

УДК 537.312.62

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Академик АН УССР Б. Г. ЛАЗАРЕВ, Л. С. ЛАЗАРЕВА, С. И. ГОРИДОВ

О КРИТИЧЕСКИХ ТОКАХ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПРОВОЛОКИ ИЗ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИОБИЯ *

В этом сообщении приводятся данные измерений критического тока I_k сверхпроводящей проволоки из деформируемых сплавов на основе ниобия в зависимости от напряженности магнитного поля H . Измерения проведены в интервале H вплоть до критических при температурах 4,2° и 2° К. Обнаружено большое влияние теплоотвода от образцов на ход зависимости I_k и выяснены условия измерений, дающие на образцах результаты, практически не отличающиеся от результатов, получаемых на лабораторных соленоидах.

Измерения проводились на проволоках сплавов 60Т (~60 ат. % Ti) и СС-2 (~25 ат. % Ti и ~25 ат. % Zr) диаметром 0,23 см (по сверхпроводнику) с медным (толщиной 30—45 м) и эмалевым (толщиной ~15 м) покрытиями в стационарных полях, создаваемых сверхпроводящими соленоидами, описанными в (1, 2). Образцы были четырех типов:

- 1) свободная проволока (длина 200—300 мм) в виде U-образной шпильки или в виде кольца; при измерении поле было перпендикулярно плоскости кольца или перемычке шпильки (эти образцы далее называются линейными);
- 2) катушки рыхлой намотки в 1—2 слоя с расстоянием между витками ~2 мм;
- 3) катушки однослойные плотной намотки;
- 4) катушки плотной намотки с числом слоев больше двух.

Т а б л и ц а 1

Образец	2l, см	d ₁ 2, см	d ₂ 2, см	Число слоев	Число витков	Упаковка, число витков/см	Марка проволоки	Длина проволоки, м
1	2,2	0,6	0,85	7	420	707	СС-2	9
2	1,1	0,45	0,8	10	269	700	СС-2	7
3	1,0	0,8	0,87	1	25	700	СС-2	1,3
4	1,5	0,55	0,6	2	14	—	СС-2	1
7	2,5	0,3	0,9	15	970	670	60Т	36
8	1,2	0,3	0,9	15	507	655	60Т	19
9	0,52	0,3	0,9	15	190	660	60Т	7

П р и м е ч а н и е. 2l — длина намотки, d₁ — внутренний, d₂ — внешний диаметр намотки.

В табл. 1 приведены основные параметры образцов — катушек.

Полученные результаты приведены на рис. 1,2 и заключаются в следующем.

Критические поля составили для сплава СС-2 $H = 91 - 94$ кэ при 4,2° К и 117 кэ при 2° К (рис. 1а); для сплава 60Т — $H = 115$ кэ и 145 кэ при 4,2° и 2° соответственно (рис. 1б). Эти значения выше (на ~10 кэ) полученных ранее (3) из определений в импульсном магнитном поле и исправляют их.

Критические токи сняты до критических полей, т. е. поля продлены по сравнению с литературными данными на ~50 кэ (4, 5).

* В работе принимали участие Л. М. Задорожный и В. А. Полтавец.

Зависимость $I_k(H)$ как для сплава СС-2 (рис. 1а), так и для сплава 60Т (рис. 1б), снятая на линейных образцах двух видов, совпадает с зависимостью, полученной на образцах типа 4) (рис. 2, 4): при 2°K I_k во всем интервале H выше, чем при $4,2^\circ \text{K}$.

Уже для однослойных плотно намотанных катушек — образцов (типа 3)) кривые хода $I_k(H)$ идут ниже кривых для «линейных» образцов (рис. 2, 3), однако монотонность спада тока сохраняется для обоих сплавов.

Для многослойных образцов кривые идут еще ниже и при увеличении

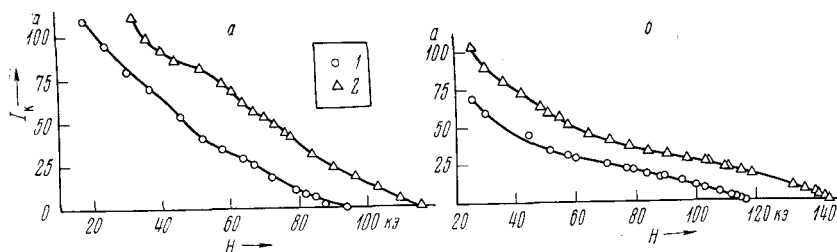


Рис. 1. Зависимость критического тока от магнитного поля для линейных образцов из проволоки СС-2 (а) и 60Т (б): 1 — $T = 4,2^\circ \text{K}$, 2 — $T = 2^\circ \text{K}$

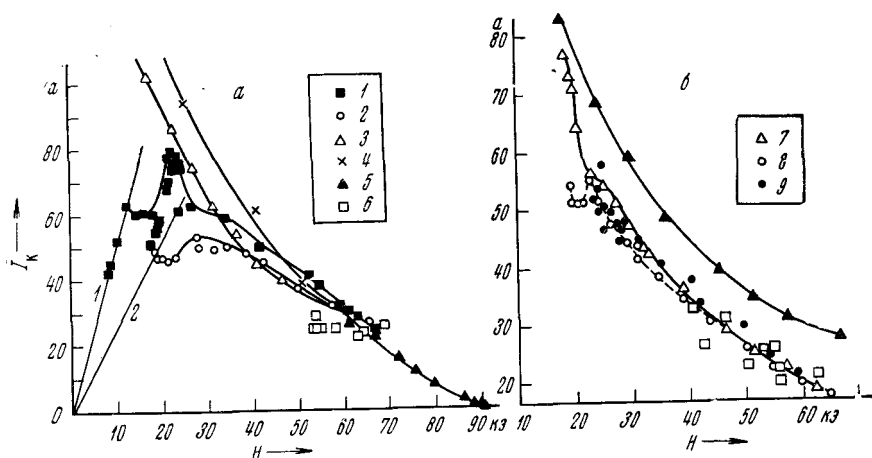


Рис. 2. Зависимость критического тока от магнитного поля при $4,2^\circ \text{K}$ для образцов и соленоидов из проволоки СС-2 (а) и 60Т (б). Цифры 1—4, 7—9 соответствуют номерам образцов, 5 — образец линейный, 6 — соленоиды. Прямыми линиями показаны значения постоянных $C = H/I$ для образцов 1 и 2

числа слоев в средних полях поведение I_k усложняется. Особенно сильно это выражено у сплава СС-2, для которого у многослойных образцов в ходе $I_k(H)$ появляются минимум и максимум (рис. 2а), значения I_k в этих полях значительно ниже, чем у линейных образцов, и практически совпадают со значениями I_k лабораторных соленоидов, изготовленных из такой же проволоки, но крайней мере при $H > 40 \text{ кэ}$. Поведение сплава 60Т более спокойно (рис. 2б): в малых полях менее выражена немонотонность, меньше различие в поведении образцов разной геометрии.

По-видимому, найденные зависимости $I(H)$ для образцов разного типа и соленоидов можно объяснить с учетом процессов проникновения магнитного потока в жесткие сверхпроводники и условий теплоотвода от образцов.

Скачкообразное проникновение магнитного поля в сплаве Nb—Zr и в грязном ниобии и сопутствующее ему локальное скачкообразное повышение температуры описано в работе (6). Скачкообразное намагничение сверхпроводящих проволок рассматриваемых здесь сплавов СС-2 и 60Т на-

блюдалось Б. Г. Лазаревым и О. Н. Овчаренко ⁽⁷⁾. При этом было показано, что число и величина скачков потока при 4,2° К у сплава СС-2 достигает наибольшего значения в области полей ~ 20 кэ, когда величина скачков намагничивания достигает величины, близкой к самому значению намагничивания. При меньших H эти скачки отсутствуют, при больших они уменьшаются по мере увеличения H .

С другой стороны, в нашей работе ⁽⁸⁾ описано влияние на I_k соленоидов условий теплообмена в жидком гелии и некоторого превышения температуры соленоида над температурой ванны при сколь угодно плавном повышении тока. Оно сказалось (в указанной области полей) на уменьшении I_k и разбросе его значений.

Эти обстоятельства также существенны для понимания результатов, полученных в настоящей работе. В самом деле, линейные образцы, равно как и рыхло навитые катушки — образцы, находятся в условиях наилучшего охлаждения жидким гелием, в который они погружены, и в них наблюдаются значения критических токов, определяемых в основном токонесущей структурой, образованной глубокой пластической деформацией и оптимальной термообработкой ⁽⁹⁻¹¹⁾. Роль скачкообразного намагничивания здесь наименьшая, так как скачки ограничены лишь теми местами проволоки, где они возникают.

В плотно намотанных катушках — образцах такой скачок, проходя в одном витке, захватывает своим полем рассеяния соседние витки, кроме того, скачки могут статистически складываться. Таким образом, этот процесс становится эффективней, чем в изолированном образце. В этом заключается «эффект соседства», сближающий токи в соленоиде по сравнению с линейными образцами. В области значений H , где скачки намагничивания наиболее велики (для сплава СС-2 $H \sim 20$ кэ), у катушек действительно наблюдается минимум критического тока и разброс его значений.

В однослойных образцах (тип 3)) это обстоятельство выражено слабее, однако приводит к понижению I_k .

При $H > 40$ кэ для сплава СС-2 скачки намагничивания практически исчезают, их влияние снижается (критические токи линейных образцов и соленоидов (с длиной проволоки не менее 1500 м) совпадают).

Понижение температуры опыта снижает значение H , при котором начинаются скачки намагничивания и увеличивается их число ⁽⁷⁾. Это делает понятным наблюдавшееся ранее ⁽⁵⁾ снижение критического тока у проволок из этого сплава в малых полях при понижении температуры.

Результаты настоящей работы, как нам кажется, вносят ясность в особенности поведения критического тока проволоки из сверхпроводящих деформируемых сплавов в зависимости от напряженности магнитного поля при различных температурах. Вместе с этим выясняется также (рис. 2) необходимость измерения критических токов не в линейных образцах, а в многослойных образцах — катушках, что важно для практической оценки качества сверхпроводящей проволоки.

Физико-технический институт
Академии наук УССР
Харьков

Поступило
2 VII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. Г. Лазарев, Л. С. Лазарева и др., Сборн. Исследования в области теоретического и прикладного магнетизма, в. 26, Свердловск, 1967, стр. 86. ² Б. Г. Лазарев, Л. С. Лазарева и др., ФММ, 29, № 4, 864 (1970). ³ Б. Г. Лазарев, О. Н. Овчаренко и др., ЖЭТФ, 54, № 4, 1031 (1968). ⁴ Cryogenics, 7, № 5, 319 (1967). ⁵ Б. Г. Лазарев, Л. С. Лазарева, С. И. Горидов, ДАН, 177, № 6, 1310 (1967). ⁶ N. H. Zebouni, A. Ven Kataram et al., Phys. Rev. Lett., 13, № 21, 606 (1964). ⁷ Б. Г. Лазарев, О. Н. Овчаренко, ДАН, 189, № 6, 1218 (1969). ⁸ Б. Г. Лазарев, Л. С. Лазарева, С. И. Горидов, ДАН, 199, № 5 (1971). ⁹ Ю. Ф. Бычков, В. Г. Верещагин и др., ЖЭТФ, 56, № 2, 505 (1969). ¹⁰ В. В. Шмидт, ЖЭТФ, 45, № 6, 1992 (1963). ¹¹ Б. Г. Лазарев, В. К. Харенко и др., ЖЭТФ, 45, 2068 (1963).