

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С393
М-505

4/11-73
8 - 7019

2058/2-73

Х.Менке, Ю.А.Шишов

СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ ПЕРЕМЫЧКА

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

8 - 7019

Х.Менке, Ю.А.Шишов

СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ ПЕРЕМЫЧКА

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. Введение

В отличие от полностью стабилизированных сверхпроводящих соленоидов, обмотки которых должны иметь каналы для жидкого гелия, соленоиды из проводника с внутренней стабилизацией могут быть монолитными. Охлаждение таких соленоидов осуществляется либо непосредственно жидким гелием, либо путем контактирования их каркаса с ванной жидкого гелия /1/. В последнем случае соленоид находится в пространстве изоляционного вакуума. Это позволяет упростить конструкцию криостата и облегчает доступ к соленоиду. Показано, что величина критического тока соленоида, термостатируемого в вакууме, не отличается от значения, полученного при испытании в жидком гелии /1/. Имеется сообщение об исследовании работы соленоидов, находящихся в вакууме и охлаждаемых гелием, который пропускается через герметизированные пазы каркаса /2/.

Режимы "замороженного тока" соленоидов, расположенных в вакууме, могут быть получены с помощью сверхпроводящих перемычек, которые также охлаждаются путем механического контакта с ванной. Такая конструкция перемычек несколько отличается от обычной.

2. Сверхпроводящий материал для перемычек

Качество перемычки зависит от двух величин: критического тока и электрического сопротивления материала в нормальном состоянии.

Для выбора подходящего проводника перемычки нами измерены температурные зависимости удельного сопротивления композиций с ниобий-титаном и ниобий-оловом /рис. 1/. Измерения проводились на коротких образцах сверхпроводника,

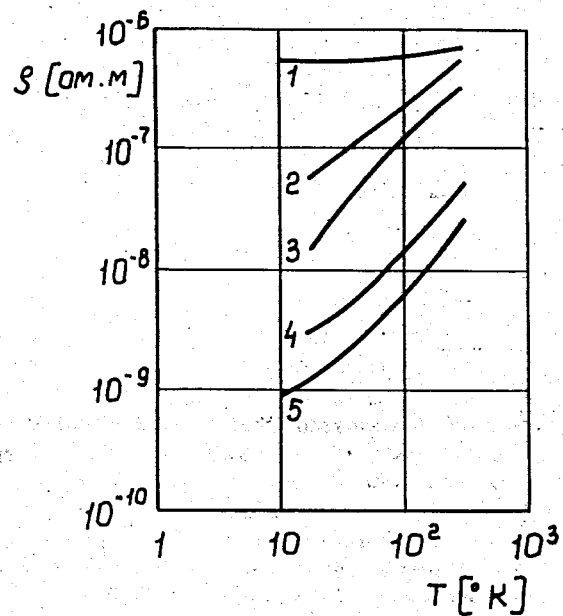


Рис. 1. Зависимости удельного сопротивления композиционных сверхпроводников от температуры. 1 - кабель НТ-50, матрица вытравлена, 19 нитей ϕ 65 мкм. 2 - Лента Nb_3Sn толщиной 37 мкм, избыточное олово с поверхности снято. 3 - Лента Nb_3Sn толщиной 40 мкм, на поверхности имеется избыточное олово. 4 - Кабель НТ-50, 19 нитей в медной матрице ϕ 0,5 мм.

расположенных в газообразном гелии под уровнем жидкости транспортного дьюара. Температура образца измерялась с помощью германового термометра. Критический ток коротких образцов этих сверхпроводников был определен при погружении в жидкий гелий /рис. 2/.

3. Установка для испытания перемычек

Исследование работы перемычек в вакууме проведено на установке, описанной в работе /1/, в конструкцию которой внесен ряд изменений.

На рис. 3 изображена установка, которая состоит из гелиевой части криостата 1 с азотным экраном 2. В откачанное внутреннее пространство криостата помещена ванна 3 с жидким гелием. К ванне припаяна медная обечайка со змеевиком 4.

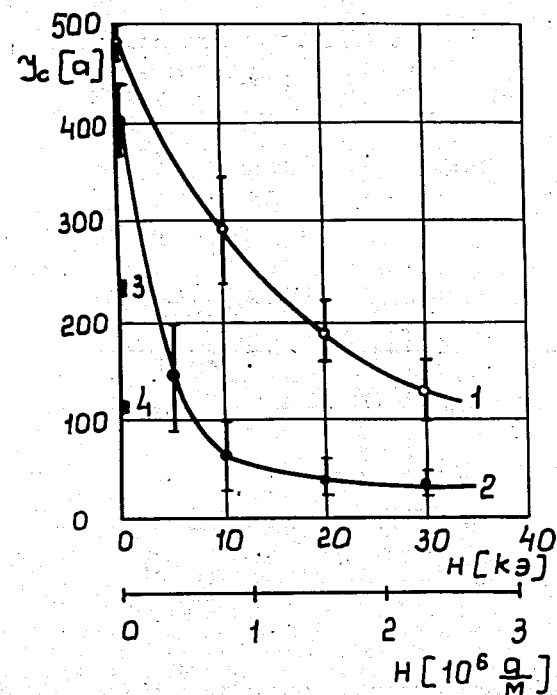


Рис. 2. Зависимость $J_c(H)$ коротких образцов композиционных сверхпроводников и перемычек. 1 - Кабель НТ-50, ϕ 0,5 мм. 2 - Лента Nb_3Sn шириной 2,5 мм, избыточное олово с поверхности снято. /1 и 2 - короткие образцы в жидком гелии/. 3 - Перемычка из кабеля 1. 4 - Перемычка из кабеля 1 без матрицы из меди /3 и 4 - испытания в вакууме 10^{-4} мм.рт.ст./

К нижней части обечайки прикреплен с помощью латунных болтов медный фланец 5, на котором размещены соленоид 6 и сверхпроводящая перемычка 7. Их каркасы также выполнены из меди, и, в свою очередь, притянуты к фланцу латунными болтами.

Контактные соединения между перемычкой, соленоидом и токовводами /верхний из контактов позиции 8/ осуществлены путем пайки проводов индием на длине 80 см. Контакты навиты на медный фланец 5 и прикреплены к нему клеем БФ-2, что позволяет отводить выделяющееся в контакте джоулево тепло. Для электрической изоляции контакта от фланца последний предварительно покрывают несколькими слоями клея. Нижний из контактов 8 предназначен для предотвращения проникновения

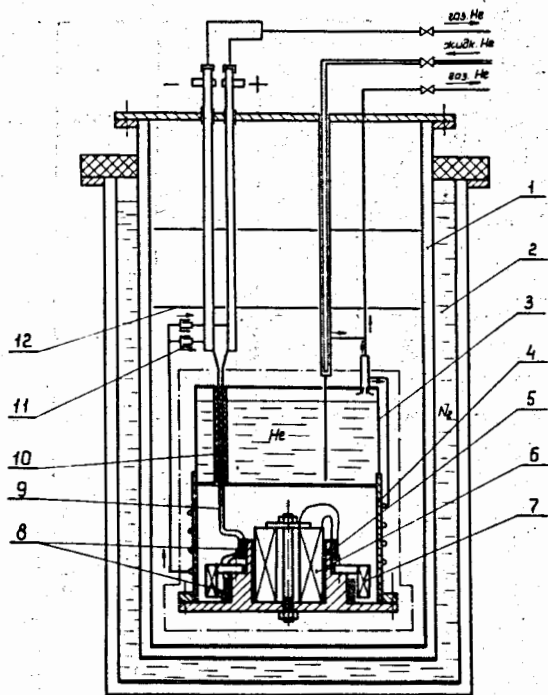


Рис. 3. Установка для исследования работы соленоидов и перемычек в вакууме. 1 - гелиевая часть криостата; 2 - азотная часть криостата; 3 - ванна с жидким гелием; 4 - медная обечайка со змеевиком; 5 - фланец; 6 - соленоид; 7 - сверхпроводящая перемычка; 8 - контактные соединения сверхпроводника /электрические и тепловые/; 9 - токовые вводы; 10 - трубка, в которой осуществлен тепловой контакт токовых вводов и ванны; 11 - уплотнение гелиевого потока при входе в токовые вводы; 12 - экраны.

тепла от перемычки в соленоид, если перемычка находится в нормальном состоянии.

Токовые вводы 9 пропущены через сквозную трубку 10 в ванне. Для снятия теплопритока от токовводов к соленоиду трубка 10 залита парафином, а нижняя часть вводов зашунтирована сверхпроводником.

Верхние части вводов выполнены из медных трубок и подключены к линии, отводящей газообразный гелий из ванны, с помощью разборных герметичных уплотнений 11, обеспечивающих одновременно электрическую изоляцию ванны от токовводов /рис. 4/.

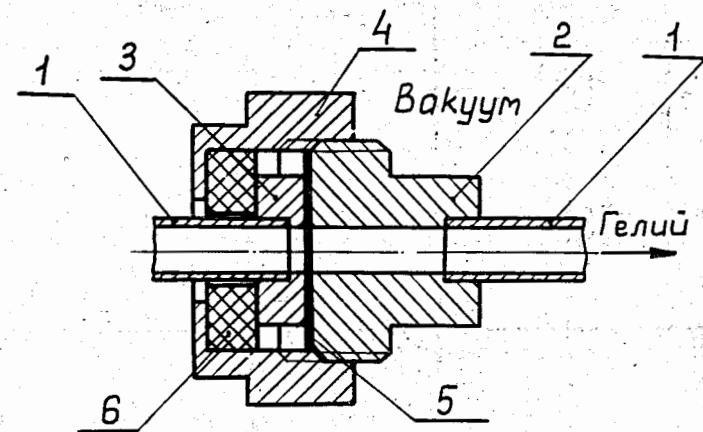


Рис. 4. Герметичное соединение токового ввода и гелиевой трубки, обеспечивающее электрическую изоляцию бачка и токовых вводов.

Здесь трубки 1 припаяны соответственно к штуцеру 2 и ниппелю 3, которые стягиваются накладной гайкой 4. Уплотняющей и изоляционной является прокладка 5 из фторопластовой пленки толщиной 0,3 мм. Для предотвращения касаний гайки с ниппелем имеется текстолитовая шайба 6. Соленоид и часть исследуемых перемычек навиты из металлургического кабеля, содержащего нити из сплава НТ-50 /ниобий - 50% титана/ /см. табл. 1/.

4. Конструкция перемычек

Изготовлены и испытаны три перемычки /см. таблицу 1/:

1. Из кабеля с нитями НТ-50, изолированного лавсановым волокном в два слоя.

2. Из такого же кабеля, но с удаленной путем травления медной матрицей. При травлении лавсановое волокно остается в полной сохранности. После намотки на каркас перемычки кабель пропитывается клеем БФ-2.

3. Из ниобий-оловянной ленты, с поверхности которой для увеличения сопротивления удалено избыточное олово /стабилизирующая медь также отсутствует/.

Все проводники навиты бифилярно и прикреплены к каркасу клеем БФ-2. Однако этот клей недостаточно хорошо проникает в кабель перемычки №2. Поэтому испробована на образцах пропитка эпоксидной смолой ЭД-5 без наполнителей. Шлифы

Таблица 1. Технические данные перемычек

| Материал перемычек | l [м] | R_N [ом] | λ [вт/град] | P [вт] | t [мин] | I_{c1} [а] | I_{c2} [а] |
|--|---------|------------|---------------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| НТ-50 19 нитей 65 мкм в медной матрице | 135 | 0,9 | 0,05 | 0,3 | ~1 | 400- 500 | 230 |
| НТ-50 19 нитей 65 мкм без меди | 5 | 33 | 0,01 | 0,05 | ~1 | - | 115 |
| Nb_3Sn без Sn 2,5мм x 40 мкм | 3,2 | 2,7 | 0,01 | 0,2 | ~1,5 | 370- 440 | ~0 |

l - длина проводника

R_N - нормальное сопротивление около T_c

λ - теплопроводность контакта при $4,2^\circ K$

P - мощность нагревателя

t - время охлаждения

I_{c1} - критический ток коротких образцов в жидком гелии

I_{c2} - критический ток перемычек в вакууме

поперечного сечения образцов показали, что смола хорошо заполняет пространство между нитями сверхпроводника и волокнами изоляции. Образцы не трескались при резком опускании в жидкий азот.

Теплопроводность механических контактов между соле-ноидом и ванной должна быть высокой и ограничивается размерами болтовых соединений. Напротив, контакт перемычки должен быть выбран так, чтобы она не требовала слишком большой мощности подогревателя для поддержания ее в нормальном состоянии и охлаждалась достаточно быстро после отключения подогрева. Расчет теплопроводности осуществлен по данным работы /3/ /см. рис. 5/. Усилие в контакте создается за счет разницы в температурной усадке латуинных болтов и медного каркаса.

Для нагревания перемычки выше критической температуры имеется спираль из константановой проволоки. Мощность нагревателя не превышает 0,3 вт, сопротивление - 80 ом.

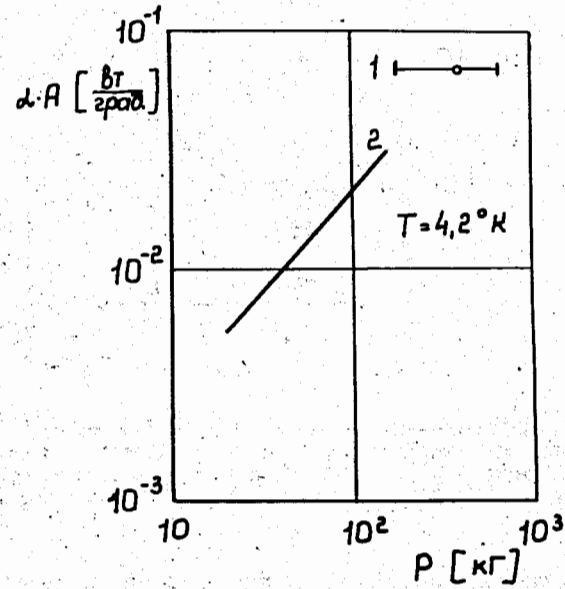


Рис. 5. Теплопроводность механического контакта пары медь-медь в вакууме: 1 - результаты измерения; 2 - по данным /3/

5. Результаты экспериментов

Перемычки из кабеля с медью и без нее оказались вполне работоспособными, в перемычку из ниобий-оловянной ленты ток завести не удалось. Критический ток перемычки из кабеля без меди оказался примерно в 2 раза ниже, чем у кабеля с медной матрицей, но значительное увеличение сопротивления на единицу длины /почти в 1000 раз/ компенсирует этот недостаток /рис. 1, таблица 1/.

На рис. 6 показано произведение нормального сопротивления и критического тока. Перемычка с максимальным значением этого произведения должна обладать наименьшими размерами. На этом же рис. 6 приведены критические токи перемычек.

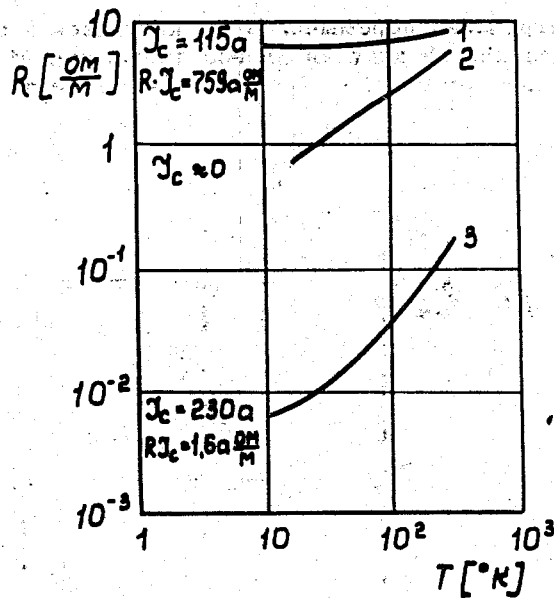


Рис. 6. Сопротивление перемычек. 1 - Кабель HT-50, матрица вытравлена, 19 нитей ϕ 65 мкм; 2 - Лента Nb_3Sn толщиной 37 мкм, ширина 2,5 мк, избыточное олово с поверхности снято. 3 - Кабель HT-50, 19 нитей ϕ 65 мкм в медной матрице ϕ 0,5 мм.

Выяснена важность хорошего теплового контакта сверхпроводника и медного каркаса, особенно при использовании кабеля без меди, так как пульсации напряжения полупроводникового выпрямителя при нормальном состоянии перемычки

вызывают ее дополнительный нагрев. В случае низкой теплопроводности контакта пульсации не позволяют вернуть перемычку в сверхпроводящее состояние. В наших экспериментах перемычка возвращалась в сверхпроводящее состояние через 1-1,5 мин после выключения подогревателя, несмотря на пульсации напряжения от селенового выпрямителя ВУ12/600. Допустимо быстрое /до 6 ампер в сек / изменение тока в перемычке /при создании короткозамкнутого режима работы соленоида/.

6. Выводы

1. Создана конструкция и исследована работа сверхпроводящих перемычек, находящихся в вакууме и прикрепленных к гелиевой ванне.

2. Наилучшими характеристиками из числа испытанных, обладает перемычка, изготовленная из кабеля с нитями сплава HT-50, в котором медная матрица замещена неметаллическим наполнителем.

Литература

1. А.Г.Зельдович, Ю.А.Шишов. Сообщение ОИЯИ, 8-7018, Дубна, 1973.
2. W.Eschrict et al. DESY 71/57, Hamburg, 1971.
3. R.Berman. Journal of Appl.Phys., vol. 27, No. 4, pp. 318-323, 1956.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 марта 1973 года.