

ВЛИЯНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СОСТОЯНИЯ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ МЕТАЛЛОВ

И.А.Гиндин, Б.Г.Лазарев, В.П.Лебедев, Я.Д.Стародубов

При механических испытаниях металлов вблизи абсолютного нуля, когда термически активированные процессы в значительной степени подавлены, существенную роль во взаимодействии с движущимися дислокациями могут играть электроны проводимости. Выяснению влияния нормальных электронов на механические свойства в последнее время посвящен ряд экспериментальных [1–5] и теоретических [6, 7] работ.

Поскольку в чистом виде экспериментально электронную компоненту торможения дислокаций выделить трудно, то наиболее подходящими объектами для этой цели являются сверхпроводящие металлы, в которых можно резко изменить плотность нормальных электронов. Было показано [1, 3–5], что в ниобии и свинце при переходе из нормального в сверхпроводящее состояние имеет место эффект разупрочнения металла, связанный с уменьшением величины рассеянной энергии движущимися дислокациями.

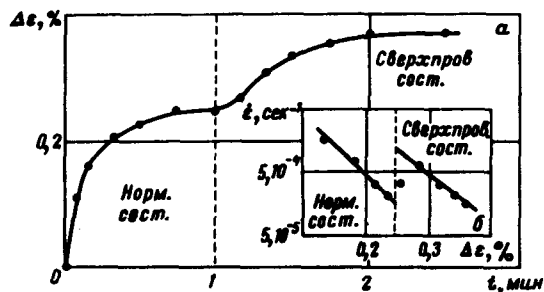


Рис. 1. Изменение деформации таллия $\Delta \epsilon$ от времени a и скорости деформации от степени деформации b на переходной стадии ползучести при переходе из нормального состояния в сверхпроводящее ($T = 1,8^\circ\text{K}$; $\sigma = 3,2 \text{ кг/мм}^2$)

Настоящая работа посвящена проверке наличия этого явления на ряде сверхпроводников в условиях ползучести при температурах $1,8 - 4,2^\circ\text{K}$.

Исследования выполнены на металлах с различным типом кристаллической решетки: In (99, 9999%), Tl (> 99, 999%), Hg (> 99, 999%) и Sn (99, 9995%). Образцы Hg представляли собой плоскопараллельные пластины с уширением на концах и с размерами рабочей части $20 \times 4 \times 3 \text{ мм}^3$. Они были получены кристаллизацией при медленном охлаждении в разборной стальной форме. Образцы других металлов имели форму пластин с размерами $40 \times 4 \times 1,5 \text{ мм}^3$. Отжиг In и Tl проводился при комнатной температуре в течение суток; оловянные образцы отжигались при 100°C в вакууме $1 \cdot 10^{-5} \text{ мм рт. ст.}$ один час. Средний размер зерен у всех металлов равнялся $1,5 - 3 \text{ мкм}$.

Испытания на ползучесть проводились в режиме ступенчатого нагружения с постепенным нарастанием нагрузки вплоть до разрушения на установке [8] с измененной конструкцией криостата со сверхпроводящим соленоидом, предназначенным для перевода металла (при $T < T_k$) из сверхпроводящего состояния в нормальное. При этом использовалось продольное магнитное поле до 3500 э.

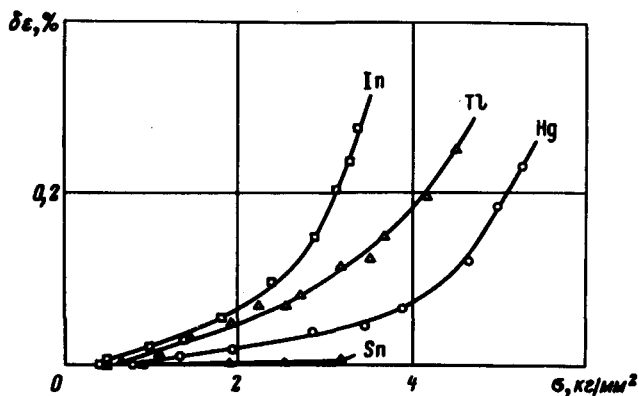


Рис. 2. Зависимость величины эффекта разупрочнения $\delta \epsilon$ от напряжения для In ($T = 2,3^\circ\text{K}$), Tl ($T = 1,8^\circ\text{K}$), Hg ($T = 3,5^\circ\text{K}$) и Sn ($T = 1,8^\circ\text{K}$)

В результате проведенных экспериментов установлено, что у всех изученных металлов (In, Tl, Hg, Sn и Pb [5]) в сверхпроводящем состоянии в процессе испытания на ползучесть наблюдается эффект разупрочнения, заключающийся в значительном увеличении скорости ползучести, возрастающей по мере понижения температуры ниже T_k .

На рис. 1, а в качестве примера показан участок кривой ползучести Tl при $1,8^\circ\text{K}$ и напряжении $\sigma = 3,2 \text{ кг/мм}^2$, соответствующий переходной стадии в нормальном и сверхпроводящем состояниях, а на рис. 1, б — изменение скорости деформации от деформации при наличии такого перехода. Видно, что при наступлении сверхпроводящего состояния (при выключенном поле) имеет место эффект разупрочнения (прирост деформации при переходе из нормального состояния в сверхпроводящее) и резкое увеличение скорости ползучести с последующим медленным ее затуханием. Обращает на себя внимание тот факт, что изменение скорости ползучести при переходе из нормального состояния в сверхпроводящее (и наоборот) происходит с некоторой задержкой во времени (инкубационный период). Подобные кривые были получены для Tl при различных приложенных напряжениях. Аналогичные зависимости были построены для всех исследованных сверхпроводников. При этом, как уже отмечалось в [5], величина эффекта разупрочнения зависит от места положения точки на кривой затухающей стадии ползучести, в которой совершается переход, а также от величины приложенной нагрузки.

Рост величины эффекта разупрочнения с увеличением действующего напряжения присущ всем исследованным металлам (рис. 2). При этом In, Tl, Hg и ранее изученный Pb [5], несмотря на различный тип кристаллической решетки, обладают значительным эффектом разупрочнения в сверхпроводящем

состоянии, что, по-видимому, связано с высокой пластичностью и большой подвижностью дислокаций у этих металлов. У Sn эффект разупрочнения мал, что, вероятно, обусловлено его хрупкостью в этой области температур.

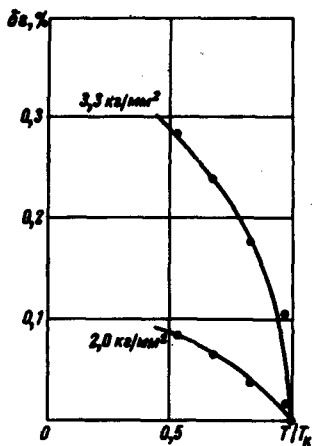


Рис. 3. Изменение величины эффекта разупрочнения индия от температуры для двух напряжений

При понижении температуры ниже T_k эффект разупрочнения круто нарастает (рис. 3). Представляется, что возможный механизм открытого явления заключается в уменьшении торможения движущихся дислокаций по мере истощения нормальных электронов проводимости. Часть электронов не участвует в процессах рассматриваемого типа из-за наличия энергетической щели.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
19 января 1970 г.
После переработки
9 февраля 1970 г.

Литература

- [1] И.А.Гиндин, Я.Д. Стародубов. ФММ, 15, 736, 1963.
- [2] W.P.Mason. Appl. Phys. Lett., 6, 111, 1965.
- [3] H.Kojima, T.Suzuki. Phys. Rev. Lett., 21, 896, 1968.
- [4] В.В.Пустовалов, В.И.Старцев, Б.С.Фоменко. ФТТ, 11, 1382, 1969.
- [5] И.А.Гиндин, Б.Г.Лазарев, Я.Д.Стародубов, В.П.Лебедев. ДАН СССР, 188, 803, 1969.
- [6] В.Я.Кравченко. ФТТ, 8, 927, 1966.
- [7] С.Р.Huffman, N.Louat. Phys. Rev., 176, 773, 1968.
- [8] И.А.Гиндин, С.Ф.Кравченко, Я.Д.Стародубов, В.М.Годжаев. ПТЭ, №3, 169, 1963.