

ВЛИЯНИЕ ПАРАМАГНИТНОЙ ПРИМЕСИ НИКЕЛЯ НА ЭФФЕКТ РАЗУПРОЧНЕНИЯ СВИНЦА ПРИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ПЕРЕХОДЕ

В.В.Абраимов, В.П.Солдатов, В.И.Старцев

Показано, что введение парамагнитной примеси никеля в свинец приводит к значительному уменьшению эффекта разупрочнения металла при сверхпроводящем переходе, что может быть связано с сильным влиянием парамагнитных атомов на спектр электронных возбуждений в сверхпроводнике.

Исследование эффекта разупрочнения и его количественных характеристик — скачка деформирующего напряжения $\delta\sigma_{ns}$ и — скачка деформации ползучести $\delta\epsilon_{ns}$, возникающих при переходе металла из нормального в сверхпроводящее состояние в процессе деформации, было проведено в чистых сверхпроводниках и в сплавах с немагнитными примесями [1 — 5].

Существующие теории эффекта разупрочнения построены в предположении изотропной модели БКШ для этого же класса сверхпроводников и сверхпроводящих сплавов [6, 7]. Как следует, например, из флуктуационной модели Нацика [6], основные выводы которой хорошо согласуются со многими экспериментальными данными, величина разупрочнения $\delta\epsilon_{ns}$ имеет вид

$$\delta\epsilon_{ns} = \frac{kT^*}{\kappa V} \ln \left[\frac{1}{2} \left(1 + e^{\Delta(T)/kT} \right) \right]; \quad T_0 < T < T_c, \quad (1)$$

где T_0 — температура, определяющая условия слабого и сильного затухания дислокационных сегментов, T^* — эффективная температура кристалла, зависящая от температуры T , κ — коэффициент упрочнения кристалла, V — активационный объем, $\Delta(T)$ — энергетическая щель сверхпроводника. Зависимость величины разупрочнения от пластических свойств металла проявляется через κ и V . Логарифмический множитель в этом выражении учитывает изменение электронного спектра при сверхпроводящем переходе, благодаря чему, эффект разупрочнения зависит от величины энергетической щели $\Delta(T)$.

Известно, что малые концентрации немагнитных примесей оказывают слабое влияние на энергетический спектр сверхпроводника [8], но могут сильно изменить его пластические свойства. Поэтому все полученные к настоящему времени экспериментальные данные на сплавах с немагнитными примесями позволили проследить за их влиянием на эффект разупрочнения в основном за счет изменения множителя $kT^*/\kappa V$ и оставляли открытым вопрос о том, как изменится эффект при введении в кристалл примеси, значительно меняющей энергетический спектр

его. В настоящей работе сделана попытка получить ответ на этот вопрос при изучении эффекта разупрочнения свинца, в который была введена парамагнитная примесь никеля. Согласно литературным данным [9,10] даже незначительная концентрация парамагнитной примеси существенным образом изменяет спектр электронных возбуждений в сверхпроводнике, что проявляется в уменьшении его энергетической щели и критической температуры. Поэтому можно было ожидать, что введение парамагнитной примеси в решетку свинца позволит обнаружить новые и неизвестные ранее особенности эффекта разупрочнения. Для выяснения этих особенностей проводилось сравнение зависимостей скачка $\delta\epsilon_{ns}$ от суммарной деформации ϵ поликристаллов чистого свинца и сплавов $Pb + 0,4 \text{ ат.}\% Sn$ и $Pb + 0,4 \text{ ат.}\% Ni$. Немагнитная (Sn) и парамагнитная (Ni) примеси находились в сплаве в одинаковом фазовом состоянии, образуя со свинцом твердый раствор. Скачок $\delta\epsilon_{ns}$ измерялся при 4,2K по методике, описанной в [11]. Полученные зависимости показаны на рис. 1. Обращает на себя внимание тот факт, что немагнитная (кривая 1) и парамагнитная (кривая 3) примеси оказывают противоположное влияние на поведение зависимости $\delta\epsilon_{ns}(\epsilon)$ по отношению к чистому свинцу (кривая 2).

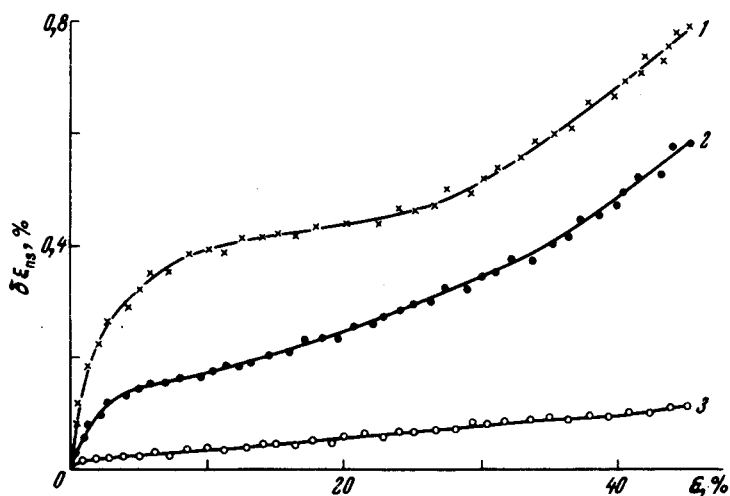


Рис. 1. Зависимость величины $\delta\epsilon_{ns}(\epsilon)$ в поликристаллах: в сплаве свинца с немагнитной примесью олова (кривая 1), чистого свинца (кривая 2), в сплаве свинца с парамагнитной примесью никеля (кривая 3)

Если величина $\delta\epsilon_{ns}$ в сплаве свинца с оловом при всех деформациях в 1,5 — 2 раза больше, чем в чистом свинце, то в сплаве с никелем она примерно в десять раз меньше чем в чистом свинце. Чтобы исключить возможную связь такой инверсии с различными пластическими свойствами исследованных сплавов, влияние которых определяется множителем $kT^*/\kappa V$, экспериментально, из независимых опытов были измерены зависимости коэффициента упрочнения κ и активационного объема от де-

формации по которым были построены кривые $kT^*/\kappa V(\epsilon)$, представленные на рис. 2.

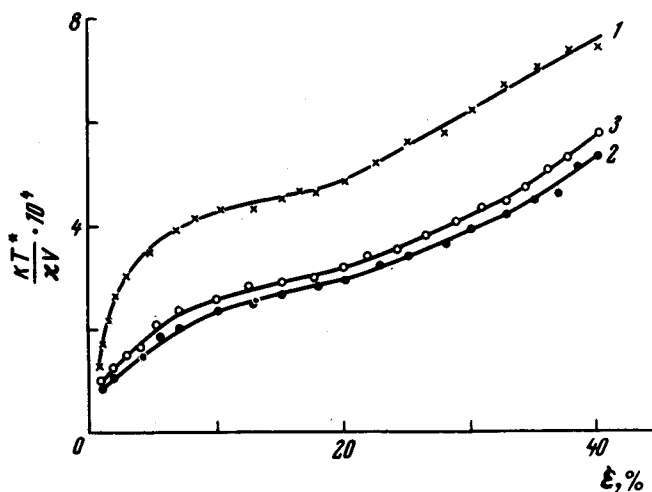


Рис. 2. Зависимость сомножителя $kT^*/\kappa V(\epsilon)$ в выражении (1) для тех же поликристаллов, что и на рис. 1.

Сравнение рис. 1 и рис. 2 однозначно показывает, что наблюдаемая инверсия эффекта разупрочнения и столь сильное его уменьшение в сплаве с никелем не связано с влиянием примеси никеля на пластичность сплава, так как согласно рис. 2 (кривые 2 и 3) это влияние приводит не к уменьшению, а к небольшому увеличению сомножителя $kT^*/\kappa V$ по сравнению с чистым свинцом. Остается поэтому заключить, что обнаруженная особенность эффекта разупрочнения в сплаве Рь + 0,4 ат. % Ni, обусловлена сильным уменьшением величины энергетической щели, благодаря существенному влиянию парамагнитных примесей никеля на энергетический спектр электронов в свинце. Обнаруженная особенность на наш взгляд является новым доказательством того, что эффект разупрочнения металлов при переходе из нормального в сверхпроводящее состояние связан с перестройкой электронного энергетического спектра сверхпроводника.

Авторы выражают искреннюю благодарность В.Д.Нацику за полезные дискуссии.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
9 мая 1975 г.

Литература

- [1] В.В.Пустовалов, В.И.Старцев, В.С. Фоменко. ФТТ, 11, 1382, 1969.
[2] G.Kostorz. Scr. Metall, 4, 95, 1970.

- [3] В.П.Солдатов, В.И.Старцев, Т.И.Вайнблат. *J. of Low Temp Phys.*, II, 321, 1973.
- [4] G.Kostorz. *J. of Low Temp. Phys.* 10, 167, 1973.
- [5] В.Г.Барьяхтар, И.А.Гиндин, И.С.Губин, Б.И.Друинский, В.П.Лебедев, Я.Д.Стародубов, И.И.Фалько. *ФТТ*, 15, 2947, 1973.
- [6] В.Д.Нацик. *ЖЭТФ*, 61, 2540, 1971; *ФНТ*, 1, 465, 1975.
- [7] М.И.Каганов, В.Я.Кравченко, В.Д. Нацик. *УФН*, 111, 655, 1973.
- [8] П.Д.Жен. *Сверхпроводимость металлов и сплавов*, М., изд. Мир, 1968.
- [9] А.А.Абрикосов, Л.П.Горьков. *ЖЭТФ*, 39, 1781, 1960.
- [10] E.Wassermann. *Zs. Phys.*, 187, 369, 1965.
- [11] В.П.Солдатов, В.И.Старцев, Т.И.Вайнблат. *Phys. Stat. Sol(a)* 22, 109, 1974.
-