

АНИЗОТРОПИЯ КРИТИЧЕСКОГО ТОКА ЛЕНТЫ
ИЗ СПЛАВА Nb-Ti

В. С. Высоцкий, В. Р. Карасик

УДК 537.312.62

Исследована зависимость критического тока тонкой ленты из сплава Nb-Ti от величины магнитного поля и взаимной ориентации тока, поля и плоскости ленты. Исследования проведены на коротких образцах и на двух видах бифилярных конфигураций.

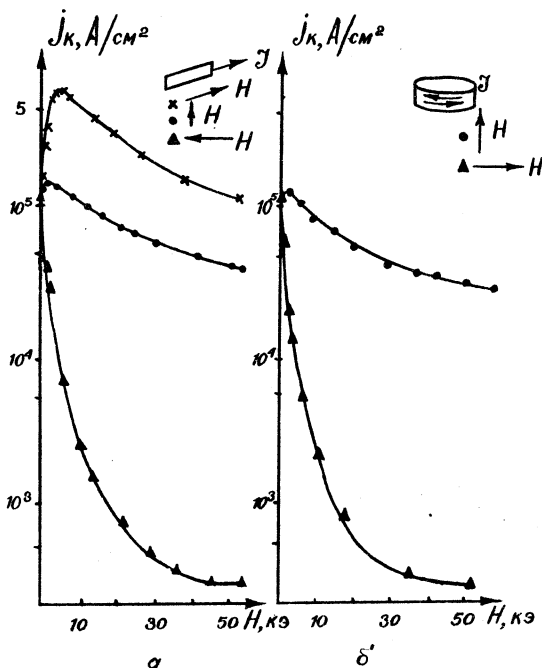
В ряде прикладных задач, в частности для изготовления сверхпроводящих коммутаторов или сильноточных криотронов, необходимо использование сверхпроводящих материалов, в которых сочетались бы высокая плотность критического тока ($\sim 10^5$ А/см²) и высокое удельное сопротивление в нормальном состоянии ($\sim 10^{-5}$ ом.см). Обычно в таких случаях используют многожильные композитные провода в матрице из латуни или мельхиора (сплав Cu-Ni) /1/.

Однако для этих же целей можно использовать тонкую ленту из сплава Nb-Ti /1,2/, удельное сопротивление которого при $T \geq T_c$ порядка 50 мком.см.

Высокая плотность критического тока может быть достигнута применением бифилярных конфигураций, которые уменьшают собственное поле тока на поверхности ленты. Поскольку в реальных системах ленточный коммутатор или криотрон всегда будет находиться в сильном рассеянном поле, необходимо оценить его влияние на критический ток ленты.

В настоящей работе проведены исследования анизотропии критических токов ленты из сплава Nb-Ti. Лента изготовлялась прокаткой биметаллической заготовки до суммарной толщины 70 мкм. Полученная лента шириной 8-10 см отжигалась, затем нарезалась на куски шириной от 2 до 20 мм. Толщина медного покрытия составляла 10 мкм. От длинной ленты отрезались образцы нужной длины, с которых медь стравливалась на всем протяжении за исключением

концов. Концы образцов облуживались чистым индием и подпаивались к токовым контактам. Измерения критического тока проводились как на коротких образцах, так и на двух разновидностях би-



Р и с.1. Зависимость критического тока от магнитного поля при различных взаимных направлениях тока, поля и поверхности образца а) короткий образец; б) бифилярная обмотка в виде галеты

филярных конфигураций. В одном случае лента складывалась "гармошкой", а в другом - перегибалась пополам и затем наматывалась в виде галеты. Длина коротких образцов составляла 5-10 мм, длина образцов в спиральных обмотках ~ 20 см при измерениях критического тока в магнитном поле и ~ 3 м при измерениях без магнитного поля.

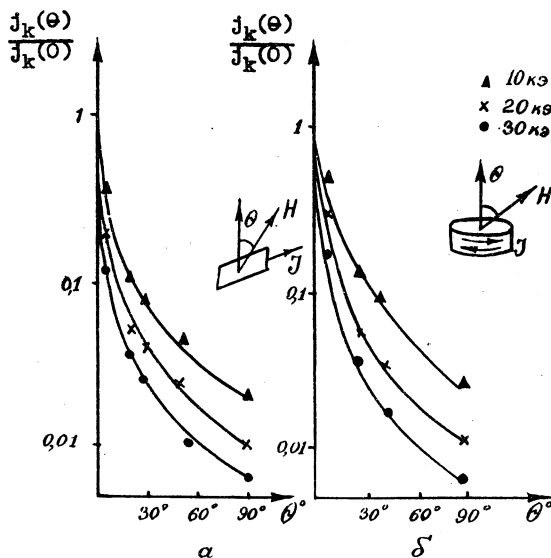
Методика измерения зависимости плотности критического тока j_k от напряженности магнитного поля H аналогична описанной в работе /3/. При измерении угловой зависимости $j_k(H, \theta)$ образец поворачивался на некоторый угол и закреплялся во вставке с помощью прокладок, а затем снималась зависимость $j_k(H)$ при данном угле θ .

На рис. 1а показаны зависимости критического тока от магнитного поля коротких образцов ленты для трех взаимных ориентаций тока, поля и поверхности ленты. Когда магнитное поле перпендикулярно току и поверхности ленты, кривая $j_k(H)$ имеет обычный вид и в поле 50 кэ критический ток уменьшается почти на два порядка. Когда же магнитное поле параллельно и току и поверхности ленты, кривая $j_k(H)$ имеет ярко выраженный максимум в малых полях, в котором величина критического тока достигает $7 \cdot 10^5$ А/см² ($j_k(0) \approx 10^5$ А/см²). Такой эффект наблюдался ранее /4-5/ и объясняется бессильным течением транспортного тока /5/. Наибольший интерес представляет случай, когда магнитное поле перпендикулярно току, но параллельно поверхности образца. В этом случае кривая $j_k(H)$ также имеет максимум, и величина критического тока остается достаточно большой в больших полях. Возможно, текстура, образующаяся при прокатке, приводит к анизотропии пиннинг-центров, эффективно противостоящих силам, пытающимся сдвинуть вихри Абрикосова, в направлении перпендикулярном плоскости ленты, и слабо - силам, движущим вихри в плоскости ленты.

Альтернативным объяснением может служить привлечение представления о явлении, аналогичном бессильному течению тока при указанной геометрии.

На рис. 1б показаны кривые $j_k(H)$ для бифилярной обмотки в виде галеты при двух направлениях поля: перпендикулярно и параллельно оси обмотки. Вид кривых $j_k(H)$ и величина критического тока такие же, как и для коротких образцов при соответствующем направлении магнитного поля. Для "гармошек" были получены аналогичные результаты. Таким образом, мы не наблюдали деградации тока при переходе от коротких образцов к длинным. Этот факт подтвердился при измерении критического тока в нулевом поле бифилярных обмоток шириной 5-20 мм и длиной до четырех метров. Во всех случаях величина $j_k(0) = 10^5$ А/см².

На рис.2а показаны зависимости отношения $j_k(\theta)/j_k(0^\circ)$ при постоянных значениях магнитного поля для коротких образцов. Здесь θ - угол между поверхностью образца и магнитным полем, причем

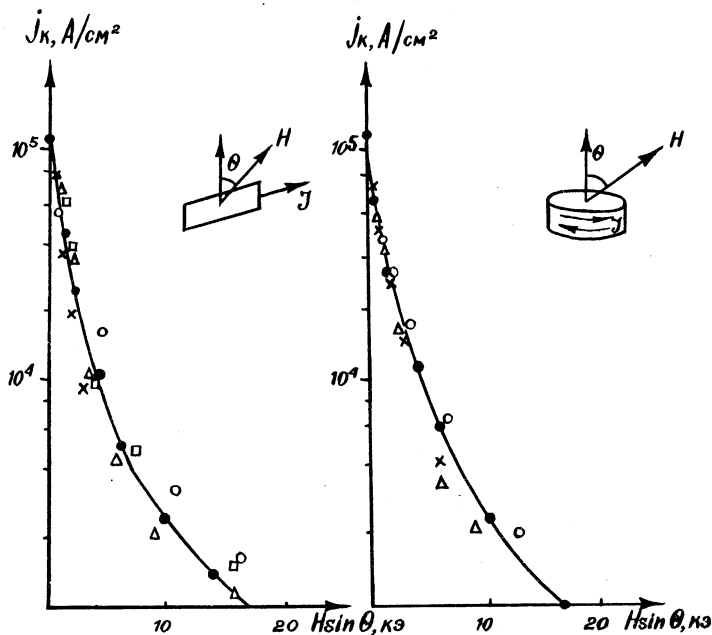


Р и с.2. Зависимость критического тока от угла между поверхностью образца и магнитным полем. Магнитное поле постоянно. а) короткий образец; б) бифилярная обмотка в виде галеты

направление тока всегда перпендикулярно полю. (Случай, когда поле и ток лежат в одной плоскости, исследовался в /6/). Видно, что уже при малых углах $\sim 10^\circ$ величина критического тока падает в 10 и более раз. Так же выглядят аналогичные зависимости для бифилярной обмотки, показанные на рис.2б.

На рис.3а,б показаны зависимости критического тока короткого образца и бифилярной обмотки от величины составляющей магнитного поля, перпендикулярной плоскости ленты. Видно, что точки, соответствующие разным углам, лежат вблизи кривой $j_k(H)$ для угла $\theta = 90^\circ$, т.е. можно сделать вывод, что величина критическо-

го тока в наклонном поле определяется перпендикулярной составляющей магнитного поля, которая может быть уменьшена с помощью сверхпроводящих или ферромагнитных экранов /2/.



Р и с.3. Зависимость критического тока от величины нормальной составляющей наклонного магнитного поля. а) короткий образец; х - 5°, Δ - 16°, □ - 28°, о - 52°, • - 90°; б) бифилярная обмотка в виде галеты, х - 9°, Δ - 24°, о - 43°, • - 90°.

В заключение авторы благодарят академика Б. М. Вула за интерес к работе и А. В. Аникина и В. А. Малыгина за помощь в работе, а также Б. Д. Копыловского за ценные советы и полезные дискуссии.

Поступила в редакцию
18 марта 1976 г.