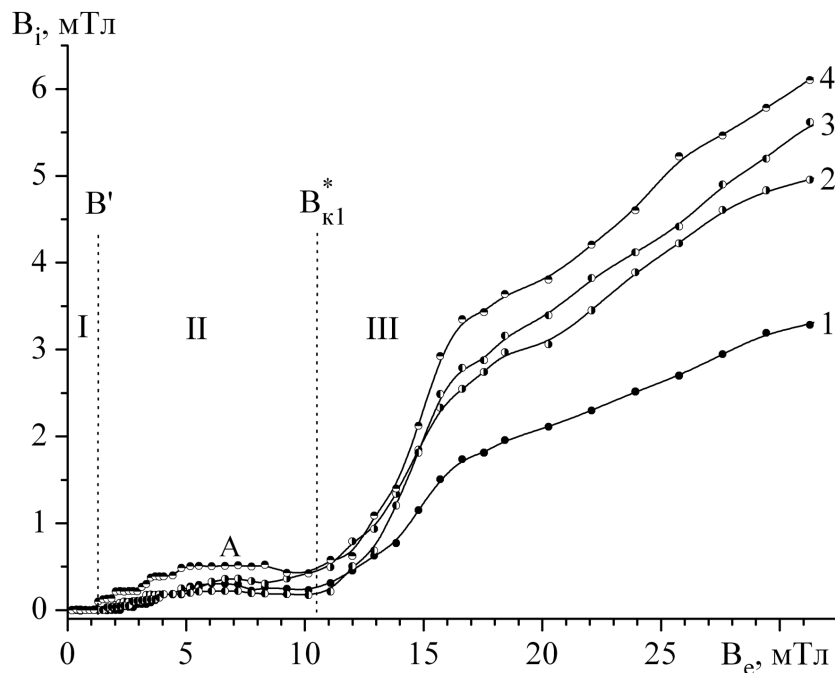


Рис. 1. Зависимости индукции сверхпроводника от внешнего магнитного поля: кривая 1 — доля нормальной фазы $x=0,32$; 2 — 0,27; 3 — 0,20; 4 — 0,08

характер; и наконец, на участке III в полях $B_e > B_{k1}^*$ индукция в сверхпроводнике монотонно возрастает.

Обнаружено, что величина поля проникновения B' (окончание участка I) оказалась зависящей от содержания нормальной фазы (см. рис. 2), и как видно, увеличение ее доли в пределах от 0,08 до 0,32 приводит к возрастанию B' почти в два раза с 1,11 мТл до 2,21 мТл. Зависимость $B'(x)$ хорошо аппроксимируется полиномом второй степени.

В области полей от B' до B_{k1}^* (участок II) наблюдаются сначала ступенчатый рост зависимости $B_i(B_e)$, а затем плавное снижение, ранее не наблюдавшееся в текстурированных ВТСП [1]. Область полей от B' до B_{k1}^* довольно велика, она почти в два раза больше, чем в гранулированных [6] и не содержащих нормальную фазу текстурированных ВТСП [1].

Рассматривая процесс распространения магнитного потока в полях выше B_{k1}^* , видно, что кривая $B_i(B_e)$ идет круче при уменьшении доли нормальной фазы (сравните кривые 1 и 4 рис. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Известно, что в сверхпроводящих металлосидах иттрия глубина проникновения изменяется не только с температурой, но и по объему за счет разных факторов (определяемых кристаллической решеткой, содержанием нормальных включений и др.), что приводит к возникновению областей с ослабленной сверхпроводимостью. Этим объясняется уменьшение величины B_i на зависимости $B_i(B_e)$ и ее связь с содержанием нормальной фазы, как видно из рис. 1. Тогда отмеченное в полях $B_e > B_{k1}^*$ уменьшение роста $B_i(B_e)$ с уменьшением доли

сверхпроводящей фазы объясняется подавлением сверхпроводимости в таких областях уже в малых магнитных полях $B_e \ll B'$.

Наиболее интересным фактором было уменьшение величины B_i на участке II после точки А на кривых $B_i(B_e)$, которое осуществляется при некотором росте внешнего магнитного поля, и оно происходит в ходе эксперимента практически в квазистатических условиях, т.е. $B_e \approx \text{const}$. Такое изменение индукции при постоянстве или малом увеличении внешнего магнитного поля свидетельствует о том, что после преодоления связками вихрей барьера, созданного дефектным приповерхностным слоем, происходит их распределение по объему сверхпроводника, ранее им недоступному, а значит, происходит и рост площади, пронизываемой магнитным потоком.

Изучение же проникновения магнитного поля в образцы, различающиеся размерами поперечного сечения, выявило заметное влияние фактора размагничивания на величину поля проникновения. Последовательное уменьшение поперечного сечения образца от эксперимента к эксперименту вызывало рост величины B' даже при минимальном содержании сверхпроводящей фазы. Уменьшение площади сечения образца в 9 раз (т.е. уменьшения фактора размагничивания) приводило к росту величины поля проникновения примерно на 1/3 (см. рис. 3), хотя общий вид зависимости оставался прежним. Таким образом, текстурированный ВТСП с минимальным содержанием сверхпроводящей фазы (0,68) по своему поведению в магнитном поле подобен классическим сверхпроводникам и текстурированным иттриевым ВТСП, не содержащим фазы Y-211 [1].

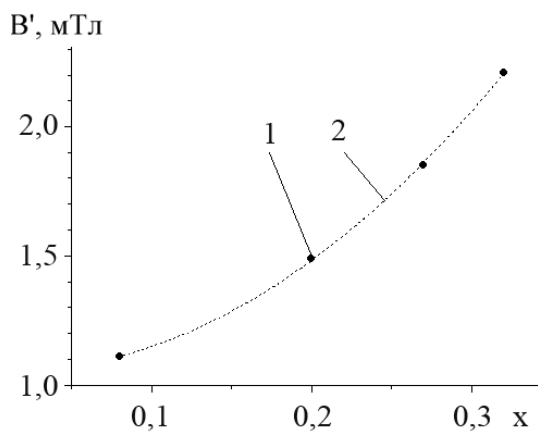


Рис. 2. Зависимость величины поля проникновения от содержания нормальной фазы: 1 — экспериментальные значения; 2 — аппроксимация полиномом второй степени

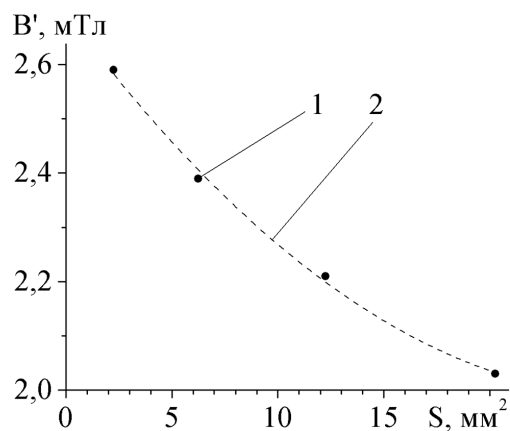


Рис. 3. Влияние размеров поперечного сечения сверхпроводника на величину поля проникновения: 1 — экспериментальные значения; 2 — аппроксимация полиномом второй степени

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты важны для практического использования текстурированных сверхпроводников. Они говорят о существенном влиянии фазового состава и фактора размагничивания на проникновение и распространение магнитного поля в таких ВТСП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шушлебин И. М., Калядин О. В. // Вестник ВГТУ. 2007. Т. 3. № 8. С. 78.

2. Милошенко В. Е., Калядин О. В. // Деформация и разрушение материалов. 2008. № 5. С. 12.

3. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. М.: Мир, 1972. С. 70.

4. Паринов И. А. Микроструктура и свойства высокотемпературных сверхпроводников. Т. 1. Ростов-на-Дону: РГУ, 2004. 784 с.

5. Милошенко В. Е., Шушлебин И. М., Калядин О. В. // ФТТ. 2006. Т. 48. № 3. С. 403.

6. Милошенко В. Е., Шушлебин И. М. // СФХТ. 1992. Т. 5. № 8. С. 1447.

Милошенко Владимир Евдокимович — д. ф.-м. н., профессор, Воронежский государственный технический университет; тел.: (473) 2462239, e-mail: conocedor14@yandex.ru

Miloshenko Vladimir E. — grand PhD (physical and mathematical sciences), professor, Voronezh State Technical University; tel.: (473) 2462239, e-mail: conocedor14@yandex.ru

Шушлебин Игорь Михайлович — к. ф.-м. н., доцент, Воронежский государственный технический университет; тел.: (473) 2466647, e-mail: leggus@rambler.ru

Sushlebin Igor M. — PhD (physical and mathematical sciences), associate professor Voronezh State Technical University; tel.: (473) 2466647, e-mail: leggus@rambler.ru

Калядин Олег Витальевич — к. ф.-м. н., доцент, Воронежский государственный технический университет; тел.: (473) 2466647, e-mail: kaljadin@gmail.com

Kalyadin Oleg V. — PhD (physical and mathematical sciences), associate professor, Voronezh State Technical University; tel.: (473) 2466647, e-mail: kaljadin@gmail.com

Авдеев Михаил Александрович — аспирант, Воронежский государственный технический университет; тел.: (473) 2462239, e-mail: miguel14@mail.ru

Avdeyev Mikhail A. — the post graduate student, Voronezh State Technical University; tel.: (473) 2462239, e-mail: miguel14@mail.ru