

Лекция 15.

Цель.

Познакомить слушателей с проблемой выбора конструкционных материалов для изделий, работающих в поле нейтронного излучения. Обратить особое внимание на пострадиационные технологические операции с изделием (в нашем случае с облучательным устройством) по его радиационно-безопасном «захоронении». Обосновать использование теории размерностей и подобия для получения качественных представлений о степени пригодности изотопов конструкционных материалов при разработке облучательных устройств, рассмотрев список существенных величин влияющих на процесс выбора. Представить ряд предпочительности использования изотопов в конструкциях высокотемпературных облучательных устройств.

План.

1. Проблема выбора конструкционных материалов для изделий ядерной энерготехники.
2. Список существенных величин влияющих на процесс выбора..
3. Безразмерные критерии выбора.
4. Размерный комплекс и ряд предпочительности к применению изотопов.

ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Составление строгих математических зависимостей для определения критерия выбора конструкционных материалов для облучательных устройств представляет значительную сложность, поэтому предлагается воспользоваться методом теории анализа размерностей величин, существенно влияющих на процесс выбора материалов при разработке высокотемпературных облучательных устройств.

Список существенных величин и критерии выбора.

Выбор материалов, по-видимому, должен быть основан на оценке "сложности" проводимого эксперимента, экономических факторах и свойствах самого материала.

Рассмотрим список величин, которые могут существенно влиять на выбор конструкционных материалов при реакторных испытаниях:

$$N = N(q_v ; \alpha ; T_{\text{исп}} ; [T] ; t_{1/2} ; t_{\text{исп}} ; [\sigma] ; C ; C_0 ; K ; [D])$$

Обоснование списка существенных величин и анализ их размерностей

$[q_v] = \text{Вт/см}^3$ - объемная плотность источников тепла, вызванная реакцией взаимодействия потоков излучений с материалом, большое значение объемной плотности характеризует более "сложные" условия, в которых находится материал при проведении экспериментов.

$[\alpha] = \text{Вт/см}^2\text{К}$ - коэффициент теплоотдачи, который характеризует взаимодействие материала в тепловом отношении с окружающей средой. При больших значениях α существуют «хорошие» условия теплообмена и, по-видимому, рассматриваемый материал находится в относительно "несложных" условиях эксплуатации. Этот параметр описывает условия проведения эксперимента.

Обоснование списка существенных величин и анализ их размерностей

$[T_{\text{исп}}] = [T] = \text{К}$ - температура эксплуатации материала в процессе испытаний и предельно допустимая температура применения данного материала.

$T_{\text{исп}}$ характеризует условия проведения эксперимента. Предельная температура является характеристикой материала.

$[[\sigma]] = \text{кГ/см}^2$ - допустимое напряжение для материала при механических воздействиях на данный элемент. Эта величина является характеристикой материала и зависит от вида напряженного состояния.

Обоснование списка существенных величин и анализ их размерностей

$[t_{\text{исп}}] = [t_{1/2}] = \text{час}$ - продолжительность испытаний и период полураспада изотопа, образовавшегося в результате облучения данного материала нейтронами.

Продолжительность испытаний является характеристикой эксперимента и предъявляет определенные требования к надежности испытательного устройства. Эксперимент следует считать более сложным при большем $t_{\text{исп}}$.

Период полураспада характеризует возможности проведения перегрузочных и ремонтных работ над устройством или элементом устройства, который включает в себя данный материал. Эта величина может характеризовать также цикличность использования элемента с точки зрения возможности начала ремонтных работ, исходя из радиационной безопасности для персонала,

Обоснование списка существенных величин и анализ их размерностей

$[C] = \text{рубль/кг}$ - стоимость за килограмм материала.

$[Co] = \text{рубль/час}$ - стоимость эксплуатации элемента или устройства, затраты на изготовление элемента.

$[K] = \text{р/час}$ - гамма-постоянная изотопа, образовавшегося в результате облучения нейтронами. Эта величина характеризует энергетический спектр гамма-излучения и является характеристикой материала. Она определяет также защитные меры при проведении ремонтных и перегрузочных работ с элементом или устройством.

$[[D]] = \text{р/час}$ - допустимая мощность дозы, определяющая возможные границы работы с элементом.

Анализ размерностей списка существенных величин

Анализ размерностей списка существенных величин дает:

$n=11$ - число существенных величин и

$k=6$ - число единиц измерения, имеющих независимые размерности.

В соответствии с **π -теоремой** число критериев, определяющих процесс выбора, равно $(n-k) = 5$.

В результате приведения системы к безразмерному виду имеем:

$$N = (q_v C_0 / T_{\text{исп}}^2 \alpha^2 C)^{n1} (T_{\text{исп}}^2 \alpha^2 t_{\text{исп}} C / [\sigma] C_0)^{n2} (t_{1/2} / t_{\text{исп}})^{n3} (T_{\text{исп}} / [T])^{n4} (K / [D])^{n5}$$

Полученная функциональная зависимость для N от безразмерных критериев может быть уточнена экспериментально, однако, это представляет достаточно сложную и дорогостоящую задачу.

Размерный комплекс и список предпочтительности изотопов.

Для качественных оценок возможно ввести некоторые гипотезы, ограничивающие выбор n , они сводятся к следующему:

1. Все рассматриваемые величины существенно влияют на выбор материала, т.е. ни одна из величин не должна выпасть из рассмотрения (сократиться).

2. Совокупность величин, описывающая свойства материала или "сложность" условий эксперимента, должна представляться в таком виде, чтобы «лучшему» из материалов соответствовало больше или меньшее значение размерного комплекса.

3. Существенно меняющиеся величины должны иметь меньшее значение степени, чтобы их вклад был близок по отношению к мало меняющимся.

Размерный комплекс и список предпочтительности изотопов.

Одним из вариантов компоновки критерия выбора материала, удовлетворяющим перечисленным требованиям, служит следующее представление критерия ($n_1=1, n_2=1/2, n_3=1/4, n_4=2, n_5=1$):

$$N = (q_v C_o / T_{\text{исп}}^2 \alpha^2 C)^1 (T_{\text{исп}}^2 \alpha^2 t_{\text{исп}} C / [\sigma] C_o)^{1/2} (t_{1/2} / t_{\text{исп}})^{0,25} (T_{\text{исп}} / [T])^2 (K / [D])^1$$

Плотность внутренних источников тепла можно представить в следующем виде:

$$q_v = A \gamma \Sigma \Phi E / \mu$$

где
A - число Авогадро;
 μ - молекулярный вес;
 Σ - сечение взаимодействия;
 Φ - плотность потока излучения;
E - количество тепла на один акт взаимодействия;

Размерный комплекс и список предпочительности изотопов.

После подстановки q_v в N и представлении N как произведения двух размерных комплексов:

$$N = V W$$

где

$$V = \Phi E T_{\text{исп}} C_o^{0,5} t_{\text{исп}}^{0,25} / \alpha [D] C^{0,5}$$

$$W = A \gamma \Sigma K t_{1/2}^{0,25} / \mu [\sigma]^{0,5} [T]^2$$

Нас будет интересовать размерный комплекс W , который описывает свойства материалов. Очевидно, что материал обладает "лучшими" радиационно-физическими свойствами, если величины $\gamma, \Sigma, K, t_{1/2}$ имеют меньшие значения, а $[\sigma], [T]$ велики.

μ	γ	Σ	K_{γ}	$\tau_{1/2}$	$[\sigma]$	$[T_{III}]$	$W \cdot 10^6$
Al 27	2.7	0.23	8.6	0.042	5	933	0.031
V 51	6.1	4.5	7.33	0.064	36	2170	0.042
Ti 48	4.5	0.2	2.34	0.097	43	2000	0.000 6
Cr 50	7.2	11.0	0.18	668	38	2150	0.033 6
Fe 58	7.8	0.7	6.25	1084	36	1810	0.103
Ni 64	8.9	2.6	3.12	2.56	41	1725	0.044 5
Cu 63	8.9	3.9	1.19	12.8	20	1356	0.095
Zn 65	7.1	0.5	2.83	6000	4	694	0.085
Zr 94	5.5	0.08	4.22	1560	50	2123	0.028
Nb 93	8.6	1.1	9.01	10	64	2730	0.88
Mo 98	10.2	0.13	1.45	67.1	64	2860	0.000 6
Ag 109	10.5	2.8	15.4	6500	4	1233	7.0
Ta 181	16.6	21	1.0	2670	49	3260	0.102
W 186	19.3	40	3.12	24	144	3660	0.1

Размерный комплекс и список предпочтительности изотопов.

Таким образом, меньшему значению W отвечает "лучший" материал. Рассмотрев ряд изотопов, которые могут служить конструкционными материалами, либо могут использоваться при конструировании облучательных устройств (таб.4.1) приходим к выводу, что в соответствие с предпочтительностью к применению (меньшее значение W) в высокотемпературных реакторных установках изотопы следует расположить в следующем порядке:

Mo , Ti, Zr, Al, Cr, V, Ni, Zn, Nb, Cu, W, Ta, Fe, Ag.

В этом ряду не присутствуют соединения и сплавы, однако, величина W может быть рассчитана и для них.