

УДК 539.3: 624.014

КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Н.М. Якупов, Р.Р. Гиниятуллин
yzsrr@kfti.knc.ru, true_way@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования коррозионного износа элементов конструкций, при воздействии на них магнитного поля, ультрафиолетового излучения. Рассмотрены также образцы, подверженные предварительному ионному отжигу. Для анализа результатов используется экспериментально-теоретический подход.

О коррозионном износе. Коррозионный износ существенно снижает ресурс оборудования и сооружений, приводя их к техногенным и экологическим авариям и катастрофам. Для практики представляет большой интерес исследование влияния различных внешних факторов на изменение механических характеристик материала в процессе коррозионного износа.

Согласно электрохимической теории коррозионного износа на поверхности металла, находящегося в агрессивной среде, образуется пассивирующий слой, который при достижении определенного потенциала ϕ разрушается и начинается коррозионное разрушение (рис.1) [1-4]. При этом наряду с изменениями геометрических характеристик элементов конструкций, происходит процесс разрыхления материала, что особенно существенно для тонкостенных элементов.

Среди факторов, влияющих на разрушение защитной пленки, можно отметить наличие физических полей, а также предварительная модификация поверхности элементов конструкций [5-9].

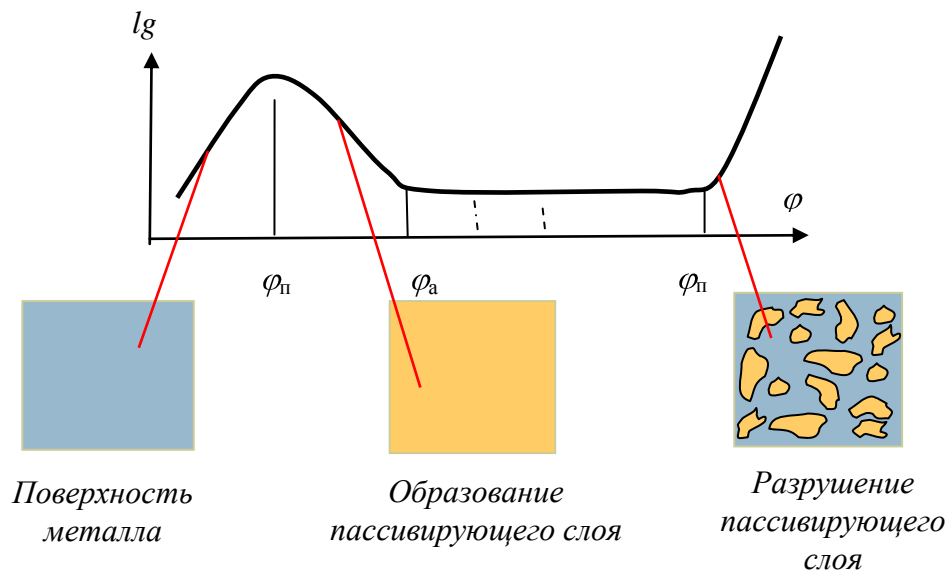


Рис.1. Зависимость скорости анодного растворения металла i от потенциала ϕ

Рассмотрим некоторые из внешних факторов, влияющих на процесс коррозионного износа.

Влияние магнитного поля

Начаты исследования по изучению влияния магнитного поля на процесс коррозионного износа тонкостенных элементов конструкций из стали Ст3. Схема эксперимента представлена на рис.2.

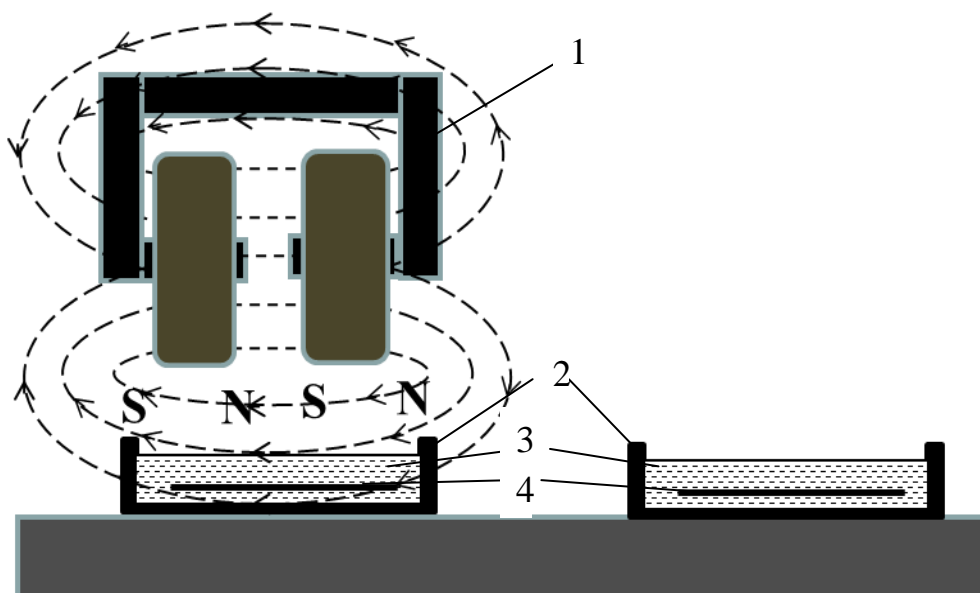


Рис.2. Образцы в коррозионной среде под воздействием магнитного поля

Установка состоит из электромагнита 1 создающего постоянное магнитное поле напряженностью 5 кЭ (килоэрстед), размещенного над емкостью 2 с агрессивной жидкостью 3. Другая емкость 2 располагается вне зоны действия магнита (контрольная емкость). В качестве агрессивной жидкости использовалась 10 % соляная кислота.

Исследуемые образцы 4 толщиной 0,6 мм с диаметром рабочей зоны 110 мм, помещались в агрессивную среду 3 (раствор соляной кислоты), где находились в течение 1016 часов. При этом первая группа образцов (рис.2а) подвергалась воздействию магнитного поля в течение 280 часов, а вторая (рис.2б) – нет. Условная диаграмма воздействия магнитного поля (включения и выключения установки) представлена на рис.3.

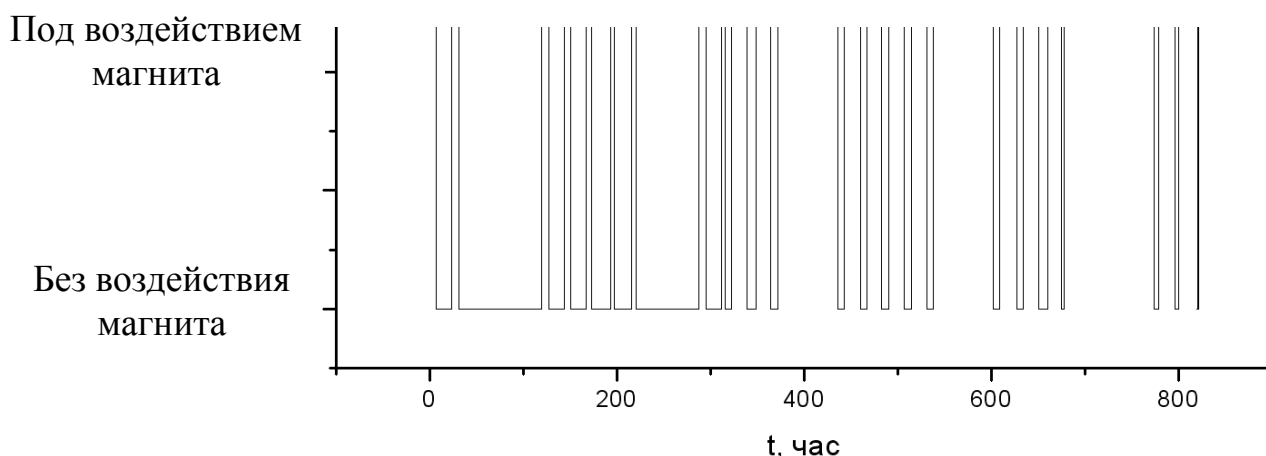


Рис.3. Режим воздействия на образец магнитного поля

Для определения механических характеристик используется экспериментально - теоретический подход, основные положения которого изложены, в частности, в работах [4,10-12]. Для этого вырезается круглый образец, который размещается в матрице и зажимается по контуру пуансоном (рис.4). Далее производится нагружение образцов односторонним давлением и по данным экспериментов строятся зависимости «давление p – прогиб H ».

На рис. 5 представлены зависимости для рассмотренных групп образцов, из которого видно, что прогибы образцов, подверженных воздействию магнитного поля (кривая 1), меньше чем у образцов, не подверженных воздействию поля (кривая 2).

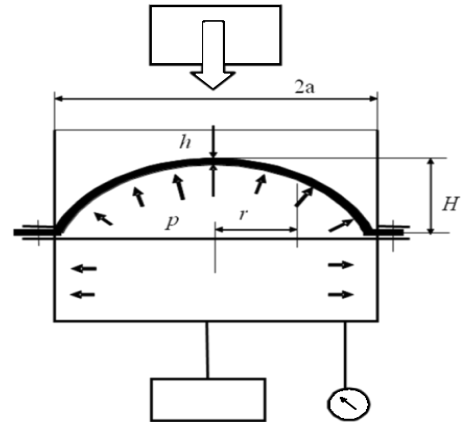


Рис.4. Схема установки

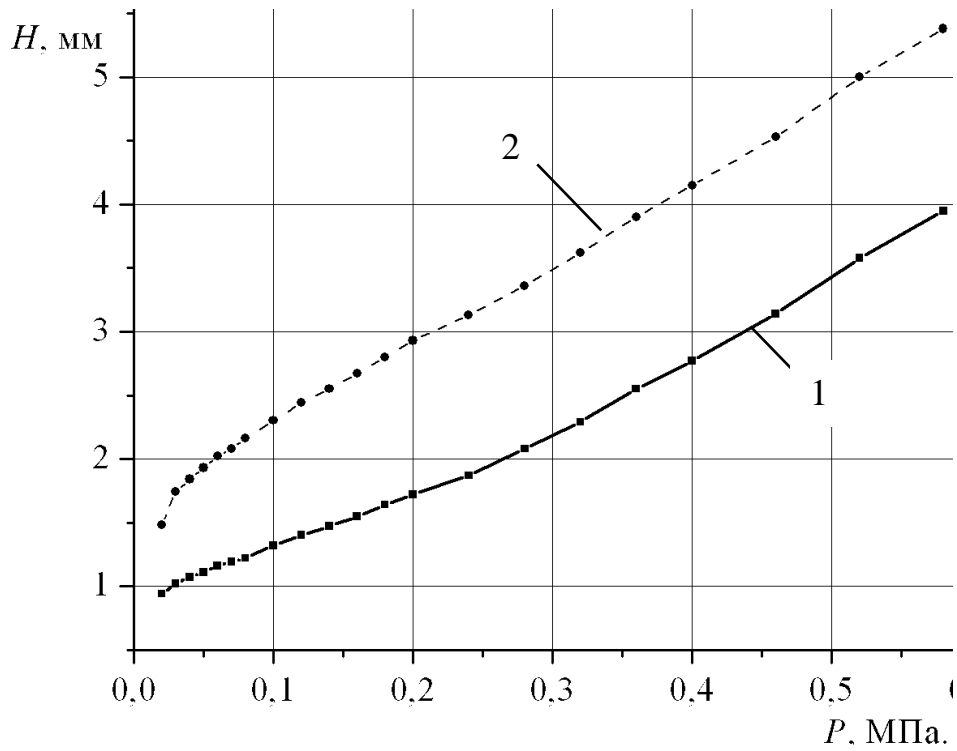


Рис.5. График зависимости давление p - прогиб H

При необходимости можно определить модуль упругости рассматриваемых образцов, используя формулы Тимошенко С.П. или Галимова Н.К. [4]:

$$E = \frac{3(1-\nu^2)pa^4}{16hN(h^2 + 0.488H^2)}, \quad E = \frac{N(1-\nu^2)pa^4}{H^3h},$$

где p – равномерно распределенное давление, ν коэффициент Пуассона материала, h – толщина мембраны, a – радиус мембраны, H – высота подъема купола (прогиб). Значения коэффициентов N приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значение коэффициента N для прогибов и усилий

ν	0.25	0.3	0.4	0.5
N	0.311481993	0.303670085	0.290157232	0.279052533

Влияние ультрафиолетового излучения

Известно, что ультрафиолетовое излучение – электромагнитное излучение, имеющее высокую химическую активность и большую проникающую способность.

Разработана установка, позволяющая проводить исследования образцов, находящихся в агрессивной среде и подвергающихся воздействию ультрафиолетового излучения (рис.6). Одновременно исследуются два одинаковых образца: один из образцов подвергается излучению, а другой нет.

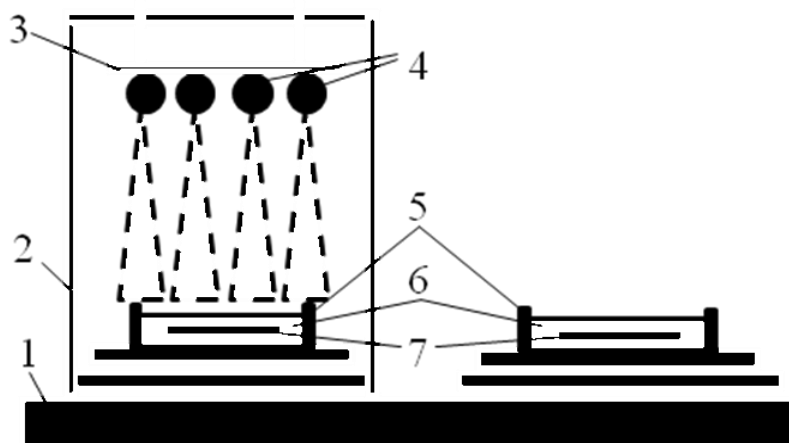


Рис.6. Схема экспериментальной установки

Установка размещается на столе 1 и включает в себя: каркас 2 для крепления кронштейнов 3, на которые подвешиваются

ультрафиолетовые лампы 4; две емкости 5 для агрессивной среды 6. Одна из емкостей размещается непосредственно под лампами 4 на расстоянии 200 мм, а другая располагается вне зоны излучения ламп (контрольная емкость). В емкости 5 помещаются исследуемые образцы 7, затем в емкости заливается необходимая агрессивная среда. Освещенность ламп непосредственно над образцом 115 люкс.

На разработанной установке был проведен цикл исследований. В частности, были рассмотрены образцы круглой формы диаметром 110 мм, из стали Ст3, толщиной 0,6 мм. Образцы помещались в основную и контрольную емкости с агрессивной жидкостью и находились в агрессивной среде в течение 1055 часов, при этом один из образцов подвергался излучению в течение 146 часов, а другой нет. В качестве агрессивной жидкости использовалась 10 % соляная кислота. Условная диаграмма воздействия ультрафиолетового излучения представлена на рис.7.

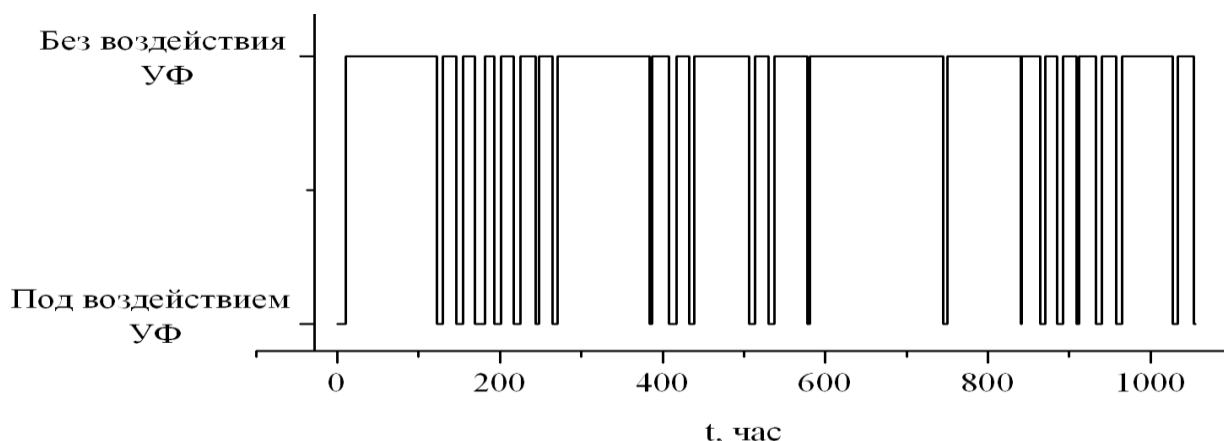


Рис.7. Режим воздействия на образец ультрафиолетового излучения

Для оценки степени коррозионного износа образцов определялись их механические характеристики, используя экспериментально-теоретический подход [4,10-12]. Были построены графики зависимости «давление-прогиб» (рис.8), для образцов подвергавшихся (кривая 1) и не подвергавшихся воздействию ультрафиолетового излучения (кривая 2). Как видно из графика, прогибы образцов, подвергавшихся воздействию ультрафиолетового излучения, меньше, чем у образцов, не подвергавшихся воздействию ультрафиолета.

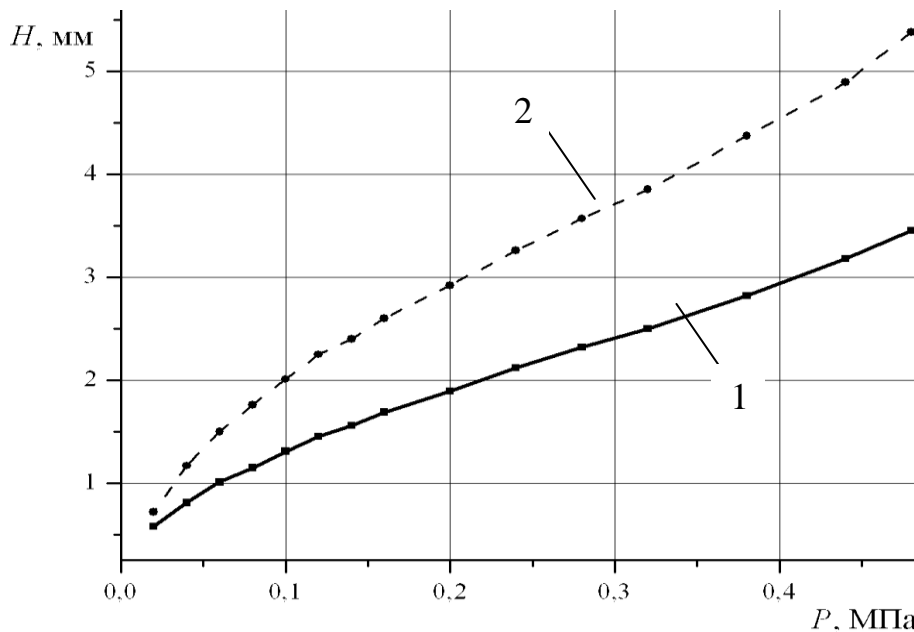


Рис.8. Зависимость давление-прогиб

Ионная имплантация

Одним из перспективных направлений борьбы с коррозией – модификация поверхностного слоя элемента конструкции, которая способствовала бы сохранению пассивирующего слоя при значительных потенциалах, возникающих в области контакта элемента конструкции со средой [13,14]. Естественным методом повышения коррозионной стойкости поверхности металла является имплантация ионов, которые в качестве легирующих добавок могут предотвратить или снизить развитие коррозии металла [15,16], например, ионов никеля или хрома в стали.

Были проведены испытания трех пар металлических образцов из листовой стали марки Ст3 толщиной $t = 0.5$ мм, поверхности которых были подвергнуты импульсной ионной имплантации атомами углерода C (имплантация образцов была выполнена в КФТИ КазНЦ РАН – число импульсов равно 8). Далее образцы помещались и выдерживались в агрессивной среде – 2 суток (образец №12), – 3 суток (образец №10), – 4 суток (образец №9).

На рис.9 и 10 представлены кривые деформирования «прогиб - давление» для образца №12, №10 и №9. Как видно из рис.9-10,

эффект имплантации очевиден. При этом с увеличением продолжительности выдерживания в агрессивной среде (рис.10) степень коррозионного износа увеличивается.

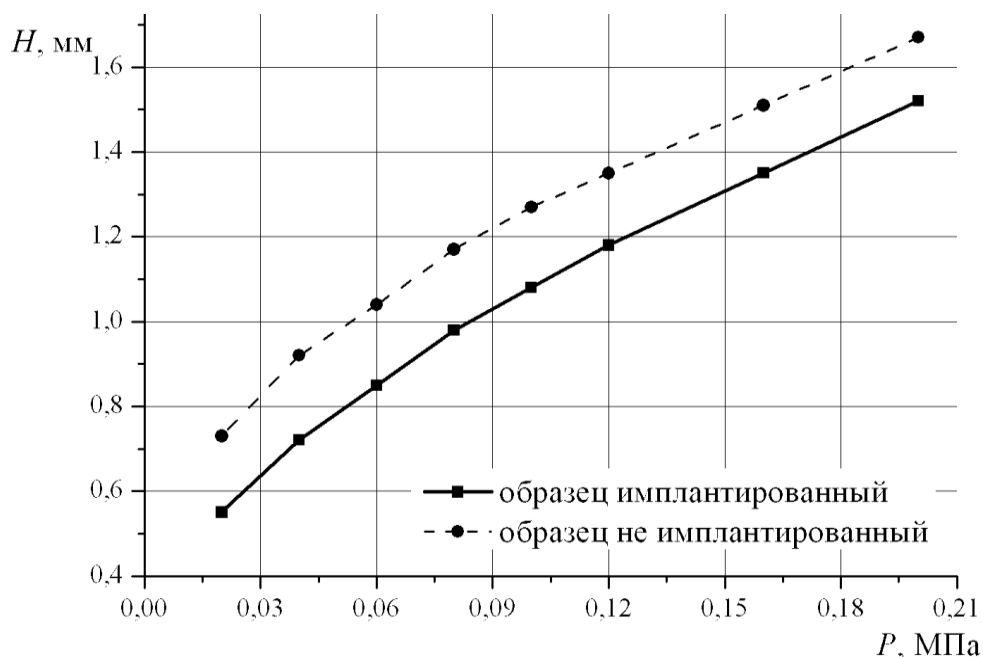


Рис.9. Зависимость прогиб - давление для образца №12

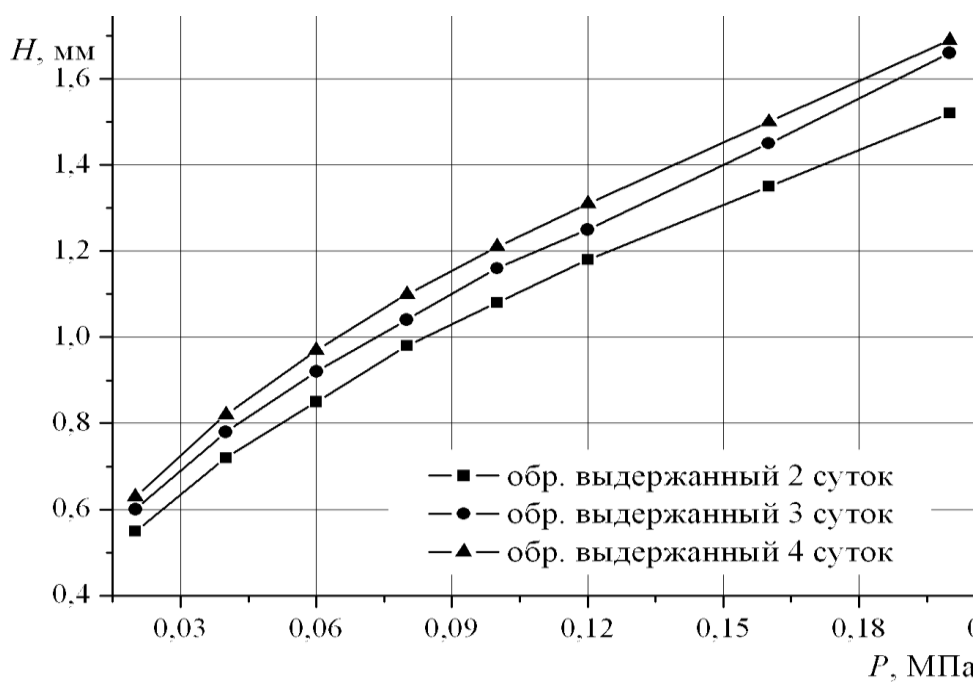


Рис.10. Зависимость прогиб - давление для образцов №12, №10, №9

Выводы

Сохранение пассивирующего защитного слоя является одним из эффективных путей защиты от коррозионного износа.

Наличие магнитного поля или ультрафиолетового излучения способствует уменьшению коррозионного износа, т.е. сохранению пассивирующего защитного слоя

Поверхностная обработка образца ионной имплантацией также способствует снижению коррозионного износа, при этом с увеличением времени выдерживания в агрессивной среде эффект падает.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Колотыркин Я.М., Бунэ Н.Г.* Электрохимическое поведение никеля в серной кислоте в присутствии различных окислителей // ЖФХ. 1961. Т.35. С.1543-1550.
2. *Сидоренко С.Н., Якупов Н.М.* Коррозия – союзник аварий и катастроф. Монография. М.: Изд-во РУДН, 2002. 93 с.
3. *Низамов Х.Н., Сидоренко С.Н., Якупов Н.М.* Прогнозирование и предупреждение коррозионного разрушения конструкций. М.: Изд-во РУДН, 2006. 355 с.
4. *Якупов Н.М.* Лаборатория нелинейной механики оболочек: история и разработки последних лет. Казань: ИММ КазНЦ РАН.2006. 98 с.
5. *Гиниятуллин Р.Р.* Механические характеристики тонкостенных элементов, подверженных коррозионному износу при воздействии ультрафиолетового излучения // Современные проблемы МСС. Тр.XIV Межд. конф., Т.2. Ростов н/Д. Изд-во ЮФУ. 2010. С.60-62.
6. *Гиниятуллин Р.Р.* Исследование механических характеристик тонкостенных элементов, подверженных ионному отжигу // Тез. докл. 3 Межд. фор. по нанотехнол. М., 2010. 4 стр. (CD диск).
7. *Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р.* Исследование механических характеристик тонкостенных элементов, находящихся в агрессивной среде под воздействием магнитного поля // Пробл. и перспек. развития авиации, наземного транспорта и энергетики. Матер. V Всерос. н.-тех. конф. Казань, 2009. Т.2. С.381-385.

8. *Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р.* К исследованию механических характеристик тонкостенных элементов, подверженных коррозионному износу при воздействии ультрафиолетового излучения // Тр. Межд. н.-пр. конф. «Инженерные системы-2009». Москва, Т. 2. М.: РУДН, 2009. С.351-355.
9. *Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р.* К исследованию механических характеристик тонкостенных элементов, подверженных коррозионному износу при воздействии ультрафиолетового излучения // Тез. докл. Межд. н.-пр. конф. «Инженерные системы - 2009». Москва, Т. 2. М.: РУДН, 2009. С.50.
10. *Якупов Н.М., Нургалеев А.Р., Якупов С.Н.* Методика испытания пленок и мембран в условиях равномерного распределенного поверхностного давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2008. №11. Том 74. С.54-56.
11. *Якупов Н.М., Галимов Н.К., Леонтьев А.А.* Экспериментально-теоретический метод исследования прочности полимерных пленок // Механика композиционных материалов и конструкций. 2000. Т.6, №2. С.238-243.
12. *Якупов Н.М.* Механика: проблема - идея - практика. Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. 161 с.
13. *Анисимов С.И, Имас Э.А., Романов Г.С. и др.* Действие излучений большой мощности на металлы.– М.: Наука, 1970. 272 с.
14. *Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А.* Основы электронно-лучевой обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.
15. *Якупов Н.М., Галимов Н.К., Киямов Х.Г., Абдюшев А.А., Якупов С.Н., Гиниятуллин Р.Р., Шагидуллина Л.Н.* Механика тонкостенных структур при взаимодействии механических нагрузок, агрессивной среды и физических полей // Отчет о НИР. Зарег. в ФГНУ ЦИТиС , ИК 02201058268, 2010. 46 с.
16. *Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р.* Коррозионный износ тонкостенных элементов конструкций, поверхность которых модифицирована ионным отжигом // Тез. докл. Межд. н.-пр. конф. «Инженерные системы - 2011», М.:РУДН, 2011. С.62.