

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОДЕФОРМАЦИИ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

И. И. Папиров, В. И. Иванцов, П. И. Стоев, В. Л. Соболев

Исследования микродеформации керамических материалов и, в частности, особенностей развития деформации в пористых оксидных ВТСП начались совсем недавно. Данные о механических свойствах и механизмах микродеформации оксидных ВТСП необходимы для изучения влияния нагрузки на T_c . Это обусловлено тем, что нагружение ВТСП материалов может приводить к необратимым изменениям, связанным либо с пластической деформацией, либо с образованием трещин.

В работах [1, 2] обнаружено, что керамики на основе SiO_2 и Si_3N_4 могут деформироваться неупруго. Ползучесть керамики $Y-Ba-Cu-O$ в сверхпроводящем и нормальном состояниях исследована в работе [3]. На основе полученных результатов

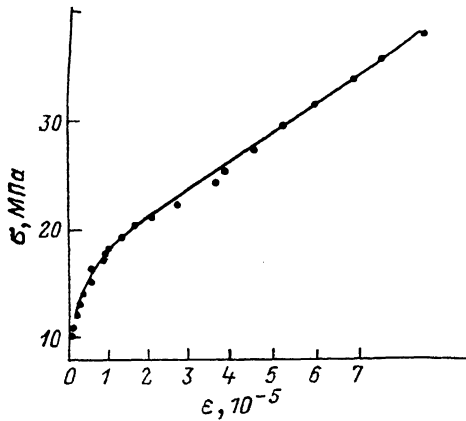


Рис. 1.

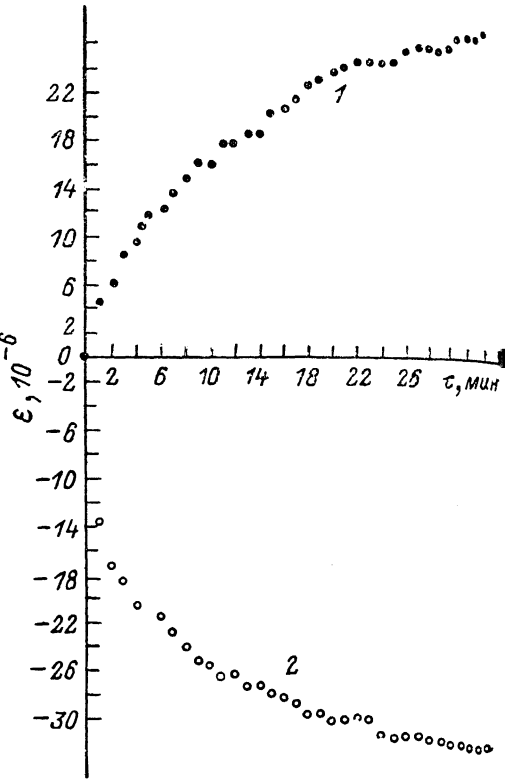


Рис. 2.

авторами предложена модель развития деформации в керамике, основанная на движении границ двойников в силовом поле.

Более детальный анализ процесса деформирования в области микродеформаций проведен в [4]. Показано, что при циклическом нагружении кривая $\sigma-\epsilon$ меняется от ферроупругого к сверхупругому типу. Возврат к ферроупругому типу петли наблюдается после отжига при $520^\circ C$. Авторы также объясняют наблюдаемые при комнатной температуре ферроупругие петли движением двойниковых границ. Изменение характера деформационной петли с температурой связывается с подвижностью границ раздела фаз с различным параметром решетки, сосуществующих в $Y-Ba-Cu-O$ при данной температуре.

В настоящей работе исследованы микродеформация и акустическая эмиссия (АЭ) при комнатной температуре образцов сверхпроводящей пористой керамики $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, полученных методом горячего прессования порошков по обычной металлокерамической технологии. Испытания проводили на универсальной испытательной машине 1958-10-1 методом механостатического гистерезиса с использованием тензорезисторов для регистрации микродеформаций. Размеры образца для испытаний на сжа-

тие составляли $6 \times 8 \times 12$ мм. Тензорезисторы марки 2ПКБ-5-100 наклеивали на противоположные грани двух образцов и соединяли по мостовой схеме. Измерения проводили по описанной ранее методике нагрузка—разгрузка со снятием гистерезисных петель [3]. Погрешность определения деформации составляла $\pm 4.5 \cdot 10^{-7}$ отн. ед.

На рис. 1 представлена кривая микродеформации пористой керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при комнатной температуре. Видно, что развитие микродеформации на начальной стадии ($\epsilon < 1 \cdot 10^{-5}$) происходит по параболическому закону. При дальнейшем росте деформации до $\sim (1.5-2) \cdot 10^{-5}$ наблюдается переход к линейной зависимости σ от ϵ , которая продолжается вплоть до разрушения образца.

Коэффициент деформационного упрочнения $\Theta = \partial\sigma/\partial\epsilon$ в области деформаций $(1-5) \cdot 10^{-5}$ составляет ~ 250 ГПа. Эта величина хорошо согласуется с известным соотношением между E и $\partial\sigma/\partial\epsilon$ для поликристаллических материалов $(1/E)(\partial\sigma/\partial\epsilon) = 200-400$ [6]. Величина модуля Юнга, по оценкам, составляла ~ 24 ГПа, что с учетом значительной пористости материала ($\sim 10\%$) находится в согласии с данными [7].

Исследование АЭ в процессе нагружения образцов при комнатной температуре не выявило сигналов АЭ вплоть до момента разрушения при $\sigma = 40-50$ МПа. Мощные импульсы АЭ появились лишь вместе с образованием первых макротрещин.

На рис. 2 представлены кривые релаксации 1 ($\sigma_{исх} = 41.5$ МПа) и отдыха 2 ($\sigma = 0$) в координатах $\epsilon - \tau$. В процессе релаксации при незначительном снижении величины σ (от 41.5 до 40.5 МПа) происходит дальнейшее микропластическое сжатие образца (кривая 1). При отдыхе после снятия нагрузки происходит частичный возврат размеров образца по сравнению с исходным состоянием. Деформация при отдыхе даже превосходит деформацию при релаксации за счет возврата части упругой деформации образца, возникшей в процессе его нагружения.

Следовательно, наряду с эффектами сверхупругости в керамике развиваются необратимые процессы. Последние могут быть связаны со сколами по границам зерен и образованием микросдвигов по границам. Наши исследования показывают, что такие процессы развиваются в оксидных ВТСП при напряжениях значительно ниже предела их прочности. Что касается обратимой деформации, то гипотеза движения границ двойников, на наш взгляд, не является единственной; возможно, она связана также с особенностями псевдоупругого поведения ансамбля пор при нагружении.

Для более детального выяснения механизмов деформации пористой керамики необходимо проведение дополнительных экспериментов с материалами различной пористости и с различным размером зерна.

Список литературы

- [1] Златин Н. А., Песчанская Н. Н., Якушев Н. Н. // ЖТФ. 1987. Т. 57. № 12. С. 2346—2351.
- [2] Златин Н. А., Песчанская Н. Н., Шпейзман В. В. // ЖТФ. 1987. Т. 57. № 7. С. 1438—1441.
- [3] Песчанская Н. Н., Смирнов Б. И., Шпейзман В. В., Якушев П. Н. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 11. С. 3503—3505.
- [4] Shen H., Wang J., Zhang Z., Zhang S., Sun Z. // J. Phys. C. Sol. St. Phys. 1987. V. 20. N 32. P. L889—L892.
- [5] Браун Н. // Микропластичность. М., 1972. С. 37—61.
- [6] Дударев Е. Ф. Микропластическая деформация и предел текучести поликристаллов. Томск, 1988. 256 с.
- [7] Ochiai S., Osamura K., Takayama T. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. N 6. P. L1104—L1103.

Физико-технический институт АН УССР
Харьков

Поступило в Редакцию
27 июля 1989 г.
В окончательной редакции
10 ноября 1990 г.