

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 3933
П-49

19/vi-78

8 - 11383

М.Полак, Ф.Хованец, Л.Кремпаски, Ф.Штофаник

2647/2-78

ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ

В МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ

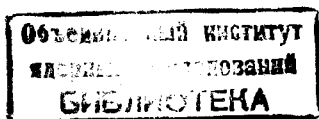
1978

8 - 11383

М.Полак,* Ф.Хованец, Л.Кремпаски,* Ф.Штофаник*

ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ

В МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ



* Электротехнический институт САН, Братислава /ЧССР/.

Измерение потерь в мелкодисперсных сверхпроводниках

Приведены результаты измерения потерь энергии в мелкодисперсных сверхпроводниках NT-50, находящихся в магнитных полях до 3Т, меняющихся со скоростью до 1,5 Т/с. Образцы сверхпроводников диаметром 0,5 мм, предназначенные для импульсных диполей, отличались количеством и размером сверхпроводящих нитей и шагом их скрутки. Применен электрический метод измерения по Фитцу.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

A.C. Losses Measurements in Multifilament Superconductors

A.C. Losses measurements are reported on multifilament superconductors NT-50 in magnetic field up to 3T and field change up to 1,5 T/s. Superconductors, proposed for pulse dipole cables have outer diameter 0,5 mm, various number and diameter of filaments and twist length. Losses have been measured electrically by the Fitz method.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Импульсные сверхпроводящие магниты для ускорителей изготавливаются обычно из силовых кабелей прямоугольного сечения. Кабели состоят из определенного количества проволок, содержащих скрученные сверхпроводящие нити. Одной из задач при конструировании такого кабеля является выбор сверхпроводящих проволок с низкими потерями на переменном токе. Известно, что в мелкодисперсных сверхпроводниках потери зависят от диаметра сверхпроводящих нитей, шага скрутки и параметров сверхпроводящего материала и металлической матрицы. Одной из возможностей выбора сверхпроводника является рассмотрение каждого параметра отдельно и расчет потерь по соответствующим формулам^{1/}. Более простой и надежный способ - прямое измерение потерь.

Ниже приведены результаты измерения потерь в нескольких типах мелкодисперсного сверхпроводника NT-50, из которого были изготовлены кабели для первых модельных импульсных диполей, испытываемых в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения потерь применялась методика, предложенная Фитцем^{2/}. Образец 4 в виде однослойной катушки /рис.1/ помещался внутрь одной из измерительных катушек /2 или 3/, имеющих одинаковое сечение и равное количество витков. Катушки и образец расположены внутри соленоида 1, создающего внешнее магнитное поле. Пока образец не находится в одной из катушек,

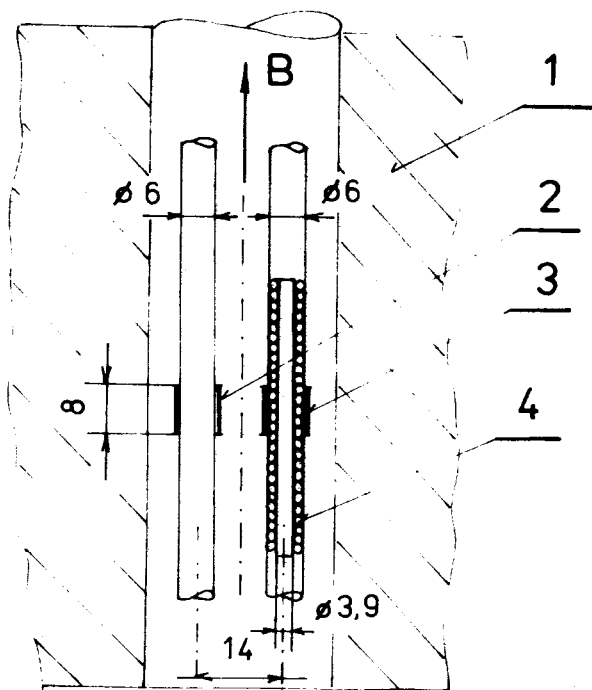


Рис.1. Приспособление для измерения потерь. 1 - обмотка сверхпроводящего магнита; 2,3 - измерительные катушки; 4 - образец.

напряжения на них одинаковы. Катушки соединены между собой так, чтобы их напряжения компенсировали друг друга. После помещения образца в одну из катушек при изменении поля B в цепи катушек 2 и 3 появляется разность напряжений, пропорциональная намагниченности образца.

В случае цилиндра, находящегося в параллельном поле B , среднюю величину намагниченности M в объеме V можно определить как

$$M = \frac{1}{V} \int (B_x - B) dV = \frac{4}{\pi} \frac{\Phi}{(d_1^2 - d_2^2)}, \quad /1/$$

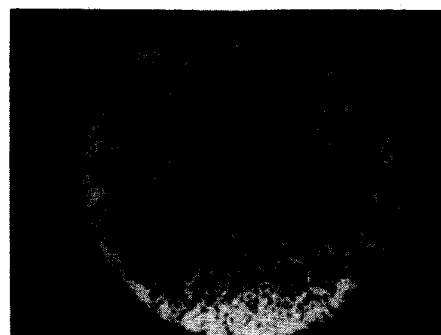
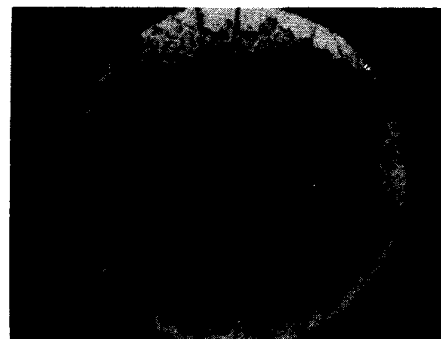


Рис.2. Фотографии сечений образцов /увеличено/. Сверху вниз - образец с 199 сверхпроводящими нитями диаметром 26 мкм; образец с 168 нитями диаметром 24 мкм; образец с 1045 нитями диаметром 10 мкм.

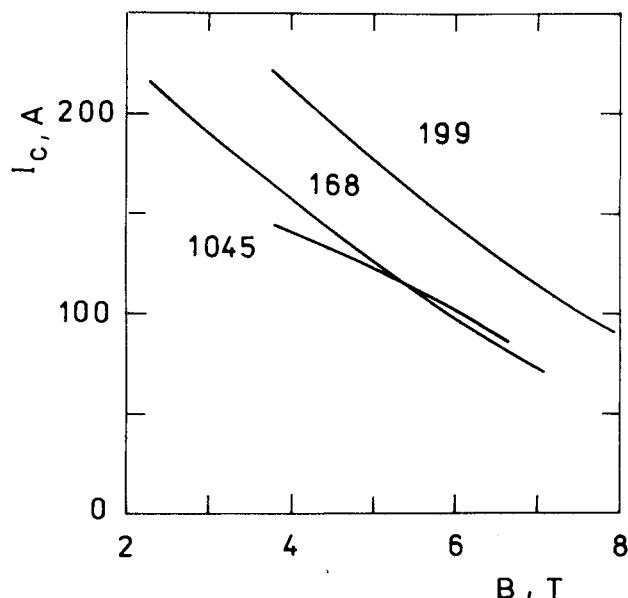


Рис.3. Зависимости критических токов от магнитного поля для образцов диаметром 0,5 мм. Номера 199, 168, 1045 обозначают число сверхпроводящих нитей.

где B_x - локальное поле внутри сверхпроводника в области x ; Φ - магнитный поток, выталкиваемый из объема образца при нарастании или захваченный при падении внешнего поля; d_1, d_2 - наружный и внутренние диаметры однослойной катушки 4.

Когда образец находится в катушке 2, магнитный поток ψ , захваченный катушками 2 и 3, равен

$$\psi = \frac{\pi}{4} [B(N_2 d_0^2 - N_3 d_0^2)] + MN_2(d_1^2 - d_2^2), \quad /2/$$

где d_0 - диаметр катушек 2 и 3.

Поскольку $N_2 = N_3 = N$, магнитный поток ψ оказывается пропорциональным намагниченности образца и равен

$$\psi = MN \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2). \quad /3/$$

Сигнал с катушек поступает на микроверберметр $\phi 190$ и после усиления - на ось y двухкоординатного самописца. На другую ось самописца подается сигнал с шунта в цепи питания магнита 1, пропорциональный внешнему магнитному полю. Площадь петли намагничивания, получаемой на самописце при изменении B , пропорциональна потерям энергии за цикл.

В нашем случае $N=200$, $d_1=0,49$ см, $d_2=0,39$ см, константа магнита составляет $0,092$ Т/А, чувствительность самописца на оси x равна $4 \cdot 10^{-4}$ Вб/м, на оси y - $2,92 \cdot 10^4$ А/м. Площадь петли намагниченности 1 см² соответствует потерям $8,44 \cdot 10^{-6}$ Дж на 1 см³ объема обмотки однослойной катушки. В дальней-

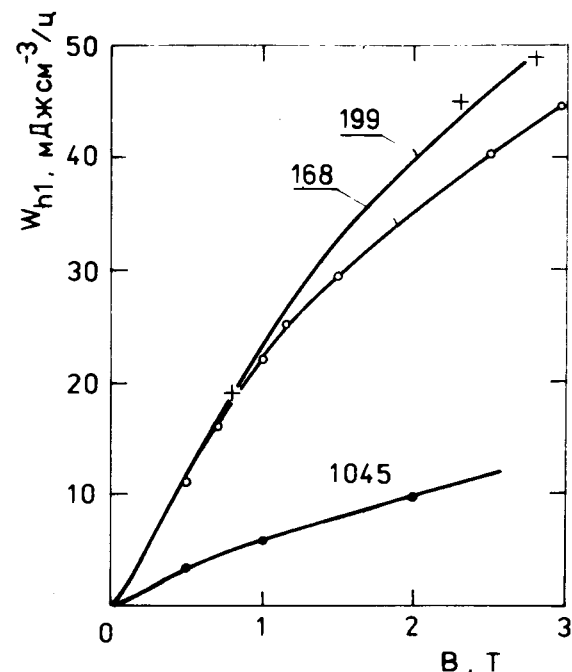


Рис.4. Зависимость гистерезисных потерь на один цикл от магнитного поля для образцов с 199, 168, 1045 сверхпроводящими нитями. Цикл имеет треугольную форму, потери отнесены к 1 см³ однослойной обмотки.

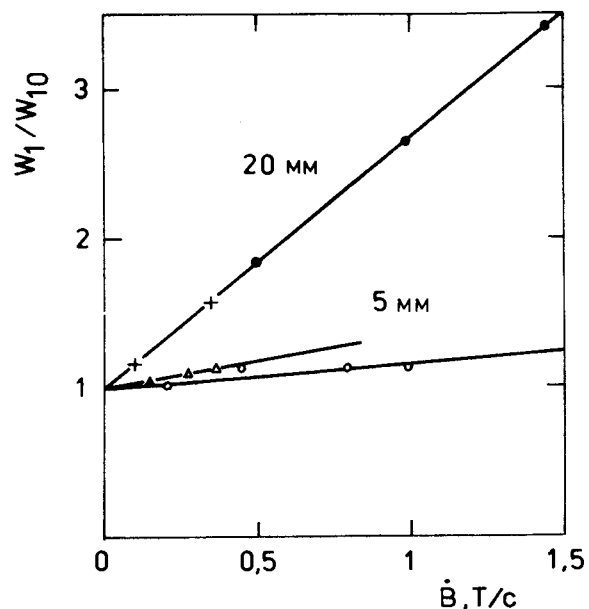


Рис.5. Зависимость отношения общих потерь W_1 к потерям W_{10} при $B \rightarrow 0$ от скорости нарастания поля. • - образец с 199 нитями, шаг скрутки 20 мм, + - образец с 168 нитями, шаг скрутки 20 мм, о - образец с 168 нитями, шаг скрутки 5 мм, Δ - образец с 1045 нитями, шаг скрутки 5 мм.

шем все результаты приведены для данной единицы объема. При пересчете на единицу объема проволоки необходимо результаты измерения потерь умножить на коэффициент 1/0,785, при пересчете на единицу объема сверхпроводника - коэффициент 1/ λ 0,785. Коэффициенты заполнения λ для каждого образца находятся в таблице.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерялись потери в 4 образцах мелкодисперсных сверхпроводников с наружным диаметром 0,5 мм. Образцы отличались диаметром сверхпроводящих нитей, коэф-

Таблица

Образец	168	168A	199	1045
Наружный диаметр, мм	0,5	0,5	0,5	0,5
Количество сверхпроводящих нитей	168	168	199	1045
Диаметр нитей, мкм	24	24	26,5	10
Коэффициент заполнения	0,38	0,38	0,553	0,395
Шаг скрутки нитей, мм	20	5	20	5
Соотношение площади сечения меди и сверхпроводника	1,63	1,63	0,8	1,53
Критический ток в поле 5Т, А	127	121	178	136
Гистерезисные потери в поле 2Т, мДж см ⁻³	35	-	40	9,8
Отношение W_1/W_{10} для $B=1$ Т/с	2,54	1,15	2,54	1,35

фициентом заполнения и шагом скрутки. Их основные параметры приведены в таблице, фотографии сечений образцов показаны на рис.2 /увеличено/. Зависимость критических токов образцов от магнитного поля приведена на рис.3. На рис.4 представлены результаты измерения гистерезисных потерь W_{h1} /скорость $B = 0,05$ Т/с/. С увеличением скорости нарастания магнитного поля все больше проявляются потери от вихревых токов в медной матрице мелкодисперсного сверхпроводника. Как видно из рис.5, вклад вихревых потерь в общие потери W_1 сильно зависит от шага скрутки нитей. Образцы с шагом скрутки больше чем 5 мм неприемлемы для использования в импульсных магнитах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров И.Н., Никитиу А., Хухарева И.С. ОИЯИ, 8-8302, Дубна, 1974.
2. Fietz W.A. Rev.Sci.Instr., 1965, 36, p.1621.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 марта 1978 года.