

приемо-передающего канала и углом коллимации излучателя. Варьируя эти параметры для каждого типа отражателей, можно получить на входе детектора максимальное значение сигнала при минимальных весогабаритных и энергетических характеристиках аппаратуры.

В заключение автор выражает признательность Н. Ф. Андриюшину и В. Н. Барковскому за критические замечания, высказанные при просмотре рукописи.

Поступило в Редакцию 12/V 1975 г.

УДК 621.039.546:541.183.5:546.291

Выделение гелия из полученных образцов стали 0X16H15M3B в процессе равномерного нагрева

АГАПОВА Н. П., АФРИКАНОВ И. Н., ДАШКОВСКИЙ А. И., ЗАЛУЖНЫЙ А. Г., ОНУФРИЕВ В. Д., СКОРОВ Д. М., СОКУРСКИЙ Ю. Н., СТОРОЖУК О. М.

Известно, что под действием нейтронного облучения за счет (n, α) - и (n, p) -ядерных реакций в конструкционных материалах образуются гелий и водород, которые, накапливаясь в материале, могут вызывать нежелательные изменения механических и физических свойств материала. Поэтому большое значение приобретает работа по изучению накопления и поведения газообразных продуктов ядерных реакций в материалах и, в частности, процесса их выделения из материалов.

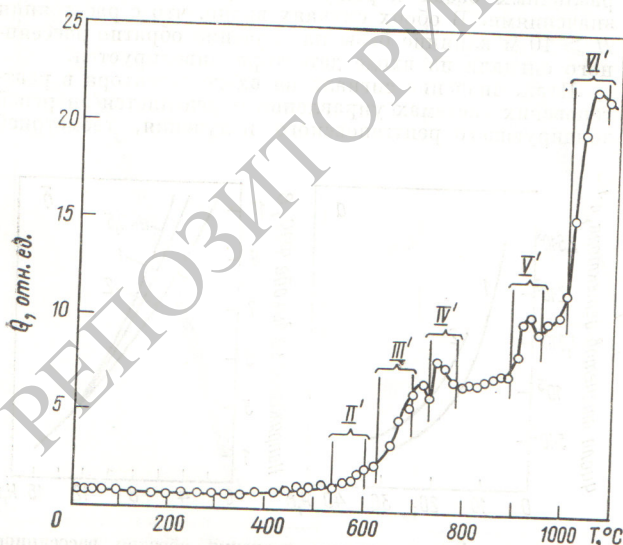
В работе [1] описана методика и приведены результаты изучения кинетики выделения гелия из образцов никеля и стали 0X16H15M3B (в исходном состоянии — фольги толщиной ~ 100 мкм с рекристаллизованным зерном размером 30—50 мкм), в которые гелий вводился бомбардировкой α -частицами на циклотроне. Было показано, что выделение гелия из данных образцов в процессе их равномерного нагрева со скоростью

7 °C/мин характеризуется шестью пиками скорости газовыделения.

В настоящей работе исследовано выделение гелия из аналогичных по исходному состоянию образцов стали 0X16H15M3B, облученных в реакторе при температуре, не превышавшей 500 °C, флюенсом нейтронов $4,0 \cdot 10^{22}$ нейтр./см² ($E > 0,1$ МэВ). Определялась кинетика газовыделения в процессе равномерного нагрева со скоростью 7 °C/мин по методике, описанной в работе [1]. Типичная кривая выделения гелия в процессе равномерного нагрева со скоростью 7 °C/мин, полученная при постоянной скорости откочки этого газа, показана на рисунке (II'—VI'). На кинетической кривой при температуре выше 500 °C можно обнаружить пять высокотемпературных пиков скорости выделения гелия. Сравнивая приведенные кривые с кривыми, полученными для циклотронных образцов, можно установить тождественность этих кривых в области температур выше 500 °C (пики скорости газовыделения обозначены в соответствии с работой [1]).

При температуре выше 500 °C выделение гелия из образцов стали, в которых гелий образовался за счет (n, α) -реакций при облучении быстрыми нейтронами в реакторе, имеет те же стадии, что и выделение гелия из образцов, в которые атомы газа были введены путем облучения на циклотроне. Следовательно, выделение гелия из стали при температурах 600—700 °C соответствует диффузии атомов газа по вакансионному механизму, а выделение при 900 °C и более высоких температурах — миграции пузырьков газа к поверхности образца [1].

Исследование облученных образцов стали методом трансмиссионной электронной микроскопии показало наличие пор с заметной гранкой. Размер пор лежит в пределах 50—250 Å и в среднем равен 150 Å; концентрация пор составляет $\sim 2 \cdot 10^{15}$ см⁻³. Расчет показывает, что для создания в порах равновесного давления гелия необходимо в 35 раз большее содержание гелия, чем обнаружено экспериментально при помощи установки и согласно методике, описанной в работе [2]. Это означает, что поры имеют вакансионный характер, т. е. не заполнены атомами гелия. Вакансионные поры, естественно, являются стоками для атомов гелия, находящихся в решетке материала, но, видимо, они не



Кинетика выделения гелия из облученного образца стали 0X16H15M3B ($4,0 \cdot 10^{22}$ нейтр./см²) в процессе равномерного нагрева со скоростью 7 °C/мин

поглощают все атомы гелия, диффундирующие по вакансионному механизму, и часть их выходит на поверхность, обуславливая пик скорости газовыделения в интервале 600—700 °С. При увеличении температуры нагрева атомы гелия, видимо, собираются в порах. Выделение гелия из облученных образцов стали 0X16H15M3B при высоких температурах осуществляется в результате подхода пор к поверхности образца и их раскрытия. Растворение в решетке гелия, находящегося в порах, в отсутствие нейтронного облучения маловероятно [3].

На кривой выделения гелия (рисунок) отсутствует низкотемпературный пик скорости газовыделения (300—400 °С), наблюдаемый на кривых выделения гелия из образцов этой стали, насыщенных газом на циклотроне. Это объясняется тем, что при облучении в реакторе максимальная температура образцов достигала 500 °С и процесс выделения заканчивался в ходе облу-

чения. Именно поэтому выделение гелия из облученных в реакторе образцов стали в процессе равномерного нагрева до указанной температуры практически не наблюдалось (рисунок).

Поступило в Редакцию 26/V 1975 г.
В окончательной редакции 15/XII 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скоров Д. М. и др. «Атомная энергия», 1976, т. 40, вып. 5, с. 387.
2. Дашковский А. П. и др. «Атомная энергия», 1976, т. 40, вып. 3, с. 251.
3. Rimmer D., Cottrell A. «Philos. Mag.», 1957, v. 2, p. 1345.

УДК 539.172.4

Поиски делящихся изомеров в реакции $(n, 2n)^*$

БРАУН ДЖ. С., ХОУВ Р. Е.
(лаборатория им. Лоуренса, Ливермор, США)

В работах [1, 2] сообщено об образовании спонтанно делящихся изомеров разных актиноидных ядер в реакции $(n, 2n)$, вызываемой нейтронами с энергией 14 МэВ. Отношение сечения образования изомера к сечению мгновенного деления получено в интервале от 1 до $2 \cdot 10^{-4}$ для реакций $^{240}\text{Pu}(n, 2n)^{239}\text{Pu}$ ($T_{1/2} = 8,5$ мкс) и $^{242}\text{Pu}(n, 2n)^{241\text{m}}\text{Pu}$ ($T_{1/2} = 27$ мкс).

В работе [3] предполагалось, что согласно систематике изомерных периодов по Метагу [4] следует ожидать неизвестный изомер $^{243\text{m}}\text{Pu}$ с периодом полураспада порядка 10 мкс. Единственный известный изомер ^{243}Pu имеет период 33 нс, который не согласуется с систематикой, основанной на вычислениях барьера деления. Поскольку реакция $(n, 2n)$ казалась хорошим механизмом образования делящихся изомеров, мы решили поискать изомер ^{243}Pu в реакции $^{244}\text{Pu}(n, 2n)^{243}\text{Pu}$.

Для этого использовалась установка Ливерморской лаборатории им. Лоуренса с высокоинтенсивным пучком нейтронов с энергией 14 МэВ. В установке создавался пучок дейтронов с энергией 500 кэВ, падающий на вращающуюся титано-тригетивую мишень при токе 10 мА. При постоянном токе выход нейтронов порядка $3 \cdot 10^{12}$ нейтр/с. Пучок пульсировал с частотами 10; 100 кГц и 2,5 МГц для поисков изомеров между импульсами в интервалах времени 100; 10 и 400 мкс соответственно. Ширина импульсов составляла 1,5 мкс, 130 и 1,5 нс соответственно.

Схема установки показана на рис. 1. Образцы ^{238}U , ^{242}Pu и ^{244}Pu располагались в ионизационной камере. Масса и изотопное содержание образцов указаны в таблице. Акты деления регистрировались быстрым токочувствительным предусилителем (ширина фронта < 10 нс) при допуске временного разрешения 2 нс. Анализ времен между импульсами нейтронов и деления проводился с помощью быстрого дискриминатора и конвертера время \rightarrow амплитуда (КВА), выходной сигнал которого подавался на многоканальный анализатор.

* Работа выполнена при поддержке Администрации энергетических исследований и развития (ERDA).

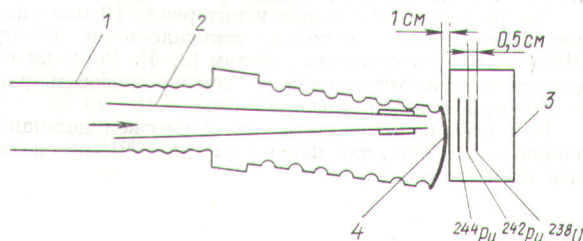
Спектры импульсов КВА для ^{242}Pu и ^{244}Pu при 10 кГц и 1,5 мкс показаны на рис. 2. Ни один из спектров не обнаружил присутствия распадающегося изомера. Для ^{242}Pu в работе [2] было сообщено о 27 мкс активности.

Для определения чувствительности измерений сравнивается общее число отсчетов в двух последовательных полураспадах. Если изомер с периодом полураспада 27 мкс присутствует в этом эксперименте, то долж-

Состав образцов

Образец	Масса, мг	Чистота, %	Плотность, мкг/см ²
^{238}U	1,0	99,9	~ 500
^{242}Pu	1,0	99,9	~ 500
^{244}Pu	0,59	99,1	~ 500

на быть разница между числом отсчетов в интервалах 0—27 мкс (первый полураспад) и 27—54 мкс (второй полураспад). Обозначая эти суммы S_1 и S_2 , находим,



Р и с. 1. Схема расположения ионизационной камеры и источника нейтронов с энергией 14 МэВ:

1 — дейтроны; 2 — коллиматор; 3 — ионизационная камера (96% Ar и 4% CO₂); 4 — вращающаяся тритиевая мишень