

OXYGEN SOURCE FOR ISOLATED FUEL CELLS

R. Loutfy, V. Shapovalov, E. Veksler, L. Boyko
MER Corporation, 7960 Kolb Road, Tucson, Arizona, 85706, USA

The overall technical objective of this work is to establish the feasibility of using the proposed *gasar* materials as well *tube cell* modules for the development of high performance oxygen storage system. The feasibility study was to include synthesis and full characterization of both systems in terms of improved gas storage capacity, mechanical integrity, as well as safety and reliability. The basic engineering object of the project is creation of a new oxygen high pressure storage, which will combine safety with high capacity and yet be inexpensive and convenient, for use in aircraft and spacecraft. They can be utilized also for ground vehicles as a hydrogen source for fuel cell electric generation.

We have refined the fabrication process and performed initial testing of the tubular oxygen storage system comprised of separate small diameter thin-wall metal tubes reinforced with carbon fiber wrapping (Figure 1). The measured oxygen storage capacity for wrapped stainless steel tubes was found to be close to that calculated theoretically (Figure 2), which allowed further extension of the modeling onto other light-weight materials, for example, aluminum. In the course of design optimization, several modifications of selected system components were generated. Based on these suggested improvements aimed at weight reduction, the overall oxygen storage capacity of the proposed system utilizing aluminum tubes is expected to reach ~ 58 % by weight, which doubles the capacity of the system as compared with currently utilized options (for example, oxygen candle).



Figure 1. The outward of tube module oxygen storage

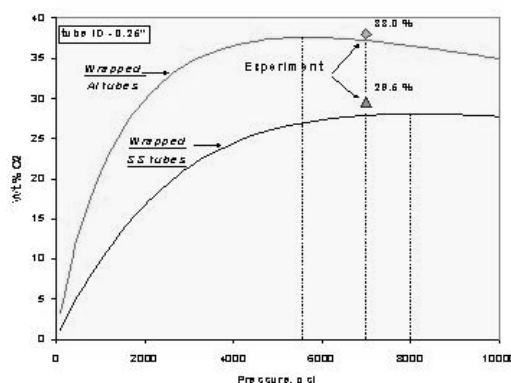


Figure 2. Results of theoretical simulation and experimental testing of oxygen storage capacity based on tubular storage cells

In addition, variety of safety tests were designed and conducted to demonstrate an outstanding reliability of the proposed system. During the course of this research, a great deal of attention was paid to optimizing specific components of the system (manifold, tube end connectors, sealing mechanism, etc.) as well as the process of wrapping the tubes to ensure their uniform and reliable reinforcement in both radial and axial directions which should enable withstanding of repeated gas charge and discharge cycles under reasonable pressure.

It is important to emphasize, that due to uniqueness of oxygen behavior under high pressure, continuing increase in pressure does not necessarily result in continuing increase in oxygen storage capacity **Fig. 2**. This can be explained by variation of oxygen compressibility factor, which increases with pressure causing less gas storage as compared to ideal gas.

In accordance with the main idea, by providing a storage system comprising of plurality of gas tight cells, preferably in modules, rather than a single gas cylinder of equivalent capacity, the danger of sudden total gas release will be reduced and the safety margin can therefore be reduced accordingly. The result is a much higher weight fraction of storage. The idea of using a storage system with a plurality of cells formed of micro tube cells or gasar-material having cellular structure as the basic gas storage block (cellular module) is the scientific and technical basis of a preferred aspect of this work.

High-strength porous materials have only recently become available at reasonable costs due to the

innovative, gas eutectic transformation process. The high strength of these materials, known as *gasar-material*, results from the smoothly rounded pore shape, the mirror smooth pore surface finish and the absence of porosity in the interpore spaces. An additional advantage is the cleanliness of the base material. The base material is free of the nonmetallic inclusions, which are usually present in porous metal materials created by sintering together oxide or carbide coated fine powders.

Ellipsoidal, tapered and cylindrical steel gasar ingot's shapes were studied to create best variants of gas storage units. It is shown that steel-based gasar ingots was not result in porosity over 50% and qualified ingot's surface in all cases under studied parameters To improve this results modification of equipment must be carried out.

It was suggested to use light magnesium alloy instead steel gasar-based oxygen storage. The magnesium alloy with manganese and cerium featuring in high corrosion resistance and strength was selected for investigation. Ellipsoidal and cylindrical magnesium alloy – based gasar ingots was studied. It was created that the better structure, higher porosity and acceptable ingot's surface in magnesium-based gasar form already under pressure 0,12 - 0,2 MPa. In proper conditions magnesium–based gas storage units may be applied.

Structures with radial continuous pores are preferable for use in gasar cellular storage (GCS), since the charging/discharging channels are all clustered together where it is relatively easy to block or unblock them by the same mechanism, as shown in Figure 3,4.

On the bases of conducted research magnesium alloy is recommended for oxygen storage. The samples of ellipsoidal and cylindrical magnesium alloy–based gasar ingots was prepared for tests.

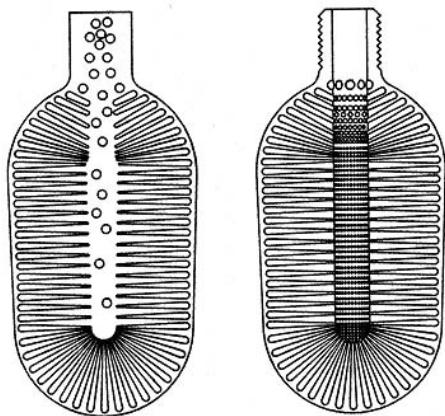


Figure 3. Schematic inner structure changing of the radial gasar casting after machining: left – initial structure, right – after machining.

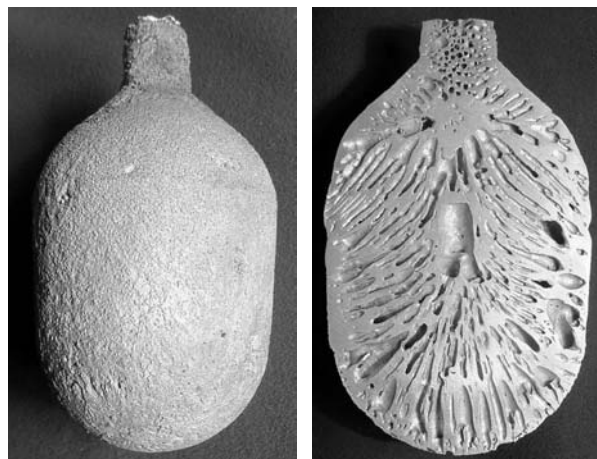


Figure 4. An ellipsoidal steel-based gasar ingot: left- general view; right- longitudinal section

Increased safety is achieved by a special design element, which we have named "smart" rubber. It is a thin (about 1-mm thick) rubber film, which covers the internal pore apertures. In a case where outer wall destruction causes oxygen to escape from one or several pores. This "smart" rubber will nestle tightly into these open-ended apertures and block release of oxygen from the undamaged pores.

For initial manufacture of the GCS in laboratory conditions we have chosen an austenitic stainless steel. It has the greatest margin of safety at the same oxygen storage amount and due to its corrosion resistance is unlikely to weaken with time due to corrosion.

АККУМУЛЯТОР КИСЛОРОДА ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р. Лутфи, В. Шаповалов, Е. Векслер, Л. Бойко
MER Corporation, 7960 Kolb Road, Tucson, Arizona, 85706, USA

.Основной целью настоящей работы было установление возможности использования новых пористых материалов (газаров) и трубных ячеистых модулей для разработки и изготовления высокоэффективных аккумуляторов кислорода. Техническая часть работы включала разработку и изготовление обоих вариантов аккумуляторов, которые соединяли бы в себе безопасность, высокую емкость, удобство эксплуатации и сравнительно невысокую стоимость. Это могло бы сделать их применимыми в подводных судах и космических аппаратах в качестве носителей кислорода для топливных элементов.

Мы разработали технологию изготовления и произвели начальные испытания трубчатого кислородного аккумулятора, состоящего из множества изолированных тонкостенных труб, упрочненных углеродными волокнами (Рисунок 1). Измерения емкости кислородного аккумулятора для упрочненных волоком трубок из нержавеющей стали показали, что расчетные результаты хорошо совпадают с экспериментальными данными (Рисунок 2).



Рис. 1 Внешний вид трубчатого аккумулятора кислорода

Это позволяет экстраполировать данную механическую модель на более легкие материалы, например алюминий и его сплавы. Кроме того, предлагается несколько вариантов конструкции самого трубчатого аккумулятора, в которых оптимизируются различные параметры. Базируясь на разработанных вариантах конструкции, прежде всего с целью уменьшения общего веса, мы предложили вариант аккумулятора на основе алюминиевых

трубок с прямоугольным коллектором. Этот вариант позволяет довести емкость аккумулятора до 58% кислорода по массе. Это в два раза превышает емкость аккумуляторов кислорода, которые используются в настоящее время, например так называемых «кислородных свечей».

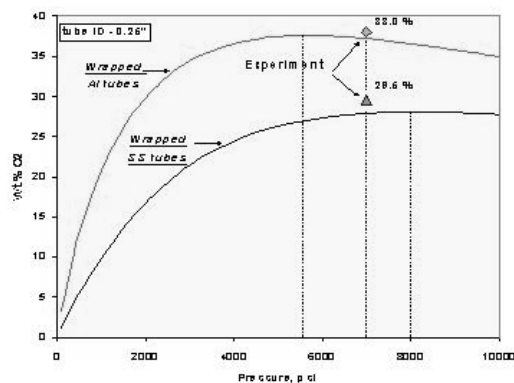


Рис. 2 Результаты теоретических расчетов и испытаний зависимости емкости трубчатого кислородного аккумулятора от давления

Кроме того, мы произвели разнообразные исследования, с целью определения степени безопасности этого аккумулятора. Во время этих экспериментов мы особое внимание уделяли оптимизации отдельных компонентов системы: коллектора, концов трубок и соединительных элементов труб с коллектором, уплотнительных узлов и пр. Особое внимание уделялось также процессу упрочнения трубок путем обматывания их углеродным волокном и углеродной тканью. Важно было координировать прочность в аксиальном и радиальном направлениях, а также добиться равномерности плотности обмотки трубок, что позволило бы осуществлять многократные безопасные циклы наполнения и разрядки аккумулятора. Следует подчеркнуть, что благодаря уникальности поведения кислорода при высоких давлениях, непрерывное увеличение давления не приводит к монотонному увеличению емкости аккумулятора. Это объясняется изменением знака сжимаемости кислорода выше давления 600 атмосфер и является причиной уменьшения емкости аккумулятора при более высоких давлениях по сравнению с идеальным газом. В соответствии

с основной идеей хранения газа в многочисленных сравнительно небольших ячейках, имеющих в структуре пористых материалов, мы взяли за основу сравнительно новый материал- *газары*. Они обладают значительно большей прочностью, чем известные пористые материалы, так как имеют в своей структуре только округлые поры с зеркально гладкой поверхностью. Кроме того внутри межпоровых перегородок нет так называемой вторичной пористости. Которая всегда наблюдается в пористых материалах, полученных методами спекания. Еще одним преимуществом газаров является чистота базового материала от различных присадок, без которых принципиально нельзя получить пенометаллы по другим технологиям.

Для создания оптимального варианта кислородного аккумулятора мы получали слитки цилиндрической, эллипсоидальной и конической формы. Было показано, что слитки из нержавеющей стали имели упорядоченную пористость только до пористости порядка выше 50%. Для получения более высокой пористости с необходимой структурой порового пространства необходима модернизация оборудования.

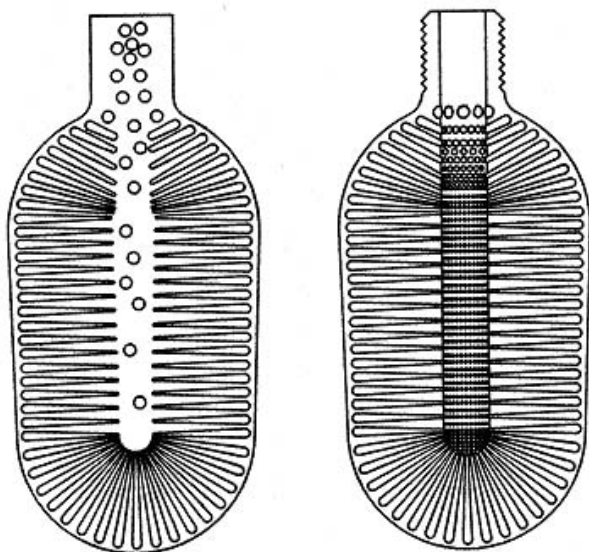


Рис. 3 Схема изменения структуры отливки газа в результате механической обработки: слева – до обработки; справа – после.

В результате было предложено использовать в качестве базового материала сплав магния вместо нержавеющей стали. Сплавы магния с марганцем и церием обладают высокой коррозионной стойкостью и достаточной прочностью поэтому именно они были выбраны для дальнейших исследований на цилиндрических и эллипсоидальных слитках. Было установлено, что достаточно высокая

пористость и качество поверхности в слитках формируется при давлении водорода 0,12-0,2 Мпа. Эти параметры мы рассматриваем как базовые для получения аккумуляторов на основе магниевых сплавов.

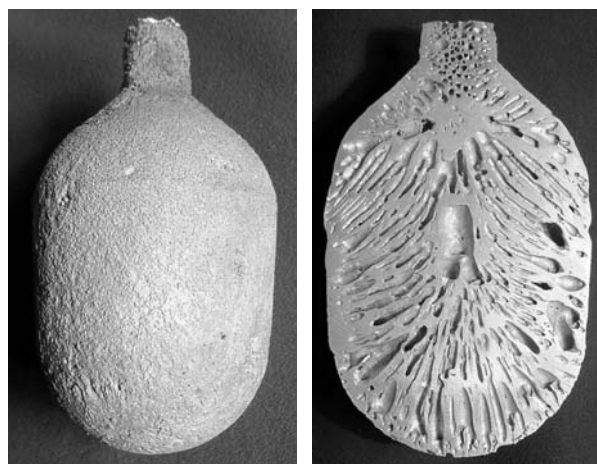


Рис.4 Внешний вид (слева) и внутренняя структура (справа) эллипсоидальной отливки магниевого газа.

Поровая структура с радиальными порами (Рис. 3,4) оказалась более приемлемой для использования в качестве ячеистого аккумулятора кислорода поскольку в этом случае намного проще осуществлять цикл зарядка-разрядка, используя блокирующий клапан безопасности.

На базе проведенных исследований рекомендовано использовать магниевые газары для изготовления ячеистых аккумуляторов кислорода. Соответствующие образцы аккумуляторов были изготовлены для последующих испытаний.

Повышенная безопасность таких аккумуляторов обеспечивается специальным клапаном безопасности, названным «smart rubber». Это сравнительно тонкая резиновая пластинка или резиновая трубка, которая вводится внутрь аккумулятора так, что при нарушении герметичности одной или нескольких ячеек она автоматически отсекает эти ячейки от остальных и, тем самым, препятствует утечке оставшегося кислорода.

В заключение следует отметить, что основная идея, в соответствии с которой газ распределяется во множестве относительно малых объемов (ячеек) вместо одного большого пространства (типа баллона) с равным объемом, значительно повышает степень безопасности всего устройства, одновременно позволяя иметь более высокую емкость по кислороду.