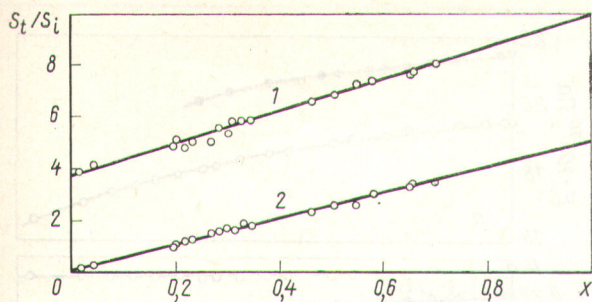


Таблица 2



Зависимость отношения площадей S_t/S_i от параметра $x = 1 - \exp(-\lambda t)$: 1 — S_{1275}/S_{891} ; 2 — S_{511}/S_{883}

Относительный вклад групп нейтронов для PuF_4 , связанных с уровнями ^{22}Na , %

Энергия уровней ^{22}Na , кэВ	Данные [5]	Настоящая работа	Энергия уровней ^{22}Na , кэВ	Данные [5]	Настоящая работа
0 (основной)	47,2	52,7	1952	0,7	4,3
583 + 657	32,2	26,4	1984		4,5
891	14,8	13,0	2212		0,8
1528	5,1	4,3			

ным счетчиком, градуированным стандартными источниками нейтронов спонтанного деления на основе ^{240}Pu , дали близкое значение $(4,65 \pm 0,30) \cdot 10^3$ нейтр. $\cdot c^{-1} \cdot r^{-1}$. Для препаратов тетрафторида ^{239}Pu измеренный по γ -излучению (1275 кэВ) средний выход оказался равным $(4,6 \pm 0,4) \cdot 10^3$ нейтр. $\cdot c^{-1} \cdot r^{-1}$, что удовлетворительно совпадает с одним из последних опубликованных результатов непосредственных нейтронных измерений $(5,4 \pm 0,5) \times 10^3$ нейтр. $\cdot c^{-1} \cdot r^{-1}$ PuF_4 [1].

Полученные в настоящей работе интенсивность γ -квантов для реакции $^{19}F(\alpha, n\gamma)^{22}Na$ и полный выход нейтронов были использованы с учетом исследованных γ -переходов в ядре ^{22}Na согласно монографии [2] для определения вкладов групп нейтронов, соответствующих возбужденным уровням ^{22}Na . В табл. 2 представлены такие значения по нашим γ -спектрометрическим измерениям и данные работы [5] для PuF_4 , полученные с помощью метода фотоэмюльсий.

Можно отметить удовлетворительное согласие наших результатов с публикацией [5]. Вместе с тем γ -метод даёт указание на наличие в спектре нейтронов малоинтенсивной группы с минимальной энергией нейтронов.

В наших контрольных измерениях установлено, что широкий γ -пик энергией ~ 690 кэВ практически полностью исчезает, если между препаратом PuF_4 и $Ge(Li)$ -детектором поместить слой парафина толщиной 7,5 см; при этом площади близких пиков ^{239}Pu ($E_{\gamma} = 640 \div 660$ кэВ) изменяются приблизительно лишь на 15%. Это соответствует работе [6], где показано, что быстрые нейтроны за счет неупругого взаимодействия с ядрами ^{72}Ge в составе детектора могут вызвать появление конверсионных электронов и широкого пика энергией ~ 690 кэВ. Существуют и другие причины (очень большая интенсивность и ширина пика ~ 690 кэВ), с учетом которых следует считать ошибочным вывод авторов работы [7], исследовавших реакцию $\alpha + F$ на ускоренных ионах $^4He^+$ энергией 5 МэВ, о том, что пик ~ 690 кэВ обусловлен заселением уровня ^{22}Ne энергией 5144 кэВ за счет реакции $^{19}F(\alpha, p)$ и разрядкой путем последовательного испускания трех γ -квантов (690, 3180 и 1275 кэВ). Малоубедительным является также мнение этих авторов о связи наблюдаемого пика энергией 2165 кэВ с заселением и разрядкой еще

более высокого уровня ^{22}Ne ($E = 5520$ кэВ). Энергия этого пика (2165 кэВ) практически совпадает с энергией пика двойного вылета от γ -квантов 3180 кэВ.

Для PuF_3 обнаружено уширение аннигиляционного пика, превышающее примерно на 20% соответствующую величину от позитронного излучателя ^{22}Na , помещаемого между пластинами из алюминия, железа и свинца. Этот факт свидетельствует о том, что процесс аннигиляции позитронов во фторидах Pu протекает иначе, чем в металлах.

Надежные измерения спектра γ -квантов в соединениях Pu с фтором позволяют разработать высокочувствительный и неразрушающий метод определения малого содержания фтора в плутонии, особенно, если состав других α -излучателей известен. Этим способом с помощью сцинтилляционного детектора $NaI(Tl)$ $\varnothing 150 \times 150$ мм с колодцем, в который помещают препарат Pu в свинцовом экране толщиной 5 мм, путем регистрации площади γ -пика 2080 кэВ получен предел обнаружения фтора — $6 \cdot 10^{-4}$ мас. % (масса образца Pu 5 г, время измерений 2 ч), что меньше значения $3 \cdot 10^{-3}$ мас. %, полученного применением $Ge(Li)$ -детектора [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ценер Э. М. и др. В кн.: Труды III симпозиума СЭВ «Исследования в области переработки облученного топлива». Т. III. Прага, изд. КАЭ ЧССР, 1974, с. 202.
2. Ланько Э. В., Домбровская Г. С., Шубный Ю. К. Вероятности электромагнитных переходов атомных ядер $Z = 1-30$. Л., «Наука», 1972.
3. Овечкин В. В., Мелентьев В. И., Горбунов В. Ф. «Радиохимия», 1976, т. 18, № 1, с. 152.
4. Less E., Lindley D. «Ann. Nucl. Energy.», 1978, v. 5, N 3-4, p. 133.
5. Lehman R. «Phys. Rev.», 1968, v. 171, N 4, p. 1311.
6. Smith D. «Nucl. Instrum. and Methods», 1972, v. 102, N 2, p. 193.
7. Giles I., Peisach M. «J. Radioanal. Chem.», 1976, v. 32, p. 105.

Поступило в Редакцию 12.03.79

УДК 621.039.54:539.32

Влияние добавок, имитирующих продукты деления, на характеристики упругости УС

БАЛАНКИН С. А., БЕЛЕВАНЦЕВ В. С., БУБНОВ А. С., ЗЕЛЯНИН В. А., КОТЕЛЬНИКОВ Р. Б., СКОРОВ Д. М.

Использование монокарбида урана позволяет значительно улучшить экономические показатели быстрых реакторов [4], причем для оценки работоспособности твэлов

необходимы сведения об изменениях свойств топлива в процессе эксплуатации. Чтобы определить влияние твердых продуктов деления на характеристики упругости УС,

Таблица 1

Фазовый состав образцов

Материал	Фазовый состав	Содержание фаз, об. %
Карбид урана	UC	87,5
	UC _{1,88}	12,5
Имитатор облученного карбидного топлива	(U _{0,963} Zr _{0,03} Mo _{0,007})C	78,38
	(U, PЗЭ) ₂ C ₃	13,55
	UMoC ₂	2,09
	(PЗЭ) ₂ O ₃	3,07
	Ba _{0,56} Zr _{0,44} O	0,74
	U(Ru _{0,63} Pd _{0,37}) ₃	2,17

в приготовленные образцы [2] вводили имитаторы продуктов деления в количестве, соответствующем 8%-ному выгоранию тяжелых атомов. Фазовый состав образцов, рассчитанный по данным микрорентгеноспектрального и химического анализов, представлен в табл. 1.

Модули упругости таблеток диаметром 10 и толщиной 2 мм измерялись ультразвуковым резонансным методом [3]. Погрешность определения модуля Юнга E и коэффициента Пуассона μ при доверительной вероятности 0,95 не превышает 2 и 2,5% соответственно. Погрешность определения относительного изменения E при изменении температуры составляет 0,1%.

Так как исследованные образцы имели различную пористость, значения E и μ были пересчитаны для теоретической плотности по формулам:

$$E_0 = 9K_0G_0 / (3K_0 + G_0);$$

$$\mu_0 = (3K_0 - 2G_0) / 2(3K_0 + G_0);$$

$$K_0 = K(1-P)^{-\beta/\alpha} \quad [4]; \quad (1)$$

$$G_0 = G(1-P)^{-2\beta/3\alpha}, \quad (2)$$

причем уравнение (2) получено из выражения (1) с учетом соотношения

$$\frac{\partial \ln G}{\partial P} \approx \frac{2}{3} \frac{\partial \ln K}{\partial P} \quad [5].$$

Здесь K и G — модуль объемной деформации и модуль сдвига соответственно; P — пористость; α — объемный

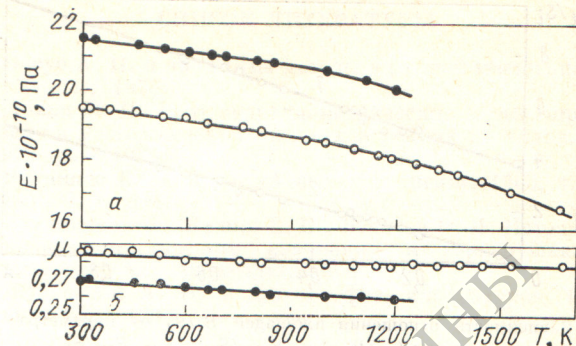
коэффициент термического расширения; $\beta = -\frac{1}{K} \left(\frac{\partial K}{\partial T} \right)_p$ —

температурный коэффициент изменения модуля объемной деформации; индекс 0 относится к компактному материалу. Значения β для UC и имитатора облученного топлива составили соответственно $1,16 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ и $1,09 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, а коэффициенты термического расширения были определены ранее [6].

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов
($T = 298 \text{ K}$)

Материал	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	P , %	$E \cdot 10^{-10}$, Па	μ	$E_0 \cdot 10^{-10}$, Па	μ_0
Карбид урана	11,69	12,5	13,56	0,252	19,48	0,285
Имитатор облученного карбидного топлива	12,52	3,5	19,51	0,260	21,50	0,269



Температурная зависимость модуля Юнга (а) и коэффициента Пуассона (б) UC (○) и имитатора облученного топлива (●)

Из табл. 2 следует, что накопление твердых продуктов деления в UC увеличивает модуль упругости и уменьшает коэффициент Пуассона. Увеличение E , в частности, может быть вызвано появлением ZrC, имеющего модуль Юнга ($39 \div 55 \cdot 10^{10} \text{ Па}$) [7, 8].

Температурные зависимости E и μ представлены на рисунке. Модули упругости UC и имитатора сначала уменьшаются практически по линейному закону, отклоняясь от него, при переходе к высоким температурам. Это отклонение (ΔE) экспоненциально растет с увеличением температуры [$\Delta E \sim \exp(-\Delta H/RT)$]. Для металлов [9] и ряда карбидов переходных металлов [10] такое отклонение связывается с образованием термических вакансий. В случае UC и имитатора ΔH равно 38 и 67 кДж/моль соответственно, причем значительно меньшая величина ΔH_{UC} по сравнению с опубликованной в работе [7], по-видимому, объясняется присутствием UC₂, как это было установлено для энергии активации пика внутреннего трения [11], совпадающего по температуре с началом нелинейного уменьшения модуля упругости.

Таким образом, накопление твердых продуктов деления в количестве, соответствующем 8%-ному выгоранию тяжелых атомов, увеличивает модуль упругости UC приблизительно на 10% и уменьшает коэффициент Пуассона на 6% во всем изученном интервале температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин И. С. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 30, вып. 2, с. 211.
2. Котельников Р. Б. и др. Там же, 1975, т. 39, вып. 4, с. 255.
3. Баранов В. М. «Заводск. лаборатория», 1972, № 9, с. 1120.
4. Баланкин С. А., Бубнов А. С., Скоров Д. М. «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 3, с. 220.
5. Гропянов В. М., Фицев В. Н., Августиник А. П. В кн.: Труды Всесоюз. ин-та огнеупоров. Л., 1968, вып. 40, с. 299.
6. Иванов А. А. и др. «Атомная энергия», 1978, т. 44, вып. 2, с. 170.
7. Андриевский Р. А., Ланин А. Г., Рымашевский Г. А. Прочность тугоплавких соединений. М., «Металлургия», 1974.
8. Францевич И. Н., Лященко А. Б. «Порошк. металлургия», 1966, № 7, с. 73.
9. Шматов В. Т., Гринь А. В. «Физика металлов и металлоредение», 1961, т. 12, вып. 4, с. 600.
10. Букатов В. Г. и др. «Изв. АН СССР. Сер. неорганич. матер.», 1975, т. 11, № 2, с. 367.
11. Hall A. «J. Nucl. Mater.», 1970, v. 37, p. 314.