

Таблица 2. Характеристика покрытия.

Обозначение краски	Степень меления, баллы	Укрывистость, г/м ²	Жизнеспособность краски, сут
К _с	1	297	48
К _п	2	416	140
К _м	2	333	130
К _{а-1}	2	412	120
К _{а-2}	2	318	130
К _{пт}	2	245	120

Установлено, что введение в жидкостекольные композиции кремнеземистого наполнителя увеличивает жизнеспособность краски почти в 3 раза. Силикатная краска полученная на основе кремнеземистого наполнителя в виде кварцевого песка имеет максимальное значение жизнеспособности (140 сут), но не соответствует требованиям ГОСТа 18958-73 по укрывистости. Краска, полученная с добавлением аэросила в количестве 15%, так же не отвечает данным требованиям. Для практического применения можно рекомендовать составы силикатных красок с кремнеземистым наполнителем в виде маршалита, перлита и аэросила в количестве 15, 8 и 10% соответственно.

Для разработанных составов красок требуется проведение дополнительных исследований на определение водостойкости краски и адгезии покрытия.

Список литературы:

1. Китайчик Ф. Силикатные фасадные краски. Состав и строение // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2008. – № 3. – С. 18–24.
2. Шинкарева Е.В. Однокомпонентная фасадная краска на основе жидкого калиевого стекла производства ОАО «Домановский ПТК» // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2013. – № 6. – С. 23–25.

ДИСПЕРСИОННОЕ ТОПЛИВО В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ

А.В. Чуйкина, студент группы 0АМ41

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-444-555*

E-mail: flipped2010@mail.ru

В связи с развитием научно-технических и производственных мощностей, современный мир нуждается в увеличении производства электрической энергии. Из множества существующих технологий, ядерная энергетика – наиболее перспективный способ увеличения выработки электроэнергии. Однако существующие тепловыделяющие элементы с керамическим топливом обладают существенным недостатком – низкой теплопроводностью.

Решением этой проблемы может стать использование дисперсионного топлива. Вид топлива, в котором микрочастицы делящегося материала распределены по объему неделящегося материала (матрицы), называется дисперсионным топливом.

Преимуществом дисперсионного топлива является высокая радиационная стойкость вследствие способности удерживать продукты деления в самом топливе, небольшими не перекрывающимися областями зон радиационных повреждений. Материалами топлива могут являться сплавы, интерметаллиды или соединения урана и плутония, а также оксиды, карбиды и нитриды урана и плутония. В качестве элементов матрицы могут использоваться металлы, сплавы, интерметаллиды, а также неметаллы, например, графит [1]. Существует множество проектов высокотемпературных реакторов, однако еще не выбраны материалы, которые будут в них использоваться. Для использования дисперсионного топлива в таком реакторе, необходимо найти подходящий конструкционный материал для матрицы дисперсионного топлива.

Требования к материалам дисперсионного топлива. В основном, требования к материалам дисперсионного топлива являются такими же, как и для материалов обычного топлива, такие как малое сечение поглощения нейтронов, высокая температура плавления, прочность и пластичность при рабочих температурах и потоках, радиационная стойкость и стойкость в теплоносителе, достаточная прочность при низких и сопротивление ползучести при высоких температурах, технологичность, сопротивление коррозии, высокое сопротивление формоизменению. Таким образом, все предъявляемые требования зависят от конкретного типа реактора, материалов, которые там используются и рабочих температур и потоков [1]. Конкретно для дисперсионного топлива очень важна совместимость материала матрицы и топлива, так как при определенных условиях эти материалы могут вступать в химические реакции, что может отразиться на свойствах этих материалов. Поэтому важным критерием для выбора конкретного материала топлива и матрицы является отсутствие физико-химического взаимодействия матрицы и топлива (и при стационарных и при превышениях стационарных температур).

В таблице 1 представлены основные конструкционные материалы, которые могут использоваться в качестве матрицы дисперсионного топлива и их физико-механические свойства. В качестве второго значения выбраны данные для температуры примерно 1000 °С, что является приблизительной рабочей температурой высокотемпературного реактора.

Таблица 1. Конструкционные материалы, которые могут использоваться в качестве матрицы дисперсионного топлива (данные для $P=1$ атм. и $t=20/1000$ °С) [2-5].

Материал	Температура плавления, °С	Удельная теплоемкость, Дж/(кг*К)	Коэффициент теплового расширения, 10^{-6} 1/К	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)
Металлы					
Al	660	871/1145*	23,1/34	76	235/282
Zr	1855	278/335	5,7	94/101	23/20
Fe	1538	449/592	11,8/13,2	170/109	80/39
Ni	1455	455/580	13,4/18,2	180/147	91/56
Nb	2477	265/316	7,3/8,4	304/295	54/70
Ta	3017	140/156	6,3/8,2	200/154	57/71
Mo	2623	251/280	4,8/5,3	331/221	162/159
W	3422	132/152	4,5/5,1	448/310	130/115

Примечание: * – Данные для температуры 650 °С.

В таблице 2 представлены возможные материалы топлива для проектируемых тепловыделяющих элементов и их физико-механические свойства. В качестве возможного топлива были выбраны самые распространенные и перспективные делящиеся материалы. Для некоторых материалов данные для рабочей температуры реактора не были представлены в связи с незначительностью изменения при повышении температуры.

Таблица 2. Делящиеся материалы, которые могут использоваться в качестве топлива в дисперсионных тепловыделяющих элементах (данные для $P=1$ атм. и $t=20/1000$ °С) [4, 6].

Материал	Температура плавления, °С	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Коэффициент термического расширения, 10^{-6} 1/К	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
U	1132	133/250	13,0/22,6	147/96	22,1/19,6
U+10%Mo	1150	118	12,3	-	23,1
UO ₂	2865	262/322	10,1/12,9	170/140	8,7/3,9
UC	2507	141/184	11,6/16,5	165/149	25,1/26,5
UN	2762	250	7,4/9,9	210	17/21

Рассмотрена физико-химическая совместимость некоторых материалов металлической матрицы и ядерного топлива. Были выбраны наиболее перспективные комбинации матрицы и топлива для рассмотрения. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Физико-химическая совместимость материала матрицы и топлива [4, 7].

Топливо	Матрица	Температура, °С	Характер взаимодействия
UO ₂	Ni	1400	Медленное взаимодействие
UO ₂	Fe	600	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UO ₂	Al	500	Совместимы, при повышении температуры реагируют
UO ₂	Nb	1000	Совместимы, при превышении температуры реагируют
UO ₂	Zr	800	Совместимы, при превышении температуры реагируют
UC	Fe	1100	Образуется эвтектика
UC	Al	620	Образуется UAl ₂ и UAl ₄ после 24 часов
UC	Ni	1000	Реакция с образованием U ₆ Ni и других фаз системы U-Ni
UC	Nb	527	Полная растворимость NbC в UC

UC	Mo	1000	Реакция $UC+Mo \rightarrow Mo_2C$
UC	W	293	UC растворяет ~10 моль. % W; W не растворяет UC
UC	Ta	293	Декарбонизация: $UC+Ta \rightarrow TaC+U$; Полная растворимость TaC в UC
UC	Zr	293	Образуются непрерывные твердые растворы между UC и ZrC; Температура плавления увеличивается до 3150 °C
U	Ni	500	Совместимы, при превышении температуры реагируют
U	Fe	500	Совместимы, при превышении температуры реагируют
U	Al	300	Реагируют
U	Mo	600	Совместимы, при превышении температуры реагируют
U	Nb	600	Совместимы, при превышении температуры реагируют
U	Ta	900	Совместимы, при превышении температуры реагируют
U	Zr	700	Совместимы, при превышении температуры реагируют
UN	Zr	862	Полиморфное превращение

Выводы. Из проведенного анализа следует, что при использовании в качестве топлива оксида урана оптимальным материалом матрицы для высокотемпературного реактора являются никель и ниобий. Для карбида урана – железо, ниобий и никель. Металлический уран нецелесообразно использовать в высокотемпературных реакторах, так как он начинает реагировать со всеми материалами металлических матриц. В дальнейшем планируется исследовать возможность использования в качестве материалов матрицы интерметаллических соединений, так как они обладают уникальной совокупностью свойств входящих в них металлов.

Список литературы:

1. Самойлов А.Г., Каштанов А.И., Волков В.С. Дисперсионные тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1969. – С. 5–15.
2. Б.А. Гринберг, М.А. Иванов. Интерметаллиды Ni₃Al: микроструктура, деформационное поведение. Екатеринбург, 2002. – С. 10.
3. Miracle D.B. NiAl and its Alloys // Intermetallic Compounds. – 1995. – V. 2. – P. 55–74.
4. Б.А. Калинин, П.А. Платонов, И.И. Чернов, Я.И. Штромбах. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. – М.: МИФИ, 2008. – Т. 6. – Ч. 1. – С. 15, 17–45, 529–600.

5. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – Т. 1. – С. 220–224, 410, 475–476.

6. Кожевников И.Г., Новицкий Л.А. Теплофизические свойства материалов при низких температурах: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 328 с.

7. Годин Ю.Г., Тенишев А.В. Карбидное ядерное топливо: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2007. – 68 с.