

К ВОПРОСУ О ИЗБЫТОЧНОМ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИИ В СИСТЕМЕ НИКЕЛЬ–ВОДОРОД

¹А.Н. Озерной, ²М.Ф.Верещак, И.А.Манакова, И.В. Хромушин
РГП ИЯФ, Алматы, Казахстан
¹*e-mail: alex_oz2000@inp.kz*, ²*e-mail: mikhail.vereshchak@mail.ru*

С целью создания определенного задела для успешного выполнения проекта «Мессбауэровская спектроскопия тантала-181 как инструмент в исследованиях явления термофлуктуационного плавления» нами был предпринят поиск наиболее интересных объектов, пригодных для исследований этого явления. Полагают [1], что оно способствует образованию бинарных соединений в ходе их формирования потоками ультрадисперсных частиц при ионно-плазменном напылении на подложки, имеющие температуру, близкую к комнатной.

Среди объектов, представляющих интерес, мы обратили внимание на системы металл-водород, которые имеют огромное практическое значение для ядерной энергетики, поскольку одной из наиболее значимых причин ухудшения механико-технологических свойств конструкционных материалов является накопление в них примесей водорода, приводящее к их охрупчиванию и уменьшению пластичности.

Особый интерес у нас вызвали экспериментальные данные о необычных эффектах, обнаруженных при изучении системы никель – водород еще в середине 90-х годов прошлого века [2, 3]. Тогда в замкнутой металлической установке, в которую при повышенном до нескольких атмосфер давлении газообразного водорода помещали мелкодисперсный порошок никеля, при его нагревании до 400-600°C начинался процесс избыточного тепловыделения неизвестной природы, до сих пор точно не установленной.

Мы решили проверить эти экспериментальные данные, несколько модифицировав экспериментальную установку в соответствии с нашими представлениями и возможностями. Ниже приводится краткое описание особенностей нашего эксперимента с несколькими иллюстрациями, а также полученные результаты.

Суть эксперимента сводилась к измерению разности температур («дельты») между двумя контейнерами одинаковой массы и формы, которые показаны на рисунке 1. В один из них было помещено «топливо», а другой оставался пустым.

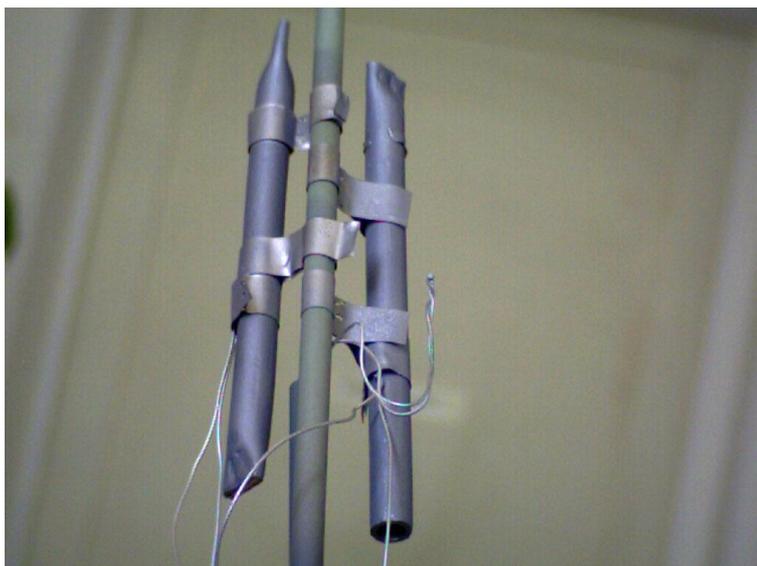


Рисунок 1. Контейнер с «топливом» (слева) и без «топлива»

«Топливом» служил мелкодисперсный порошок никеля, в который мы добавили и тщательно перемешали порошок алюмогидрида лития LiAlH_4 в количестве 10% по весу. Эта добавка обеспечила создание в замкнутом объеме контейнера избыточного давления газообразного водорода, который выделился при нагреве из-за разложения алюмогидрида лития.

Проведено контрольное испытание созданной нами измерительной системы, на выходе которой мы получали непосредственно величину разности температур («дельта») в двух геометрических точках, используя термопару хромель-алюмель, включенную по «дифференциальной» схеме. Все данные записывались регистрирующим цифровым мультиметром АРРА-109М с возможностью передачи их на компьютер для дальнейшей обработки.

Между двумя пустыми контейнерами, которые показаны на рисунке 2, измеренная «дельта» оказалась нулевой во всем диапазоне изменения температуры окружающей среды от 20 до 1200°C.

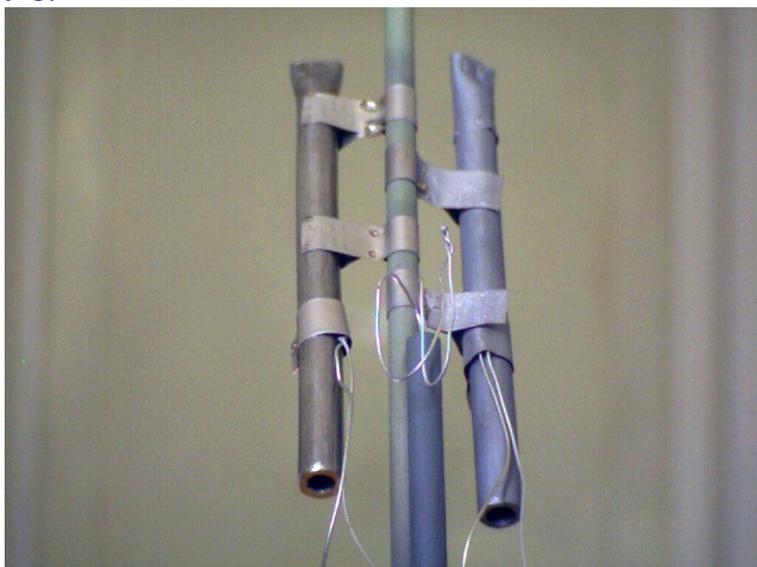


Рисунок 2. Два контейнера без «топлива»

Для того чтобы избавиться от внешних факторов, которые могли бы повлиять на результаты эксперимента (например, окисление материала контейнера и термопары при температурах выше 1000°C на воздухе), наше изделие мы помещали в программируемую вакуумную печь с безмасляной откачкой, которая показана на рисунках 3 и 4. Она обеспечила нам равномерный нагрев с определенной скоростью, а также необходимую экспозицию на заданной температуре.



Рисунок 3. Программируемая вакуумная печь

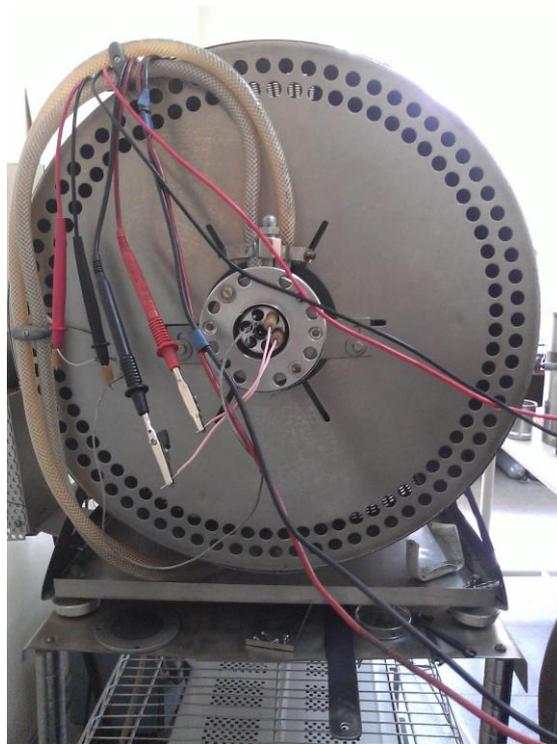


Рисунок 4. Фланец с изделием

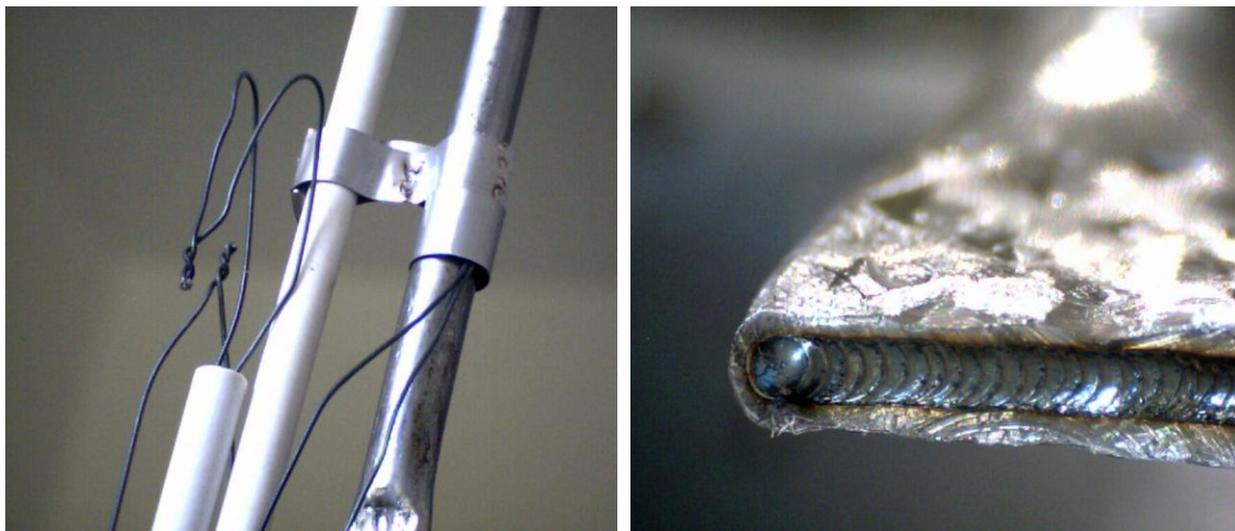


Рисунок 5. Внешний вид элементов конструкции изделия до начала эксперимента

Результаты тестирования представлены на рисунке 6. На графике (а) видно, как менялась температура печи во времени. В течение четырех часов она линейно поднялась от комнатной температуры до 1200°C . Затем последовала часовая выдержка на этой температуре, после чего печь выключилась и стала остывать без принудительного охлаждения.

График (б) иллюстрирует изменение разности температур («дельту») двух контейнеров одинаковой формы, в один из которых было загружено «топливо», а другой оставался пустым, синхронное изменению температуры печи. После загрузки «топливом» этот контейнер был герметизирован электронно-лучевой сваркой (рисунок 5).

График (в) иллюстрирует поведение «дельты» в зависимости от изменения температуры в печи. Если при наборе температуры печью наблюдался рост значений

разности температур контейнеров, то в момент выхода на заданную температуру обнаружился небольшой спад, но затем, хотя температура печи упала с 1200 до 600°C, величина «дельты» уменьшилась лишь на 10%.

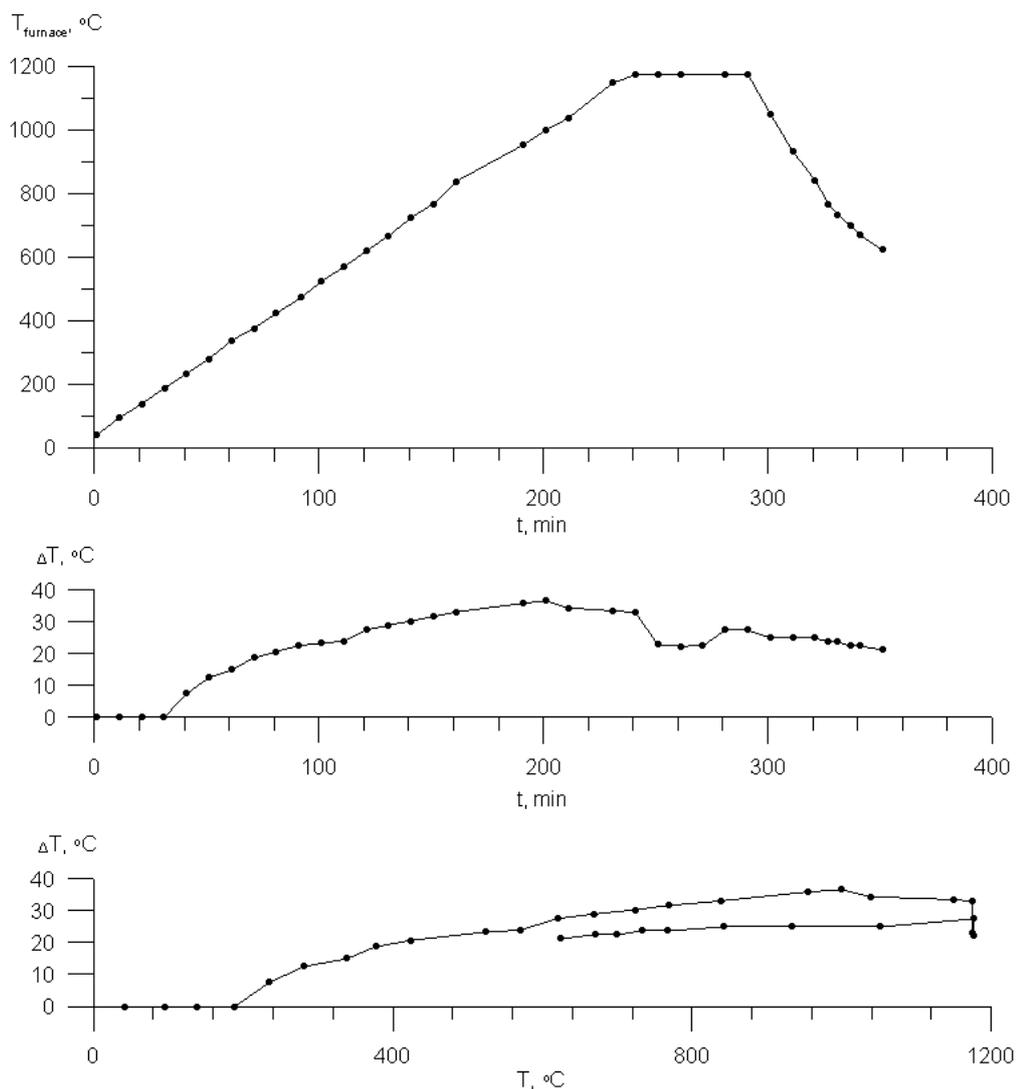


Рисунок б. а) температура в печи в зависимости от времени отжига; б) температура контейнеров («дельта») в зависимости от времени отжига; в) разность температур контейнеров («дельта») в зависимости от температуры в печи.

Определив разность температур двух контейнеров dT , мы смогли в соответствии с законом Стефана — Больцмана, который определяет зависимость плотности мощности излучения абсолютно чёрного тела от его температуры, оценить полную испускательную способность тела, пропорциональную четвёртой степени его температуры T .

Для полной испускательной способности U закон имеет вид:

$$U = \sigma T^4 \quad (1)$$

Чтобы определить мощность излучения источника, мы умножим плотность мощности на его площадь S и степень черноты ε :

$$U = \sigma T^4 S \varepsilon \quad (2)$$

Дифференцирование по температуре дает следующее выражение:

$$dU = 4 \sigma T^3 S \varepsilon dT \quad (3)$$

Здесь S – площадь поверхности излучающего объекта; ε – степень черноты излучающего материала; σ — постоянная Стефана — Больцмана, которая может быть выражена через фундаментальные константы путём интегрирования по всем частотам формулы Планка:

$$\sigma = \frac{8\pi^5 k^4}{15c^3 h^3}$$

Где h — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана, c — скорость света. Численно постоянная Стефана — Больцмана равна:

$$\sigma = 5,670367 \cdot 10^{-8} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$$

Подставив в приведенную здесь формулу (1) экспериментальные значения параметров, с учетом степени черноты материала контейнера – нержавеющей стали ($\varepsilon = 0,8$), находим, что наш контейнер при величине разности температур в 25°C и температуре окружающей среды 1200°C постоянно излучал около 21 Вт тепловой мощности.

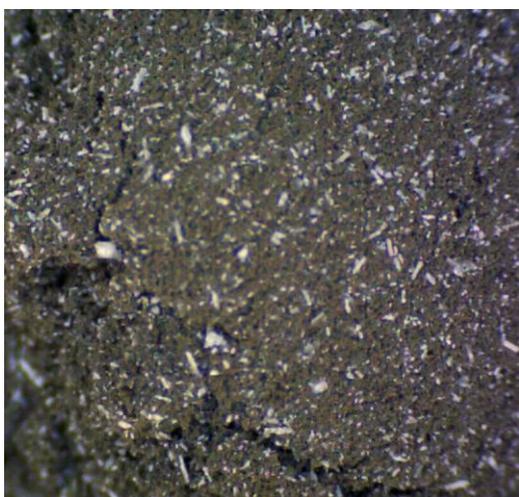


Рисунок 6. Внешний вид исходного (слева) и отработавшего «топлива» (зола)

Продолжительность следующего теста до его завершения была нами ограничена 100 часами. Все это время «дельта» оставалась постоянной (около 25°C), и согласно нашим расчетам за весь период испытаний контейнер с топливом выработал свыше 2 кВт·час тепловой энергии. Внешний вид исходного и отработавшего «топлива» (зола), которое спеклось в форме прутка диаметром около 3 мм, показан на рисунке 6.

Проведенные нами эксперименты убедительно показали, что избыточное тепловыделение в системе никель–водород действительно имело место.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тулеушев А.Ж., Тулеушев Ю.Ж., Володин В.Н. Наноразмерное легирование в металлических пленках. // ФММ. – 2004. Т. 97, №4, С. 1-10.
2. Focardi S., Habel R., Piantelli F. Anomalous Heat Production in Ni-H Systems. // Il Nuovo Cimento A. - 1994. V. 107 A, №1. – P. 163–167.
3. Focardi S., Gabbani V., Montalbano V., Piantelli F., Veronesi S. Large excess heat production in Ni-H systems. // Il Nuovo Cimento A. -1998. V. 111 №11. – P. 1233–1242.