

## ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ТЕРМИЧЕСКОГО УДАРА

Куликов К. С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель, к.х.н., Морозов Н. А. (Университет ИТМО)

**Введение.** Российский рынок катализаторов нефтяной промышленности сильно зависит от импорта. Несмотря на то, что ситуация начала меняться с 2015 года, когда вышел приказ Министерства энергетики РФ, доля импорта все равно остается подавляющей (около 80%). Стоит также учесть, что спрос на катализаторы в РФ, по прогнозам, к 2030 году вырастет почти на 50% [1]. Все это приводит к необходимости разработки новых способов промышленного получения доступных и эффективных катализаторов.

Известные и широко применяемые в промышленности катализаторы, например, Pt/C подвергаются отравлению в ходе работы, что требует их частой регенерации и замены. Поэтому основной задачей для химиков в области катализа является разработка более стабильных и эффективных катализаторов.

Перспективным решением может стать использование катализаторов на основе наночастиц высокоэнтропийных сплавов (ВЭС), которые могут содержать пять и более элементов в одной фазе, стабилизированных высокой энтропией смешивания. Это приводит к большей стабильности материалов в условиях агрессивных сред. Ожидается также, что такой многоэлементный состав позволит добиться оптимальных энергий адсорбции/десорбции для интермедиатов электрохимических реакций. Поэтому наночастицы ВЭС могут быть использованы для различных электрохимических процессов, поскольку их структура может быть тонко настроена под конкретные целевые реакции путем комбинации необходимых атомов в структуре.

**Основная часть.** Синтез наночастиц ВЭС включает в себя несколько этапов:

1) Активация поверхности. Для создания более дефектной поверхности изначально углеродный войлок (носитель катализатора) электрохимически обрабатывается. В ходе данного процесса использовался ряд электролитов, включая разбавленный 0.1M и концентрированные 1M растворы NaCl, HNO<sub>3</sub> и KOH.

2) Нанесение прекурсора. На активированный углеродный войлок, нагретый до 150 °С на магнитной мешалке, путем прокапывания наносится спиртовой раствор солей выбранных металлов.

3) Термическая обработка. С помощью короткого импульса тока (до 4 сек), пропущенного через углеродный носитель, установленный в инертной атмосфере, происходит быстрый нагрев до ~ 2000 °С [2]. В результате такого разогрева кристаллы солей на поверхности войлока разлагаются и образуются наночастицы ВЭС.

4) Характеризация материала. Оценку морфологии синтезированных наноструктур выполняли с помощью сканирующей электронной микроскопии, приближенный химический состав определяли методом энергодисперсионной спектроскопии, а фазовый состав подтверждали методом порошковой рентгеновской дифракции.

**Выводы.** Установлено, что наилучшим электролитом для активации поверхности углеродного войлока является 1М NaCl ввиду того, что после такой обработки происходит более равномерное распределения прекурсор по поверхности. Нагрев войлока до 150 °С позволяет добиться удаления остатков спирта и получить более равномерное распределение кристаллов солей по поверхности углеродного войлока в отличии от конвекционной сушки. Показано, что в ходе термической обработки происходит формирование однофазных наночастиц равномерно распределенных по поверхности углеродного войлока и имеющих размеры [50-200 nm]. Кроме распределения солей, на распределение частиц существенно влияют параметры используемого тока (сила тока, напряжение, затрачиваемое на прохождение тока время). При этом наблюдается незначительное отклонение в содержании меди в итоговых наночастицах. Результаты проведенного исследования подтверждают перспективность предложенного метода синтеза наночастиц высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) на углеродном носителе для потенциального применения в области электрокатализа.

**Список использованных источников.**

1. Информационно-аналитический центр RUPEC. Российский рынок катализаторов для нефтеперерабатывающей отрасли. – 2021
2. Yao Y. et al. Carbothermal shock synthesis of high-entropy-alloy nanoparticles //Science. – 2018. – Т. 359. – №. 6383. – С. 1489-1494.