

НИЖНИЕ КРИТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ МЕТАЛЛООКСИДА Y-Ba-Cu-O, ЛЕГИРОВАННОГО СЕРЕБРОМ

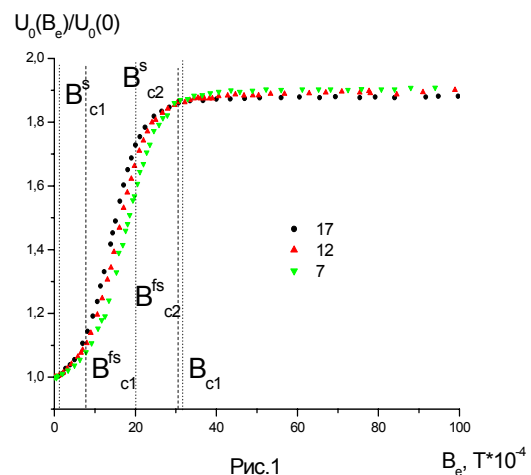
Милошенко В.Е., Шушлебин И.М., Калядин О.В.
Воронежский государственный технический университет,
Россия, Воронеж, Московский пр-кт, 14,
e-mail: shushlebin@mail.ru

Отклик высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) на внешние постоянные и переменные магнитные поля определяется набором значений критических полей такого сверхпроводника [1,2]: поле начала проникновения в слабые связи B_{c1}^s и поле заполнения (до полутолщины ВТСП) джозефсоновской среды B_{c2}^s ; критические поля B_{c1}^{sf} и B_{c2}^{sf} - начала и завершения (полного подавления слабых связей) движения вихрей Джозефсона (флаксонов); первое критическое поле B_{c1} зарождения вихрей Абрикосова (вихрей). Общая же картина проникновения в ВТСП магнитного потока во многих своих деталях остается неясной – например [3,4]. В этой связи проблема максимально полного определения критических значений поля, т.е. последовательности стадий процесса проникновения магнитного поля, а также выяснение роли взаимодействия между различными видами вихрей остается актуальной.

Исследования проводились индуктивными методами. Магнитный поток в сверхпроводнике F в зависимости от внешнего (включаемого) магнитного поля B_e измерялся с помощью электронного микровеберметра. При воздействии на сверхпроводник переменного поля $B(t) = B_0 \sin \omega t$ определяли величину амплитуды отклика в измерительной катушке $U_0(B_0)$. В суперпозиции постоянного B_e и переменного $B(t)$ полей ($B_e \parallel B(t)$; $B_e \gg B(t)$, $f=600$ Hz) находили полевые зависимости $U_0(B_e)$, а также характеризующие действительную и мнимую части отклика сигналы с синхродетектора $U'(B_e)$ и $U''(B_e)$. Рабочая температура составила $T = 78$ К. Внешнее поле направлялось вдоль большей оси образца.

В данной работе изучалась металлокерамика Y-Ba-Cu-O (1:2:3), приготовленная по двухстадийной технологии. В часть образцов добавлялось серебро на стадии зашихтовки в количестве 0.5; 1; 3; 5; 7 и 15 вес. %.

По характерным точкам зависимостей $F(B_e)$ и $U_0(B_0)$ [1] определены критические поля изучаемого сверхпроводника: B_{c1}^s - поле зарождения флаксонов; B_{c1} - первое критическое поле, которые показаны на рис. 1. Дальнейшие исследования проводились при воздействии суперпозиции полей. Величина переменной компоненты изменялась, достигая сверхмалых амплитуд $B_0 \sim 10^{-7}$ Т, где влияние амплитуды на положение кривых $U_0(B_e)$ и $U''(B_e)$ оказалось минимально (рис. 1 и 2). Значения амплитуды приведены в 10^{-7} Т (mOe).



Наблюдаемый процесс распространения малого переменного поля по объему (слабых связей) характерен для гранулированного высокотемпературного сверхпроводника. Однако, определив значения критических полей, получили возможность выделить особенности: в полях $B_e > B_{c1}^s$ начинается интенсивный рост, как отклика, так и его мнимой части. В окрестности первого критического поля гранул B_{c1} на зависимости $U_0(B_e)$ отмечается насыщение с выходом кривой на плато. Обратим внимание, что при небольшом изменении величины отклика (слабый пик) $U_0(B_e)$ остается почти постоянной и в полях, превышающих B_{c1} примерно на 1 мТ, с последующим слабым увеличением. При анализе же зависимости $U''(B_e)$ (рис.2) обнаружено, что известный максимум диссипации обладает тонкой структурой и включает в себя три максимума. Максимум А наблюдается в малых полях. Условия его наблюдаемости оказались достаточно сложными (так, с дальнейшим уменьшением амплитуды переменного поля на месте максимума А на кривой присутствует только изгиб).

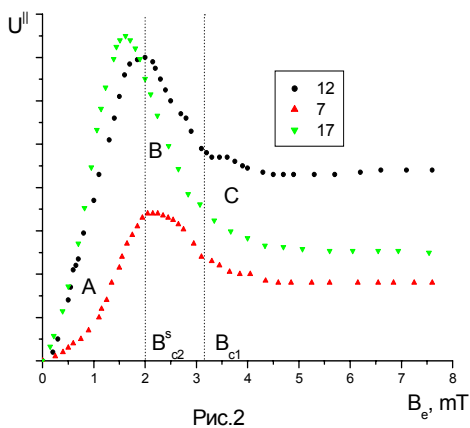


Рис.2

Далее, в полях $B_e < B_{c1}$ отмечается максимум В, связанный с «полем окончания проникновения» в слабые связи B_{c2}^s : проникновением магнитного поля на полутолщину сверхпроводника. Отметим, что «истинное» значение этого критического поля определяется лишь в области сверхмалых амплитуд. Обратим внимание на максимум С вблизи B_{c1} . Здесь максимум С меньше, чем В. Соотношение между ними изменяется для сверхпроводников, полученных по различным технологиям, но область полей, где наблюдается максимум С, всегда в непосредственной окрестности B_{c1} . Это позволяет (в совокупности с изменением в этой области $U_0(B_e)$) утверждать, что

эффект непосредственно связан с появлением вихрей в гранулах. Действительно, амплитудная зависимость $U_0(B_e)$ при сверхмалых амплитудах проявляется только в определенном интервале полей – рис 1, границы которого обозначим B_{c1}^{sf} и B_{c2}^{sf} . Ни одно из этих значений не совпадает полностью с рассмотренными выше критическими полями. В условиях воздействия поля $B_e \parallel B(t)$ значение B_{c1}^{sf} имеет ясный смысл – начало проникновения переменной компоненты поля, что позволяет говорить о преодолении «пиннинга за край перехода» и начале реального движения флаксонов в контактах. При рассматривавшемся выше значении поля $B_e = B_{c2}^s$ переменное поле распространилось по всей системе слабых связей. Для интерпретации же поля B_{c2}^{sf} представляется существенным, что оно всего лишь на $(1-2) \cdot 10^{-4}$ Т меньше, чем первое критическое поле гранул, т.е. лежит в пределах возможного разброса значения B_{c1} для отдельных гранул. Тогда полученные результаты могут быть объяснены с помощью представлений о взаимодействии вихрь - флаксон. Почти полное совпадение B_{c2}^{sf} и B_{c1} и последующее ослабление амплитудной зависимости в полях $B_e > B_{c1}$ предстает результатом появления первых вихрей, которые ограничили свободное движение флаксонов в слабых связях. Вихри удерживаются поверхностным барьером, и во взаимодействии с флаксонами оказываются своеобразными «центрами пиннинга».

Проведенное исследование подтверждает, что для Y-Ba-Cu-O поле проникновения до полутолщины сверхпроводника B_{c2}^s , поле подавления слабых связей B_{c2}^{sf} и первое

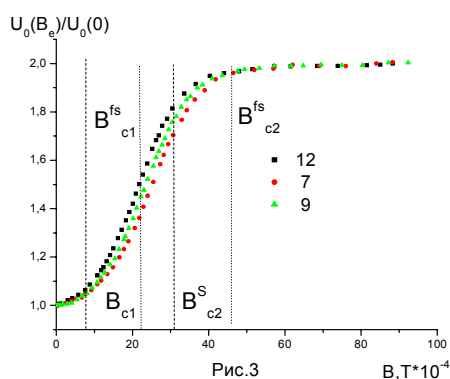


Рис. 3

критическое поле гранул B_{c1} связаны соотношением $B_{c2}^s < B_{c2}^{sf} < B_{c1}$. Следовательно, изменение величины барьера в совокупности с воздействием на слабые связи способно изменить последовательность стадий проникновения магнитного потока в высокотемпературный сверхпроводник. В керамиках Y-Ba-Cu-O, легированных серебром такие явления обнаружены – показано на примере ВТСП с содержанием Ag 1%: рис.3 и 4. Влияние серебра проявляется как в уменьшении первого критического поля B_{c1} , так и в уменьшении высоты барьера [5]. В результате последовательность фаз проникновения

изменилась: $B_{c1} < B_{c2}^s < B_{c2}^{sf}$. Произошло уменьшение B_{c1} ввиду возрастания глубины проникновения; увеличение B_{c2}^s вследствие роста критического тока контактов (см. также рис. 4); возросло и B_{c2}^{sf} , поскольку процесс распространения флаксонов не прерывается описанным выше образом, значение же критического тока контактов при легировании растёт. С увеличением содержания серебра указанные тенденции изменения критических полей получают свое развитие.

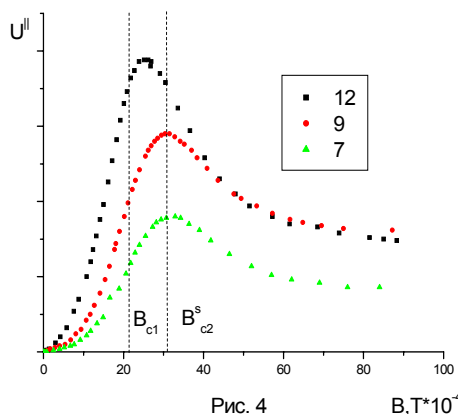


Рис. 4

Особо отметим, что в результате легирования серебром (рис. 4) изменяется тонкая структура максимума диссипации электромагнитной энергии. Максимумы А и В присутствуют на полевых зависимостях квадратурного сигнала, тогда как максимум С, наличие которого связывалось выше именно с действием барьера, экспериментально неразличим.

Таким образом, экспериментально выявлена роль поверхностного барьера в развитии процесса проникновения магнитных полей в гранулированный ВТСП, включая изменение последовательности его фаз. В легированных серебром керамиках Y-Ba-Cu-O

проникновение флаксонов завершается после зарождения вихрей.

1. И.М. Шушлебин. Известия АН, сер. физическая. **57**, 11,178 (1993).
2. В.Е Милошенко, И.М. Шушлебин, Н.А. Андреева, О.В. Калядин. В кн.: Действие электромагнитных полей на прочность и пластичность материалов: Материалы VI Международной конференции. – Воронеж: ВГТУ, 2005, с. 111.
3. В.М. Аржавитин, Н.Н. Ефимова, М.Б. Устименко, В.А. Финкель. ФТТ **42**, 8, 1361 (2000).
4. Н.Д. Кузьмичев. ФТТ, **43**, 11, 1934 (2001).
5. В.Е. Милошенко, И.М. Шушлебин, А.Н. Дынин и др. СХФТ **3**, №11, 2587 (1990).

Работа выполнена в рамках гранта программы «Университеты России» (грант 3013-05).