

УДК 537.312.62:621.318.371

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. А. БАШИЛОВ, член-корреспондент АН СССР Д. Г. ЖИМЕРИН, Я. Н. КУНАКОВ

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ МАГНИТНЫЕ СИСТЕМЫ ИЗ ЛЕНТЫ Nb_3Sn

Создание магнитных систем с полями выше 100 кэ имеет большое практическое значение для целого ряда областей науки и техники. Получение таких полей возможно лишь с помощью сверхпроводящих материалов на основе интерметаллических соединений таких, как Nb_3Sn , V_3Ga , $Nb_3(AiGe)$, Nb_3Al и др., у которых критическое магнитное поле превышает 200 кэ. Основной трудностью является получение из этих соединений необходимых сверхпроводящих материалов. В настоящее время ряд зарубежных фирм (¹⁻³) выпускает сверхпроводящую ленту на основе Nb_3Sn , из которой изготовлены сверхпроводящие соленоиды, создающие магнитное поле с напряженностью до 150 кэ (^{4, 5}).

В отечественной литературе был опубликован ряд работ, в которых говорилось о разработке методики получения сверхпроводников на основе Nb_3Sn (⁶⁻⁸). Однако до последнего времени не было сообщений о производстве сверхпроводящих материалов из интерметаллидов и об изготовлении каких-либо магнитных систем из этих материалов. Наибольшие магнитные поля были достигнуты в соленоидах из сплава $Nb-Ti$; они составляли при 4,2° К 92 кэ в отверстии $\phi = 7$ мм (⁹) и 95 кэ в отверстии $\phi = 40$ мм (¹⁰).

Ранее нами сообщалось (¹¹) о разработке промышленной технологии и создании технологической линии для производства сверхпроводящей ленты из станида ниобия. Сверхпроводящая лента получается диффузионным методом и выпускается со стабилизирующим медным покрытием толщиной 30–80 м. Значения критического тока получаемой сверхпроводящей ленты в поперечном магнитном поле на 1 мм ширины приводятся ниже:

H , кэ	20	50	60	80
I , а/мм	37	22	19	14

Из выпускаемой сверхпроводящей ленты изготовлен ряд соленоидов различных размеров. В данном сообщении рассматриваются четыре сверхпроводящих соленоида, предназначенные для различных физических измерений.

Для каждого соленоида на ЭВМ проводился расчет распределения магнитного поля по обмотке. На основании расчета строились кривые распределения магнитного поля по длине шины для каждой галеты, и в соответствии с этим выбиралась конструкция сверхпроводящей шины переменного сечения по сверхпроводнику.

Для намотки галет применялась шина шириной 20 мм и 10 мм переменного сечения, состоящая из трех или двух слоев сверхпроводящей ленты с медным покрытием толщиной 25 м. Использовалась медная фольга марки МБ с отношением $\rho_{300^\circ}/\rho_{4,2^\circ} = 50-80$. Толщина двухслойной шины составляла 0,11–0,12 мм, трехслойной 0,13–0,15 мм. В качестве изоляции применялся лавсан толщиной 10 м. Сверхпроводящая шина наматывалась в двойные галеты. Между двойными галетами прокладывались текстолитовые щеки толщиной 3 мм, в которых имелись каналы для прохода гелия, а между галетами — щеки 1–1,5 мм.

Для испытания соленоидов был собран измерительный стенд, который включал в себя два криостата диаметром $\phi = 200$ и $\phi = 300$ по гелиевому объему, систему сбора газообразного гелия, два источника питания на 1000 и 600 а с регулятором тока и устройствами для автоматического отключения соленоида от источника питания.

Магнитное поле измерялось баллистическим методом и датчиками Холла типа Х-211 и Х6ТФ, отградуированными предварительно в эталонном соленоиде до 60 кэ. Измеренное поле сопоставлялось с расчетными данными. Сигналы с датчиков Холла и ток соленоида записывались на двухкоординатные самописцы типа ЦДС-021М. При измерениях потенциал на

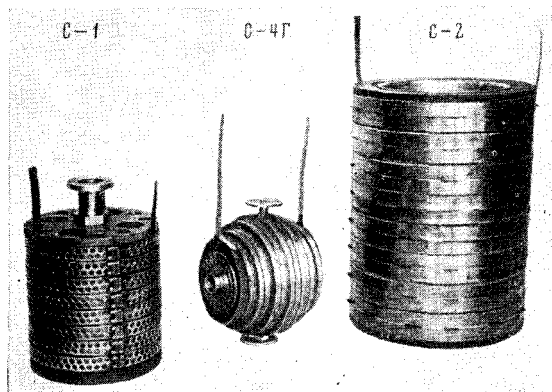


Рис. 1

Рис. 1. Общий вид соленоидов из ленты Nb_3Sn



Рис. 2

Рис. 2. Общий вид соленоида из ленты Nb_3Sn на 122 кэ; $d = 33$ мм, $D = 290$ мм, $h = 310$ мм

каждой галете регистрировался с помощью шлейфового осциллографа типа Н-105, что позволяло определить наиболее слабую галету, вызывающую переход всего соленоида.

На рис. 1 и 2 приведены фотографии указанных соленоидов.

Испытания соленоидов проводились по указанной выше методике при температуре $4,2^\circ \text{К}$. Основные результаты испытаний приведены в табл. 1.

Соленоиды С-1, С-2, С-3 представляют собой односекционные соленоиды обычного типа, собранные из галет на несущей центральной трубе из нержавеющей стали с внутренним диаметром 33 мм и 200 мм. Соленоиды С-1 и С-2 намотаны из шины шириной 20 мм, соленоид С-3 — из шины 10 мм. Соленоид С-4Г является горизонтальным соленоидом с раздвинутыми в центре галетами, между которыми имеется отверстие $\phi = 12$ мм. Соленоид имеет 12 галет, намотанных из шины 10 мм. Галеты собраны на горизонтальной трубе с внутренним диаметром 25 мм. Наружный диаметр галет изменяется от 192 мм в центре до 126 мм на краю соленоида. Соленоид позволяет проводить измерения в поперечном магнитном поле в канале $\phi = 12$ мм.

Эти соленоиды многократно испытывались и переводились в нормальное состояние. Скорость ввода тока составляла обычно ~ 5 а/мин.

Для соленоидов С-1 и С-3 был изготовлен измерительный штوك с ферромагнитными концентраторами из пермендюра. Диаметр концентраторов

Таблица 1

Основные характеристики сверхпроводящих соленоидов из ленты Nb_3Sn при $4,2^\circ\text{K}$

	d , мм	D , мм	h , мм	n	N	L , Гн	I_c , а	H , кэ	H_1 , кэ	W , Дж
C-1	33	190	180	8	4350	0,9	404	104	124	$7,2 \cdot 10^4$
C-2	200	290	360	16	4160	1,88	424	51		$1,7 \cdot 10^5$
C-3	33	290	310	18	20100	21	170	122	142	$2,0 \cdot 10^5$
C-4Г	25		138	12	5807		170	70		

Примечание. d — внутренний диаметр соленоида, N — число витков, n — число галет в соленоиде, H_1 — поле в соленоиде с концентраторами из пермендюра.

32,5 мм, зазор между ними в штоке составляет 3 мм. Для измерения поля в зазор между концентраторами помещался датчик Холла. Испытание соленоидов с данными концентраторами показало увеличение магнитного поля на 20 кэ и составило для соленоида C-1 127 кэ и для соленоида C-3 142 кэ. Данный измерительный шток предназначен для измерения критического тока сверхпроводящих материалов.

Поступило
4 XI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ S. T. Hanak, K. Strater, G. W. Cullen, RCA Rev., 25, № 3 (1964).
² H. C. Schindler, F. R. Nyman, RCA Rev., 25, № 3 (1964). ³ O. Smulkowski, Bull. inf. sci. et techn., № 108 (1966). ⁴ F. Leslie, Radio Electronics, 35 (1967).
⁵ H. C. Schindler, Cryogenics, № 2 (1970). ⁶ Н. Е. Алексеевский, Н. Н. Михайлов, ЖЭТФ, 41, № 6 (1961). ⁷ И. А. Баранов, Н. Т. Коновалов и др., Проблемы сверхпроводящих материалов, М., 1970. ⁸ Я. Н. Кунаков, В сборн. Научные тр. Гиредмета, М., 1971. ⁹ Б. Г. Лазарев, Л. С. Лазарева и др., ДАН, 184, № 1 (1969). ¹⁰ Д. П. Анашкин, В. Е. Кейлин и др., XVII совещание по физике низких температур, Донецк, 1972. ¹¹ В. А. Башилов, Д. Г. Жимерин и др., VI Всесоюзн. совещ. по металлловедению и физико-химии сверхпроводников, М., 1971.