КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА

И.Е. Конюхов, О.Н. Морозова, С.С. Титов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск

В работе исследуется установка для отработки способа получения водорода путем окисления алюминиевого порошка водой. Выяснено, что при проведении такой реакции необходимо контролировать давление и температуру системы, так как возможен саморазогрев вследствие экзотермичности процесса окисления алюминия. С этой целью сконструирован экспериментальный стенд, состоящий из реактора с магнитной мешалкой, датчиков температуры и давления и блока управления. Такая установка позволяет регистрировать изменения давления и температуры во времени. Представлены зависимости давления и температуры в реакторе от времени. Построены диаграммы на языке моделирования UML, показывающие варианты и последовательность использования экспериментального стенда. С помощью разработанного стенда проведены постановочные экспериментальные исследования. В соответствии с полученными результатами можно сделать вывод, что в ходе данной реакции выделяется водород, о чем свидетельствует рост давления в реакторе. Установленные датчики позволяют контролировать параметры процесса в режиме реального времени.

Ключевые слова: водород, автоклав, окисление алюминий, возобновляемые источники энергии.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальна тема развития водородной энергетики. Не возобновляемые природные ресурсы постепенно истощаются, поэтому человечество задумывается об альтернативных источниках энергии [1]. Одним из перспективных вариантов топлива является водород. Так как водород, в отличие от природного газа, не является полезным ископаемым, необходимо его получить тем или иным способом.

Наиболее перспективным представляется гидролизный способ получения водорода в реакции порошков мелкодисперсного алюминия с водой. В работе [2] представлены три серии экспериментов с разным соотношением $Al:H_2O$. Во всех сериях используется нагрев до температуры $60^\circ C$, так как это, в соответствии с законом Аррениуса, способствует повышению скорости реакции. Дополнительное механическое перемешивание суспензии помогает разрушить оксидную пленку на порошке алюминия.

Так как окисление алюминия водой является экзотермической реакцией и сопровождается ростом давления, при проектировании генераторов водорода необходимо контролировать параметры протекания и условия безопасного проведения такой реакции, чтобы не допустить развития теплового взрыва, спекания порошка, но достичь условий полного протекания реакции [3, 4].

Известны модели генераторов водорода [5, 6], основанные на гидролизном способе получения водорода. Описанные в патентах модели генераторов автономны и способны к самоохлаждению. Это достигается благодаря наличию двух накопителей для

водорода. Когда растет давление и происходит тепловыделение в реакторе, то открываются регуляторы расхода воды и происходит охлаждение реактора.

Целью работы является определение параметров, которые необходимо контролировать, для эффективного получения водорода в реакции порошка алюминия с водой в реакторе с перемешиванием и иницирующим разогревом.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить реактор, в котором будет происходить процесс получения водорода;
- определить, какие датчики использовать для контроля параметров процесса;
- провести модельное экспериментальное исследование.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе рассматривается получение водорода при взаимодействии порошка алюминия с водой. При нормальных условиях без дополнительных воздействий порошок алюминия не взаимодействует с водой. Реакции препятствует наличие оксидной пленки на поверхности частиц. Поэтому для активации процесса используется, во-первых, механическое перемешивание суспензии (для удаления оксидной пленки) и, во-вторых, нагрев суспензии (для более быстрого протекания реакции). Известно, что скорость реакции зависит от дисперсности частиц [7, 8]. При использовании частиц высокой дисперсности реакция протекает более полно, но может иметь место явление саморазогрева суспензии вплоть до развития теплового взрыва, спекания порошка, резкого роста

давления, разрушения аппарата. Поэтому необходимо обеспечить постоянный контроль температуры и давления с помощью датчиков.

На рис. 1 показана схема экспериментального стенда основанная на автоклаве TOP INDUSTRIE FR – 77013 Vaux Le Penil Cedex 2016 года. Аппарат позволяет подогревать суспензию до температуры 60°C; внутри установлена механическая мешалка с изменяемой скоростью вращения (в диапазоне от 0 до 1500 оборотов в минуту).

Степенью полноты протекания реакции является уровень давления в реакторе. Для измерения давления используется датчик PA-23SY компании KELLER. Диапазон измерений равен (0...40) МПа. Для измерения температуры используется термопара К-типа, выполненная на основе сплава хромеля и алюминия с диапазоном, от –200 до +1350 °С.

1 – пульт управления; 2 – термопара; 3 – датчик давления; 4 – реактор; 5 – мешалка

Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Данные датчики, местоположение которых показано на рис. 1, подключены к пулту управления, где на основном экране отображены значения температуры, давления и скорости вращения мешалки. Эти данные сохраняются на жесткий диск для дальнейшего анализа.

Для того что бы наглядно показать использование экспериментального стенда, используются диаграммы UML [9]. На рис. 2 показана диаграмма использования экспериментального стенда.

Рис. 2. Диаграмма вариантов использования экспериментального стенда

На рис. 3 показана диаграмма последовательности пользования экспериментального стенда.

Рис. 3. Диаграмма последовательности использования экспериментального стенда

Для проверки работоспособности предложенной схемы измерений проведен модельный эксперимент. Использовался порошок марки АСД-4 в составе водной суспензии Al:H₂O в соотношении 1:100. Производился нагрев до температуры 60°C. Как только давление начинало расти, нагрев отключался.

На рис. 4, 5 представлены характерные кривые давления и температуры в зависимости от времени, измеренные датчиками в представленной выше схеме.

Рис. 4. Показания датчика температуры

Как видно из представленных зависимостей, температура увеличивается до 60°C, после отключения подогрева она постепенно начинает снижаться до 25,8°C.

Рис. 5. Показания датчика давления

Давление постепенно достигает своего максимального значения 0,05 МПа, после чего не изменяется.

Дискретность датчика температуры составляет 0,1 градус, что, очевидно, достаточно для заданной точности измерений (кривая на рисунке 4 выглядит плавной). С другой стороны, дискретность датчика давления (0,01 МПа) не позволяет получить плавную кривую роста давления (рис. 5). Однако зафиксировать время достижения и уровень максимума давления он позволяет. Эти величины дают время и степень полноты протекания реакции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе исследован реактор на основе автоклава с возможностью разогрева и механического перемешивания водной суспензии порошка алюминия. Определены параметры, которые необходимо контролировать в процессе получения водорода: температура и давление. Выбраны датчики и место их установки. Проведен модельный эксперимент по измерению температуры, и давления в зависимости от времени. Построены диаграммы на языке моделирования UML, показывающие варианты и последовательность использования экспериментального стенда.

Работа выполнена в рамках базового бюджетного проекта «Энергонасыщенные материалы: разработка, создание и применение», при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шпильрайн, Э.Э. Введение в водородную энергетику [Текст] / Э.Э. Шпильрайн, С.П. Малышенко, Г.Г. Кулешов. – Москва, 1984
2. Определение оптимальных параметров реакции получения водорода на основе окисления нанопорошка алюминия водой / М.Ю. Степкина [и др.] // Южно-сибирский научный вестник. – 2017. – №4. – С 43-43.
3. Астанкова, А.П. О кинетике саморазогрева в реакции нанопорошка алюминия с жидкой водой / А.П. Астанкова, А.Ю. Годымчук, А.А. Громов // Журнал физической химии – 2008. – Т.9, №11. – С 2126-2134.
4. Мохин, Г.Н. Критические явления в реакции алюминия с водой [Текст] / Г.Н. Мохин, В.М. Мохин // Горение и взрыв, – 2016. – Т.9, №2. – С.120-127.
5. Пат. 2266157 Российская федерация, МПК⁵¹ В 01 J 7/02, С 01 В 3/08. Генератор водорода [Текст] / Глухих И.Н.; патентообладатель Открытое акционерное общество "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С.П. Королева". – заявл. 24.02.04; опубл. 20.12.05.
6. Пат. 167565 Российская федерация, МПК⁵¹ С 01 В 3/08. Генератор водорода [Текст] / Носырев Д.Я. Мишкин А.А. Краснов Е.Ю.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный университет путей сообщения" (СамГУПС). – заявл. 11.04.16; опубл. 10.01.17.

7. Soler L. In situ generation of hydrogen from water by aluminum corrosion in solutions of sodium aluminate [Текст] / L. Soler, J. Macanas, M. Munoz // Journal of Power Sources. – 2009. – Т.192, № 1. – С. 21-26.

8. Gai W.Z. Reaction of Al powder with water for hydrogen generation under ambient condition [Текст] / [6] W.Z. Gai // International journal of hydrogen energy. – 2012. – Т.37, № 17. – С. 13132–13140.

9. Боггс, У. UML и Rational Rose [Текст] / У. Боггс, У. М. Боггс. – Москва : Издательство "ЛОРИ" 2001. – 580 с.

Конюхов Илья Евгеньевич – инженер-исследователь, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, тел. (3854) 301869, email: ilyakon008@gmail.com

Морозова Ольга Николаевна – аспирант, м.н.с., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, тел. (3854) 301869, e-mail: morozova_olga15@mail.ru

Титов Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, тел. (3854) 30-17-25

HYDROGEN GENERATION SYSTEM PARAMETERS CONTROL

I.E. Konyuhov, O.N. Morozova, S.S. Titov

Institute for problems of chemical and energetic technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Biysk

The paper investigates a testing installation of method of producing hydrogen by oxidizing aluminum powder with water. It was found out that during such a reaction, it is necessary to control the pressure and temperature of the system, since self-heating is possible due to the exothermicity of the aluminum oxidation process. For this purpose, an experimental stand consist of a reactor with a magnetic stirrer, temperature and pressure sensors and a control unit. An installation allows registering changes in pressure and temperature over time. The dependences of pressure and temperature in the reactor on time are presented in this paper. Diagrams are constructed in the UML modeling language, showing the options and the sequence of using the experimental stand. Staged experimental studies were carried out with the help of the developed stand. In accordance with the results obtained, it can be concluded that hydrogen is released during this reaction, as evidenced by an increase in pressure in the reactor. The installed sensors allow monitoring the process parameters in real time.

Index terms: hydrogen, autoclave, oxidizing aluminum, renewable energy.

REFERENCES

1. Shpilrain, E.E. Introduction to hydrogen energy [Text] / E.E. Shpilrain, S.P. Malysenko, G.G. Kuleshov. - Moscow, 1984
2. Determining the optimal parameters of the reaction of hydrogen production based on the oxidation of aluminum nanopowder water / M. Y. stepkina [et al.] // South Siberian scientific Bulletin. – 2017. – No. 4. With 43-43.
3. Astankova, A. P. kinetics of self-heating in the reaction of aluminum nanopowder with liquid water / AP Astankova, A. Yu. Godymchuk, A. A. Gromov // Journal of physical chemistry, 2008. – T. 9, №11. With 2126-2134.
4. Mokhin, G.N. Critical phenomena in the reaction of aluminum with water [Text] / G.N. Mokhin, V.M. Mokhin // Combustion and explosion, in 2016. –T. 9, №2. – S. 120-127.
5. Pat. 2266157 Russian Federation, МПК51 В 01 J 7/02, C 01 B 3/08. Hydrogen generator [Text] /Deaf I. N.; the patentee open joint-stock company "Rocket and space Corporation "Energia". S. P. Korolev". - declared on 24.02.04; published on 20.12.05.
6. Pat. 167565 Russian Federation, IPC51 C 01 B 3/08. Hydrogen generator [Text] /Nosyrev D.Ya. Mishkin A.A. Krasnov E.Yu.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Samara State University of Railway Transport" (SamGUPS). - declared on 11.04.16; published on 10.01.17.
7. Soler L. In situ generation of hydrogen from water by aluminum corrosion in solutions of sodium aluminate [Text] / L. Soler, J. Macanas, M. Munoz // Journal of Power Sources. – 2009. – T.192, № 1. – C. 21-26.
8. Gai W.Z. Reaction of Al powder with water for hydrogen generation under ambient condition [Text] / [6] W.Z. Gai// International journal of hydrogen energy. – 2012. – T.37, № 17. – C. 13132–13140.
9. Boggs, W. UML and Rational Rose [Text] / W. Boggs, W. M. Boggs. - Moscow : LORI Publishing House 2001– - 580 p.

Konyuhov Il'ya Evgen'evich – Engineer-researcher, Institute for problems of chemical and energetic technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ph. (3854)305847, e-mail: ilyakon008@gmail.com.

Morozova Olga Nikolaevna – postgraduate, junior research scientist, Institute for problems of chemical and energetic technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ph. (3854)301869, e-mail: morozova_olga15@mail.ru.

Sergey Sergeyevich Titov - candidate of technical sciences, deputy director for scientific work, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, tel. (3854) 30-17-25.