По результатам испытаний адгезионной прочности можно определить прочностные характеристики композита. Испытания показали, что максимальная нагрузка, которую выдерживает образец при использовании связующего ЭС-3 составила 134 Н, а при использовании связующего УП-2217 – 131 Н.

Рассчитаем адгезионную прочность соединения волокно-связующее.

$\tau_i = \frac{F_i}{S_i}$ – формула для расчёта адгезионной прочности. Рассчитаем площадь адгезионной поверхности: диаметр жгута = 2 мм, $S = 2 \cdot \pi \cdot 0.002 \cdot 2 = 0.0251 \text{ м}^2$

$$\tau_1 = \frac{134 \text{ Н}}{0,0251 \text{ м}^2} = 5338,65 \text{ Па} \text{ – для связующего ЭС-3.}$$

$$\tau_2 = \frac{131 \text{ Н}}{0,0251 \text{ м}^2} = 5220,72 \text{ Па} \text{ – для связующего УП-2217.}$$

Оба связующих продемонстрировали высокие адгезионные характеристики, что доказывает прочность композитов, сделанных с использованием данных связующих.

1. Адгезия полимеров к твёрдым поверхностям. Реферат. Барнаул, 2009.
2. Башкирцев В. И., Юдицкий Л.А. Научные представления об адгезии. – Сервис в России и за рубежом, 2012.
3. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1969.
4. Долматов М.Ю., Бурдина Н.Г., Тимофеева М.Ю. Адгезия и фазовые переходы в сложных высокомолекулярных системах. Учебное пособие., 2001.
5. Кузнецов В.П., Баумгартэн М.И., Невзоров Б.П., Фадеев Ю.А. Адгезия в композиционных материалах: термины и физическая сущность. – Вестник Кемеровского государственного университета, 2014.
6. Методические указания по проведению научно-исследовательской работы для студентов бакалавриата по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» / Е.Ю. Макарова, Ю.В. Соколкин, А.А. Чекалкин. – Пермь: Изд-во Перм. Нац. Исслед. Политехн. Ун-та, 2017. – 40 с.
7. Мокина А.А Основы адгезии полимеров. – Master's journal, 2016.
8. Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика деформирования и разрушения структурно неоднородных тел. – М.: Наука, 1984 – 116 с.

Суфиянов Р.Ш.

Получение водорода электролизом

*Бронницкий филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»
(Россия, Бронницы)*

doi: 10.18411/lj-03-2021-53

idsp: ljjournal-03-2021-53

Аннотация

Водород, являясь самым распространенным химическим элементом Вселенной, может в будущем заменить традиционные виды топлив, обладая целым рядом преимуществ. Однако на нашей планете он встречается, преимущественно только в связанном виде, в частности, в виде химических соединений с кислородом (воды) и с углеродом (углеводороды). Данные соединения традиционно являются основным сырьем для получения водорода, и технологии, используемые в настоящее время для получения водорода из данного вида сырья, являются наиболее распространенными. Среди них особое место занимает технология получения водорода электролизом воды.

Ключевые слова: энергия, водород, технологии получения, электролиз, углеродный след, «зеленый» водород.

Abstract

Hydrogen, being the most widespread chemical element of the Universe, can replace traditional types of fuels in the future, having a number of advantages. However, on our

planet, it is found mainly only in a bound form, in particular in the form of chemical compounds with oxygen (water) and carbon (hydrocarbons). These compounds are traditionally the main raw material for the production of hydrogen, and the technologies currently used to obtain hydrogen from this type of raw material are the most common. Among them, a special place is occupied by the technology of hydrogen production by electrolysis of water.

Keywords: energy, energy, hydrogen, production technologies, electrolysis, carbon footprint, "green" hydrogen.

Водород является самым распространенным химическим элементом Вселенной, но на нашей планете он встречается преимущественно в связанном виде: в составе воды, углеводов, в живых организмах и др. Низкозатратное получение водорода для использования его в качестве топлива, является в настоящее время одной из важнейших проблем, решение которой, безусловно, поможет сделать человечеству гигантский рывок в технологическом развитии.

Методы получения водорода можно условно разделить на лабораторные и промышленные [1]. К первым, общеизвестным из школьных уроков химии, относят химические реакции взаимодействия металлов с кислотами и щелочами, а также электролиз воды. Выделение водорода происходит при химической реакции кислот с металлами, стоящими в вытеснительном ряду металлов левее водорода [2].

Водород выделяется также при химической реакции взаимодействия водного раствора щелочей с амфотерными металлами. В щелочной среде потенциал водородного показателя $E = -0,826V$ и по этой причине в растворах щелочей происходит растворение металлов у которых потенциалы отрицательнее $-0,826V$. Однако, в связи с тем, что на ход химической реакции взаимодействия металла с раствором щелочи влияют много факторов, а не только электродный потенциал, нельзя однозначно оценить возможность и интенсивность выделения водорода [3].

Получение водорода в промышленном масштабе осуществляется методом паровой и парокислородной конверсии, пропусканием водяного пара над нагретым до $1000\text{ }^{\circ}C$ углем, газификацией угля и некоторыми другими менее распространенными методами, а также с помощью электролиза воды. Остановимся более подробно на электролизе воды - на одном из самых первых методов промышленного производства водорода.

При электролизе воды под воздействием постоянного электрического тока происходит ее разложение на водород и кислород, при этом на катоде выделяется водород, а на аноде кислород. Впервые процесс электролиза воды был проведен в 1800 году Вильямом Николсоном, и практически в это же время Иоганн Риттер впервые смог собрать отдельно водород и кислород [4]. Само авторство открытия законов электролиза воды принадлежит английскому физика Майклу Фарадею, впервые установившему связь между величиной тока и теоретическим количеством получаемого водорода в 1833 году.

Первый промышленный образец электролизера был создан в 1927 г. норвежской компанией «Norsk Hydro Electrolysers» для завода, который производил аммиак.

Производство водорода электролизом воды по сравнению с другими методами обладает целым рядом преимуществ, среди них: наличие доступного сырья (вода); широкий диапазон часовой производительности применяемых установок (от нескольких литров до сотен кубометров); высокие экологические показатели производства (отсутствие вредных выбросов и сбросов в окружающую природную среду); высокая степень чистоты получаемого водорода (99,99%); получение ценного побочного продукта – кислорода; простота эксплуатации промышленных установок; технологический процесс практически полностью является автоматизированным.

К недостаткам технологии электролиза следует отнести значительную себестоимость производимого водорода, что является весомой причиной,

сдерживающей более широкое его применение. Поэтому доля водорода, получаемого электролизом, в настоящее время составляет лишь порядка 5% от всего мирового его производства.

На рис.1 представлены затраты на производство водорода электролизом и другими, наиболее распространенными методами. По данным ПАО «Газпром» для получения 1 м³ водорода из природного газа (метана) необходимо затратить электроэнергию от 0,7 до 3,3 кВт·ч, а при получении водорода электролизом воды от 2,5 до 8,0 кВт·ч, т.е. разница втрое [5]. Отмечается также, что по данным немецкой компании BASF, разница в энергоёмкости данных технологий на самом деле десятикратная, но первая втрое получена при сравнении технологий получения именно так называемого «зеленого» водорода (по терминологии ЕС).

Несмотря на высокую себестоимость получаемого «зеленого» водорода методом электролиза, в силу всех вышеперечисленных обстоятельств, именно электролиз воды является наиболее перспективной технологией, в особенности, когда речь идет о производстве «зеленого» водорода.

Рисунок 1. Затраты на производство водорода, по данным МЭА за 2018 г., долл. США/кг [5]

Но для того чтобы назвать получаемый водород «зеленым», необходимо выполнить одно важное условие – при его производстве должна использоваться электроэнергия, полученная из альтернативных источников энергии, т.е. без углеродного следа. Углеродным следом называют общий объем парниковых газов, выраженных в эквиваленте диоксида углерода, которые появляются в процессе деятельности человека или предприятия.

Как известно [6], в мировой энергетике идут процессы, связанные с декарбонизацией и низкоуглеродным развитием промышленного производства и технологий, направленные на снижение этого углеродного следа. В этой связи, нужно отметить, что помимо понятия «зеленый» водород, существует понятие «синий» (иногда его называют «голубым» водородом), а также понятия «серый» и «бурый» водород [7].

Водород называют «серым», если его производят из природного газа с помощью риформинга. Если же водород получают путем газификации угля, то его называют «бурый». В обоих случаях образуется нежелательный продукт – диоксид углерода и некоторые другие парниковые газы, которые необходимо отделить от водорода. После соответствующей очистки этот очищенный водород называют «синим» («голубым») водородом.

Современные электролизеры воды, могут использоваться в технологиях «Power-to-X». Данные технологии предназначены для плавного перехода от ископаемого топлива к безуглеродному будущему.

Благодаря технологиям Power-to-X преимущественно углеродно-нейтральные транспортные средства или транспортные средства без выбросов углекислого газа, работающие на e-Fuel и / или e-Hydrogen, в ближайшие десятилетия должны стать нормой и центральное место в данной сфере отведено водороду [8].

В настоящее время выделяют две основные технологии получения водорода методом электролиза в зависимости от типа используемого электролита и условий проведения электролиза: щелочной и с твердым полимерным покрытием.

Щелочной электролиз осуществляется в результате прохождения электрического тока через водный раствор КОН или NaOH, при этом на аноде выделяется водород, а на катоде - кислород. Щелочи добавляются для повышения удельной электропроводности, т.к. данная характеристика у воды, используемой при электролизе сравнительно невысокая, а используется, как правило, дистиллированная вода. Достоинствами процесса щелочного электролиза являются простота аппаратного оформления и возможность проведения работы в широком интервале нагрузок, начиная с 20 % от номинальной мощности.

Электролизеры с твердо-полимерным электролитом более экономичны с точки зрения затрат электроэнергии и были разработаны специально для использования в космических кораблях, подводных лодках и в других объектах, где имеется необходимость автономного обеспечения энергией. Одним из основных элементов данного вида электролизеров, являются мембраны, обладающие химической стойкостью и высокой электропроводностью. Заряд переносится с помощью гидратированных протонов через мембраны, представляющие собой беспористые полимерные материалы на основе перфторированного углерода. Данный вид электролизеров в 5-7 раз дороже водно-щелочных электролизеров с аналогичными характеристиками [1].

Ключевыми преимуществами электролизеров с твердо-полимерным электролитом является широкий диапазон рабочих плотностей тока и быстрое время отклика при смене нагрузки. Однако высокая скорость протекания процесса выделения водорода может быть обеспечена только использованием катализаторов на основе весьма дорогих металлов платиновой группы. Одним из перспективных направлений снижения затрат является использование оксидов или карбидов ряда металлов, обладающих высокой электронной проводимостью, в частности синтезированного катализатора $\text{IrO}_x/\text{TiO}_x$ [9].

Таким образом, принимая во внимание современные тенденции развития науки и производств, необходимо отметить, что человечество стоит на пороге новой индустриальной эпохи водородной энергетики, с использованием альтернативных источников энергии, в том числе для производства водорода без углеродного следа. И в этом отношении, процесс получения «зеленого» водорода электролизом воды, является одним из наиболее экологичных и перспективных технологий современности.

1. Радченко Р. В., Мокрушин А. С., Тюльпа В. В. Водород в энергетике : учеб. пособие - Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. - 230 с.
2. Инфоурок: ведущий образовательный портал России / Электронный ресурс: <https://infourok.ru/prezentaciya-po-himii-dlya-klassa-vzaimodeystvie-metallov-s-kislotami-i-vodoy-vitesnitelnyy-ryad-metallov-1249058.html>
3. Нечаев А. В., Иванов М. Г., Иванов Д. М.: Учебное электронное текстовое издание - Электронный ресурс: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/7402/1/Nechayev_Ivanov_Ivanov.pdf.
4. Григорьев С.А., Перебский В.И., Фатеев В.Н. и др. Получение водорода электролизом воды: современное состояние, проблемы и перспективы /Транспорт на альтернативном топливе, №3 (3) май, 2008 г. – С.62-69.
5. Конопляник А. Чистый водород из природного газа// Корпоративный журнал «Газпром», №9. Сентябрь 2020 г. Электронный ресурс: <https://www.gazprom.ru/press/news/reports/2020/pure-hydrogen/>

6. Митрова Т., Мельников Ю., Чугунов Д. и др. Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию, Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. Электронный ресурс: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Hydrogen-economy_Rus.pdf
7. Кристалинская С. Водород: эпоха возрождения? Электронный ресурс: <https://oilcapital.ru/article/general/10-09-2020/vodorod-epoha-vozrozhdeniya>
8. Технологии Power-to-X: условие энергетического перехода// "Энергетика и промышленность России"// № 18 (374) сентябрь 2019 года. Электронный ресурс: <https://www.eprussia.ru/epr/374/9371444.htm>
9. Пушкарев А.С., Пушкарева И.В., Акелькина С.В. и др. Электрокаталитические материалы для электролизеров воды с твердым полимерным электролитом// Сборник: «Энергосбережение. Теория и практика», Курск, 2020. С.276-281. Электронный ресурс: https://elibrary.ru/download/elibrary_44054975_62827432.pdf.

Mammadov I.V., Amanullayeva G.I., Bayramova Z.E.
Development of the recycling industry and its significance

Azerbaijan State Oil and Industry University
(Azerbaijan, Baku)

doi: 10.18411/lj-03-2021-54

idsp: ljjournal-03-2021-54

Abstract

The article points out that the growth of solid waste in the world is a source of danger to the environment. Among the solid wastes, the waste formed from construction materials is widespread, occupying vacant lands and forming large landfills. For this reason, the benefits of recycling – protection of the environment from excess waste, thereby release of useful lands as well as protection of atmosphere from pollution, and less use of natural resources have been emphasized. While using raw materials in the chemical industry, development of harmless and waste-free technologies has been shown as one of the main ways to eliminate environmental problems.

Keywords: solid waste, construction waste, recycling, development, chemicals, waste-free technology

Аннотация

В статье отмечается, что увеличение твердых бытовых отходов в мире является источником опасности для окружающей среды. Показано, что среди твердых отходов широкое распространение получили отходы, образующиеся от строительных материалов, которые занимают пустующие земли и образуют крупные свалки. По этой причине отмечены преимущества вторичной переработки - избавление окружающей среды от лишних отходов, тем самым высвобождая плодородные земли и защищая экологию, а также атмосферу от загрязнения, которые приводят к меньшему использованию природных ресурсов. При использовании сырья в химической промышленности, разработка безвредных и безотходных технологий была представлена как один из основных способов устранения экологических проблем.

Ключевые слова: твердые отходы, строительные мусор, вторичная переработка, разработка, химикаты, безотходная технология

In modern times, the world is constantly evolving. The growth of the world's population and the expansion of cities have led to a further increase in annual production. On the other hand, as the chemical industry developed, the range of industrial products expanded. For this reason, the increase in consumption and, consequently, production has increased the demand for resources. Natural resources in nature are limited over time. In this case, there is a shortage of raw materials required for production, which leads to delays in the process and failure to meet the growing consumer needs [1-3].