

УДК 621.039.54

Поведение окиси европия при облучении в быстром реакторе

ГУСЕВА Т. М., ЗОЛУТХИН В. Р., НЕВОРОТИН В. К., КУЗНЕЦОВ С. А., ЧЕШАНОВ В. В.

Окись европия относится к числу перспективных перспективных материалов для стержней управления быстрых реакторов, поскольку имеет ценные свойства.

1. Большое сечение захвата быстрых нейтронов. Эффективность единицы объема окиси европия лишь в 3—4 раза уступает карбиду бора с 80%-ным обогащением по ^{10}B и равноценна карбиду бора с естественным содержанием ^{10}B и ^{11}B [1].

2. Высокая химическая стабильность.

3. Отсутствие выделения газов при облучении, что наблюдается для соединений бора.

4. Сохранение эффективности в течение длительного облучения вследствие образования изотопов с большим сечением захвата нейтронов.

Широкое применение окиси европия для регулирования быстрых реакторов тормозится недостатком сведений о ее радиационном поведении. Известны лишь отдельные данные по облучению европия в тепловых реакторах флюенсом $1,9 \cdot 10^{21}$; 10^{22} нейтр./см² при 150 [2] и 350—600 °С [3].

В связи с этим были проведены исследования окиси европия после облучения в быстром реакторе БОР-60.

Исходная окись европия плотностью 7,0—7,2 г/см³ имела в основном моноклинную структуру, причем в ряде образцов присутствовала также фаза с кубической структурой. Образцы в виде таблеток диаметром 10,95 мм и высотой 10 мм помещались в герметичные оболочки диаметром $12 \times 0,4$ мм из нержавеющей стали X16H15M3Б.

Образцы № 1, 2, 3 были облучены флюенсом $4,7 \cdot 10^{22}$; $2,7 \cdot 10^{22}$ и $0,85 \cdot 10^{22}$ нейтр./см² соответственно. Выгорание ^{151}Eu и ^{153}Eu 3,8%.

Энерговыделение за счет поглощения γ -квантов активной зоны и продуктов реакции поглощения нейтронов для образцов № 1, 2, 3 было равно 85, 54 и 31 Вт/см³ соответственно. Расчетная температура поверхности образцов 630 °С. Разница температур в центре и на поверхности образцов № 1, 2 и 3 достигала 240, 135 и 75 °С соответственно.

После облучения в реакторе образцы исследовали дистанционно в «горячих» камерах. Они сохранили геометрическую целостность, внешние дефекты отсутствовали.

Диаметры образцов № 1, 2, 3 увеличились на 1,2; 0,5; 0,2% соответственно.

Металлографическим анализом обнаружены радиальные трещины в образцах № 1 и 2, образовавшиеся в результате значительной разницы температур (рис. 1, б). Микроструктура окиси европия по сравнению с исходной не претерпела существенных изменений и характеризуется наличием значительной пористости (рис. 1, а, в).

Рентгеноструктурные исследования образцов, облученных флюенсом $4,7 \cdot 10^{22}$ и $0,85 \cdot 10^{22}$ нейтр./см², показали, что параметр элементарной ячейки кубической и моноклинной окиси европия не изменился. При облучении уменьшается интенсивность рентгеновских рефлексов и увеличивается диффузный фон.

Прочность образцов на сжатие в результате облучения увеличилась от 25 до 30 кг/мм².

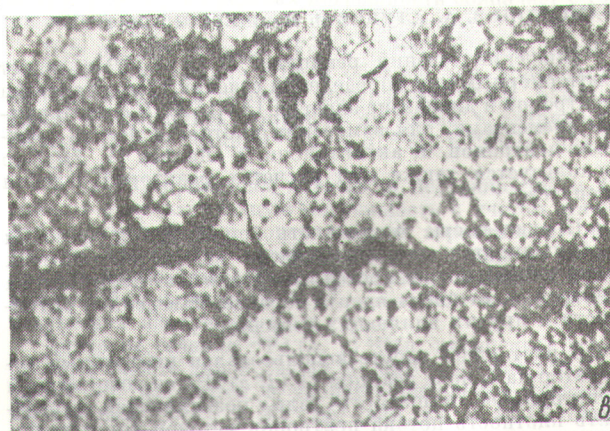
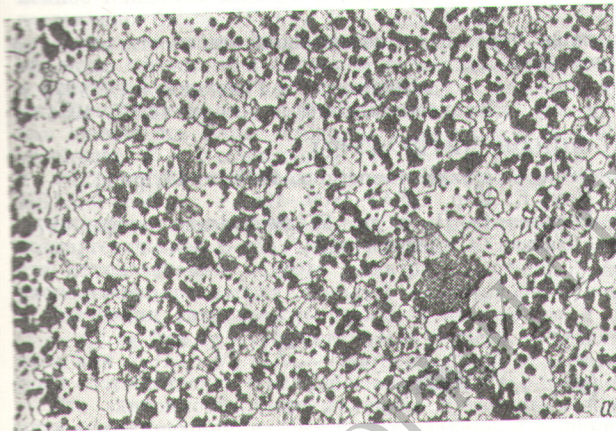
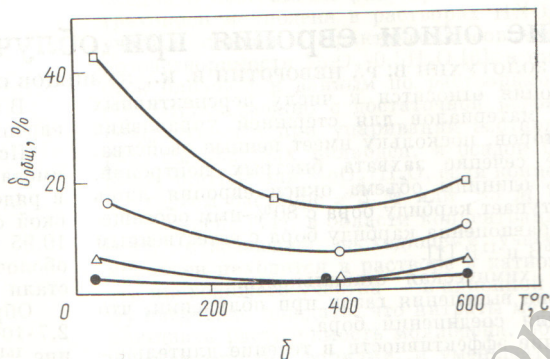
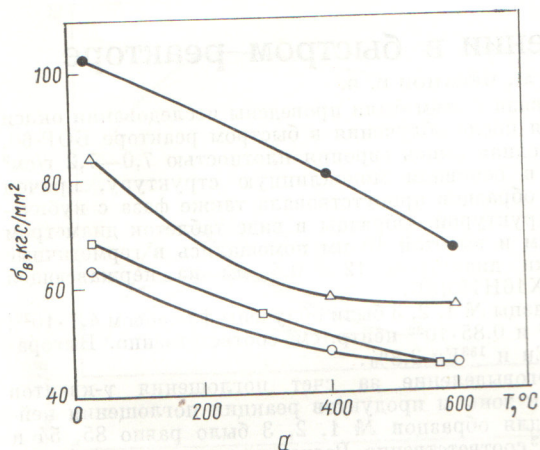


Рис. 1. Структура образца № 1 окиси европия: а — до облучения ($\times 200$); б, в — после облучения ($\times 5$; $\times 200$)



Р и с. 2. Зависимость предела прочности при растяжении (а) и относительного удлинения (б) стали X16H15M3B от температуры испытания:

□ — необлученный образец; ○, △, ● — облученный при 530; 450; 370 °С; $\sigma_{\text{нейтр.}} = 0,85 \cdot 10^{22}$; $27 \cdot 10^{22}$; $4,7 \cdot 10^{22}$ нейтр./см² соответственно

Для изучения совместимости окиси европия с нержавеющей сталью проведен металлографический анализ материала оболочки. Расчетные температуры оболочек во время облучения образцов № 1, 2, 3 составляли 370, 450 и 530 °С соответственно.

В структуре оболочки после облучения не произошло существенных изменений. Видимого взаимодействия стали с окисью европия не обнаружено. Механические свойства материала оболочки ампул изменялись в допустимых пределах, причем тем сильнее, чем ближе распо-

лагался образец от центральной плоскости активной зоны (рис. 2).

Поступило в Редакцию 5/IV 1976 г.
В окончательной редакции 14/IX 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orlov V. e.a. «Kernenergie», 1969, v. 12, p. 112.
2. Hoyt E. Rep. GEAP-3909, 1962.
3. Гольцев В. П. и др. IV Женевская конф., 1971. Докл. СССР № 49/P/704.

УДК 539.172.4

Определение сечения реакции $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ при энергии нейтронов 14,8 МэВ

РАМЕНДИК З. А., СТУКОВ Г. М., ШЕБОЛЕВ В. Т.

Значение сечений реакции $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ может быть опорным при определении сечений взаимодействия нейтронов в диапазоне энергии 14—15 МэВ с различными элементами, для измерения плотности потока быстрых нейтронов, в активационном анализе [1, 2]. Оно используется также при расчетах реакторов деления и синтеза.

Правильность и точность определения сечения в большинстве случаев зависит от систематических и случайных погрешностей измерения плотности потока нейтронов, от числа ядер в образце, наведенной активности и других влияющих величин.

В настоящей работе использовался нейтронный генератор на основе реакции $^3\text{T}(d, n)^4\text{He}$ со специальной конструкцией мишенного узла, позволяющей определить плотность потока нейтронов методом сопутствующих частиц, методом $n - \alpha$ -совпадений, а также методом, основанном на знании сечения рассеяния нейтронов в водороде с суммарной погрешностью ~1% [3].

Образцы (фольги) изготовлены из химически чистого железа, изотопный состав которого близок к природному. Толщина образцов составляет ~80 мг/см². Фольги при облучении располагались под углом ~8° к направлению дейтронного пучка на расстоянии 30—70 мм от мишени генератора. Погрешность определения угла и расстояния ~0,1%. Масса, геометрические размеры и плотность образцов были известны с погрешностью ≤ 0,02%.

Время облучения в каждой серии измерений составляло 8—10 ч с периодическим контролем выхода реакции $^3\text{T}(d, n)^4\text{He}$ по относительным значениям числа зарегистрированных в промежутках времени $\Delta t = 1000$ с сопутствующих α -частиц. Поправка в результирующую активность образца, обусловленная нестабильностью нейтронного потока за общее время облучения, вводилась при условии, что для максимального изменения плотности потока внутри интервала Δt на ~1% арифметический способ усреднения отличается от логарифмического примерно на 0,07%.