

- [2] G a s c h A., B e r n i n g T., T ä g e r D.  
// Phys. Rev. 1986. V. A34. P. 4528-4531.
- [3] B a s s F.G., K i v s h a r Y u.S., K o n o t o p V.V., S i n i t s y n Y u.A. // Phys. Reports. 1988. V. 157. P. 63-181.
- [4] W a d a t i M. // J. Phys. Soc. Jap. 1983. V. 52. P. 2642-2648.
- [5] М а й м и с т р о в А.И., М а н ы к и н Э.А. // Изв. вузов. Физика. 1987. № 4. С. 91-97.
- [6] Л о г и н о в В.М., Ш а п и р о В.Е. // ЖТФ. 1981. Т. 51. С. 40-45.

Поступило в Редакцию  
26 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 6 26 марта 1990 г.

05.4

© 1990

О НЕПЕРКОЛЯЦИОННОМ ПОВЕДЕНИИ  
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТОВ  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Ag_x$

А.Б. М о с о л о в

В связи с надеждами получить высокотемпературный сверхпроводник с достаточно хорошими как электрическими, так и механическими характеристиками, в последнее время заметное внимание стали привлекать сверхпроводящие металлокерамические композиты. Наилучшие результаты в этом направлении (заметное повышение  $j_c$  и увеличение прочности) достигнуты в композитах на основе керамики  $YBa_2Cu_3O_7$  и  $Au$  или  $Ag$  [1-4]. Установлено, что  $Au$  и  $Ag$  в процессе синтеза достаточно слабо влияют на кристаллическую решетку этой системы и, занимая в композитах преимущественно межгранулярные места, заметно улучшают межзеренные контакты, что приводит, например, к резкому падению удельного сопротивления образцов  $\rho(300\text{ K})$  уже при весьма малых концентрациях  $Ag$ . Практически до порога перколяции сверхпроводящей фазы критическая температура композита  $T_c$  снижается незначительно и, следовательно, композитные материалы остаются высокотемпературными сверхпроводниками даже при весьма большом содержании металла  $\sim 50-60\%$ .

В настоящей работе изучаются механические свойства ВТСП композитов  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Ag_x$ .

Для синтеза композитов состава  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Ag_x$  использовались порошки  $Ag$  и  $YBa_2Cu_3O_7$  (последний был получен по

обычной керамической технологии) с размерами частиц  $\sim 1$  мкм. Исходные компоненты композита смешивались в нужных пропорциях и гомогенизировались при осторожном растирании в яшмовой ступке под слоем ацетона. После удаления ацетона из полученной шихты были спрессованы таблетки диаметром 10 и высотой 1–2 мм. Спекание образцов осуществлялось при температуре 930 °С (несколько пониженной по сравнению с обычными температурами синтеза для того, чтобы избежать плавления серебра) в потоке кислорода в течение 2 часов с последующим медленным охлаждением в кислородной атмосфере в течение 16 часов. Таким образом, были приготовлены образцы с объемной долей  $Ag$  от 0 до 50% и  $T_c$  выше 77 К.

Одним из простейших типов испытаний, позволяющих оценить механические характеристики хрупких материалов (к которым относятся высокотемпературные сверхпроводники) является испытание на микротвердость.

Микротвердость композитных сверхпроводников определялась с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузках  $P=0,2, 0,5, 1$  н. Типичные результаты измерений приведены на рис. 1.

После измерения микротвердости из таблеток были вырезаны образцы для измерения удельного сопротивления в виде параллелепипедов размером  $1 \times 1 \times 6$  мм. Результаты измерения удельного сопротивления композита  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Ag_x$  приведены на рис. 1.

Для сравнения на рис. 2 показаны зависимости микротвердости и удельного сопротивления высокотемпературного сверхпроводящего композита  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Au_x$  [3–4]. В этом случае наблюдается типично перколяционные зависимости как удельного сопро-

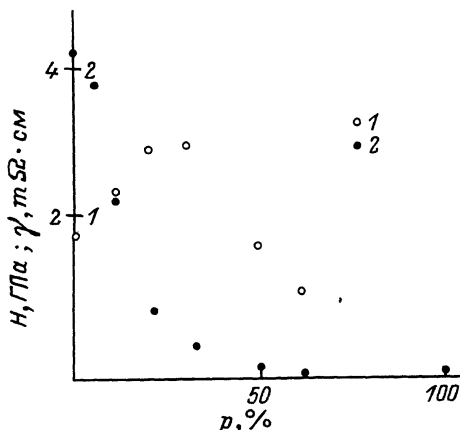


Рис. 1. Зависимость микротвердости  $H$  (1) и удельного сопротивления  $\gamma$  (2) композитов  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Ag_x$  от процентного содержания серебра  $p$ .

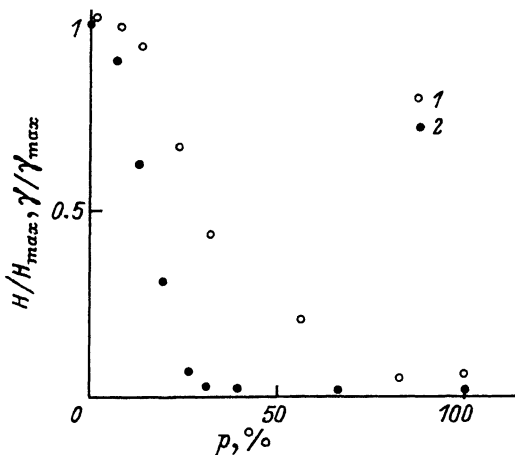


Рис. 2. Зависимость микротвердости  $H$  (1) и удельного сопротивления  $\gamma$  (2) композитов  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Au_x$  от процентного содержания золота  $\rho$  [3-4].

тивления, так и микротвердости от процентного содержания  $Au$  с точкой перегиба в окрестности порога перколяции  $\rho_c$ .

В серебросодержащих ВТСП композитах поведение удельного сопротивления также вполне согласуется с перколяционной моделью, однако немонотонное поведение микротвердости свидетельствует о неприменимости перколяционной модели для описания механических свойств.

Различие в поведении механических свойств композитов на основе  $Ag$  и  $Au$  связано с различным влиянием этих металлов на спекаемость керамики  $YBa_2Cu_3O_7$ . Перколяционный характер электрических и механических свойств композита  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Au_x$  свидетельствует о сравнительно слабом влиянии  $Au$  на спекаемость керамики, в композите  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Ag_x$ , наоборот, можно говорить о заметном влиянии  $Ag$  на спекаемость фазы  $YBa_2Cu_3O_7$ . Мерой влияния  $Ag$  на спекаемость фазы  $YBa_2Cu_3O_7$  может служить величина  $\Delta\rho = \rho(\rho) - \rho_0(\rho)$ , где  $\rho(\rho)$  - реальная плотность образца,  $\rho_0(\rho)$  - плотность композита, вычисленная по правилу смесей:  $\rho_0(\rho) = \rho(0)(1-\rho) + \rho_{Ag}\rho$  [5]. Зависимость  $\Delta\rho$  от  $\rho$  приведена на рис. 3. Плотность фазы  $YBa_2Cu_3O_7$  максимальна при  $\rho \sim 20\%$ , что и находит свое отражение в зависимости  $H$  от  $\rho$ . Поскольку отношение удельных сопротивлений  $\gamma_{Ag}/\gamma_{YBaCuO} \ll 1$ , то изменение относительной плотности фазы  $YBa_2Cu_3O_7$  не влияет на перколяционный характер зависимости удельного сопротивления композита.

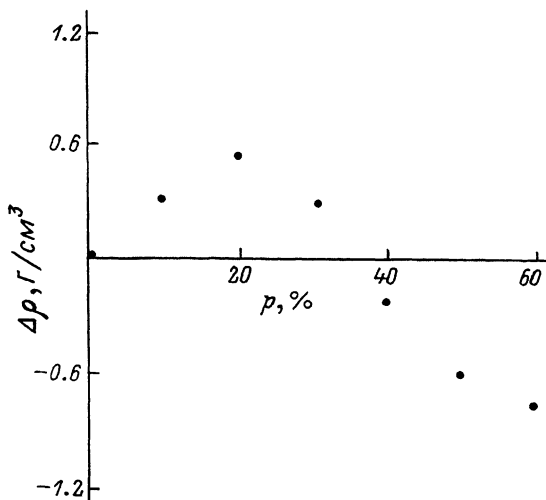


Рис. 3. Зависимость меры влияния  $Ag$  на спекаемость  $YBa_2Cu_3O_7$  от состава композитов.

Автор благодарит Р.В. Гольдштейна, М.В. Елашкина и В.П. Шабатина за обсуждение затронутых в работе вопросов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] P a v u n a D., B e r g e r H., T h o - l e n c e J.L. et al. // Physical C. 1988. V. C153-155. P. 1339-1340.
- [2] S h a r m a R.G., R e d d y Y.S., J h a S.R. et al. // Pramana- J. Phys. 1988. V. 30. N 1. P. L75-L80.
- [3] G a n g X i a o, S t e i t z F.H., C i e p - l a k M.Z. et al. // Phys. Rev. B. 1988. V. 38B. N 1. P. 776-779.
- [4] S t r e i t s F.Z., C i e p l a k M.Z., G a n g X i a o et al. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 11. P. 927-929.
- [5] Г о л ь д ш т е й н Р.В., Е л а ш к и н М.В., К л и - м о в Д.М., М о с о л о в А.Б., Ш а б а т и н В.П. Механические свойства сверхпроводящих композитов  $(YBa_2Cu_3O_7)_{1-x}Ag_x$ . Препринт ИПМ АН СССР. М., 1989.

Поступило в Редакцию  
28 декабря 1989 г.