

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ  
КОРРОЗИИ ДЛЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ И КРУПНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТАЛИ**

И.Н. Шевченко, М.Е. Егамкулов, Л. Цзя

Научный руководитель: доцент, к.х.н. Г.В. Лямина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: [Yegamkulov@mail.ru](mailto:Yegamkulov@mail.ru)

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF METAL NANOPARTICLES AS CORROSION  
INHIBITORS FOR NANOSTRUCTURED AND COARSE-GRAINED STEEL**

I.N. Shevchenko, M.E. Egamkulov, L. Jia

Scientific Supervisor: PhD G.V. Lyamina

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [Yegamkulov@mail.ru](mailto:Yegamkulov@mail.ru)

***Abstract.** The article considers the evaluation of the effectiveness of metal nanoparticles such as zirconium oxide and alumina nanoparticles in organic compounds (polyethylene glycol) as corrosion inhibitors for coarse-grained and nanostructured steel in an aggressive environment.*

**Введение.** Коррозия является неотъемлемой проблемой, которая встречается во многих аспектах жизни. Коррозия может не только принести огромные убытки для промышленности, но и поставить под угрозу безопасность жизни и имущества людей.

Для повышения коррозионной стойкости металлов было разработано много способов, например, добавление пассивного элемента из сплава, нанесение ингибиторов, нанесение защитного покрытия и т.д. Среди различных методов, использование новых структур, таких как монокристаллический (МК), нанокристаллический (НК), микрокристаллический (МК) и аморфный материалы, для замены традиционных литых сплавов дает положительные результаты в увеличении коррозионной стойкости металлов и сплавов [1]. В настоящее время нанокристаллизация является полезным способом улучшения характеристик материалов. Согласно классическому закону Холла-Петча уменьшение зерна приводит к упрочнению материала, но также и к увеличению его активной поверхности, что в свою очередь во многих случаях сказывается на химической активности материала. В этом случае для предотвращения усиления протекаемых коррозионных процессов можно использовать специальные ингибиторы коррозий на основе наночастиц оксидов металлов в составе органических соединений.

Целью данной работы является оценка влияния ингибиторов на основе полиэтиленгликоля (ПЭГ-200) с добавлением наночастиц металлов ( $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ ) на коррозионные свойства крупнокристаллической (КК) и наноструктурированной (НС) стали на примере 12Х18Н10Т (рис.1).

**Экспериментальная часть.** Для приготовления ингибитора использовали нанопорошки  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$ , которые получали на установке Nanospray Drying В-90, по методике, описанной в работе [2].

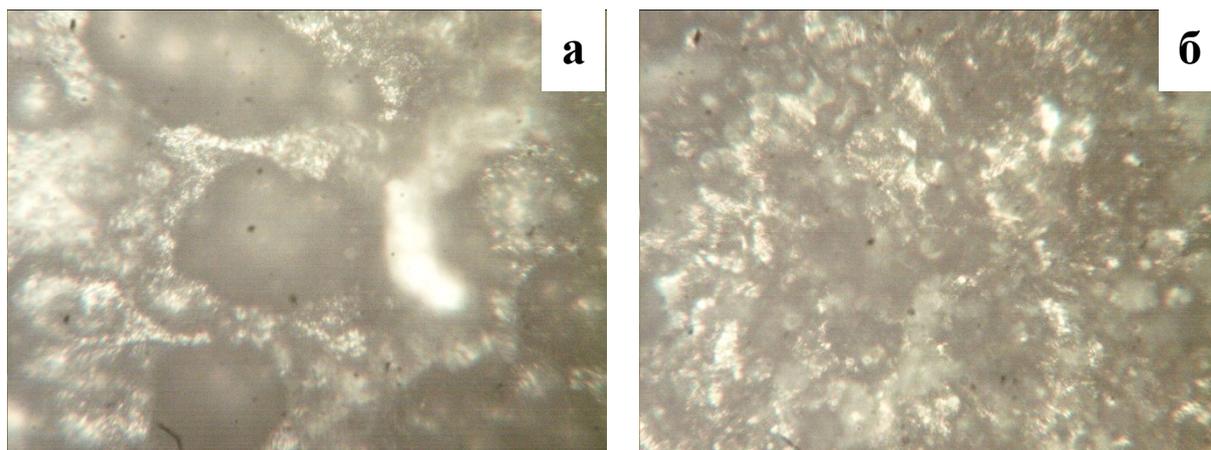


Рис. 1. Образцы стали марки 12X18H10T: а – КК, б – НС

Перед испытанием образцы были выдержаны в 10% растворе полиэтиленгликоля (ПЭГ-200) и ПЭГ-200 с наночастицами  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$  ( $C = 0,1$  % масс.) в течение 5 минут. Полученный раствор ингибитора предварительно обрабатывали в УЗ ванне на минимальной мощности.

**Результаты.** Было исследовано влияние агрессивной кислоты (смеси азотной и соляной кислот) на потерю массы в ней образцов, обработанных и необработанных ингибитором на основе тиомочевины и ПЭГ-200 (рис.1, а). Такие же исследования были проведены при обработке металлов в растворах ингибиторов, после воздействия УЗ (рис. 1, б).

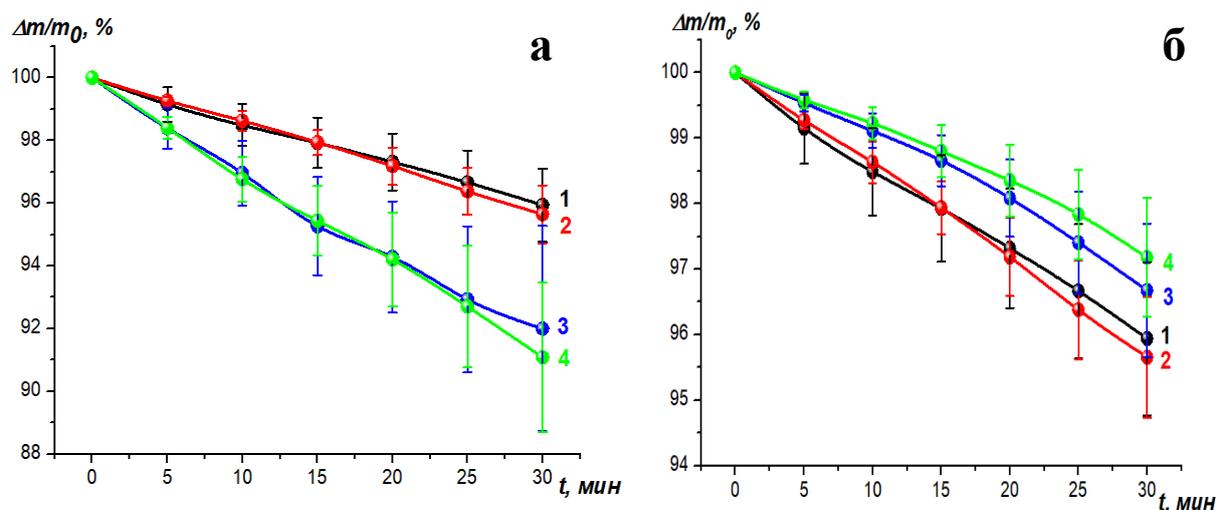


Рис. 2. Потеря массы КК стали 12X18H10T в смеси кислот  $HCl$  и  $HNO_3$  с УЗ-обработки (б) и без обработки (а): 1 – образец до обработки; 2 – образец после выдержки в ПЭГ-200; 3 – образец после выдержки в ПЭГ-200 с НЧ  $ZrO_2$ ; 4 – образец после выдержки в ПЭГ-200 с НЧ  $Al_2O_3$

График зависимости потери массы КК стали в смеси кислот не демонстрируют эффективность применяемых ингибиторов (рис.1, а). Возможно это связано со смыванием наночастиц с поверхности образцов в растворе, а не с потерей основного металла. Дополнительная УЗ-обработка ингибитора улучшает коррозионную устойчивость, о чем свидетельствует меньшая потеря массы стали на протяжении всего эксперимента (рис. 1б). Вероятней всего подобный эффект связан с увеличением дисперсности НЧ в растворе ингибитора и предотвращения агломерации, что способствует, во-первых,

увеличению адсорбционных свойств НЧ  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$ , во-вторых, уменьшению эффекта диффузии частиц в раствор с поверхности металла.

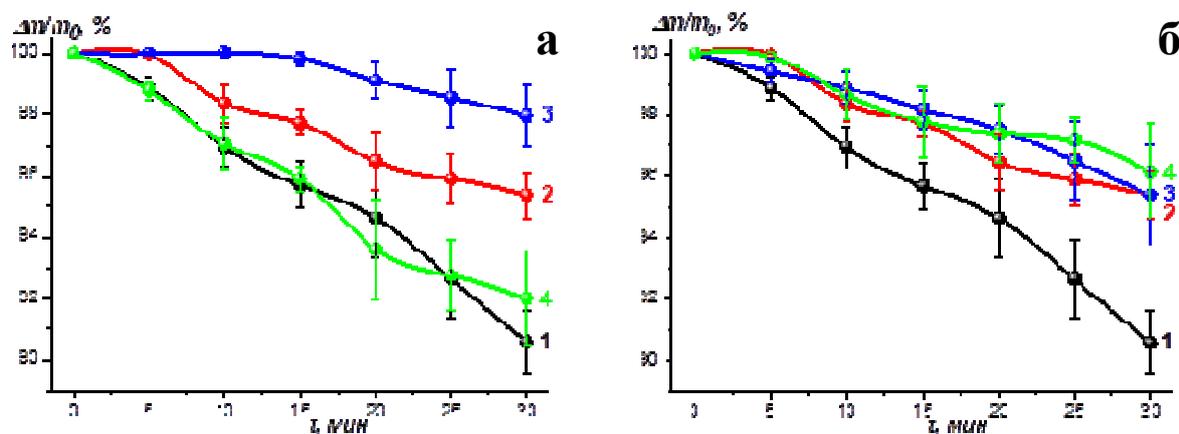


Рис. 3. Потеря массы НС в смеси кислот  $HCl$  и  $HNO_3$  с УЗ-обработкой (б) и без (а): 1 – образец до обработки; 2 – образец после выдержки в ПЭГ-200; 3 – образец после выдержки в ПЭГ-200 с НЧ  $ZrO_2$ ; 4 – образец после выдержки в ПЭГ-200 с НЧ  $Al_2O_3$

На рис. 2, а представлены результаты такого же, как и для крупнокристаллического материала эксперимента, полученные для наноструктурированной стали. Следует отметить, что необработанный образец НС металла имеет значительно меньшую коррозионную устойчивость, по сравнению с крупнокристаллическим состоянием, так как потеря массы за 30 минут достигает 10 %. Сталь, обработанная ингибитором, содержащим, НЧ  $ZrO_2$  (рис. 3, а, кривая 3) демонстрирует лучшую коррозионную стойкость, по сравнению с образцом, обработанным в растворе с НЧ  $Al_2O_3$  (рис. 3, а, кривая 4). Также следует отметить, что ингибитор эффективнее срабатывает для наноструктурированного состояния. Видимо мелкий размер зерна способствует лучшей адгезии наночастиц ингибитора. Использование предварительной обработки ингибитора ультразвуком обуславливает эффективность использования НЧ оксида алюминия в качестве ингибитора.

**Заключение.** Использование УЗ-обработки ингибитора коррозии КК стали в 2,5 раза повышает его эффективность в случае НЧ  $ZrO_2$  и в 3 раза НЧ для  $Al_2O_3$ . Для НС использование УЗ обработки ингибитора менее эффективно и проявляется, в основном для раствора ПЭГ – НЧ  $Al_2O_3$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu L., Li Y., Wang F. Electrochemical Corrosion Behavior of Nanocrystalline Materials—a Review // Journal of Materials Science and Technology. – 2010. – Vol. 26(1) – P. 1-14.
2. Lyamina G., Ilea A., Khasanov O., Petyukevich M., Vaitulevich E. Synthesis of  $Al_2O_3$ - $ZrO_2$  powders from differently concentrated suspensions with a spray drying technique AIP Conference Proceedings. — 2016. — Vol. 1772: Prospects of Fundamental Sciences Development (PFSD-2016). — [020011, 6 p.]. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4964533> <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/35022>