

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СВИНЦА ПРИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЕРЕХОДАХ

В.С.Бобров Э.Ю.Гутманас

Из совпадения температурных зависимостей экспериментально определявшегося отношения скоростей пластической деформации свинца в нормальном (N) и сверхпроводящем (S) состояниях при SN -переходах и функции, описывающей отношение электронных вязкостей в S - и N -состояниях, следует, что пластическая деформация Рь при гелиевых температурах определяется электронным торможением дислокаций.

Движущиеся дислокации могут взаимодействовать не только с другими несовершенствами кристаллической структуры, но и с фононами и электронами. Теоретически было введено понятие вязкого торможения дислокаций и показано, что при низких температурах электронное торможение может превышать фононное [1].

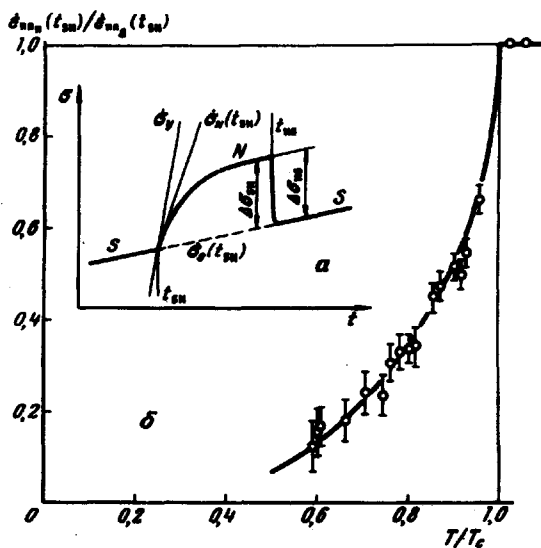
Возможным проявлением электронной вязкости считают изменение деформирующего напряжения σ в сверхпроводниках, пластически деформируемых с постоянной скоростью перемещения ползуна испытательной машины \dot{S} , при сверхпроводящих (SN и NS) переходах (например, [2]). До сих пор различными авторами измерялись только такие изменения σ ($\Delta\sigma_{SN}$ и $\Delta\sigma_{NS}$, на рис. 'а). Однако, кроме изменения σ на $\Delta\sigma_{SN}$ и $\Delta\sigma_{NS}$ после SN и NS -переходов, в момент этих переходов (t_{SN} и t_{NS} на рис. 'а) скачком изменяется наклон кривой деформации $\dot{\sigma} = d\sigma/dt$. В [3] было показано, что такое изменение $\dot{\sigma}$ связано с изменением скорости пластической деформации $\dot{\epsilon}_{пл}$ в моменты t_{SN} и t_{NS} . Используя результаты [3], можно записать для SN -перехода отношение скоростей пластической деформации в N и S состояниях в момент t_{SN} в виде

$$\Gamma(t_{SN}) = \frac{\dot{\epsilon}_{плN}(t_{SN})}{\dot{\epsilon}_{плS}(t_{SN})} = \frac{\dot{\sigma}_y - \dot{\sigma}_N(t_{SN})}{\dot{\sigma}_y - \dot{\sigma}_S(t_{SN})}, \quad (1)$$

где $\dot{\sigma}_N(t_{SN})$ и $\sigma_S(t_{SN})$ – наклоны кривой деформации в N и S состояниях в момент t_{SN} , $\dot{\sigma}_y$ – наклон кривой деформации при упругом деформировании системы испытательная машина – образец. Аналогичное выражение можно записать для $\Gamma(t_{NS})$. В момент t_{SN} изменение $\dot{\epsilon}_{пл}$ является следствием только SN -перехода и не связано с изменением σ и степени пластической деформации $\epsilon_{пл}$. Для скорости пластической деформации обычно пользуются выражением

$$\dot{\epsilon}_{пл} = \rho V B \quad (2)$$

(ρ – плотность подвижных дислокаций, V – их средняя скорость, B – вектор Бюргерса). Поэтому отношение $\Gamma(t_{SN})$ позволяет сравнивать потоки движущихся дислокаций ρV в S и N состояниях при одних и тех же значениях σ и $\epsilon_{пл}$, тогда как при сопоставлении результатов измерений $\Delta\sigma_{SN}$ с теоретическими моделями необходимо делать предположения о характере зависимости ρ и V от σ и $\epsilon_{пл}$ (см., например, [3, 4]).



а – Схема измерений; б – зависимость отношения скоростей пластической деформации $\dot{\epsilon}_{плN}(t_{SN})/\dot{\epsilon}_{плS}(t_{SN})$ от температуры T , нормированной на критическую температуру T_c . Сплошная линия – зависимость функции (3) от T/T_c

В настоящей работе на монокристаллах свинца отношение $\Gamma(t_{SN})$ измерялось в интервале температур от $4,2^\circ\text{K}$ до критической $T_c = 7,18^\circ\text{K}$. Образцы $Pb < 110 > 99,99\%$ размером $3 \times 3 \times 10 \text{ мм}^3$ вырезались на электроискровом станке, химически полировались для удаления наклепанного слоя, а затем деформировались сжатием ($\dot{S} = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ мм/сек}$). Температура изменялась медленным отогревом в парах гелия и измерялась угольным термометром сопротивления, который находился в контакте с образцом. Изменение температуры за время отдельных измерений $\Gamma(t_{SN})$ не превышало $0,01^\circ$. SN -переход осуществлялся магнитным полем $H > H_c$ (H_c – критическое магнитное поле). Время SN перехода составляло $< 0,5 \text{ сек}$ (контролировалось время проникновения магнитного потока в образец).

Экспериментальные значения $\Gamma(t_{SN})$, определенные с использованием (1), представлены на рис. 6. Основная ошибка в определении $\Gamma(t_{SN})$

связана с точностью определения $\dot{\sigma}_y - \dot{\sigma}_N(t_{SN})$, $\dot{\sigma}_N(t_{SN})$ – среднее значение наклона кривой деформации в N -состоянии около t_{SN} определялось графическим дифференцированием. Время усреднения < 2 сек. Изменение σ за это время (даже при малых $\Delta\sigma_{SN}) < 0,1 \Delta\sigma_{SN}$. Значения $\dot{\sigma}_N(t_{SN})$ контролировались экстраполяцией $\dot{\sigma}_N(t)$ к t_{SN} . Результаты экстраполяции в пределах погрешности измерений дают те же значения $\dot{\sigma}_N(t_{SN})$. Измерения $\Gamma(t_{SN})$ проводились при деформации образцов до 15%. Зависимости $\Gamma(t_{SN})$ в пределах погрешности измерений от $\epsilon_{пл}$ не обнаружено.

Сплошная кривая на рис. 1б соответствует функции

$$f(T) = \frac{2}{1 + \exp \frac{\Delta(T)}{kT}} \quad (3)$$

при $2\Delta(0)/kT_c = 3,52$ ($\Delta(T)$ – энергетическая щель, $\Delta(T)/\Delta(0)$ по БКШ [5]). Такая функция, как показано в [6], описывает температурную зависимость отношения электронных вязкостей в S и N состояниях B_S/B_N . Таким образом температурная зависимость $\Gamma(t_{SN})$, которая с учетом ошибки эксперимента в исследованном интервале температур совпадает с (3) при $\frac{2\Delta(0)}{kT_c} = 3,5 \pm 0,7$, совпадает и с темпера-

турной зависимостью B_S/B_N . Если в момент SN -перехода плотность подвижных дислокаций ρ не изменяется (что вполне вероятно, так как в момент t_{SN} σ и $\epsilon_{пл}$ одинаковы в S и N состояниях), с учетом (2) из такого совпадения, по-видимому, следует, что пластическая деформация Рь при гелиевых температурах определяется электронным торможением дислокаций и соответствует тем моделям их движения, в которых $V \sim (1/B_e)$, B_e – электронная вязкость (например, вязкой модели).

Тот факт, что значения $2\Delta(0)/kT_c$, которые обеспечивают совпадение (3) с температурной зависимостью $\Gamma(t_{SN})$, в пределах ошибки эксперимента не отличаются от измеряемых известными способами значений $2\Delta(0)/kT_c$ (см., например, [5]), возможно, говорит о том, что в Рь энергетическая щель заметно не меняется в упругих полях движущихся дислокаций.

B_S/B_N описывается функцией (3), если электронная вязкость в N состоянии B_N , как и в [1], не зависит от температуры и если при движении дислокаций не происходит разрушения электронных пар (т. е. скорости дислокаций не очень велики, см. [6]). Таким образом, по-видимому, можно сделать вывод, что в использованных образцах Рь B_N не зависит от температуры, и движение дислокаций при пластической деформации Рь не вызывает разрушения электронных пар.

Авторы благодарят В.Я.Кравченко и Ю.А.Осипьяна за полезные обсуждения, В.В.Полянского – за помощь в эксперименте.

Литература

- [1] В.Я.Кравченко. ФТТ, 8, 927, 1966.
 - [2] В.В.Пустовалов, В.И.Старцев, В.С.Фоменко. Phys. stat. sol. 37, 413, 1970.
 - [3] В.С.Бобров, Э.Ю.Гутманас. Phys. stat. sol (b), 54, №12, 1972.
 - [4] В.Д.Нацик. ЖЭТФ, 61, 2540, 1971.
 - [5] Дж. Бардин, Дж. Шриффер. Новое в изучении сверхпроводимости, М., Физматгиз, 1962.
 - [6] G. P. Huffman, N. Louat. Phys. Rev. Lett., 24, 1055, 1970.
-