

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

5488/82

15/41-82

P8-82-551

В.М.Дробин, Е.И.Дьячков, Л.Кремпаски,
В.Г.Луппов, В.А.Малюк, М.Полак, Й.Талапа,
Ф.Хованец, И.С.Хухарева

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ
В КОМПОЗИТНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ

1982

При измерении энергетических потерь в композитных сверхпроводниках /КС/ методом, основанным на записи петель гистерезиса, очень важным является формирование образца, т.к. его параметры могут существенным образом влиять на результаты. Этот вопрос имеет особое значение для КС с большим шагом твиста и в случае образцов большого размера, когда для измерения потерь необходимо создание импульсного магнитного поля в большом объеме.

Нами экспериментально исследовано влияние некоторых факторов формирования образца на величину потерь. В частности, были рассмотрены следующие вопросы:

- Влияние на величину вихревых потерь длины КС в образце ($\ell_{КС}$) по сравнению с шагом твиста КС ($\ell_{ТВ}$). Мы изучали этот эффект на композитных сверхпроводниках круглого сечения, которые являются основным элементом конструкции большинства сверхпроводящих систем. Ранее значительное влияние параметра $\ell^* = \ell_{КС} / \ell_{ТВ}$ на величину вихревых потерь было установлено для КС другой конфигурации /1,2/.
- Влияние на величину измеряемых потерь коэффициента заполнения образца композитным сверхпроводником.
- Влияние условий теплоотвода из КС в жидкий гелий. Этот фактор, как уже было показано ранее, может играть важную роль при больших скоростях изменения магнитного поля /3/ и в случае очень плохого теплоотвода /4/. Мы проводили эксперименты при относительно низких значениях \dot{B} , создавая в образцах различные условия теплоотвода.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ И ИССЛЕДУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Метод измерения потерь в КС электрическим способом /5/ обладает рядом преимуществ по сравнению с калориметрическим, а именно:

- длительность измерений значительно меньше;
- чувствительность измерений выше при том же объеме образца;
- ошибки измерений существенно меньше;
- электрический метод позволяет наблюдать возможные помехи во время измерений /дефекты импульса поля, плохое охлаждение образца и т.д./ и исключать их.

Схема измерения представлена на рис.1. Образец "0" расположен в одной из идентичных измерительных катушек K_1 или K_2 , которые находятся в рабочем объеме магнита D /в нашем случае - диполь типа "оконная рама" /6/. Сопротивление R_0 служит для

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ

ФИЗИКИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

БИБЛИОТЕКА

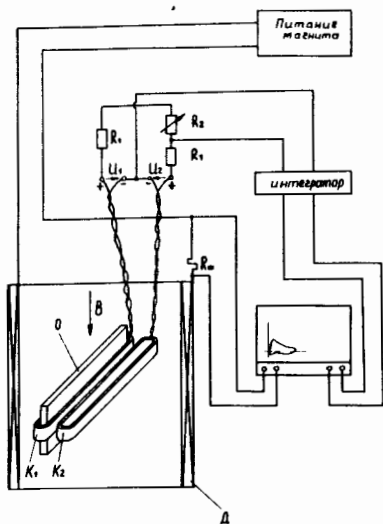


Рис.1. Схема измерения потерь электрическим способом Фитца.

компенсации возможной разности индуктивных сигналов из-за неполной идентичности катушек. При наличии образца в одной из измерительных катушек в течение треугольного цикла изменения магнитного поля $0 \rightarrow B_M \rightarrow 0$ длительностью "t" на выходе аналогового интегратора возникает напряжение U_B , которое в каждый момент времени пропорционально среднему значению намагниченности в объеме образца M:

$$U_B = \frac{1}{\tau} \int_0^t \Delta U(t) dt = \frac{1}{\tau} k_r \cdot F \cdot M \cdot N, \quad /1/$$

где τ - постоянная времени обратной связи интегратора; k_r - коэффициент, зависящий от высоты образца и взаимного расположения измерительных катушек /для образца бесконечной высоты $k_r=1/$; F - сечение образца в плоскости, перпендикулярной оси измерительной катушки; N - число витков в измерительной катушке. Необходимость коэффициента k_r была установлена ранее [7,8]. Мы определяли k_r по методике, описанной в [7], и получили значение $k_r=0,91$.

Подав на вход двухкоординатного самописца выходное напряжение интегратора U_B и напряжение с шунта, включенного последовательно в цепь магнита ($B = k_M \cdot I_M = k_M \frac{U_{ш}}{R_{ш}}$), получаем в течение цикла изменения поля петлю намагниченности. По площади петли S можно вычислить величину удельных потерь в образце за один цикл:

$$W = k_w \cdot S, \quad /2/$$

где k_w представляет собой удельные потери на единицу площади петли, причем

$$k_w = \mu_0 M(1) \cdot B(1) = \frac{\tau \mu_0 k_M}{k_r F N R_{ш}} U_B(1) U_{ш}(1), \quad /3/$$

здесь $U_B(1)$ и $U_{ш}(1)$ - чувствительности самописца.

Удельные потери в объеме КС равны:

$$W_{КС} = k_w S / k_{30}, \quad /4/$$

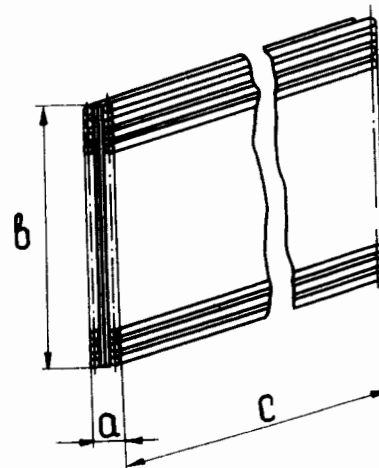


Рис.2. Схематическое изображение образца №2.

где $k_{30} = V_{КС} / V$, здесь $V = abc$ - объем образца /см. рис.2/.

Исследования проведены на многожильном композитном сверхпроводнике круглого сечения с медной матрицей. Параметры проводника следующие:

внешний диаметр	- 1 мм
число жил	- 1045
диаметр жил	- 20 мкм
коэффициент заполнения	- 0,387
критический ток	- 500 А/5Т
шаг твиста	- 16 мм

Характеристики исследованных образцов представлены в табл.1. Образцы 1,2 и 3 отличаются друг от друга только коэффициентом заполнения k_{30} . Образец 1 состоит из текстолитовой пластины, на которую с одной стороны плотно друг к другу приклеены тонким слоем эпоксидной смолы исследуемые проволоки КС. Образец 2 состоит из двух таких пластин, сложенных друг с другом, как показано на рис.2. Образец 3 идентичен образцу 2, но в нем проволоки приклеены не плотно друг к другу, а с промежутками, равными диаметру проволоки.

Вторую группу составляют образцы 2а-2г, которые изготовлены из образца 2 путем последовательного разрезания поперек оси на 2,4,8 и 16 частей. Таким образом, объем образца практически оставался постоянным, но изменялся параметр l^* .

Третью группу представляют образцы 4а и 4б, отличающиеся условиями теплоотвода. Образец 4а изготовлен из проволок со снятой лаковой изоляцией, которые обмотаны хлопчатобумажной нитью с большим шагом намотки для лучшего обтекания поверхности жидким гелием. После измерений этот образец был обмазан эпоксидной смолой и покрыт тремя слоями лавсановой ленты - таким образом был получен образец 4б. Предполагаем, что теплоотвод в образце 4б значительно хуже, чем в 4а.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис.3 для образца №1 представлена зависимость удельных потерь от B для разных значений максимальной индукции магнитного поля B . Потери определялись двумя различными способами, а именно: 1/ вычислением по измеренной площади петли гистерезиса /см. формулу /4// и 2/ вычислением по формуле [1]

$$W_{КС} = (W_h + 2\mu_0 M_r B_m) / k_{30} \quad /5/$$

Здесь W_h - гистерезисные потери, рассчитанные по формуле /4/, где использовалась площадь S_h гистерезисной петли, построенной по M_h из экстраполяции зависимости M/\dot{B} к $\dot{B}=0$. $M_r = M - M_h$ - составляющая намагниченности за счет индуцированных вихревых токов, измеренная в поле $B/2$.

Применение второго способа вычисления целесообразно, если петля намагниченности записывается прибором, имеющим неудовлетворительное быстродействие. В этом случае при больших \dot{B} кривая гистерезиса может быть сильно искажена в области B_m за счет инерции самописца. Измерение же намагниченности в поле $B/2$ возможно еще без искажений.

Из рис.3 видно, что в рассмотренном интервале \dot{B} второй способ дает значения потерь на ~15% большие, чем первый, причем указанная разница уменьшается с увеличением B_m . Потери, полученные по первому способу/путем измерения площади петель/, при больших значениях \dot{B} являются заниженными, как следует из вышесказанного. В свою очередь, второй способ определения несколько завышает реальные величины потерь, т.к. в этом случае формула /5/ не учитывает собственные времена возбуждения и затухания токов намагничивания в КС.

Для $B_m = 1,03$ Т /см. рис.3/ были проведены контрольные измерения потерь калориметрическим способом /9/. Сравнения показывают, что в данном случае значения потерь, полученные вторым способом, ближе к измеренным калориметрическим способом.

Влияние относительной длины образца l^* на составляющую намагниченности КС, возникающую за счет индуцированных вихревых токов, представлено на рис.4, из которого следует, что значительное изменение намагниченности образца происходит в том случае, когда его длина меньше двух шагов твиста / $l^* \leq 2$ /. Для сравнения на этом же рисунке представлены аналогичные зависимости, полученные другими авторами.

Результаты измерения намагниченности для образцов с различными коэффициентами заполнения их композитным сверхпроводником представлены на рис.5. Видно, что в рассмотренном случае коэффициент заполнения k_{30} практически не влияет на величину удельных потерь в КС, т.е. формирование образца в пределах $k_{30} = 0,250 \div 0,712$ может быть достаточно произвольным.

На этом же рисунке изображены зависимости $2M/\dot{B}$ для образцов с различными условиями теплоотвода /4а, 4б/. Вплоть до скоростей $\dot{B} \approx 1$ Т/с потери в них практически совпадают, но при $\dot{B} \geq 1,5$ Т/с перегрев становится ощутимым и это приводит к снижению намагниченности и, следовательно, потерь примерно на 10%.

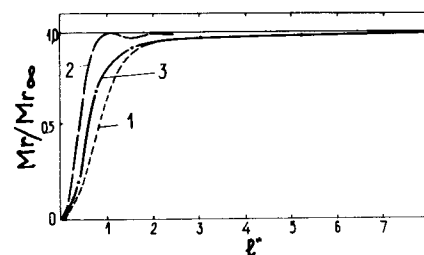
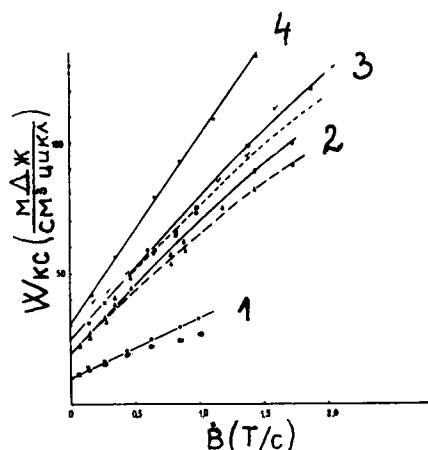


Рис.4. Зависимость намагниченности КС от относительной длины $l^* = l_{КС} / l_{ТВ}$, 1 - /1/, 2 - /2/, 3 - наши данные. Образцы 2а-2г, $B = 0,5$ Т, $\dot{B} = 1$ Т/с. $M_{r\infty}$ - значение намагниченности при $l^* = l_{\max}^*$.

Рис.3. Зависимость удельных потерь КС в обр. №1 от скорости изменения магнитного поля.

1. $B = 0,405$ Т, о - 1-й способ;
 ⊕ - 2-й способ; 2. $B = 0,823$ Т.
 Δ - 1-й способ; ▲ - 2-й способ;
 3. $B = 1,03$ Т. □ - 1-й способ;
 ■ - 2-й способ; ● - калориметрические измерения. 4. $B = 1,45$ Т. × - 1-й способ.

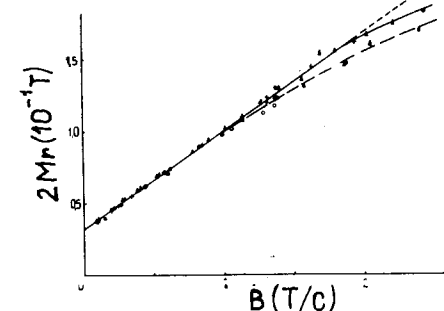


Рис.5. Зависимость намагниченности КС от скорости изменения магнитного поля. $B = 0,5$ Т.
 + - обр. №1; о - обр. №2;
 ● - обр. №3; Δ - обр. №4а;
 ▲ - обр. №4в.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают, что длина композитного сверхпроводника $l_{КС}$ значительно влияет на величину измеряемых удельных вихревых потерь в случае $l_{КС} \lesssim 2l_{ТВ}$.

Разница в намагниченности образцов с различными коэффициентами заполнения их сверхпроводником в интервале $k_{30} = 0,250 \div 0,712$ лежит в пределах ошибки измерений.

Влияние рассмотренных условий теплоотвода на величину потерь в исследованных образцах становится заметным при скоростях изменения поля, больших 1,5 Т/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Polak M. et al. IEEE Trans on Magn., 1981, MAG-17, p. 2035.
2. Ries G., Takacs S. IEEE Trans. on Magn., 1981, MAG-17, p. 2281.
3. Андрианов В.В. и др. ДАН СССР, 1978, т.241, №5, с. 1064.
4. Kabat D., Luppov V.G., Shishov Yu.A. Cryogenics, 1982, v.22, p. 69.
5. Fietz W.A. Rev.Scient.Instr., 1965, v. 36, p. 1821.
6. Аверичев С.А. и др. ОИЯИ, Р8-11700, Дубна, 1978.
7. Perot I., Polak M. MP/GV Supra/79-06, UNK NT SACLAY, 1979.
8. Zenkevitch V.B., Zheltov V.V., Romanyuk A.S. Cryogenics, 1978, v. 18, p. 93.
9. Дробин В.М. и др. ПТЭ, 1980, №3, с. 203.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 июля 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
D1,2-12036	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12450	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
D11-80-13	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Дробин В.М. и др. К определению энергетических потерь в композитных сверхпроводниках P8-82-551

Экспериментально исследовано влияние некоторых факторов формирования образца на величину потерь. Измерения потерь проводились в основном электрическим способом.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Drobin V.M. et al. On Determination of Energy Losses in Composite Superconductors P8-82-551

The effect of some factors of sample formation on losses is experimentally investigated. The measurements of losses were performed in an electrical way.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982