

УДК 639.039.532.21

О вариации радиационной размерной стабильности конструкционного графита

ВИРГИЛЬЕВ Ю. С., КАЛЯГИНА И. П., КИРЕЕВА Г. Г.

Конструкционный графит обладает определенной неоднородностью физических свойств, которая образуется в процессе его получения на каждом из технологических переделов. Неоднородность материала, в свою очередь, существенно влияет на работоспособность изготовленных из него конструкций.

Для некоторых выпускаемых марок графита определена вариация свойств по сечению заготовок и про-

Результаты статистической обработки Таблица 1
относительного радиационного
изменения длины образцов *

Материал	Число образцов	Вырезка образцов	$\Delta l/l, \%$			Условия облучения			
			M	S_n	Δx^{**}	T, °C	$F_{10^{20}} \text{ нейтр./см}^2$		
ГМЗ	5		0,17	0,04	0,05	70	0,5		
	5	⊥	0,18	0,08	0,10				
	6		0,61	0,09	0,10				
	5		0,84	0,04	0,05				
	20		1,06	0,12	0,06				
	5		1,04	0,14	0,18				
ВПГ ГМЗ	6	⊥	1,74	0,24	0,25	150	9,2		
	20		1,91	0,10	0,05				
	11		0,03	0,02	0,01				
	12		0,20	0,03	0,02				
	12		0,62	0,05	0,03				
	5		-1,14	0,20	0,25			450	12,6
	5		-0,29	0,07	0,09			700—800	80
	5	⊥	-0,19	0,04	0,05			700—800	80
	12		-0,55	0,09	0,06			800	128
	8	⊥	-0,18	0,09	0,08			800	128
	16		-1,29	0,12	0,06			950	128
	ГМЗ ***	13		-0,01	0,20			0,12	950
12			-0,89	0,19	0,12	950	146		
ГМЗ, 2800	8	⊥	-0,88	0,14	0,12	950	146		
	6		-1,12	0,22	0,23	450	126		
ГМЗ, 2800 ***	5	⊥	0,15	0,18	0,22	450	126		
ГМЗ, 2800 ***	12		-0,32	0,21	0,13	700—800	126		
ГМЗ, 2800	8		-0,36	0,05	0,04	800	128		
ГМЗ, 2800 ***	6	⊥	-0,17	0,10	0,11	800	128		
ГМЗ, 2800	6		-0,69	0,11	0,12	950	128		
ГМЗ, 2800	5	⊥	0,42	0,21	0,26	950	128		
ГМЗ, 2800	5		-0,75	0,21	0,26	950	104		

* Образцы длиной 40 и диаметром 4—6 мм.
** Для доверительной вероятности 0,95.
*** Материал уплотнен пропиткой пеком на стадии полуфабриката и графитирован при 2800 °C.

ведена оценка их неоднородности статистическими методами [1—4].

В настоящей работе рассматривается вариация такого важного свойства графита, как его радиационная размерная стабильность. Это необходимо, поскольку о ней обычно судят по результатам испытаний (особенно длительных) весьма ограниченного числа образцов. Известно, что радиационная размерная стабильность, согласно [5], определяется в основном значением коэффициента термического расширения и степенью совершенства кристаллической решетки. Однако вычислить вариацию размерной стабильности, исходя из вариационных коэффициентов названных свойств графита, не представляется возможным вследствие изменения при облучении как самих свойств, так и их вариационных коэффициентов. Положение усложняется также наличием вариации условий облучения — температуры, интенсивности повреждающего потока и др. Поэтому оценка вариации радиационной размерной стабильности в работе проведена путем статистической обработки результатов, полученных при облучении образ-

Исследовали графит марки ГМЗ и его варианты. Для этого 5 и более образцов длиной 40 мм и диаметром 4—6 мм, вырезанных как из одной, так и из разных заготовок, одновременно облучали в одном ампульном устройстве при постоянных температуре и плотности повреждающего потока. У облученных образцов опре-

Результаты статистической обработки Таблица 2
относительного радиационного
изменения длины (H) и диаметра (D)
массивных образцов

Материал	Число	Измерение	$\Delta l/l, \%$			Условия облучения	
			M	S_n	Δx^*	T, °C	$F_{10^{20}} \text{ нейтр./см}^2$
ГМЗ	27	H	1,38	0,16	0,06	100—180	27
		D	3,76	0,38	0,14		
ГМЗ	36	H	0,04	0,04	0,01	350—500	6
		D	0,13	0,08	0,03		
ГМЗ, 2800	84	H	-0,01	0,05	0,01	350—500	6
		D	-0,02	0,04	0,01		
ГМЗ, 2800 уплот- ненный	50	H	-0,10	0,03	0,01	350—500	6
		D	-0,22	0,05	0,02		
ГМЗ, 2800	31	H	-0,22	0,05	0,02	350—500	12
		D	-0,22	0,03	0,01		

* Для доверительной вероятности 0,95.

деятели изменение их длины. В некоторых случаях образцы облучали многократно для получения дозовых зависимостей размерных изменений. Диапазон температуры облучения составил от 70 до 950° С, значение флюенса достигало 10^{22} нейтр./см² *.

Наряду с небольшими образцами в некоторых случаях испытывали также массивные образцы длиной 100 мм и выше, диаметром 50—55 мм, которые располагали столбом по высоте облучательного устройства. При этом использовали каналы реактора с идентичными условиями облучения. Изменяя высоту массивных образцов, измеряли их диаметр.

Поскольку образцы отбирали не только по сечению одной заготовки, но и по сечению заготовок одной и различных производственных партий, взятые для исследования образцы достаточно представительного характеризуют материал данной марки.

Полученные результаты экспериментальных измерений относительного радиационного изменения длины образцов $\Delta l/l$ различных графитов обрабатывали с использованием коэффициентов Стьюдента. В табл. 1 при-

* Здесь и далее флюенс указан по нейтронам с $E \gg 0,18$ МэВ.

УДК 621.039.538.7.001.5:539.122.173

Распределение температур в радиационной головке гамма-терапевтического аппарата

СУЛЬКИН А. Г., ЕЛИСЮТИН Г. П., ВАЙНБЕРГ М. Ш.

Гамма-терапевтические аппараты — основное техническое оснащение современной лучевой терапии. В СССР широко используются гамма-терапевтические аппараты ЛУЧ-1, АГАТ-С и АГАТ-Р, конструкции которых в значительной мере унифицированы. Так, все эти аппараты содержат источник излучения с радионуклидом ⁶⁰Со номинальной активностью 4000 Ки, который находится в радиационной головке с унифицированной биологической защитой. Для равномерного ослабления излучения во всех направлениях биологическая защита имеет форму, близкую к сферической, и состоит из трех слоев: вольфрамового держателя источника излучения, основного защитного кожуха из блоков обедненного урана и внешнего кожуха из стального дитя. Урановые блоки герметизированы металлической оболочкой, предотвращающей их окисление, которое может привести к загрязнению элементов конструкции. Покрытие урановых блоков относительно толстой листовой нержавеющей стали нежелательно, так как это сопряжено с ослаблением защиты в местах стыков. Поэтому предпочтение отдается тонким металлическим оболочкам, наносимым гальваническим способом, прочность которых существенно зависит от степени нагрева урановых блоков, возникающего в результате радиоактивного распада ⁶⁰Со. При этом тепловая мощность, рассеиваемая в массе радиационной головки, определяется энергией излучения и активностью радионуклидов, самоослаблением излучения в источнике и поглощением его в материале защиты.

Возникающие при этом тепловые деформации и температурные градиенты не должны приводить к аварийным ситуациям, связанным, в частности, с разрушением герметизирующих оболочек урановых блоков.

В процессе эксплуатации радиационная головка может находиться в положении облучения, когда выход-

ведены среднее арифметическое M , среднее квадратическое S_n и доверительный интервал Δx .

Для массивных образцов $l = 100$ мм и $d = 50$ —55 мм результаты указанных подсчетов представлены в табл. 2.

Для перечисленных графитовых материалов средняя величина относительного изменения размеров при облучении, полученная при испытании не менее чем 6 образцов, характеризует данный материал и может быть использована при расчетах.

Поступило в Редакцию 2/VI 1977 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пекаль Т. К., Виргильев Ю. С., Михин Ю. И. В кн.: Конструкционные материалы на основе графита. М., «Металлургия», 1967, вып. 3, с. 43.
2. Барабанов В. Н., Ануфриев Ю. П., Дергунов Н. Н. Там же, 1971, вып. 6, с. 35.
3. Котосовна В. Я., Лушников Г. А. Там же, 1970, вып. 5, с. 198.
4. Виргильев Ю. С. Там же, 1977, вып. 12, с. 40.
5. Виргильев Ю. С., Калягина И. П. «Атомная энергия», 1971, т. 31, вып. 5, с. 497.

ное окно открыто и торец источника непосредственно охлаждается воздухом. Менее благоприятным является положение хранения, когда выходное окно закрыто. Даже при работе в две смены по 6 ч, с учетом вспомогательного времени на укладку большого и настройку аппарата, в положении хранения радиационная головка находится не менее 80% всего времени эксплуатации. Вследствие кратковременности облучения (2—10 мин) и большой инерционности тепловых процессов, можно полагать, что соответствующие тепловые характеристики в режимах хранения и облучения практически мало отличаются друг от друга.

По этим соображениям эксперимент проводили в условиях, моделирующих главным образом режим хранения источника. Температуру радиационной головки измеряли в одном технически доступном радиальном направлении, так как в режиме хранения распределение температур в ней можно считать практически изотропным, а задачу по определению распределения температур — одномерной.

Тепловое состояние унифицированной биологической защиты в радиационных головках отечественных дальнедистанционных гамма-терапевтических аппаратов ЛУЧ-1, АГАТ-С и АГАТ-Р исследовано на идентичной радиационной головке аппарата РАД-1, содержащей ту же биологическую защиту и рассчитанной на зарядку источником ⁶⁰Со номинальной активностью 4000 Ки. Во время измерения температуры активность источника была равна 2010 Ки, а его тепловая мощность 30,9 Вт, так как удельное энерговыделение ⁶⁰Со составляет 0,0154 Вт/Ки [1].

Схема эксперимента показана на рис. 1. Радиационную головку поворачивали на штативе аппарата выходным окном вверх, с нее снимали (без нарушения электри-