СИНТЕЗ КАРБИДОВ МЕТАЛЛОВ БЕЗВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

А.Я. Пак, Ю.З. Васильева, А.А. Гумовская, Ж.С. Болатова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ayapak@tpu.ru

Электролиз воды является одним из основных подходов к получению водорода. Процесс электролиза, как известно, связан с поиском катализаторов с высокой активностью и стойкостью в работе в процессе жизненного цикла узлов и агрегатов, используемых в технологическом процессе. Эталонные показатели каталитической активности достигаются с использованием материалов на основе платины и других драгоценных металлов. Более дешевой и доступной альтернативой могут служить катализаторы на основе карбидов металлов [1-3]. Традиционный подход к получению карбидов базируется на карботермическом восстановлении оксидов металлов или других соединений, что требует длительной выдержки исходного сырья при высоких температурах, соответствующих известным диаграммам состояний, в инертных газовых средах или вакууме. Высокие скорости протекания реакций и широкий диапазон температур позволяют считать перспективным направлением развития методов синтеза карбидов металлов группу плазменных методов. Относительная сложность конструкции плазменных реакторов и высокая энергоемкость процесса синтеза являются основными ограничивающими факторами внедрения рассматриваемых технологий.

В последние 5–10 лет активно развивается направление синтеза, основанное на создании автономной газовой среды, которая заменяет внешнюю инертную газовую среду, что позволяет отказаться от части технологической цепочки, связанной с герметизацией реактора, процессами откачки воздуха и закачки инертного газа в реактор; соответственно, в составе плазменного реактора можно ликвидировать ряд узлов и деталей: корпус реактора в его традиционном понимании, вакуумный насос, запорная арматура, контроллеры расхода. Соответственно, такой подход положительно сказывается на массово-габаритных показателях плазменного реактора и его энергоэффективности.

В работе представляются результаты экспериментальных исследований, в рамках которых были получены образцы порошков карбидов металлов в плазме дугового разряда постоянного тока, инициированного в открытой воздушной среде. Экспериментально показано, что процесс реализуется в автономной газовой среде, состоящей преимущественно из газов CO, CO₂, которые заполняют реакционную зону в ходе горения дугового разряда и предотвращают попадание кислорода воздуха [4]. Работоспособность некоторых из синтезированных карбидов в качестве катализаторов процессов получения водорода из воды уже доказана [5].

Разрабатываемый метод также позволяет реализовать синтез так называемых высокоэнтропийных карбидов, представляющих собой многокомпонентный твердый раствор с кубической решеткой типа NaCl, в котором одновременно содержатся атомы 4–5 металлов четвертой и пятой групп и углерода. Предположительно основная ценность для науки и техники высокоэнтропийных карбидов заключается в возможности достижения близких к рекордным температур плавления. При этом этот относительно новый класс материалов на основе высокоэнтропийных карбидов является еще малоизученным и потенциально может составить часть сырьевой базы новых материалов на основе карбидов металлов. Возможность использования высокоэнтропийных карбидов в каталитических процессах еще предстоит исследовать.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10030.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peirong Chen. et al. Recent progress of transition metal carbides/nitrides for electrocatalytic water splitting // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 883. – P. 1699–1710.
2. S. Saha et al. Titanium carbide: An emerging electrocatalyst for fuel cell and electrolyser // International Journal of hydrogen energy. – 2021. – Vol. 46. – P. 12801–12821.
3. Osama Rabi. et al. An inclusive review on the synthesis of molybdenum carbide and its hybrids as catalyst for electrochemical water splitting // Molecular Catalysis. – 2020. – Vol. 494. – P. 111116.
4. Pak A. et al. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – Vol. 93. – P. 105343.
5. Vassilyeva Y. et al. Synthesis of molybdenum carbide catalyst by DC arc plasma in ambient air for hydrogen evolution // Materials Chemistry and Physics. – 2020. – Vol. 254. – P. 123509.