

Зоны деформации вокруг гелиевых пор в окиси бериллия

Худяков А. В.

УДК 621.039.553:621.039.542.34

В настоящей работе исследовали облученные при $\sim 100^\circ\text{C}$ интегральным потоком нейтронов 5×10^{20} нейтр/см² ($E \geq 1\text{Мэв}$) образцы окиси бериллия, подвергнутые послереакторному отжигу при температурах 1000—1500°С [1]. Со свежих сколов образцов снимали одно- или двухступенчатые реплики, которые просматривали в электронном микроскопе УЭМВ-100. Отжиг при температурах 1300°С и выше вызывал появление и развитие пор. Ранее для аналогичного материала было показано [2, 3], что поры наполнены гелием [4]. В окиси бериллия наряду с гелиевыми порами наблюдались имеющие контраст выступов дефекты ромбоидальной формы размерами до 1 мкм. Природу этих дефектов авторы объяснить не смогли. Подобного рода дефекты часто обнаруживались на изучавшихся сколах с облученных и отожженных образцов. Большое количество просмотренных образцов (около 150 температурно-временных точек) позволило классифицировать наблюдавшиеся разнообразие формы этих дефектов и сделать определенные выводы об их природе.

На рис. 1, а (двухступенчатая реплика, направление подтенеия снизу вверх) видны дефекты, имеющие на сколе контраст выступов (А — указано стрелкой),

и поры на фоне выступов треугольной формы (Б). Выступы А и Б имеют одинаковую ориентировку. На рис. 1, б (одноступенчатая реплика, направление подтенеия слева направо) скол как бы «раскрывает» структуру сферических дефектов, внутри которых видны поры. На рис. 2 показан рельеф поверхности скола в районе дефектов Б (см. рис. 1, а) и дефектов в верхнем правом углу (см. рис. 1, б).

Таким образом, дефекты, имеющие контраст выступов, — не что иное, как искажение скола вокруг газонаполненных пор.

Наблюдения показывают, что полное отступление от кристаллографической огранки (сферичность) наблюдается у тех пор, которые окружены большими по размерам зонами искажения скола (рис. 1, б, указано стрелками). Зоны искажения скола вокруг пор не появляются после длительных по времени отжигов при 1300°С (рис. 1, в одноступенчатая реплика, подтенеие сверху вниз) и исчезают при температурах 1400°С после 100 мин и при 1500°С после 15 мин отжига.

При 1400—1500°С в начале отжига поры образуются и растут в условиях интенсивного распада пересыщен-

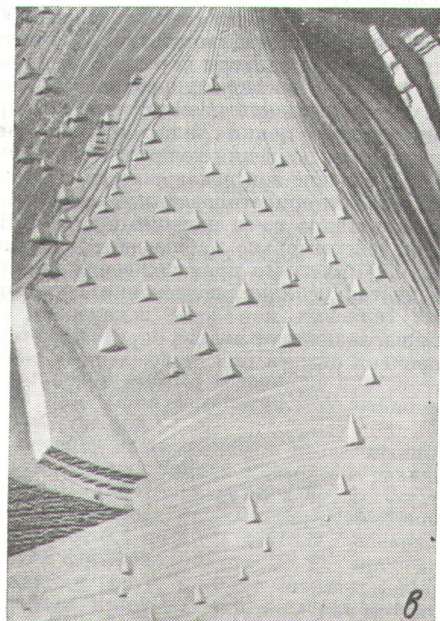
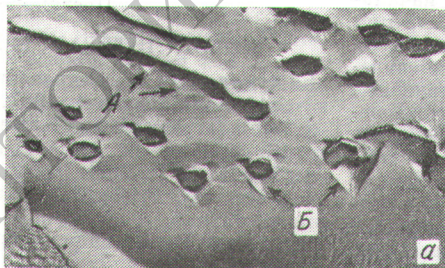
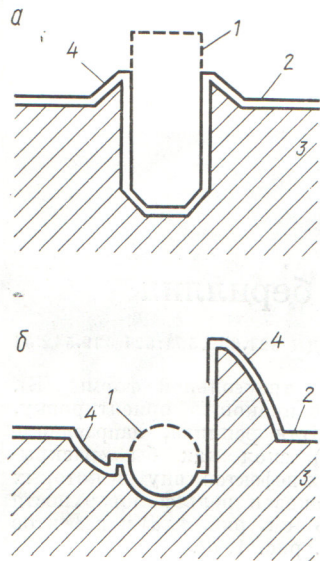


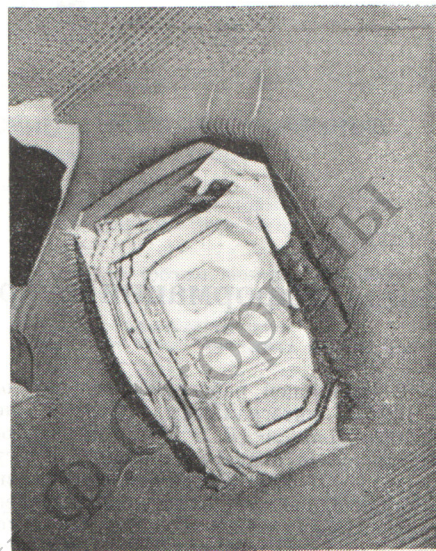
Рис. 1. Скол образца окиси бериллия, облученного интегральным потоком нейтронов $5 \cdot 10^{20}$ нейтр/см² ($\times 10\ 000$):

а — отжиг 4 мин при 1500°С;
б — отжиг 30 мин при 1400°С;
в — отжиг 10 ч при 1300°С.



Р и с. 2. Расположение зон деформации вокруг пор:

а и б — схемы дефектов на рис. 1, а и 1, б соответственно; 1 — контуры поры; 2 — реплика; 3 — окись бериллия; 4 — искажение скола вблизи поры.



Р и с. 3. Скол образца окиси бериллия ($\times 10\,000$).

ного раствора гелия в матрице. Гмелин [3] показал, что давление гелия в порах в BeO достигает при 1400°C 26000 атм. По данным работы [5], предел упругости компактных образцов BeO с плотностью, близкой к теоретической, равен 1000 кг/см^3 при 1400°C . Таким образом, можно полагать, что в начальный период времени при 1400 и 1500°C давление гелия в порах значительно превышает предел упругости материала и вокруг пор образуются зоны пластической деформации с повышенной плотностью дислокаций. Теоретическое описание такой ситуации приведено в работе [6]. Эти зоны имеют механические свойства, отличные от свойств других областей кристалла, что искажает скол. Ранее было установлено [4], что скорость роста гелиевых пор при температурах $1400\text{--}1500^\circ\text{C}$ весьма высока в начальные периоды времени отжига. После 100 и 15 мин при 1400 и 1500°C соответственно скорость роста замедляется, затем размеры пор стабилизируются, что свидетельствует о достижении равновесия между давлением газа и поверхностным натяжением в порах. Исчезновение зон деформации скола вокруг пор можно объяснить снижением давления гелия в порах.

Появление зон искажения скола вокруг пор можно было бы интерпретировать как «ослабление» этого участка кристалла из-за наличия пустоты. И такие искажения действительно наблюдаются вблизи крупных пор технологического происхождения (см. рис. 3, одноступенчатая реплика, подтенеие двустороннее). Вокруг же гелиевых пор зоны искажения, как говорилось выше, возникают лишь в определенном узком интервале времени отжига при определенных температурах.

В окиси бериллия при отжиге в различных участках кристалла возникает различное давление в порах [2, 3]. Поэтому в одних случаях поры и зоны деформации вокруг них сохраняют кристаллографическую огранку (см. рис. 1, а): при очень высоком давлении газа поры становятся сферическими (см. рис. 1, б), размеры зон деформации вокруг таких пор увеличены и зоны приобретают сферическую форму.

Таким образом, электронно-микроскопические наблюдения с большой долей вероятности показывают, что наблюдаемые необычные дефекты являются зонами пластической деформации вокруг пор с высоким давлением гелия.

Поступило в Редакцию 11/IV 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худяков А. В., Островский З. Е., Клименков В. И. «Атомная энергия», 1967, т. 23, вып. 3, с. 226.
2. Weil L., Aslanian J. Kältetechnik, 1962, Bd. 14, N 12, S. 397.
3. Gmelin E. J. Nucl. Mater., 1971, v. 38, p. 150.
4. Bisson A., Frisby H. J. Nucl. Mater., 1961, v. 4, N 2, p. 133.
5. Беляев Р. А. Окись бериллия. М., Госатомиздат, 1962.
6. Nelson R., Mazey D. and Barnes R. Philos. Mag., 1965, v. 11, N 109, p. 47.
7. Худяков А. В. «Атомная энергия», 1971. т. 30, вып. 1, с. 54.