

*Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 15 – 18*

*5 июля 1970 г.*

## **ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКАЧКА НАПРЯЖЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ПЕРЕХОДЕ**

*В.В. Пустовалов, В.С. Фоменко*

При сверхпроводящем переходе достаточно резко изменяется напряжение деформирования металла. Скачок напряжения  $\Delta\sigma = \sigma_n - \sigma_s$  (где  $\sigma_n$  и  $\sigma_s$  – напряжения деформирования металла соответственно в нормальном и сверхпроводящем состояниях) имеет заметную величину и наблюдается на ряде металлов (Pb, Nb, In, Sn) с помощью косвенных и прямых методов [1–6]. Этот новый результат объясняется различным торможением дислокаций электронами проводимости в нормальном и сверхпроводящем состояниях. Поэтому весьма важно

связать наблюдаемое изменение макроскопических характеристик пластической деформации с фундаментальными свойствами сверхпроводника, например, измерив температурную зависимость скачка напряжения. Такие измерения в объеме, необходимом для надежного установления вида температурной зависимости, не делались. Как показано в [6], в Рb при температурах, ниже  $0,58 T_k$ ,  $\Delta\sigma$  незначительно изменяется с температурой. На Рb [4] вблизи  $T_k$  наблюдается резкая зависимость  $\Delta\sigma$  и высказывалось утверждение, что она такая же, как и для критического поля, т. е.  $\Delta\sigma \sim 1 - (T/T_k)^2$ . Однако, как показано в [5], такое утверждение неоднозначно.

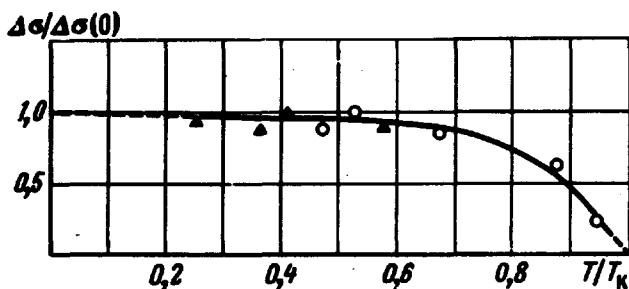


Рис. 1. Зависимость скачка напряжения деформирования  $\Delta\sigma = \sigma_n - \sigma_s$ , нормированного на  $\Delta\sigma(0)$ , от температуры:  $\blacktriangle$  - Рb,  $\circ$  - In

С целью установления характера температурной зависимости скачка напряжения деформирования при переходе металла из сверхпроводящего состояния в нормальное предпринято настоящее исследование. Переход при каждой температуре измерения осуществлялся включением и выключением магнитного поля сверхпроводящего соленоида, внутри которого непрерывно деформировался образец. Объектами исследования были Рb чистотой 99,9995% и In чистотой 99,999%. Это в интервале температур измерения 1,6 – 4,2°K позволило охватить широкий диапазон отношений  $T/T_k$  (0,24 – 0,94) и в интервале  $(0,4 - 0,6)T/T_k$  сделать измерения на обоих металлах.

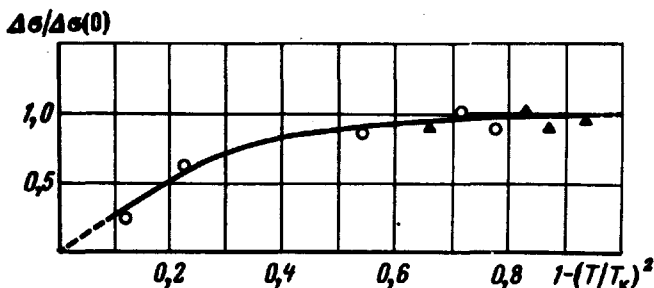


Рис. 2. Зависимость нормированного скачка напряжения деформирования от  $[1 - (T/T_k)]^2$ :  $\blacktriangle$  - Рb,  $\circ$  - In

Скачок напряжения  $\Delta\sigma$  в интервале  $(0,24 - 0,6)T/T_k$  изменяется незначительно, в то время как для  $T/T_k = 0,6 - 0,94$   $\Delta\sigma$  резко уменьшается до нуля в  $T_k$ . Поэтому на рис. 1 приведена температурная зависимость  $\Delta\sigma$ , нормированная на величину скачка напряжения  $\Delta\sigma(0)$  в температурно независимой области. За счет такой нормировки удалось усреднить каждую точку, приведенную на рис. 1,

по 5–6 значениям  $\Delta\sigma(T)/\Delta\sigma(0)$ , полученным при разных значениях деформации  $\epsilon = 10, 20, 25, 30\%$ , по кривым  $\Delta\sigma(T) - \epsilon$  (аналогично [6]), которые в свою очередь построены по скачкам деформирующего напряжения не менее, чем по 50–60  $s-n$ -переходам.

На рис. 2 приведены значения  $\Delta\sigma(T)/\Delta\sigma(0)$  как функция  $1 - (T/T_k)^2$ . В этих координатах, как утверждается в [4], зависимость должна быть линейной. Отчетливо видно, что это не наблюдается, т. е. совокупность экспериментальных данных на Pb и In не подтверждает утверждения о том, что температурная зависимость  $\Delta\sigma$  такая же, как и температурная зависимость критического магнитного поля  $H_k$  сверхпроводника.

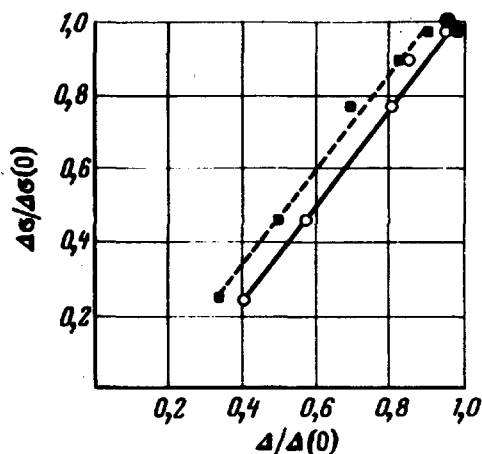


Рис. 3. Величина нормированного скачка напряжения в зависимости от величины энергетической щели:  $\circ$  — по туннельным экспериментам [7],  $\blacksquare$  — по теории БКШ [8]

Сопоставим зависимость скачка напряжения  $\Delta\sigma$  от температуры при  $s-n$ -переходе с температурной зависимостью величины энергетической щели (рис. 3). Экспериментальные значения энергетической щели, полученные туннельным измерением на Pb, In и Sn, взяты из [7], теоретические — из [8]. Для  $T/T_k = 0,94 - 0,6$ , где резкое изменение скачка напряжения и энергетической щели позволяет судить о характере температурной зависимости с наибольшей точностью, наблюдается линейная связь между  $\Delta\sigma(T)/\Delta\sigma(0)$  и  $\Delta(T)/\Delta(0)$ . В пользу этого также свидетельствует линейная зависимость между  $\Delta\sigma(T)/\Delta\sigma(0)$  и  $[1 - (T/T_k)]^{1/2}$  [9] в этом же интервале температур.

Как показано теоретически [10], сила электронного торможения дислокации в сверхпроводнике имеет более сложную зависимость от скорости движения дислокации, чем в нормальном металле [11], и зависит от температуры. Эти особенности динамики дислокаций в сверхпроводнике связаны с наличием щели в энергетическом спектре электронов. Видимо, соответствие температурных зависимостей  $\Delta\sigma(T)/\Delta\sigma(0)$  и  $\Delta(T)/\Delta(0)$  отражает это обстоятельство.

В заключение благодарим В.И.Старцева, и Б.И.Веркина, В.Д.Нашика, Б.Я.Сухаревского за полезные обсуждения.

## Литература

- [1] V.I.Startsev, V.V.Pustovalov, V.S.Fomenko. Proc. Int. Conf. strength. Metals and alloys, Tokyo, 1967; Suppl. Trans. Jap. Inst. Metals, 9, 843, 1968.
  - [2] H.Kojima, T.Suzuki, Phys. Rev. Lett., 21, 896, 1968.
  - [3] В.В.Пустовалов, В.И.Старцев, В.С.Фоменко. Препринт ФТИИТ, 1969; ФТТ, 11, 1982, 1969.
  - [4] G.A.Alers, O.Buck, B.R.Tittman. Phys. Rev. Lett., 23, 290, 1969.
  - [5] В.С.Фоменко, В.И.Старцев, В.В.Пустовалов, Д.А.Лиденко. Физика конд. состояния. Сб. трудов ФТИИТ, вып. 5, 228, 1969, Харьков.
  - [6] V.V.Pustovalov, V.I.Startsev, V.S.Fomenko. Препринт ФТИИТ, 1969; Phys. Stat. Sol., 37, 413, 1970.
  - [7] J.Giaever, K.Megerle. Phys. Rev., 122, 1101, 1961.
  - [8] J.Bardeen, L.N.Cooper, J.R.Schrieffer. Phys. Rev., 108, 1175, 1957.
  - [9] И.Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М., Изд. Мир, 1968.
  - [10] М.И.Каганов, В.Д.Пашик. Письма в ЖЭТФ, 11, 550, 1970.
  - [11] В.Я.Кравченко. ФТТ, 8, 927, 1966.
-