

Цзя Лицзе (Китай),  
Егамкулов Мукагали Ергалиевич (Казахстан),  
Шевченко Иван Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Лямина Галина Владимировна, к.х.н., доцент

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ $ZrO_2$ , ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

### Введение

Углеродистая сталь в настоящее время используется в качестве основного конструкционного материала. Одной из проблем эксплуатации деталей на ее основе является коррозия, которая решается легированием, нанесением защитных покрытий и введением в систему ингибиторов и т.д. [1]. Последний способ является наиболее технически удобным и экономичным.

Широкий класс ингибиторов представляет собой растворы органических соединений. В последнее время для усиления адгезионных и антикоррозионных свойств ингибиторов, используя добавки наночастиц металлов и их соединений. Недавние исследования показали, что  $ZrO_2$  является многообещающим кандидатом в качестве такой антикоррозионной добавки [2].

Целью данной работы является сравнение эффективности ингибиторов коррозии стали У8А на основе наночастиц  $ZrO_2$ , полученных в растворах методами осаждения из растворов различных составов (табл 1).

Таблица 1

*Сравнение эффективности ингибиторов на основе  $ZrO_2$   
по остаточной массе образцов*

Метод получения	Состав раствора для получения частиц $ZrO_2$	УЗ-обработка	$\eta$ , %	
			ТИО	ПЭГ-400
МФ	$ZrOCl_2 + C_2H_5OH$	–	93,01	94,45
		+	97,75	95,55
НРС	$ZrO(NO_3)_2 + HCit$	–	98,54	99,03
		+	97,38	96,38
	$ZrO(NO_3)_2 + NaCit$	+	96,60	95,49
	$ZrOCl_2 + HCit$	+	96,43	95,84
	$ZrOCl_2 + NaCit$	+	96,02	95,49

### Экспериментальные методики

Для приготовления ингибиторов коррозии использовали нанопорошки  $ZrO_2$  и традиционные органические ингибиторы, такие как полиэтиленгликоль (ПЭГ-400) и тиомочевина. Суспензии гидроксидов циркония получали из растворов солей различного состава. Выделение частиц из растворов проводили двумя способами: методом фильтрации (МФ) и нанораспылительной сушкой (НРС) с помощью установки Nanospray Drying B-90, по методике, описанной в работе [3].

Полученные растворы ингибиторов обрабатывали ультразвуком (УЗ), для уменьшения агломерации НЧ. Нанесение ингибитора на поверхность стали проводили посредством протирки образцов тканью, пропитанной раствором.

### Результаты и обсуждение

Кривые травления, представленные на рис. 1 демонстрируют большую эффективность ингибитора с применением наночастиц  $ZrO_2$  полученных нанораспылительной сушкой в сравнении с НЧ полученными фильтрацией, как для ингибитора, содержащего ПЭГ-400, так и для тиомочевину.

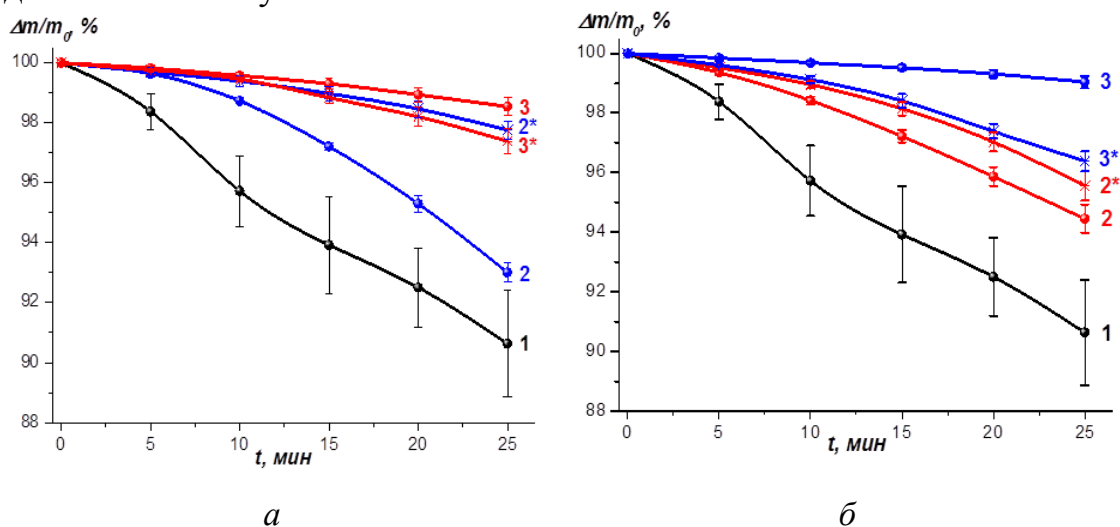


Рис.1. Потеря массы стали У8А в смеси кислот  $HCl$  и  $HNO_3$

(а – в растворе тиомочевины; б – в растворе ПЭГ-400):

1 – У8А; 2 – У8А + (а, б) + НЧ  $ZrO_2$  (МФ) втирка;

2\* – У8А + (а, б) + НЧ  $ZrO_2$  (МФ) + УЗ втирка;

3 – У8А + (а, б) + НЧ  $ZrO_2$  (НРС) втирка;

3\* – У8А + (а, б) + НЧ  $ZrO_2$  (НРС) + УЗ втирка.

В таблице 1 представлены финальные результаты коррозионных испытания для образцов, обработанных и необработанных ингибиторами на основе наночастиц полученных из разных прекурсоров. Лучшие результаты продемонстрировали ингибиторы коррозии на основе наночастиц оксида циркония, полученные из растворов с лимонной кислотой при помощи распылительной сушки без дополнительных УЗ-обработки.

Обработка ингибитора с помощью ультразвука оказалось наиболее эффективной в случае наночастиц, выделенных методом фильтрации. Данное явление связано с тем, что наночастицы, полученные данным методом склонны к агломерации, что можно предотвратить УЗ-обработкой (рис. 2).

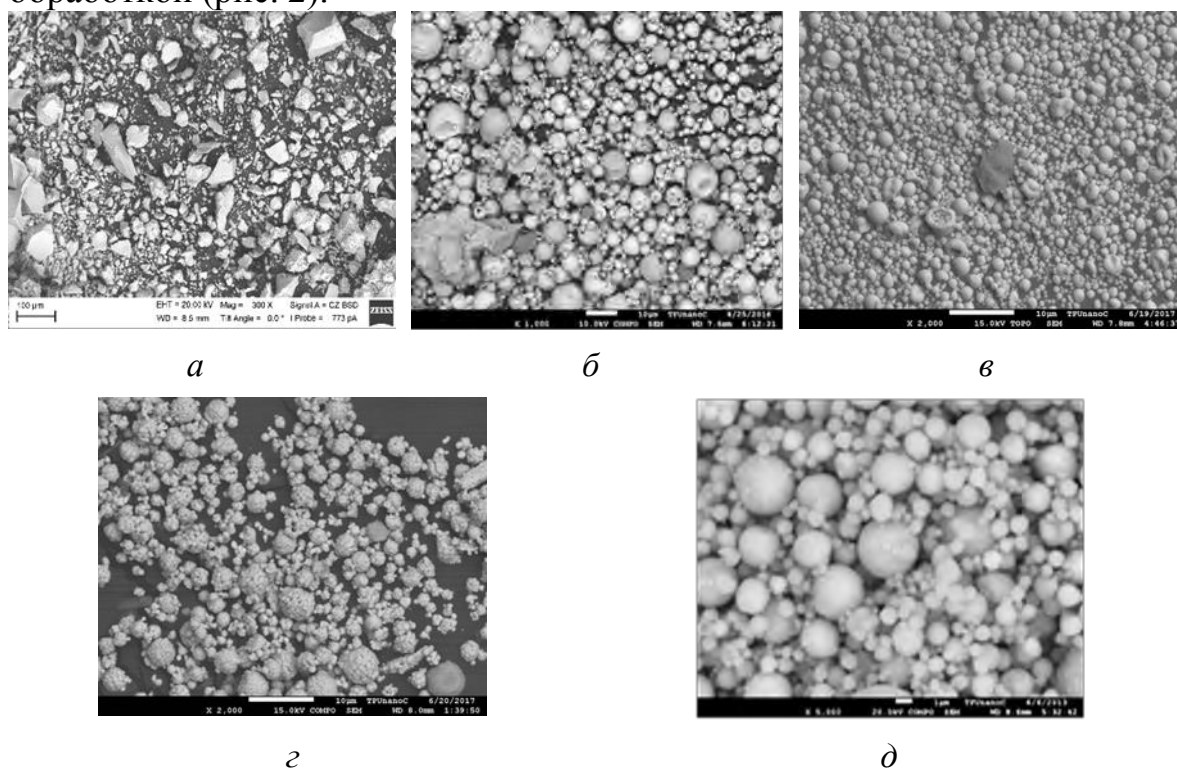


Рис.2. РЭМ порошков  $ZrO_2$  полученных химического осаждения (а) и распылительной сушкой (б – д) из:

(а) –  $ZrOCl_2 + C_2H_5OH$ ; (б) –  $ZrO(NO_3)_2 + HCl$ ; (в) –  $ZrO(NO_3)_2 + NaCl$ ; (г) –  $ZrOCl_2 + HCl$ ; (д) –  $ZrOCl_2 + NaCl$ .

#### Выводы

Таким образом, эффективность ингибитора коррозии на основе НЧ  $ZrO_2$ , полученных методом распылительной сушки в 2 раза выше, чем для НЧ полученных методом фильтрации для растворов с ПЭГ и в 4,5 раза для растворов с тиомочевинной. У ингибитора коррозии на основе НЧ  $ZrO_2$ , полученных методом фильтрации эффективность увеличивается в случае использования УЗ-обработки, для НЧ, полученных мето-

дом нанораспылительной сушки УЗ-обработка не нужна; В данном случае для стали У8А самым эффективным методом ингибирования является ингибитор коррозии ПЭГ-400 с добавлением 0,1% НЧ  $ZrO_2$ , полученных методом нанораспылительной сушки из растворов  $ZrO(NO_3)_2$  с добавлением лимонной кислоты, без использования УЗ-обработки ( $\eta=99,03\%$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lv X., Li X., Li N., Zhang H., Zhang Y.-Z.  $ZrO_2$  nanoparticle encapsulation of graphene microsheets for enhancing anticorrosion performance of epoxy coatings // *Surface and Coatings Technology*. – 2019. – V. 358. – P. 443-451.
2. Sherif E., Mohamed G., Mahmoud Z., Ahmed M., Ibrahim N. The significant role of stabilized colloidal  $ZrO_2$  nanoparticles for corrosion protection of AA2024 // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. – 2019. – V. 12. – P. 220-242.
3. Лямина Г. В., Илела А. Э., Качаев А. А., Далбанбай А., Колосов П. В., Чепкасова М. Ю. Получение нанопорошков оксида алюминия и циркония из растворов их солей методом распылительной сушки // *Бутлеровские сообщения*. – 2013 – Т. 33 – №. 2. – С. 120-125.

Чембергенова Озада Реджепбаевна (Россия)

Северный арктический федеральный университет  
им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск

Научный руководитель: Томилова Анна Евгеньевна, к.п.н, доцент

#### **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ ДОСКИ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ**

Современные информационные технологии является неотъемлемой потребностью человеческой жизни. Технология, которая используется в различных сферах общественной жизни в зависимости от времени и условий, постоянно обновляется и совершенствуется.

Новые достижения в области технологий, компьютеров и коммуникаций привели к изменениям в понимании преподавания, а так же к использованию новых методов и методов в современном обучении.

Интерактивная доска представляет собой сенсорный дисплей, работающий, как часть системы, в которую также входят компьютер и