

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ПЭЛОВ ДИСПЕРСИОННОГО ТИПА С ВЫГОРАЮЩИМ ПОГЛОТИТЕЛЕМ

Н.П. Одейчук, С.А. Сиренко, В.К. Яковлев, А.И. Большаков, Е.А. Слабоспицкая
Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина
E-mail: odeychuk@kift.kharkov.ua; факс +38(057)335-17-09

Поглотители дисперсионного типа обладают повышенными технико-экономическими показателями по сравнению с применяемыми в данное время в реакторах ВВЭР. В данной работе рассмотрена технология производства пэлов дисперсионного типа на основе Gd_2O_3 методами порошковой металлургии.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение технико-экономических показателей АЭС связано с увеличением выгорания ядерного топлива. Увеличение компани эксплуатации топливной загрузки ядерного реактора с 12 до 18 месяцев (и даже до 24) требует использования топлива с обогащением не менее 4,5 %. Для подавления высокой начальной реактивности в активную зону водородных реакторов предлагается вводить выгорающий поглотитель нейтронов. Данный поглотитель нейтронов должен обладать высоким сечением захвата нейтронов и не образовывать нежелательных дочерних продуктов деления [1].

Высокая надежность современных тепловыделяющих сборок (ТВС) и их эксплуатационная гибкость за счет использования топлива, интегрированного с выгорающим поглотителем, позволяют при дальнейшем усовершенствовании конструкции ТВС, применении более прочных и коррозионно-стойких сплавов и улучшенных топливных таблеток довести выгорание тяжелого металла до 70 (ГВт-сут)/т.

Усовершенствованные в последние годы ТВС имеют достаточный запас для использования в них топлива повышенного обогащения. Разработанные и усовершенствованные сплавы циркония испытаны в LWR при выгораниях, намного превышающих достигнутые средние значения. Базируясь на сегодняшних данных, можно предполагать, что в ближайшее время удастся перейти к использованию топлива с 5 мас. % ^{235}U . Такому обогащению соответствует среднее выгорание 67 (ГВт-сут)/т при 12-месячном цикле и значительно меньшее при 18- и 24-месячных циклах. Достижение такого значительного выгорания обеспечит прирост в 15...20 (ГВт-сут)/т.

Разработка поглощающих элементов (пэлов) на очень большие выгорания требует решения ряда проблем. Наиболее важными из них являются значительный выход газообразных продуктов деления (ГПД) и взаимодействие поглотителя с оболочкой. Поглощающий элемент дисперсионного типа представляет собой заключенный в оболочку сердечник, в котором частицы выгорающего поглотителя равномерно распределены в непрерывной матрице. Основным преимуществом пэлов дисперсионного типа является повышенная коррозионная стойкость при длительной эксплуатации в реакторе, так как части-

цы поглотителя (окислы редкоземельных металлов) дополнительно защищены от гидратации коррозионно-стойкой матрицей [2].

Особенно перспективно применение пэлов дисперсионного типа в исследовательских, транспортных и других специальных типах ядерных реакторов.

Преимуществами пэлов дисперсионного типа являются более широкие технологические возможности, позволяющие изготавливать пэлы самой разнообразной конфигурации: в виде изделий из лент и пластин сложной конфигурации, цилиндрических и крестообразных стержней, колец и т. д. [3].

В настоящее время большинство работ по изучению редкоземельных элементов в целях их применения в пэлах для регулирования ядерного реактора направлено на использование их дисперсий в металлической матрице. При этом основное внимание сосредоточено на использовании редкоземельных элементов в виде окислов, а не в виде металла, поскольку стоимость получения металла относительно высокая [4].

Особый интерес для применения в качестве поглотителя представляет Gd_2O_3 , так как гадолиний имеет уникальные свойства, обусловленные высоким сечением поглощения нейтронов и скоростью выгорания, близкой (при оптимальном составе) к скорости выгорания ^{235}U . Эти свойства в сочетании с тем, что при его облучении не возникают дочерние продукты с высоким сечением захвата тепловых нейтронов, делают гадолиний идеальным выгорающим поглотителем [5].

В технологии дисперсионных элементов широкое распространение получили методы порошковой металлургии. Пэлы дисперсионного типа в молибденовой матрице обладают повышенными технико-эксплуатационными характеристиками. Их отличают простота, дешевизна и универсальность, возможность изготовления пэлов самой разнообразной конфигурации [6].

В данной работе описан метод изготовления пэлов дисперсионного типа, основанный целиком на методах порошковой металлургии.

ПРОИЗВОДСТВО МИКРОСФЕР

Исследования по отработке операций и режимов изготовления пэлов дисперсионного типа проводили с использованием порошков оксида гадолиния и молибдена.

Для получения равномерной по составу смеси, которая бы не расслаивалась и не рассыпалась при дальнейших операциях, широко используют различные связующие вещества, добавляемые в шихту. Эффективным связующим веществом для порошка Gd_2O_3 является оригинальное разработанное полимерное связующее, состоящее из смеси парафина и петролатума, растворенных в бензине. Исходный порошок Gd_2O_3 перемешивают со связующим и сушат, после чего проводятся операции усреднения и измельчения полученной пластифицированной массы. Пластифицированную массу на основе порошка Gd_2O_3 пропускают через экструдер, получая таким образом цилиндрические гранулы необходимых размеров.

Разработанный процесс формирования микросфер включает операцию обработки исходных гранул из Gd_2O_3 со связующим во вращающихся чашах сфероидизатора (модернизированной планетарной мельницы). Сфероидизатор состоит из стальной станины, на которой установлена плита с размещенными на ней четырьмя металлическими чашами. На верхней крышке сфероидизатора установлены датчики (тахометры) скорости вращения плиты и чаш. В результате происходит обкатка гранул в сферические микросферы и их уплотнение. Сферическую форму гранулам придают в сфероидизаторе в течение 1,5 ч. Затем сферические «сырые» микросферы Gd_2O_3 поступают на операции отгонки связующего и спекания. Процесс спекания микросфер из Gd_2O_3 проводили в вакууме при температуре 1600 °С. Плотность спеченных микросфер из Gd_2O_3 составляла 7,44 г/см³ (97,4 % теоретической плотности (ТП)).

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Исходный порошок молибдена смешивался с разработанным полимерным связующим в универсальном лопастном смесителе в течение 1 ч, затем сушился.

Для нанесения металлического покрытия из порошка молибдена на сферические микросферы из Gd_2O_3 разработан метод механического нанесения (накатывания) покрытия в сфероидизаторе. Данный метод прост, надежен и технологичен.

Покрытия на сферических частицах пэлов улучшают их свойства, предохраняют от взаимодействия с теплоносителем первого контура реактора при гипотетическом появлении во время работы сквозных дефектов в оболочке. Таким образом, создается реальная возможность повышения живучести пэлов дисперсионного типа.

Полученные микросферы на основе Gd_2O_3 (~50 мас.%) помещают в чашу сфероидизатора и туда же засыпают порошок из молибдена (~50 мас.%) со связующим для нанесения покрытия на микросферы. Время операции обработки по нанесению покрытия при данных условиях работы сфероидизатора составляет 1,5 ч. Толщина «сырого» покрытия молибдена на микросферах на основе Gd_2O_3 составляет ~ 40 мкм.

ПРОИЗВОДСТВО ДИСПЕРСИОННЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Прессование микросфер с нанесенным «сырым» покрытием из Мо в готовые изделия производили двухсторонним прессованием в стальных пресс-формах на гидравлическом прессе П 6320 при удельном давлении 130 МПа. Затем спрессованные изделия проходили контроль качества (на наличие сколов и трещин) и передавались на операции отгонки связующего и спекания.

Процесс спекания представляет собой основной этап в консолидации частиц порошкообразного материала в твердом состоянии и упрочнении заготовки.

Полученные после прессования изделия помещали в графитовые тигли, футерованные молибденовым прокатом. Процесс отгонки связующего проводили в вакууме при медленном подъеме температуры. Атмосфера термообработки на стадии отгонки связующего выбиралась таким образом, чтобы исключить появления окислов на поверхности изделий. Тигель с прессованными изделиями после извлечения из печи отгонки связующего помещали в высокотемпературную печь с графитовым нагревателем, изготовленную на базе вакуумной установки ВУМ-10. Процесс спекания проводили в вакууме при температуре 1750 °С.

Плотность спеченных изделий составляла 9,5 г/см³ (93 % ТП). Определяющим фактором для плотности сформованных изделий является давление прессования. Зависимость плотности готовых изделий от давления прессования показана на рис. 1.

Спрессованные и спеченные готовые изделия имели ровную, гладкую без сколов и трещин поверхность. Металлографический анализ (рис. 2) показал, что микросферы из Gd_2O_3 имеют правильную округлую форму и равномерно распределены в металлической матрице. На спеченной молибденовой матрице не наблюдается следов потемнения (окисления), на шлифе виден характерный металлический блеск.

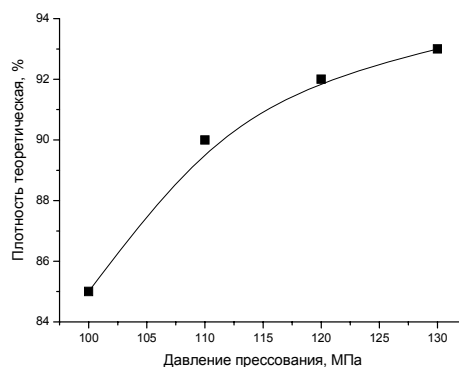


Рис. 1. Зависимость плотности готовых изделий от давления прессования

В самой металлической матрице не наблюдаются раковины и дополнительные включения.

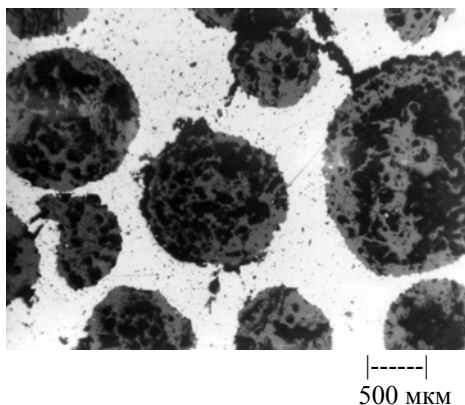


Рис. 2. Структура готового (спеченного) изделия

ВЫВОДЫ

1. При массовом производстве заготовок пэлов прессованием в пресс-формах весьма важно получить хорошую воспроизводимость плотности от изделия к изделию, изготовленных при одинаковом давлении прессования. Практически эта величина укладывается в пределе $\pm 0,5\%$ среднего значения плотности, что отвечает установленным требованиям по регламенту изготовления.

2. Исследованный метод изготовления изделий поглотителя дисперсионного типа характеризуется хорошей воспроизводимостью и экономичностью.

3. Получаемые изделия отличаются высоким качеством (в готовых изделиях не выявлены следы дефектов и трещин).

4. Пэлы дисперсионного типа обладают повышенными технико-эксплуатационными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Holzer et al. Progress in the design of fuel assemblies for LWR // *Proc. of Symp. on Improvements in Water Reactor Fuel Technology and Utilization, Stockholm, 15-19 Sep. 1986. Vienna: IAEA. 1987, p. 43-56.*
2. И.Д. Родомысельский // *Порошковая металлургия. 1966, №4, с. 45.*
3. *Reactor Mater.* 1962, v. 5, №2, p. 11.
4. M.K. Meyer, T.C. Wiencek, S.L. Hayes, G.L. Hoffman // *J. Nucl. Mater.* 2000, v. 278, p. 358.
5. В.В. Горский. Применение гадолиния в легководных реакторах // *Атомная техника за рубежом. 1987, №3, с. 3-11.*
6. K. Bhanumurty, R.V. Patil, D. Strivatsava, P.S. Gawde, G.B. Kale // *J. Nucl. Mater.* 2000, v. 297, p.220.

Статья поступила в редакцию 21.12.2010 г.

ДЕЯКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УДОСКОНАЛЕНИХ ПЕЛІВ ДИСПЕРСІЙНОГО ТИПУ З ВИГОРАЮЧИМ ПОГЛИНАЧЕМ

М.П. Одейчук, С.А. Сіренко, В.К. Яковлев, О.І. Большак, О.О. Слабоспицька

Поглиначі дисперсійного типу володіють підвищеними техніко-економічними показниками у порівнянні з вживаними зараз у реакторах ВВЕР. У даній роботі досліджено процес виготовлення пелів дисперсійного типу на основі Gd_2O_3 методами порошкової металургії.

DEVELOPMENT OF DISPERSION TYPE ABSORBERS WITH BURNABLE ABSORBER

M.P. Odeychuk, S.A. Sirenko, V.K. Yakovlev, A.I. Bolchak, E.A. Slabospitskaya

The dispersion type absorbers have increased technical and economic parameters in comparison with used in the given time in WWER type reactors. Dispersion type absorber elements manufacturing technology on Gd_2O_3 base by methods of powder metallurgy in the given article is considered.