

Санкт Петербург: Дисс. к.хим. н. Санкт-Петербург: Санкт Петербургский университет ГПС МЧС России, 2018 – 125 с.

3. Лифанова Р.З., Орлова В.С., Цетлин В.В. Воздействие электромагнитного излучения на энергического состояние молекул воды // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности – 2019. №2. С. 138-142.

4. Пат. 2479005 Российская Федерация, МПК G05B 24/02, H03B 28/00. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз [Текст] /Г.К. Ивахнюк, В.А. Клачков, В.Н.Матюхин, А.О.Шевченко. - № 2011118347/08; заявл.21.01.2010; опубл. 10.04.2013.

УДК 544.478.023.57

**С.В. Беленов, А.А. Алексеенко, В.С. Меньшиков,
И.А. Герасимова, Д.В. Алексеенко, К.О. Паперж**
ООО «Прометей РД»
Ростов-на-Дону, Россия

РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ «ПРОМЕТЕЙ РД» В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПЛАТИНЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований Pt/C электрокатализаторов полученных в ООО «Прометей РД» (Россия). Варьирование загрузки платины и условий синтеза позволило получить Pt/C материалы с содержанием Pt от 20 до 70 %, средним размером наночастиц менее 3.6 нанометров с площадью активной поверхности платины до 128 м²/г (Pt).

**S.V. Belenov, A.A. Alekseenko, V.I.S. Menshikov,
I.A. Gerasimova, D.V. Alekseenko, K.O. Paperj**
PROMETHEUS R&D Ltd.
Rostov-on-Don, Russia

DEVELOPMENTS OF THE PROMETHEY RD COMPANY IN THE FIELD OF PLATINUM-BASED ELECTROCATALYSTS FOR LOW-TEMPERATURE FUEL CELLS

Abstract. This paper presents the results of studies of Pt/C electrocatalysts obtained at Prometey RD LLC (Russia). Varying the platinum loading and synthesis

conditions made it possible to obtain Pt/C materials with a Pt content of 20 to 70% and an average nanoparticle size of less than 3.6 nanometers and active surface area of platinum up to 128 m²/g (Pt).

Топливные элементы (ТЭ) с протонообменной мембраной являются одним из наиболее перспективных источников энергии для использования на транспорте и в портативных источниках энергии благодаря высокой удельной плотности энергии и низким выбросам вредных веществ. Для эффективной работы топливных элементов необходимо использовать катализаторы, ускоряющие реакции окисления топлива на аноде и электровосстановления кислорода на катоде [1].

Большинство современных производителей катализаторов предлагают широкий ассортимент материалов с различной массовой долей платины от 10 до 70 % [2]. Это связано с тем, что в зависимости от типа топливного элемента и используемого электрода (анода или катода) необходим материал с разным содержанием платины. Например, для метанольных топливных элементов рекомендуется использовать катализатор с содержанием платины не менее 60 % [3, 4] на катоде и не менее 40 мас. % Pt на аноде. Для водородно-воздушных топливных элементов содержание Pt в используемых катализаторах ниже и, как правило, составляет от 20 до 40 % на аноде и около 40 % на катоде. При постоянной загрузке платины на электроды топливных элементов увеличение массовой доли платины в катализаторе позволяет получить более тонкий каталитический слой и, как следствие, снизить диффузионный процесс работы ТЭ. С другой стороны, использование катализаторов с меньшей загрузкой платины способствует увеличению среднего расстояния между наночастицами, что приводит к уменьшению перекрытия диффузионных потоков реагента. В итоге выбор катализатора определяется производителем топливных элементов и зависит от требований потребителя, требуемого срока службы устройства, чистоты топлива и т. д. Именно поэтому производителю катализатора важно предлагать широкий ассортимент материалов с высокими удельными характеристиками и различным содержанием платины.

Сравнение структурных характеристик полученных Pt/C-катализаторов, содержащих от 20 до 60 % масс. Pt, проводилось по данным рентгеноструктурного анализа (рис. 1). Показано, что получены Pt/C-катализаторы со средним размером кристаллитов от 2,0 до 3,5 нм, при этом при увеличении массовой доли платины в материале средний размер кристаллитов возрастает. По данным ПЭМ (рис. 2) полученные катализаторы характеризуются равномерным

распределением наночастиц платины размером от 2 до 4 нм по поверхности углеродного носителя и узким размерным распределением.

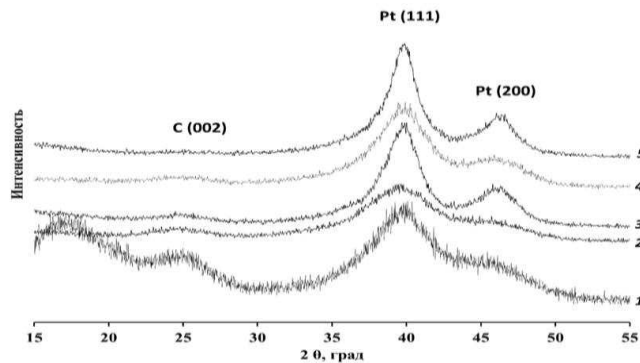


Рис. 1 - Рентгенограммы синтезированных катализаторов Pt/C(Vulcan XC72) с различным массовым содержанием Pt: 1 – 20 %, 2 – 30 %, 3 – 36 %, 4 – 40 %, 5 – 60 %.

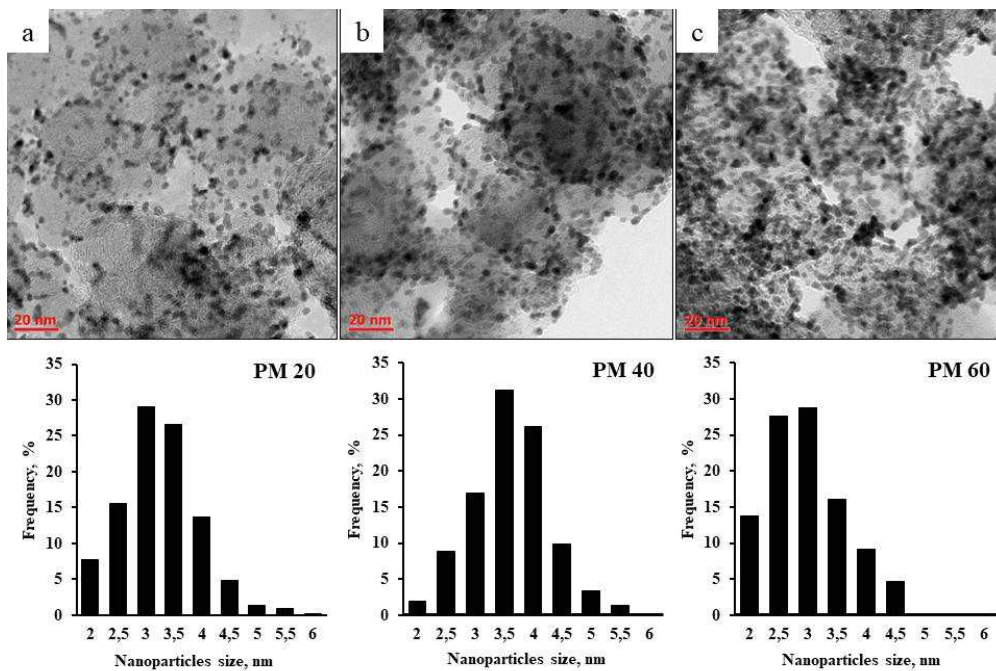


Рис. 2 - ПЭМ-изображения Pt/C-катализаторов с различным массовым содержанием Pt: а – 20 %, б – 40 %, с – 60 % и соответствующие гистограммы распределения наночастиц по размерам.

Материалы с массовой долей платины от 10 до 40 % демонстрируют высокие значения ЭХАП от 72 до 103 м²/г (Pt), на уровне коммерческих аналогов, что свидетельствует о высоком качестве полученных материалов.

По результатам испытаний катализаторов серии ПМ производства ООО «Прометей РД» (Россия) с различным содержанием Pt показано превосходство этих катализаторов над аналогами по

результатам их сравнительного тестирования в мембранно-электродных блоках (рис. 3). Максимальная мощность, полученная в модельном топливном элементе с использованием катализатора PM30, составила 407 мВт/см^2 при загрузке платины $0,382 \text{ мг/см}^2$ (удельная мощность 1066 Вт/г), что значительно превышает мощность единичных топливных элементов на основе коммерческих материалов JM 40 и JM 20 (HiSpec 4000 и HiSpec 3000, Johnson Matthey Fuel Cells), испытанные в аналогичных условиях, мощность которых соответственно составила 253 и 271 мВт/см^2 . Мембранно-электродная сборка водородно-воздушных топливных элементов, сформированная с использованием исследованных катализаторов PM20 – PM60, продемонстрировала максимальную мощность в диапазоне от 100% (PM60) до 170% (PM30) мощности МЭА на основе коммерческого электрокатализатора HiSPEC4000 (Johnson Matthey Fuel Cells), содержащего 40% мас.Pt.

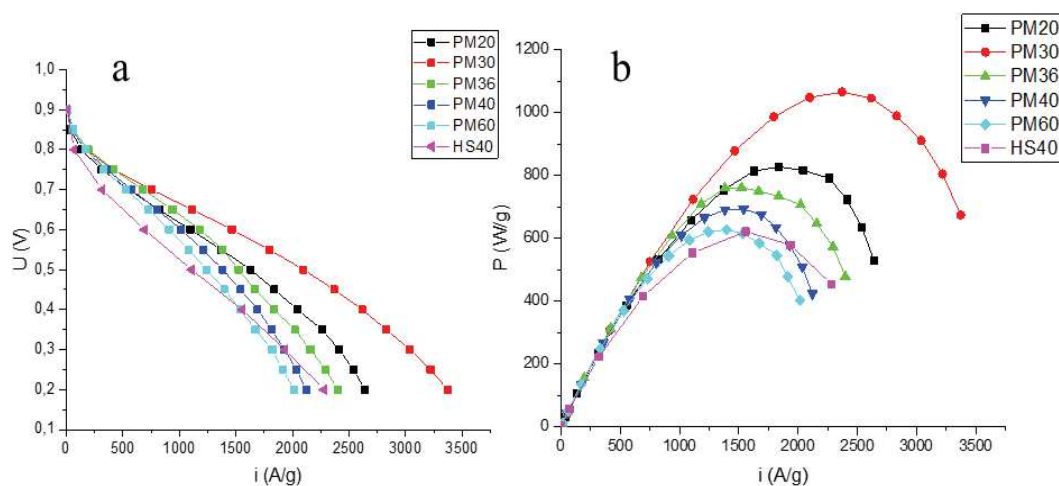


Рис. 3 -Вольтамперные (а) и мощностные (б) удельные характеристики МЭБ с исследованными Pt/C катализаторами с различной массовой долей платины

Таким образом ряд Pt/C-материалов с содержанием Pt от 10 до 70%, полученные по запатентованной методики жидкофазного синтеза [5] характеризуются малым средним размером и узким размерным распределением наночастиц по результатам рентгеновской дифрактометрии и просвечивающей электронной микроскопии и высокой каталитической активностью по результатам испытания в единичном блоке топливного элемента.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госзадание № 0852-2020-0019). Авторы выражают признательность ООО «ПРОМЕТЕЙ РД»

(Ростов-на-Дону) и ООО «Системы микроскопии и анализа» (Сколково, Москва) за поддержку в проведении ПЭМ исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Grinberg, V. A., Kulova, T. L., Mayorova, N. A., Dobrokhotova, Zh. V., Pasynsky, A. A., Skudin, A. M., Khazova, O. A. Nanostructured cathodic catalysts for oxygen-hydrogen fuel cells. // Russian Journal of Electrochemistry. - 2007. - v. 43. - pp. 77-86.
2. <https://matthey.com/products-and-services/fuel-cells/fuel-cell-catalysts>
3. Zhao, X., Yin, M., Ma, L., Liang, L., Liu, C., Liao, J., Lu, T., Xing, W. Recent advances in catalysts for direct methanol fuel cells // Energy and Environmental Science. – 2011. - 4 (8). - pp. 2736-2753.
4. Tiwari, J.N., Tiwari, R.N., Singh, G., Kim, K.S. Recent progress in the development of anode and cathode catalysts for direct methanol fuel cells // Nano Energy. – 2013. - 2 (5). - pp. 553-578.
5. Патент RU 2695999 Способ получения катализаторов с наноразмерными частицами платины и ее сплавов с металлами

УДК 630.6:531.5+630.161.32

А.А. Борозна¹, И.Ф. Пустовой², Д. Сорокин^{2,3}

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

²ООО «РеалИнПроект»

³Национальный исследовательский университет ИТМО
Санкт-Петербург, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛЕВОЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «Fe-DO» ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ

Аннотация. В статье описывается инновационная, полноценная российская разработка – ресурсо-энергосберегающая технология "Fe-do" и ее эффективность в решении наиболее актуальных проблем при эксплуатации машин и оборудования.