

7. Kuleshova E.A., Gurovich B.A., Shtrombakh Ya.I. e.a. Microstructural behaviour of VVER-440 reactor pressure vessel steels under irradiation to neutron fluences beyond the design operation period. — Ibid., 2005, v. 342, № 1—3, p. 77—89.

8. Gurovich B.A., Kuleshova E.A., Shtrombakh Ya.I. e.a. Fine structure behaviour of VVER-1000 RPV materials under irradiation. — Ibid., 2009, v. 389, p. 490—496.

Поступила в Редакцию 25.02.10

УДК 621.039.542.342

ПИРОХИМИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОРУЖЕЙНОГО ПЛУТОНИЯ В ОКСИД ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СМЕШАННОГО ТОПЛИВА БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ

Рогозкин Б.Д., Степеннова Н.М., Федоров Ю.Е., Шишков М.Г., Глазовский Э.М., Рогожкин В.Ю.
(ОАО «ВНИИНМ», г. Москва), Шибаршов Л.И. (ВНИИТФ, г. Москва)

Для получения диоксида плутония керамического сорта были изучены два варианта технологии: пирохимическая с попутной очисткой плутония только от галлия и комбинированная, сочетающая пирохимический процесс перевода оружейного плутония в дисперсный порошок гидрида плутония с последующим получением порошков оксида или монокристалла плутония их растворением в кислотах и экстракционной очисткой от галлия и америция. Наиболее простым, экономичным и оперативным способом перевода оружейного плутония в оксид плутония является пирохимический с предварительным гидрированием и последующим окислением гидрида плутония [1].

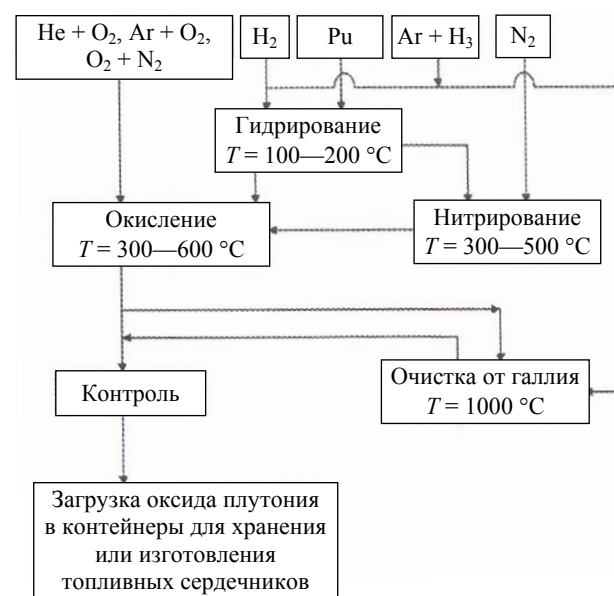
В связи с решением об использовании смешанного топлива в БН-800 и других актуальной становится конверсия оружейного плутония в дисперсный порошок оксида плутония, который пригоден для изготовления смешанного топлива [2]. Для изготовления смешанного топлива использовали исходные порошки диоксида плутония и урана, из которых после их смешивания, грануляции и прессования заготовок спекали сердечники в водородосодержащей атмосфере при 1600—1750 °С. Для этого варианта изготовления топлива возможно удаление галлия [3, 4].

Очистка диоксида плутония от америция вызвана желанием вовлечь избыточный плутоний в топливный цикл и изготовить из него смешанное топливо для энергетических реакторов, прежде всего тепловых, при условии обеспечения радиационной безопасности [2, 5].

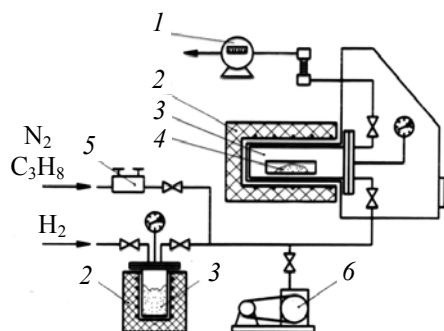
Разработка пирохимического процесса получения порошка оксида плутония из оружейного плутония. Пирохимическая переработка оружейного плутония в оксид включала в

себя последовательное проведение гидрирования компактного плутония водородом и регулируемого окисления гидрида плутония кислородом (смесью инертного газа с кислородом или парами воды). По второму варианту этого процесса после гидрирования проводили нитрирование азотом, затем регулируемое окисление. Нитрирование гидрида плутония азотом перед окислением позволяло исключить выделение водорода и образование гремучей смеси. Технологическая схема процессов приведена на рис. 1.

Оба варианта этого процесса характеризуются компактностью аппаратного и приборного оформления, возможностью проведения всех необходимых операций в одном аппарате без перегрузки промежуточных и конечных продуктов, простотой и надежностью контроля процессов, протекающих при температуре не



Р и с. 1. Технологическая схема пирохимического получения порошка диоксида плутония из оружейного плутония



Р и с. 2. Схема установки для получения порошка оксида плутония из оружейного плутония: 1 — ротаметр и счетчик газа; 2 — электропечь сопротивления; 3 — аппарат синтеза; 4 — слиток плутония; 5 — редуктор; 6 — вакуумный насос

выше 650 °С.

Для получения гидрида, оксида и нитрида плутония использовали горизонтальный аппарат из коррозионно-стойкой стали, представленный на рис. 2. На предварительной стадии исследования использовали образцы массой 15—30 г. Компактный оружейный плутоний переводили в порошок путем гидрирования. Для повышения скорости использовали высокочистый водород, полученный дегидрированием гидрида урана, а также стандартную аргонно-водородную смесь.

Оружейный плутоний (сплав плутония с галлием) массой 15—150 г загружали в горизонтальный аппарат. После вакуумирования или продувки аргоном его заполняли химически чистым водородом или аргонно-водородной смесью и нагревали. Необходимо было оценить влияние содержания галлия на скорость гидрирования оружейного плутония. Гидрирование проводили при давлении водорода от 10^4 до $1,5 \cdot 10^5$ Па. Оно начиналось почти без инкубационного периода при комнатной температуре и завершалось при 200—220 °С. Обычно процесс заканчивали при получении гидрида плутония, соответствующего составу PuH_2 — $\text{PuH}_{2,5}$ с кристаллической г.ц.к.-решеткой и $a = 0,535$ — $0,5345 \pm 0,0001$ нм. Усредненная скорость гидрирования чистым водородом при 150—200 °С составляла 2,2—2,4 г/(мин·см²). Расчетная продолжительность гидрирования слитков массой 500—600 г не превышала 1 ч. Было отмечено незначительное влияние содержания галлия на увеличение продолжительности гидрирования [6]. Гидрирование аргонно-водородной смесью проходило с меньшей скоростью и составляло 1,5—2 г/(мин·см²) при 150—200 °С. Установле-

но, что при температуре гидрирования 220—230 °С и давлении водорода до $1,5 \cdot 10^5$ Па образуются порошки гидрида плутония крупностью 40—150 мкм. С увеличением температуры и снижением давления водорода дисперсность порошка гидрида плутония увеличивалась (см. таблицу).

Результаты гидрирования оружейного плутония водородом

$T, ^\circ\text{C}$	Давление водорода, 10^5 Па	Размер частиц порошка PuH_{2+x} , мкм
Без внешнего нагрева	1,5	60—150
»	0,8	100—150
150	0,8	60—80
220—230	0,8	40—80

Поскольку синтезируемый порошок гидрида плутония крупностью 40—150 мкм обеспечивал получение дисперсного порошка оксида плутония на следующей стадии окисления, дальнейшее изучение процесса в целях уменьшения размера частиц порошка гидрида плутония не проводили.

Была проверена возможность гидрирования оружейного плутония без снятия защитного металлического чехла при условии ядерной безопасности. Для этого использовали образец длиной 90 мм, массой 150 г. В чехле были сделаны четыре отверстия общей площадью 12—16 мм². Гидрирование проводили при постоянном повышении температуры от 25 до 230 °С и давлении водорода до 1 — $1,5 \cdot 10^5$ Па. Время гидрирования составляло ~1,5 ч, средняя скорость при ограниченном поступлении водорода под оболочку очехлованного образца — ~1,7 г/мин. Установлено, в результате внутренних напряжений, вызванных образованием гидрида плутония, и соответствующего увеличения объема оболочка образца разрывалась и порошок гидрида плутония легко высыпался из чехла. Размер частиц порошка гидрида плутония достигал 700 мкм. Исследование указало на возможность упрощения гидрирования оружейного плутония в очехлованном состоянии при условии соблюдения требований ядерной безопасности и определенного соотношения плутония и водорода.

Выбор окислителя и изучение процесса окисления гидрида плутония. Основными за-

дачами исследования был выбор состава окислителя и обеспечение пожаровзрывобезопасного режима окисления гидрида плутония для получения дисперсного порошка оксида плутония, который бы на следующей операции изготовления топливных сердечников обеспечивал их необходимую плотность.

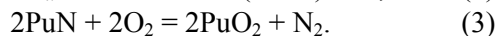
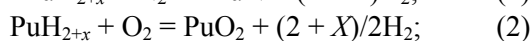
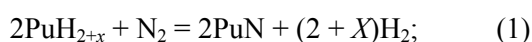
В начале исследований для окисления использовали порошки с размером частиц 40—700 мкм (40—63, 63—80, 80—120, 120—700 мкм). После завершения первого этапа исследований в основном применяли порошки гидрида плутония крупностью до 150 мкм.

Полученный гидрид плутония без перегрузки оставляли в горизонтальном аппарате, после отбора проб окисляли в смеси с аргоном, гелием или азотом. Объемное содержание кислорода в указанных смесях варьировали от 10 до 30%. Установлено, что при окислении гидрида плутония смесью $O_2 + Ar$, $O_2 + He$ протекала только одна реакция



Аргон, гелий и азот играли роль разбавителя кислородно-водородной смеси в целях исключения образования гремучей смеси. Кроме того, обнаружено, что гелий, обладающий высокой теплопроводностью (0,1438 Вт/(см·К) при нулевой температуре), позволял быстро рассеять теплоту, выделяющуюся за счет экзотермической реакции окисления, и таким образом, снизить температуру в зоне реакции, уменьшить размеры частиц оксида плутония. Несмотря на высокую скорость диффузии гелия, обусловленную большой разницей плотности гелия (0,178 г/л) и кислорода (1,43 г/л), было опасение образования неоднородной газовой смеси между гелием и кислородом. Для повышения однородности использовали смесь кислорода с азотом (1,25 г/л) и аргоном (1,78 г/л). Кроме того, применяли более дешевые технические сорта аргона и азота с большим содержанием кислорода и паров воды.

При окислении гидрида плутония азотно-кислородной смесью протекали следующие реакции:



Галлий и америций, содержащиеся в оружейном плутонии, окислялись до Ga_2O_3 и AmO_2 .

Вероятность протекания параллельных реакций была очень высокой, поскольку объемная доля азота в экспериментах составляла 80—90%.

Аппарат с гидридом плутония вакуумировали и заполняли окислительной газовой смесью. Вместо вакуумирования применяли также замещение водородной атмосферы на окислительную путем продувки смесью кислорода с гелием, аргоном или азотом. После замещения атмосферы начинали повышать температуру. Вне зависимости от исходного состава окислительной газовой смеси кислорода с азотом, аргоном или гелием реакция начиналась при 25—50 °С. Температура за счет экзотермического эффекта реакции и внешнего нагрева реакционного аппарата повышалась до 450—500 °С. В отдельных опытах окисление специально проводили при 550—650 °С. После окисления при 650 °С проводили термообработку полученного порошка водородом в течение 40 мин. Установлено, что после термообработки содержание галлия снижалось на 10—25%.

Гранулометрический состав порошка оксида и нитрида плутония определяли микроскопическим методом, в основе которого лежали измерение и подсчет количества частиц на оптическом микроскопе согласно ГОСТу 23402—78.

Окисление порошков гидрида плутония кислородно-гелиевой и кислородно-аргоновой смесью (10% по объему O_2 + 90% по объему He или Ar). Для окисления гидрида плутония использовали порошки как узкого гранулометрического состава после их классификации на ситах, так и первичные порошки с размером частиц до 150 мкм, в отдельных случаях до 700 мкм.

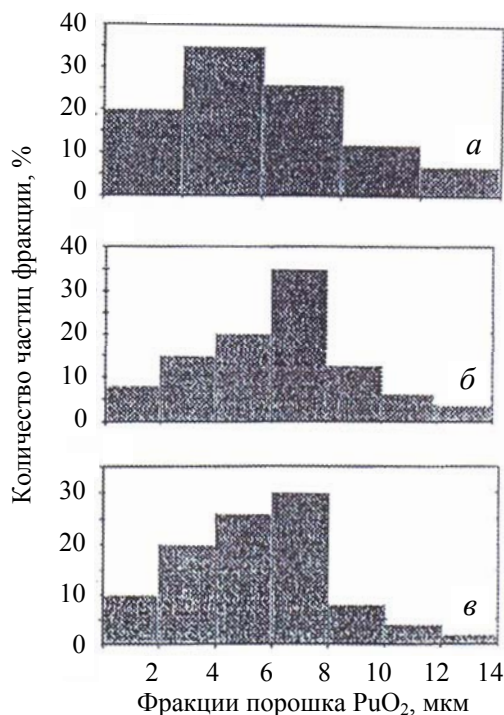
Окисление протекало спокойно без резкого повышения температуры. Некоторое повышение температуры отмечалось в области 200—250 °С. Установлено, что крупность порошка исходного гидрида плутония незначительно влияла на размеры частиц образующегося оксида плутония. Скорость окисления гидрида плутония увеличивалась с уменьшением размера частиц, на что указывало прекращение изменения давления внутри аппарата. Продолжительность окисления гидрида плутония фракции 63—80 мкм сокращалась на 15—20% по сравнению с фракцией 100—150 мкм. Ввиду такой небольшой разницы в продолжительности процесса окисления в

дальнейшем использовали первичный порошок, что исключало его перегрузку и классификацию.

Образцы гидрида плутония массой 14–15 г и крупностью до 150 мкм окисляли в течение 5–6 мин при 350–400 °С. Средняя скорость процесса окисления составляла ~2,6–3 г/мин. При среднем размере частиц порошка гидрида плутония 100 мкм скорость окисления достигала 0,03 г/(мин·см²).

Порошки, полученные окислением гидрида плутония в кислородно-гелиевой или кислородно-аргоновой атмосфере, имели почти одинаковую насыпную плотность 2,4–2,5 г/см³ и 2,5–2,6 г/см³ соответственно. Однако наблюдалось некоторое отличие в их гранулометрическом составе (рис. 3). Установлено, что в результате использования кислородно-гелиевой смеси образуется большее количество порошка оксида плутония с размером частиц менее 10 мкм.

Окисление порошка гидрида плутония кислородно-азотной смесью газов с 10, 15 и 20% по объему кислорода. С точки зрения получения однородной газовой смеси такое сочетание наиболее технологично, так как плотность газов близка O₂ — 1,43 и 1,25 г/л кислорода и азота. Несмотря на то что с гидридом плутония могут параллельно реагировать азот и кислород, суммарный тепловой эффект реакции будет

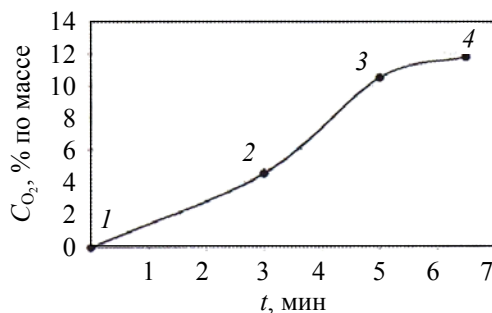


Р и с. 3. Распределение по фракциям порошков оксида плутония при окислении 10%O₂ + 90%He (а), 10%O₂ + 90%Ar (б), 20%O₂ + 80%N₂ (в)

продолжительным и в единицу времени выделится меньшее количество теплоты. Причем первоначально с гидридом плутония будет реагировать азот из-за большего объемного содержания с тепловым эффектом, который примерно в 3,5 раза меньше по сравнению с реакцией гидрида плутония с кислородом. Кроме того, отношение концентрации кислорода и водорода будет значительно меньше 0,5, что исключает возможность образования гремучей смеси внутри аппарата. Образцы гидрида плутония массой 15–80 г окисляли в течение 5–7 мин, что соответствовало скорости окисления 180–600 г/ч.

Влияние масштабного фактора при увеличении массы образцов с 15 до 80 г незначительно влияло на скорость окисления гидрида плутония. Однако с дальнейшим ростом массы образцов до 150 г скорость окисления увеличивалась в 1,6–1,7 раза, что, по-видимому, связано с локальным повышением температуры процесса и увеличением скорости параллельно протекающих реакций нитрирования и окисления (1)–(3).

На рис. 4 приведены экспериментальные данные опытов, которые прерывали при заданной температуре с заменой атмосферы. В начальный период времени при температуре до 300–330 °С происходило постепенное окисление гидрида плутония до 4,5–5%, что, по-видимому, свидетельствовало о параллельном протекании реакций нитрирования и окисления. При более высокой температуре (350–500 °С) наблюдали быстрое окисление нитрида и оставшейся части гидрида плутония с образованием диоксида плутония стехиометрического состава. Сопоставление с ранее полученными данными об окислении компактных топливных сердечников из нитридов урана и плутония плотностью



Р и с. 4. Изменение начального содержания кислорода в продуктах взаимодействия порошка гидрида плутония массой 15 г и размером частиц менее 150 мкм с 20% по объему O₂ и 80% по объему N₂ при 150 (1), 330 (2), 430–450 (3), 600 °С (4)

85—90% теоретической свидетельствует о корреляции их скорости, полноты протекания реакций и гранулометрического состава порошков полученных оксидов [7].

Содержание кислорода в продуктах реакции определяли неразрушающим нейтронно-активационным методом, при котором с увеличением концентрации кислорода уменьшалась относительная погрешность измерений до 8—10% [8].

Особенности окисления порошков гидрида плутония, имеющих различную крупность, почти совпадали с приведенными данными об окислении смесями кислорода с гелием и аргоном. В результате окисления гидрида плутония смесью кислорода и азота в указанном диапазоне состава газовой смеси происходило образование порошка диоксида плутония насыпной плотностью 2,5—2,6 г/см³ и размером частиц менее 15 мкм (см. рис. 3, в). Этот порошок характеризовался плохой текучестью, повышенной слеживаемостью, почти не просыпался через стандартную воронку диаметром 6 мм. Каждый состав газовой смеси O₂ + N₂ эффективно окислял порошки гидрида плутония различного гранулометрического состава (с размером частиц от 63 до 700 мкм). Полученные порошки диоксида плутония имели параметр решетки $a = 0,5395—0,5396$ нм и характеризовались почти одинаковой насыпной массой, текучестью и размером частиц (до 15 мкм). Повышение концентрации кислорода в газовой смеси с 10 до 20% способствовало увеличению скорости окисления на 15—20%.

Использование порошка нитрида плутония, полученного в результате нитрирования гидрида плутония азотом, в целях получения оксида плутония по упомянутому режиму почти не влияло на размеры частиц порошка оксида плутония, их текучесть и слеживаемость. Была установлена возможность отказа от введения инертного газа, поскольку в объеме аппарата отсутствовал водород. Отмечено, что при термообработке порошка диоксида плутония в атмосфере химически чистого водорода при 650 °С в течение 1 ч количество галлия снижалось как минимум на 10—25%. Термодинамический расчет реакции восстановления Ga₂O₃ водородом в условиях химического равновесия в диапазоне 227—2227 °С показал, что при температуре выше 627 °С образуется легколетучий Ga₂O. В условиях химического равновесия при температуре

более 1230 °С Ga₂O₃ полностью восстанавливается до Ga₂O. При термообработке порошка оксида плутония PuO₂ + Ga₂O₃ в потоке водорода при 1000 °С проходило восстановление Ga₂O₃ до Ga₂O с последующей возгонкой. После термообработки содержание галлия в порошке оксида плутония не превышало 0,001% по массе, крупность частиц увеличивалась до 25—30 мкм. Установлено, что при спекании топливных сердечников из оксида плутония или смешанного оксида урана с плутонием, изготовленных с использованием оружейного плутония, в атмосфере водорода или смеси водорода и инертного газа при температуре до 1650 °С оксид галлия Ga₂O₃ восстанавливался до Ga₂O [4], который возгоняется. Содержание галлия в топливных сердечниках не превышало 0,001% по массе. Таким образом, результат термодинамического расчета подтвержден экспериментальными данными. Близкие экспериментальные данные получены в работе [3].

Материальный баланс гидрирования и окисления в условиях замкнутого объема без перегрузки продуктов реакции показал, что прямой выход плутония составлял не менее 99,95%, оборотных материалов (фильтры, рассыпавшийся порошок и др.) — ~0,05%.

На основании исследований был выбран окислитель крупностью до 150 мкм, который содержал 20% кислорода и 80% азота, позволял немного повысить скорость окисления гидрида плутония и получать порошки, по гранулометрическому составу не уступающие порошкам диоксида плутония при использовании других газообразных окислителей.

Сравнение показало, что более дисперсный порошок оксида плутония образуется при окислении PuH_{2+x} смесью гелия с кислородом. Однако поскольку уменьшение размера частиц порошка было незначительным, то для изготовления опытных партий в дальнейших исследованиях применяли смесь азота с 20% кислорода, окисление проводили при ~480 °С. Полученный диоксид плутония имел рыжевато-зеленый цвет и при пересыпании сильно пылил.

Для оценки керамических свойств порошка, полученного пирохимическим методом, были изготовлены пробные партии топливных сердечников из оксида плутония и смешанного оксида урана и плутония, содержащие 4—4,2 и 20% диоксида плутония. Установлено, что в

случае изготовления сердечников без применения связующего прессованием при давлении 15—25 МПа и спекании в атмосфере водорода при 1700—1750 °С в течение 2 ч плотность сердечников составляла 10,4—10,7 г/см³. По данным спектрального анализа содержание галлия в спеченных сердечниках было менее 0,001% по массе. Известно, что содержание галлия в спеченных топливных сердечниках из монокарбидов или моонитридов при использовании оружейного плутония также не превышало 0,001% по массе.

Аналогично изготовлению смешанного монокарбидного, моонитридного топлива из оружейного плутония и отвалного урана возможно также получение смешанного оксидного топлива при использовании операций сплавления оружейного плутония и урана в заданном соотношении по ранее указанным режимам. Гидрирование сплава плутония с ураном водородом протекает интенсивно с образованием более дисперсного порошка гидридов плутония и урана с размером частиц до 25 мкм. После окисления гидрида плутония, содержащего 20% PuH_{2+x} и 80% UH₃, кислородом образовывалась смесь оксидов плутония и урана с содержанием кислорода 12,5—12,8% по массе. Для получения диоксида урана и плутония стехиометрического состава требовалось восстановление полученного оксида плутония с ураном водородом, которое осуществляли в том же аппарате при 400—500 °С.

Предпроектный анализ пирохимической технологии переработки оружейного плутония, выполненный совместно ВНИИНМ, ФЭИ, ВНИИЭФ, показал, что радиационная и ядерная безопасность промышленной установки может быть принципиально обеспечена инженерно-техническими решениями и организационными мерами [9]. Наиболее оправданный способ обеспечения ядерной безопасности состоит в ограничении массы металлического плутония в аппарате синтеза. В отсутствие замедлителей безопасное количество плутония составляет около 2,5 кг. Из-за малой протяженности рабочего пространства камер это ограничение должно быть распространено на всю установку при условии, что наличие водорода при гидрировании не приведет к уменьшению допустимого количества плутония.

По сравнению с альтернативными технологиями конверсии оружейного плутония пирохимическую технологию характеризует менее интенсивное радиационное поле, что связано с компактностью оборудования и возможностью проведения различных пирохимических операций в одном аппарате, не требующем дополнительной биологической защиты [9]. Пирохимическая и комбинированная технология переработки оружейного плутония не включает операции механического измельчения слитков металлического плутония и операций подготовки металлического плутония к растворению, что является преимуществом перед обычной гидрометаллургической технологией. Достоинством пирохимических процессов в аварийных условиях является пожарная безопасность аппарата, рассчитанного на работу при температуре до 1000 °С. Кроме того, достоинством пирохимических процессов является высокая скорость проведения операций. Меньшие протяженность и пространственная разветвленность коммуникаций уменьшают риск аварий с выходом аэрозолей, содержащих плутоний, в воздух рабочих помещений. Преимуществом также является и меньшее количество персонала, обслуживающего данную установку.

Таким образом, установлено, что перевод слитков оружейного плутония в дисперсный порошок диоксида плутония, осуществляемый с помощью операций гидрирования (H₂ + Ar) и окисления PuH_{2+x} или PuN, является высокоэффективным ядернопожаровзрывобезопасным процессом, который исключает пылящие операции и позволяет получать диоксид плутония в одном аппарате (без перегрузки продуктов реакции) при низком давлении реакционных газов (до 1,5·10⁵ Па) и температуре не выше 650 °С. При окислении гидрида или нитрида плутония кислородом образуется порошок диоксида плутония, характеризующийся почти полным отсутствием текучести, насыпной плотностью 2,4—2,6 г/см³ и размером частиц до 15 мкм. После грануляции он пригоден для изготовления на обычном оборудовании по принятым режимам топливных сердечников со смешанным топливом плотностью 10,4—10,7 г/см³. Выбран состав газообразного окислителя гидрида плутония (10—20% по объему O₂ и 90—80% по объему N₂), обеспечивающий необходимую

дисперсность порошков оксида плутония (менее 15 мкм), скорость и безопасность процесса. Крупность порошка гидрида плутония с размером частиц до 700 мкм незначительно влияет на размер частиц порошка оксида плутония, полученного путем окисления гидрида плутония газовыми смесями ($\text{He} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{N}_2 + \text{O}_2$). Плутоний от галлия очищается в результате возгонки легколетучего Ga_2O , образующегося при термообработке в атмосфере водорода при температуре более 650 °С. Содержание галлия в спеченных таблетках из PuO_2 и UPuO_2 , полученных при 1600 °С, не превышает 0,001% по массе. Количество оборотных материалов с плутонием и ураном незначительно и связано с образованием пыли внутри камер при проведении операций разгрузки аппаратов и прессования топливных сердечников. Пирохимический процесс перевода слитков оружейного плутония в дисперсные порошки оксида плутония с учетом требований техники безопасности превосходит показатели рубки и резки плутония, а также очистки от галлия гидрометаллургическим способом. Общая площадь установки составляет менее 55 м² при месячной производительности ~0,3 т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогозкин Б.Д., Решетников Ф.Г., Степеннова Н.М. и др. Пирохимическая конверсия оружейного плутония в монокристаллическое, монокристаллическое и смешанное уран-плутониевое топливо для быстрых реак-

- торов. — Атомная энергия, 2010, т. 109, вып. 3, с. 152—158.
2. Rudneva V., Kagramanian V., Murogov V. e.a. The Aida MOX program: strategic approaches to plutonium utilization. — In: Global-1995. Versailles, France, 1995, Sept. 11—14, v. 1, p. 652—659.
3. Toeys J., Beard C. Gallium in weapons — grade plutonium and MOX fuel fabrication. — In: Proc. Institute for Energy and Environmental Research (IEER), SDA, 2008, v. 5, № 4, p. 1—4.
4. Рогозкин Б.Д., Белов Г.В., Бергман Г.А. Удаление галлия в процессе пирохимической переработки оружейного плутония в оксидное топливо. — Атомная энергия, 2009, т. 107, вып. 1, с. 55—57.
5. Polyakov A.S., Borisov L.M., Zakharkin B.S. e.a. Aida/MOX: progress report on the research concerning the aqueous processes for allied plutonium conversion to PuO_2 or $(\text{U}, \text{Pu})\text{O}_2$. — In: Global-1995. Versailles, France, 1995, Sept. 11—14, v. 1, p. 640—651.
6. Stakebake J. Kinetics for the reaction of hydrogen with a plutonium-1 weight percent gallium alloys powders. — J. Electrochem. Soc., 1981, v. 128, № 11, p. 2383—2388.
7. Новоселов Г.П., Степеннова Н.М., Кушников В.В. и др. Окисление брикетов из монокристаллических, карбидов урана и плутония. — Атомная энергия, 1982, т. 53, вып. 2, с. 77—80.
8. Овечкин В.В., Мелентьев В.И., Рогозкин Б.Д. и др. Активационные методы определения содержания кислорода, азота и фтора в ядерном топливе. — Там же, 1983, т. 53, вып. 3, с. 153—156.
9. Власкин Г.Н., Рогозкин В.Ю. Радиационные поля в технологиях конверсии плутония: Препринт ВНИИНМ, 2000, № 2. 18 с.

Поступила в Редакцию 2.04.10

УДК 621.039.54

ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ПЛАСТИФИКАТОР ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ СЕРДЕЧНИКОВ ТВЭЛОВ

Колокол А.С., Прошкин А.А., Пышин И.В., Шимкевич А.Л. (ИЯР РНЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва)

Для развития ядерной энергетики предполагается осуществить замыкание ядерного топливного цикла с включением в него быстрых реакторов-размножителей и производства смешанного оксидного топлива. Если ориентироваться на пирохимический метод переработки отработавшего ядерного топлива, то изготовление керамических таблеток из смешанного оксидного топлива будет осложнено высокой радиоактивной массой, смешанные с водой в виде однородного шликера, позволяют получать изделия сложной формы. Смешав тонкодисперсное ок-

сидное исходного порошка и необходимостью проводить технологический процесс дистанционно с использованием биологической защиты.

Изготовление керамических изделий из оксидов. Каолин — основной компонент керамической массы, используемой при производстве фарфора и фаянса, представляет собой сложный оксид $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [1]. Частицы оксидное ядерное топливо с пластификатором, можно получить подобный шликер и контролируемым образом изготавливать из него ци-