

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГИДРИДНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

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

Здесь обсуждается одноступенчатый гидридный тепловой насос (ГТН) с целью оптимизации ряда факторов, влияющих на удельную выходную мощность и важных при оценке работы и энергетической эффективности.

Результаты и обсуждение

Тепловая энергия ГТН зависит от термодинамических, физических и химических свойств металлгидрида, а также от приведенных характеристик гидридных слоев в конструкции сорбтер (реактор)-теплообменник.

При отборе пары металлгидридов необходимо ориентироваться на гидриды /1/:

- С большим поглощением водорода;
- С высокими скоростями химических реакций в области рабочих параметров давления и температуры;
- С оптимальным сочетанием энтальпий и энтропий у гидридов для выбранных уровней температур (T_h , T_m , T_l);
- С высокой стойкостью сплава при циклировании.

Анализ с точки зрения оптимизации ГТН подвергнуты:

- Термодинамический цикл ГТН;
- Коэффициент полезного действия; подведенная, отведенная мощности и потери энергии;
- Закономерности строения и характеристики гидридных слоев и засыпок, свойства тепло – и массопереноса слоя металлгидрида;
- Согласование теплоотдачи в сорбтере и теплообменнике и между сорбтерами;
- Цикл работы ГТН и управление им.

Термодинамический цикл (идеальный и реальный) ГТН определяется статическими и динамическими характеристиками кривых насыщения сплава водородом (давление-концентрация). Применение гидридов, имеющих минимальный гистерезис и наклон плато насыщения, увеличивает количество полезно переносимого водорода между гидридами и расширяет границы рабочих температур. Осуществление реального цикла всегда приводит к ухудшению его эффективности. Динамический обмен водородом между сорбтерами видоизменяет кривые насыщения в сторону их ухудшения, появляется необходимость обеспечивать обязательную разность давлений между металлгидридами

(«движущую силу давления»). Общая эффективность цикла ухудшается.

Выбор гидридов должен быть оптимизирован под конкретную тепловую задачу: тепловой насос, холодильник, теплотрансформатор. В этом могут помочь методики выбора, использующие компьютерные технологии /2/.

КПД цикла связан с термодинамическими и теплофизическими свойствами гидридов и с температурными параметрами цикла. Пути повышения КПД:

- Увеличение энтальпии образования низкотемпературного сплава;
- Снижение веса конструкции;
- Снижение отклонений рабочих температур от среднего уровня температуры T_m . Это приводит к уменьшению потерь теплоты, идущей на преднагрев (предохлаждение) гидридов;
- Применение регенерации для частичного полезного использования теплоты (холода) подготовительных стадий цикла.

Должна проводиться оптимизация конструкции сорбтеров и гидридных слоев по теплофизическим и прочностным характеристикам ($\sigma_{пр}$, ρ , ρC_p , λ).

Использование в качестве сорбтера трубчатого реактора позволяет провести оптимизацию его диаметра с точки зрения увеличения отношения веса гидрида к весу конструкции при изменении давления в сорбтере.

Для обеспечения конкурентоспособности по весу (и стоимости) с обычными парокомпрессионными холодильными машинами при одинаковой холодопроизводительности ГТН должен иметь выходную мощность на единицу массы гидрида ~ 1 кВт/кг /3/.

Эффективная удельная теплопроводность гидридного слоя играет основную роль в теплопередаче сорбтеров ГТН. При работе металлгидриды диспергируют на мелкозернистые частицы и образуют слой порошка микронного размера. Слой порошкового гидрида имеет тенденцию к самоуплотнению, что может значительно тормозить перенос водорода. Теплопроводность увеличивают путем добавления в порошки высокотеплопроводных материалов (медь, алюминий). Введение гофров и ребер увеличивает эффективную теплопроводность в одном направлении и не решает вопрос о повышении локальной теплопроводности в слое гидрида. Применение пен металлов и добавление в гидрид порошков

металлов с дальнейшим прессованием решает проблему получения однородного слоя. Весовая доля металла имеет *оптимальные величины* и обеспечивает необходимую эффективную теплопроводность ($\sim 5 \dots 8$ Вт/(м·К)) и газопроницаемость ($\sim 2 \cdot 10^{-11}$ см²) слоя.

Теплообмен между сорбером и теплообменником в ГТН должен быть оптимизирован для получения максимального коэффициента теплопередачи. При этом нужно помнить, что определяющим тепловым сопротивлением является гидридный слой и требования к внешним теплообменникам вытекают из достигнутых характеристик слоя и являются второстепенными. Интенсификации теплопередачи всегда необходимо добиваться со стороны гидридного слоя, т.к. выравнивание коэффициентов теплоотдачи со стороны сорбера и теплообменника снижает коэффициент теплопередачи вдвое, а существенное превышение теплообмена во внешнем по отношению к гидридному слою теплообменнике не повышает коэффициент теплопередачи выше коэффициента эффективной теплоотдачи гидридного слоя.

Характеристики и эффективность работы ГТН зависят от большого числа конструктивных и эксплуатационных параметров. Определить оптимальные значения этих параметров эмпирическим путем весьма сложно. Моделирование работы ГТН /2,4,5/ позволяет исследовать влияние, как конструктивных параметров, так и режимных параметров на эффективность выходных характеристик. Наиболее целесообразный подход здесь – постановка и решение соответствующих оптимизационных задач. Основой такого подхода является разработка соответствующей модели самого насоса и процессов, происходящих в нем. При постановке оптимизационной задачи необходимо сформулировать критерий оптимизации, то есть определить те характеристики, оптимального значения которых следует достичь в процессе оптимизации. Так, для ГТН, работающего в режиме холодильника, можно оптимизировать его холодопроизводительность или достигаемую на низкотемпературном гидриде температуру.

В работе рассматривается одномерная нестационарная модель работы ГТН. Модельная система уравнений включает нестационарные одномерные уравнения теплового баланса в гидридных сорберах с учетом тепловых эффектов при поглощении/выделении водорода. В компьютерных расчетах используются экспериментальные данные по равновесным изотермам в системах металлических сплав-

водород. Исследована работа ГТН как в холодильном, так и в тепловысшающем циклах. В расчетах определяется временная циклограмма работы ГТН: распределение температуры конструктивных элементов по радиусу цилиндрического гидридного слоя, содержание водорода в сорберах, давление водорода, энергия и тепловая мощность. Проведено исследование влияния основных режимных параметров теплового насоса (давления зарядки водорода, температур и расходов теплоносителя, времени цикла) на его энергетические характеристики и сравнение расчетных и экспериментальных результатов, полученных на модельных установках ГТН.

Имеются оптимальные начальные давления в сорберах ГТН, оптимальные температурные режимы, обеспечивающее максимальное КПД. Оптимизацией управления работой ГТН можно достичь оптимальных мощностных характеристик и выбрать необходимую продолжительность цикла ГТН. Управление гидридным тепловым насосом является неотъемлемой его частью и, как показывают проведенные расчеты /4,5/, существенно влияет на эффективность его работы.

Выводы

Оптимизация различных параметров и режимов работы ГТН возможна, но повышение характеристик мощности ГТН связано с улучшением свойств гидридов.

Литература

1. Suda S. Energy conversion systems using metal hydride. Z. für Physikalische Chemie Neue Folge. 1989, Bd.164, S.1463-1474.
2. Fedorov E.M., Shanin Y.I., Izhevskiy L.A. Simulation of hydride heat pump operation. – Int. J. Hydrogen Energy, 1999; 24: 1027-1032
3. Ron M. A hydrogen heat pump as a bus air conditioner. J. Less-Com.Met., 1984, v.104, pp.259-278.
4. Shanin Y.I. Simulation of hydride heat pump operation with reference to vehicle refrigerating devices. - In: Veziroglu TN, Zagayachenko SY, Schur DV, Trefilov VI editors. Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides. NATO science series. Series II: Mathematics, Physics and Chemistry - Vol.82, 2002, p.97-106.
5. Shanin Y.I. Simulation of operation heat or cold-making unit with hydride pump. - In: Veziroglu TN, Zagayachenko SY, Schur DV, Baranowski B, Shpak AP, Skorokhod VV 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.