

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКА И ИЗДЕЛИЙ ГИДРИДА ЦИРКОНИЯ

С. С. Толстоухов, И. В. Козловский

ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск
tolstouhovss@sialuch.ru

Устройство замедлителя является одним из основных элементов в ядерном реакторе. Назначение замедлителя состоит в том, чтобы эффективно уменьшать энергию быстрых нейтронов при минимальной их потере. В таблице представлены основные материалы и их характеристики, применяемые в качестве замедлителей в ядерной отрасли.

Материал	Плотность	Замедляющая способность	Коэффициент замедления	Длина диффузии L , см
Бериллий	1,85	0,16	150	20,8
Графит	1,6	0,06	170	56,4
Вода	1	1,5	69	2,76
ZrH _{1,94}	5,56	1,54	51	~2,76

Как видно из таблицы, бериллий лучше всего подходит в качестве материала для твердого замедлителя, однако он обладает самой высокой стоимостью и вреден при изготовлении и обработке. Также в нем при интенсивном облучении образуется гелий, под давлением которого бериллий распухает. В основном из бериллия изготавливают отражатели.

Использование гидрида циркония в качестве замедлителя имеет следующие основные преимущества.

1. Малые объем и вес реактора. Благодаря эффективности гидрида циркония как замедлителя реактор получается небольшим, уменьшается вес его защиты, корпуса и т.д.

2. Относительно невысокая стоимость горючего. Благодаря высокой эффективности замедлителя можно использовать менее обогащенный уран.

3. Относительно высокая допустимая температура замедлителя.

4. Применение твердого нелетучего замедлителя упрощает конструкцию реактора.

Недостатками этого материала являются невысокая коррозионная устойчивость в окислительной среде и большие потери водорода при высоких температурах. Эти недостатки можно уменьшить или совсем убрать, применяя дополнительную контейнеризацию в нейтральной среде и водородоудерживающие покрытия.

Критическая масса для реактора с замедлителем из гидрида циркония с температурой эксплуатации выше 300–400 °С значительно меньше, чем для

эквивалентной системы с водяным или графитовым замедлителем. Гидрид циркония весьма перспективно использовать в небольших энергетических реакторах, для которых ограничения по размерам и массе имеют большое значение, поскольку он характеризуется величиной N_H (число атомов водорода в см^3), эквивалентной соответствующей величине для холодной воды, и может использоваться при температурах вплоть до 650°C [1].

Начиная с середины прошлого века во ФГУП НИИ НПО «ЛУЧ» разрабатываются технологии по производству гидридов различных металлов и изделий на их основе. В основе данных технологий лежит свойство некоторых металлов (таких как U, Zr, Ti, Y и других) взаимодействовать с водородом при различных температурах образуя гидриды. В зависимости от величины изменения фазового объема, гидриды получаются либо в виде порошка, который является основой для производства изделий из гидрида методами порошковой металлургии, либо в виде плотного изделия заданной формы с последующей механической обработкой в размер. И в том и в другом случае для различных металлов есть свои сложности и особенности, которые успешно изучаются во ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ».

Естественным развитием данного направления стало создание нового технологического участка, основой которого является установка прямого синтеза «УПС-1», разработанная специально для ФГУП НИИ НПО «ЛУЧ» (рис. 1). Установка состоит из двух ампул с максимальной температурой нагрева 1100°C , герметичного перчаточного бокса, который позволяет работать в инертной среде, системы подачи технологических газов и вакуумной системы.

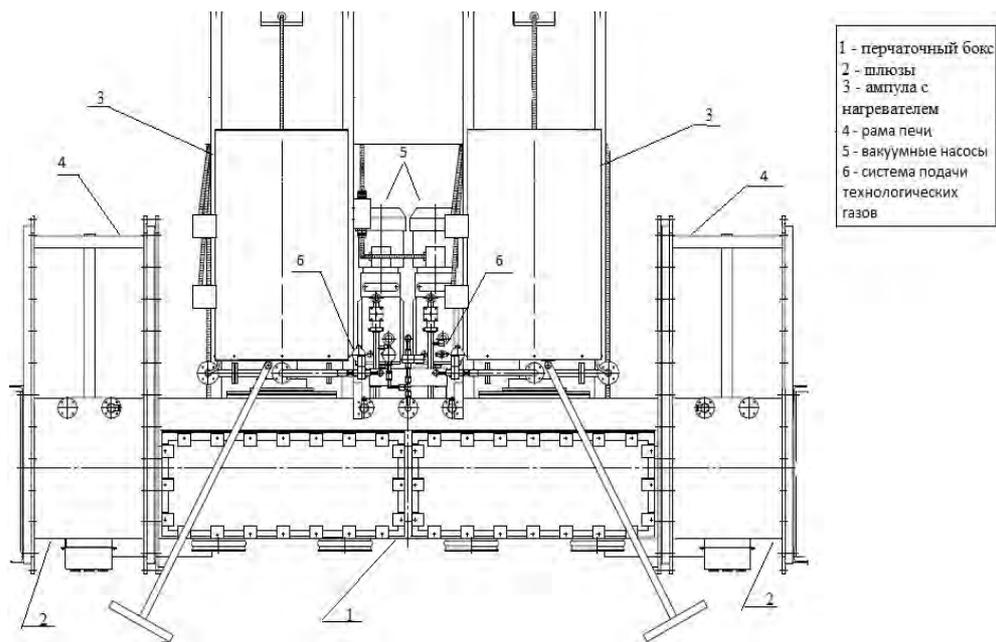


Рис. 1 Установка прямого синтеза «УПС-1». Вид сверху

Одной из основных задач для данного участка является производство изделий из гидрида циркония методами порошковой металлургии. В качестве

исходного компонента используется заготовки металлического циркония, поверхность которого предварительно обрабатывается механически или специальным раствором. Далее цирконий загружается в ампулу печи прямого синтеза и происходит вакуумирование до значений $\sim 10^{-2}$ мм рт. ст. Далее происходит нагрев до заданной температуры и в ампулу подается избыточное давление водорода. Наиболее оптимально процесс гидрирования проходит при 600–700 °С [2], окончание которого определяется по стабилизации давления водорода в камере. В зависимости от исходного материала и требуемых параметров конечного продукта этот процесс может проводиться несколько раз. Для этого получившийся материал дегидрируют путем повышения температуры до 900 °С в вакууме. После окончания процесса дегидрирования температура снова снижается, подается водород, и процесс гидрирования начинается снова. По окончании процесса, печь остывает до комнатной температуры и заполняется аргоном вместе с перчаточным боксом. Если дисперсность порошка не устраивает, то возможен помол в валковой или планетарной мельнице. Одним из вариантов производства дальнейших изделий является метод деформирования порошковых заготовок в оболочках. Для этого исходный порошок прессуется в брикет плотностью 75–85 % от теоретической. Загружается в специальный контейнер из стали и заваривается в вакууме на электронно-лучевой установке (ЭЛУ). Далее эту заготовку помещают в муфельную печь и выдерживают при температуре ~ 600 °С 1 ч. Затем заготовку помещают в предварительно разогретый контейнер и производят прессование. В зависимости от усилия прессования, конструкции оболочки и контейнеров, а также времени выдержки получают необходимые параметры конечных изделий. После прессования снимается оболочка и полученный гидрид циркония обрабатывается механически для придания нужной формы. Технологическая схема этого процесса представлена на рис. 2.

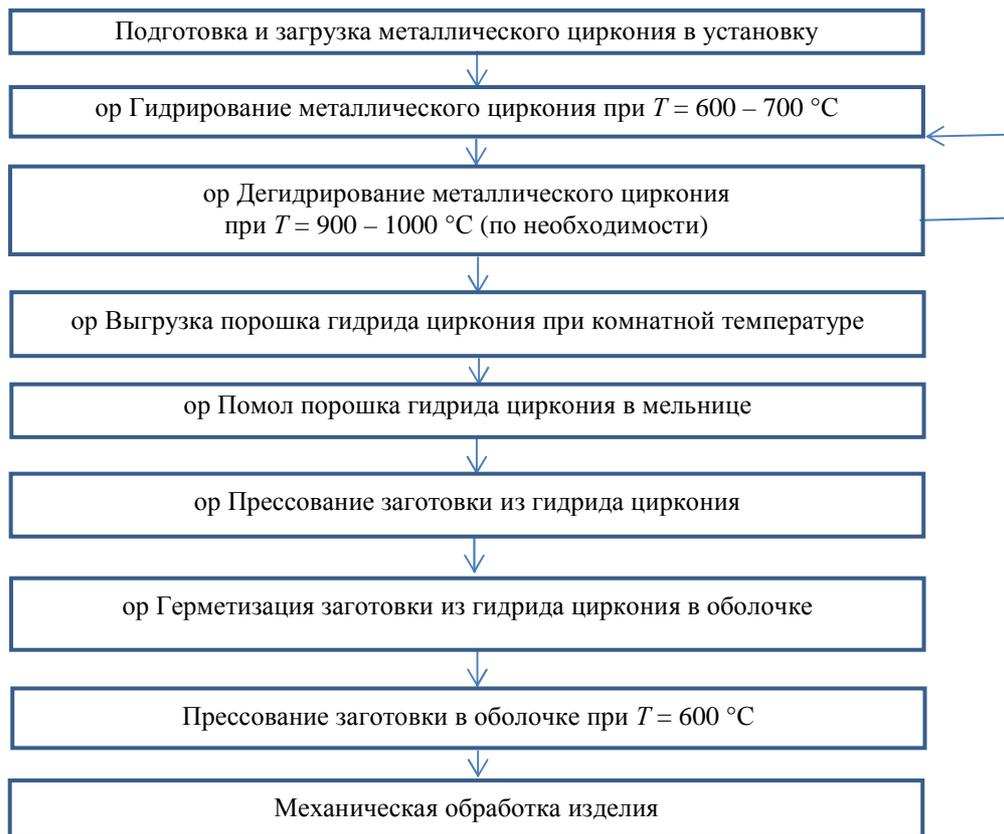


Рис.2 Технологическая схема производства изделий из гидроксида циркония методом деформирования порошковых заготовок в оболочках

В 2014 году по этой технологии были сделаны пробные образцы замедлителя для мишени по наработке ^{60}Co (см. рис. 3). На фотографии представлен цилиндрический образец диаметром 31 мм и кольцо с внешним диаметром 46 мм, вырезанные из одной заготовки. Содержание водорода в образцах соответствовало ϵ -фазе. Плотность: 95–100 % от теоретической [3]. При испытании на изгиб $\langle \sigma_{\text{изг}} \rangle = 176$ Н/мм². Изделия достаточно прочные для дальнейшей эксплуатации и легко поддаются механической обработке.



Рис.3 Образцы из гидроксида циркония

Другой метод получения плотного изделия (методом «прямого» насыщения водородом металлического циркония) требует учитывать объемные изменения при образовании гидрида и, следовательно, строго регламентировать во времени параметры температуры, давления водорода, скорости нагрева и охлаждения во избежание образования трещин. Эти строгие ограничения приводят к тому, что при получении качественных гидридных изделий большого диаметра требуются сотни часов. Но для производства стерженьков диаметром не более 8 мм и длиной порядка 50 мм этот метод является оптимальным.

Помимо гидридов циркония, на установке прямого синтеза можно получать гидриды других металлов, способных активно взаимодействовать с водородом при температуре до 1100 °С. В частности, актуальной является работа с металлическим ураном и его сплавами для производства различных видов топлива.

Список литературы

1. Гидриды металлов / Под ред. В. Мюллера, Д. Блэкледжа и Дж. Либовица. М.: Атомиздат, 1973.
2. Антонова М. М., Морозова Р. А. Препаративная химия гидридов: Справочник. Киев: Наукова думка. 1976.
3. Антонова М. М. Свойства гидридов металлов: Справочник. Киев: Наукова думка. 1975.