

Экспериментальная идентификация реакции низкотемпературного синтеза в системе Ti-D

В.В. Буньков, Н.Б. Бондаренко, В.И. Власов, С.Б. Злоказов, В.П. Кадников, А.Г. Мальцев, А.Д. Никифоров, П.И. Новиков, В.А. Сафонов, В.М. Шенцев, С.А. Цветков¹

От редакции. Мы публикуем рукопись 1989 года статьи нескольких авторов, которую любезно предоставил С.А. Цветков. Первоначально первым автором стоял Е.О. Адамов (Директор НИКИЭТ имени Н. А. Доллежалея в 1986–1998 гг.). *“Статья согласовывалась в то время с ним и он отказался быть автором. Это первое, что затормозило отправку этой статьи в журнал. А потом, после подачи заявки на изобретение, актуальность публикации, видимо, совсем пропала, да и мы занялись другими экспериментами и по ним уже публиковались за рубежом и в журнале «Физика металлов и металловедение», в который первоначально предназначалась эта статья.”* (С.А. Цветков).

Аннотация—Приведено описание экспериментальной попытки идентификации реакции низкотемпературного синтеза дейтерия в титане, указаны условия проведения эксперимента. Анализ результатов позволяет сделать вывод об идентификации признаков реакции синтеза: нейтронное и гамма-излучение, тепловой эффект. Результаты подтверждают предположение об увеличении вероятности реакции синтеза при фазовых переходах в системе «металл-дейтерий».

В настоящей статье приведены результаты экспериментальной попытки по осуществлению и идентификации реакции низкотемпературного синтеза при насыщении (дегазации) дейтерием титана непосредственно из газовой фазы.

Исходный образец, имеющий форму цилиндра $\phi=9$ мм, $l=64$ мм, обезгаживали в вакууме в течение 7 часов при температуре 600-700°C. Образец обладал определенной пористостью, вследствие приготовления его методом порошковой металлургии. Образец, помещенный в герметичную ампулу, разогревали с помощью наружной печи сопротивления. Между образцом и печью был размещен датчик, работающий в диапазоне 10^{-2} - 10^2 Вт, который позволял регистрировать тепловой

поток от образца к печи (и обратно), с погрешностью градуировки $\pm 50\%$.

В ходе измерений регистрировали потоки нейтронов и γ -квантов. Система непрерывной регистрации ядерных излучений от образца включает в себя 2 идентичных детектора гамма-квантов (БДГ) и 2 идентичных детектора нейтронов (БДН).

БДГ представляет собой сцинтилляционный детектор БДЭГ2-38 с использованием монокристалла NaJ(Tl) размером 63х63 мм и ЖЭУ-82.

БДГ имеет следующие характеристики (по цезию-137):

- эффективность регистрации не менее 57%;
- чувствительность не менее 21 имп/ γ -кв. $\cdot$ см $^{-2}$;
- собственный фон не более 200 имп/мин.

БДН состоит из полиэтиленового замедлителя нейтронов, 15 счетчиков медленных нейтронов типа СИ19Н, устройства формирования и вспомогательных узлов.

Счетчик СИ19Н имеет следующие характеристики:

- эффективность регистрации тепловых нейтронов не менее 60%;
- собственный фон не более 0,1 имп/с.

Чувствительность установки к гамма-квантам с энергией 1,25 МэВ составляет не менее 7 имп $\cdot$ с $^{-1}$ /мкр $\cdot$ ч $^{-1}$.

Чувствительность установки к нейтронам плутоний-бериллиевый источник не менее 50 имп/н $\cdot$ см $^{-2}$.

БДН нечувствителен к гамма-излучению до уровня не менее 200 мкр/с.

Сигнал каждого из 4 детекторов регистрировался и обрабатывался в автоматическом двухтактном режиме с использованием полностью идентичных между собой цифровых электронных устройств.

Система обеспечивала периодическую индикацию показаний на цифровом табло, а также световую и звуковую сигнализацию превышения пороговых уровней излучений раздельно по каждому из 4 каналов регистрации.

Порог срабатывания сигнализации устанавливался аппаратно перед началом эксперимента на уровне 4 среднеквадратичных флуктуаций числа отсчетов за время рабочей экспозиции (0,5 с).

¹ rossomahi@yandex.ru.

Время выдержки между двумя последовательными рабочими экспозициями составляло 0,1 с.

Длительность звукового сигнала соответствовала длительности превышения пороговой интенсивности излучения.

Установка тракта световой сигнализации в исходное состояние осуществлялась оператором.

В конкретных условиях проведения эксперимента факт превышения уровня соответствовал выходу излучения от образца на уровне: 10^3 нейтронов в секунду и 10^4 гамма-квантов в секунду.

Вероятность ложных срабатываний пороговой сигнализации в конкретных условиях эксперимента составляла:

- по одному каналу установки не более 1 срабатывания за 3,6 часа работы;
- по двум каналам установки не более 1 синхронного срабатывания за 5,5 лет непрерывной работы.

Совместно с непрерывной регистрацией ядерных излучений от образца использовали интегральные трековые детекторы нейтронов из набора ДКН. В циклах измерений 1-3 использовали: 4 детектора на основе урана-235 с регистратором из слюды мусковит, установленные за слоем водного замедлителя толщиной 15 см; 3 детектора на основе нептуния-237 с регистратором из слюды мусковит, установленные перед водным замедлителем. Один детектор на основе урана-235 использовали в качестве контрольного.

В циклах измерений 4-5 использовали 4 детектора на основе урана-235 с регистратором из лавсана. 2 детектора с регистратором из лавсана использовали в качестве контрольных. Все детекторы были установлены за водным замедлителем толщиной 10 см, кроме контрольных.

Таким образом, системы регистрации позволяли наблюдать тепловой эффект реакции, а также идентифицировать ядерные эффекты в образце по выходу гамма-квантов и нейтронов.

Для проведения исследований использовали газобразный дейтерий с содержанием трития на уровне $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л.

Эксперимент проводили по следующей методике.

При установлении заданной температуры образца T фиксировали установление стационарного теплового потока в системе «печь-образец». Затем напускали дейтерий до заданной величины давления и при достижении стационарного значения температуры образца (температура в момент напуска резко увеличивалась за счет экзотермической реакции растворения дейтерия) сбрасывали давление до $\sim 0,1$ МПа. Через 30-40 секунд сбрасывали давление до величины ~ 10 -100 Па и проводили постоянную откачку ампулы до достижения стационарных значений теплового потока и температуры образца. Затем цикл операций повторяли. Всего было проведено 7 однотипных циклов (суммарная длительность измерений составила ~ 7 часов).

После проведения 4-го цикла измерений плавно охлаждали образец до комнатной температуры (в течение

3 часов) при давлении дейтерия в ампуле 3,8 Мпа. Система регистрации была дополнена вторым комплектом идентичных нейтронных и гамма-детекторов. Дополнительно провели экранировку боковых поверхностей обоих γ -детекторов слоем свинца толщиной 1 см. Между образцом и одним из нейтронных детекторов установили экран из полиэтилена толщиной 15 см. Заменяли трековые детекторы. Затем провели циклы измерений 5-7.

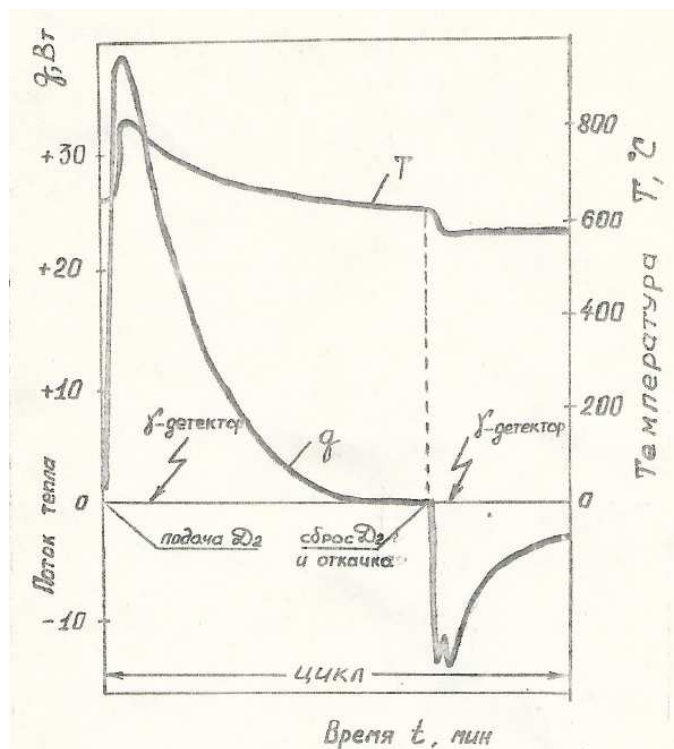


Рис. 1. Характерные временные изменения давления, температуры образца T и потока тепла q при проведении цикла измерений.

На рисунке показан характерный вид временных зависимостей параметров процесса насыщения и дегазации, наблюдаемых при проведении измерений. В 7-ми циклах было зарегистрировано 12 случаев превышения порогового уровня гамма-детекторов. Факты превышения имели место исключительно по время неравновесных состояний системы «газ – твердое тело».

На двух трековых детекторах, экспонированных в циклах 1-4, обнаружено три трека, характерных для осколков деления. На одном из детекторов, имеющем лавсановую основу, и экспонированном во время циклов 5-7, обнаружен один трек. На фоновых детекторах треков не обнаружено.

При дегазации образца (во время 6-го цикла) зарегистрировано синхронное превышение порогового уровня нейтронных детекторов.

При сбросе давления (см. кривую $q(t)$) в 5 случаях из 7 регистрировали провалы, с амплитудой 0,5-4,0 Вт, совпадавшие по времени с моментами превышения порогового уровня гамма-детекторов. Однако, однозначно связать наличие таких провалов с выделением тепла

за счет реакции синтеза не удалось ввиду возможного влияния теплогидравлических эффектов.

Анализ проведенных результатов позволяет идентифицировать признаки реакции низкотемпературного синтеза изотопов водорода при неравновесных состояниях системы «металл-дейтерий (тритий)».

Расчетные оценки скорости дегазации (сорбции) образцов позволяют предположить, что явление синтеза имеет место при переходе системы титан-дейтерий через границы областей: γ -фазы и гетерофазной $\gamma + \beta$, а также $\alpha + \beta$ областей и α -раствора. Причем, ввиду того, что образец обладает значительной пористостью и размером частиц не более 50 мкм, профиль концентрации дейтерия $C(x)$ в процессе дегазации изменяется от стационарного до нулевого уровня, но без существенного изменения формы ($C(x)$ – прямая линия). Это приводит к тому, что практически весь объем образца одновременно имеет параметры T и C , соответствующие переходу через указанные фазовые границы, и, как следствие, увеличивает энергетический и радиационный выход реакции. Такое предположение подтверждается экспериментально тем, что превышение порогового уровня наблюдается однократно (при переходных режимах) и не размыто во времени. Аналогичное явление должно наблюдаться на металлах: Pd, Zr, Hf и других, растворяющих изотопы водорода в больших количествах.

Для определения количественных характеристик процесса и увеличения энергетического и радиационного выхода реакции необходимы совершенствование методики и проведение дополнительных исследований.