

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ГИДРИДНЫХ РЕАКТОРОВ

Соловей А.И., Шанин Ю.И.*

ФГУП «НИИ НПО «Луч»

Железнодорожная, 24, Подольск, Мо, Россия, 142100

* e-mail: syi@luch.podolsk.ru; tel./fax: 7(0967)634582

Введение

Гидриды металлов используются в тепловых машинах с целью преобразования низкопотенциальной (до 200°C) тепловой энергии в потенциальную энергию давления водорода, создания безопасных аккумуляторов водорода, термохимических (сорбционных) компрессоров и экологически чистых тепловых устройств (холодильников, гидридных тепловых насосов (ГТН), теплотранс-форматоров). Конструкции тепловых машин на гидридах имеют обязательную составную часть - гидридные слои или более общо металлогидридные элементы.

Имеется большое количество публикаций, говорящих об определяющей роли теплофизических характеристик гидридных слоев на эффективность работы гидридных устройств. Необходимо правильно определить их конструктивные параметры.

В статье освещены идеи, закладываемые в проектирование основного устройства ГТН - гидридного реактора-сорбера.

Результаты и обсуждение

Обязательными элементами сорбера являются: корпус, рассчитанный, как правило, на давления 0.1-5 МПа; гидрид (засыпка, таблетки, компакты, прессовки и т.п.); элементы, улучшающие эффективную теплопроводность композиции; элементы равномерно собирающие и раздающие водород (коллекторы, артерии, пористые элементы трубчатой конструкции и т.п.); фильтрующие элементы, предотвращающие попадание в водородные линии мелкодисперсных металлогидридных частиц; теплообменные элементы, обеспечивающие подвод/отвод теплоты для осуществления реакций гидрирования (теплообменные трубы, рубашки охлаждения, электрические нагревательные элементы и т.п.); запорная и регулирующая арматура в водородной линии.

Основным элементом сорбера является гидрид. К физико-химическим характеристикам гидрида добавляются технологические характеристики (порошок, крупка, компаунд,

композит), в виде которых он помещается в реактор. В случае засыпки порошка или крупки пористость неоднородной по размерам совокупности частиц неправильной формы близка к нерегулярной укладке и имеет пористость в районе 0.38-0.40 /1/.

В статье анализируются проблемы конструирования всех составных частей гидридного реактора.

Металлогидридный элемент (слой) представляет собой сложный физический объект /2/, который описывается с помощью уравнений теории сплошной среды. В нем происходят три основных типа процессов: 1) фильтрация водорода через пористую матрицу гидрида и теплопроводную набивку; 2) подвод и отвод теплоты от зоны гидрирования; 3) химическая сорбция-десорбция водорода гидридом.

Математическую модель тепло- и массопереноса в гидридных элементах можно получить, исходя из законов сохранения массы, сохранения энергии /3/ и уравнения кинетики реакции гидрирования. Модель, при ряде допущений, будет включать следующее:

- 1) уравнение неразрывности (для баланса количества свободного водорода) с мощностью источника водорода, определяемой реакцией сорбции-десорбции;
- 2) уравнение энергии, как баланс теплоты в микрообъеме (передача теплоты теплопроводностью, выделение теплоты за счет реакции и конвективный обмен при фильтрации водорода);
- 3) кинетическое уравнение реакции.

Для многих гидридов кинетика химических реакций при относительно высокой температуре (больше 260 К) не является лимитирующей стадией и сделано предположение о локальном равновесии в каждой точке между свободным и связанным водородом. Это дает возможность использовать равновесные P - C - T зависимости для гидрида. Допускается, что конвективный перенос теплоты водородом мал по сравнению с переносом теплоты теплопроводностью. Таким образом, процессы переноса в ГТН определяются процессами теплопроводности и процессами фильтрации водорода.

В статье анализируются физические процессы, имеющие место в гидридных реакторах. Рассматривается комплекс мер по улучшению характеристик реактора.

Нами были исследованы две принципиально разные схемы гидридных реакторов – трубный и модульный (моноблочный). В работе приведены описания этих реакторов-сорберов. Сорберы содержат порошковый гидрид и теплопроводную вставку. Дана оценка эффективных теплофизических характеристик гидридного слоя (теплопроводность, коэффициент теплопередачи). Обсуждается влияние контактного сопротивления на теплофизические характеристики слоя.

Проведены расчетные оценки теплопроводности в гидридных слоях с различными наполнителями, а также – некоторые результаты экспериментального определения коэффициента теплопроводности гидридных слоев для разработанных реакторов.

Сконструированные сорберы использованы в модельных установках /4, 5/. Активирование исходного сплава проводилось непосредственно в сорбере. Одна из установок предназначалась для кондиционирования воздуха в легковом автомобиле. Она имела источник тепла с температурой 80-100°C (T_h) и температуру окружающей среды в качестве средней температуры (T_m) /4/. Другая установка предназначалась для повышения температуры воды /5/ до 110-115°C (T_h). Она имела источник тепла с температурой 80-90°C (T_m – средний уровень температур) и теплоноситель при температуре окружающей среды на нижнем уровне температур (T_l). Установки были одноступенчатыми и имели по две пары гидридных модулей, работающих в противофазе. Приведены краткие описания установок и отмечены их особенности.

В статье изложены результаты испытаний гидридных реакторов в составе модельных установок. Приводятся достигнутые характеристики и их сравнение с результатами математического моделирования /6,7/. Проведено сравнение рабочих характеристик модульного и трубного сорберов между собой. Полученные результаты свидетельствуют в пользу применения трубного сорбера. Проанализированы причины отличий в работе сорберов, которые свидетельствуют о трудностях проектирования и реализации модульного сорбера с хорошими характеристиками.

В модульном реакторе не удалось получить площадь теплообмена, сравнимую с подобной площадью у трубного реактора при одинаковой тепловой мощности реакторов.

Попытка дальнейшего уменьшения размеров внутренних труб и увеличения их количества в модульном реакторе сильно осложняет технологичность этой конструкции.

Выводы

Проектирование гидридных реакторов является сложной многоплановой теплофизической задачей. Она может быть решена при комплексном подходе к проектированию с помощью математического моделирования, технологической и экспериментальной отработки отдельных узлов (особенно характеристик гидридных слоев). Общего улучшения параметров ГТН можно ожидать при существенном улучшении водородной емкости гидридов.

Литература

1. Аэров М.Э., Тодес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. - Л.: Химия, 1979. – 320 с.
2. Izhvanov L. A., Solovey A. I., Frolov V. P., Shanin Yu.I. Metal hydride heat pump- new type of heat converter. - Int. J. Hydrogen Energy, 1996, v.21, No.11/12, pp.1033-1038.
3. Fedorov E.M., Izhvanov L.A., Shanin Yu.I. Simulation of hydride heat pump operation. - Int. J. Hydrogen Energy, 1999, v.24, pp.1027-1032.
4. Астахов Б.А., Афанасьев В.А., Бокало С.Ю. и др. Создание малогабаритных холодильных установок с металлогидридным тепловым насосом. - 6th NATO Int.Conf. "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides", ICHMS'99. Abstract Book of NATO International Conference. Katsiveli, Yalta, Ukraine, September 02-08, 1999, p.306-307 (in English and Russian).
5. Астахов Б.А., Ижванов Л.А., Лысенко А.А. и др. Создание теплохладопроизводящей установки с гидридным тепловым насосом. – там же, с. 360-361 (in English and Russian).
6. Shanin Yu.I. Simulation of hydride heat pump operation with reference to vehicle refrigerating devices. - In: Veziroglu T.N., Zaginaichenko S.Y., Schur D.V., Trefilov V.I. editors/ Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides. NATO science series. Series II: Mathematics, Physics and Chemistry - Vol. 82, 2002. P.97-106.
7. Shanin Y.I. Simulation of operation heat or cold-making unit with hydride pump. In: Veziroglu T.N., Zaginaichenko S.Y., Schur D.V., Baranowski B., Shpak A.P., Skorokhod V.V. editors/ Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials. NATO science series. Series II: Mathematics, Physics and Chemistry. – Kluwer Academic Publishers. Vol. 172, 2004. P.233-242.