

Список использованной литературы

1. Капцевич, В. М. Экспресс-методы контроля свойств моторного масла авто-тракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2023. – 120 с.
2. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46/ T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.

Summary. A new method for assessing the results of express testing of motor oil using the «*Blotter Spot*» method is proposed. The method is based on the clear selection of ring zones on a digital image of the chromatogram and automatic determination of their sizes using the *ImageJ* software package.

УДК 629.017:621.03

Щурин К.В., доктор технических наук, профессор;

Еднач В.Н., кандидат технических наук, доцент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

МИНИМИЗАЦИЯ ПОВРЕЖДАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ

Аннотация. Приведен анализ негативного воздействия коррозионных процессов применительно к мобильным машинам. Рассмотрена кинетика протекания электрохимической коррозии и методы применения рациональных конструкционных и эксплуатационных материалов. Предложены организационно-технические мероприятия по минимизации скорости протекания коррозионных процессов.

Annotation. An analysis of the negative impact of corrosion processes in relation to mobile machines is given. The kinetics of electrochemical corrosion and methods of using rational structural and operational materials are considered. Organizational and technical measures to minimize the rate of corrosion processes are proposed.

Ключевые слова. Повреждающие процессы, электрохимическая коррозия, электродный потенциал, скорость процесса, антикоррозионные мероприятия.

Keywords. Damaging processes, electrochemical corrosion, electrode potential, process rate, anti-corrosion measures.

Вследствие протекания коррозионных процессов ежегодно безвозвратно теряется до 10 % выплавленного металла. На капитальные и текущие ремонты, вызванные коррозионными разрушениями, ежегодно расходуется свыше 20 млрд. долларов. Кроме того, существенно снижается производительность машин и возрастают эксплуатационные расходы. Так, мощность двигателя внутреннего сгорания, зеркала цилиндров которого поражены коррозией, снижается на 20–25 %, при этом расход масла увеличивается на 50–80 %. В результате коррозионного воздействия предел выносливости конструкционных сталей снижается на 35–40 %, износостойкость уменьшается от 1,5 до 4 раз.

Транспортные средства и технологические машины сельскохозяйственного, лесного, строительного и горнодобывающего комплексов, используемые в условиях запыленности, высокой влажности, перепадов температур, являются техническими объектами, подверженными интенсивным коррозионным разрушениям. При этом наиболее чувствительными элементами являются детали из тонколистовой стали кузова, рамы и подвески, резьбовые и сварные соединения, детали топливной аппаратуры, газовые трубопроводы и другие.

Все металлы термодинамически неустойчивы и стремятся вступить в реакцию с окружающей средой и друг с другом с образованием соединений, таких, как окислы, карбонаты и др. Эти реакции сопряжены с перемещением электронов и называются электрохимическими [1–5].

Если два металла соединены друг с другом электрически на одном конце, а другие их два конца погружены в обычный электролит, то поток электронов будет направлен от более реакционноспособного металла к менее реакционноспособному. В таком сочетании, известном как гальванический элемент, оба металла называются электродами; тот из них, который теряет электроны, называется анодом, а приобретающий их – катодом.

Сталь в обычных условиях корродирует, даже не будучи присоединенной электрически к другому металлу, поскольку сталь неоднородна и содержит участки, несколько отличающиеся по составу. На границах кристаллитов существуют неодинаковые электрические потенциалы, и одни участки, являясь анодными по отношению к другим, корродируют и защищают последние, как и в случае с двумя различными металлами.

Для управления коррозионными процессами в случае гальванической пары, состоящей из различных металлов или сталей с различным химическим составом, определяющее значение имеют соотношения электродных потенциалов, составляющих гальваническую пару.

Если один электрод принимается за стандартный, и все другие металлы сравниваются с ним, то металлы могут быть расположены в порядке возрастания их электродных потенциалов, т.е. в так называемый ряд напряжений, или ряд потенциалов. На рисунке 1 представлены некоторые распространенные металлы, расположенные в порядке уменьшения их электродных потенциалов.

На коррозию металлов существенное влияние оказывает их химический состав и микроструктура. Для систем металл – вода (кислота, щелочь и др.) равновесные фазы представляются в виде диаграммы Пурбэ с координатами pH - E , показанные на рисунке 2.

Здесь E – электродвижущая сила; pH – характеристика кислотности или щелочности. Для водных растворов используется шкала pH от 0 до 14. Нейтральный раствор при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеет $pH = 7$. Возрастание кислотности характеризуется изменением pH от 7 до 0, возрастание щелочности – изменением pH от 7 до 14.

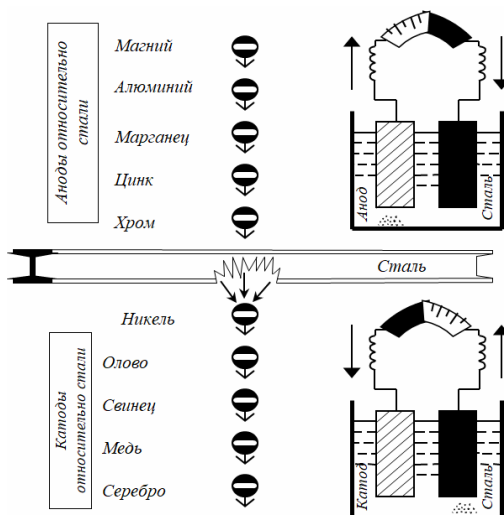


Рисунок 1 – Ряд электродных потенциалов некоторых металлов

На рисунке 2 поля диаграммы разделены на зоны, соответствующие коррозии, иммунитету (невозможности коррозии) и пассивности металлов (его неизменность в течение продолжительного времени).

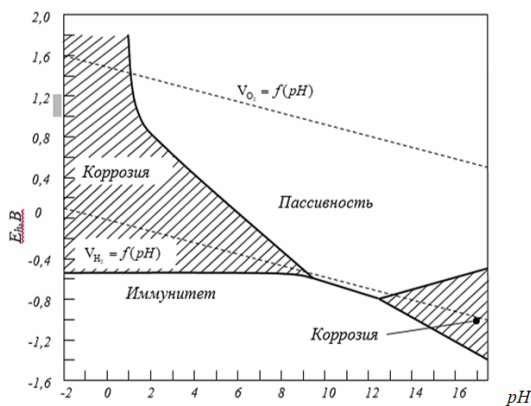


Рисунок 2 – Диаграмма Пурбэ

Скорость коррозии характеризуется проникаемостью в металл продуктов коррозии и измеряется в миллиметрах проникаемости за год (мм/год), микрометрах проникаемости за год (мкм/год), миллиграммах потери массы на квадратный дециметр за единицу времени (например, мг/дм²·год).

Любой коррозионный процесс является химически сложным, и, как правило, не соответствует тому простому случаю, когда один материал окисляется до полного состояния, а другой восстанавливается путем приобретения электронов. Более точной оказывается такая модель, которая учитывает поверхностные явления, вызывающие коррозионный процесс, в совокупности с индивидуальными особенностями коррозионных поражений. В нормативных документах коррозионные повреждения не классифицированы, поэтому предлагается воспользоваться классификацией, приведенной в [1, 2].

При проектировании элементов конструкций, работающих в условиях преимущественного проявления контактной, щелевой и других видов электрохимической коррозии, зачастую решающее значение приобретает условие взаимной совместимости пар металлов и сплавов (таблица), основанное на их физико-химических свойствах.

Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет сделать очень важный вывод: не всегда применение дорогостоящих металлов или сплавов позволяет получить желаемый результат в борьбе с коррозией; гораздо более важным моментом при проектировании является правильный выбор совместно работающих металлов или сплавов.

Таблица – Совместимые (+) и несовместимые (-) пары металлов и сплавов

№ п/п	Металлы и сплавы	Пары металла/сплава													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Алюминий и его сплавы	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
2	Магний и его сплавы	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Цинк и его сплавы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-
4	Кадмий	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-
5	Никель	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
6	Олово	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-
7	Хром	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
8	Свинец	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-
9	Сплавы свинца со оловом	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
10	Медь и ее сплавы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
11	Сталь нелегированная	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-
12	Сталь легированная	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-
13	Сталь нержавеющая	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
14	Серебро	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+

Интенсивность коррозионного разрушения материалов зависит от большого количества различных по своей природе и значимости факторов. Модель коррозионного процесса условно можно представить в виде функции (1):

$$V_k = \varphi(K, T, \Xi), \quad (1)$$

где V_k – скорость корродирования поверхности;

K – конструктивные факторы, влияющие на коррозионный процесс;

T – технологические факторы;

Ξ – эксплуатационные факторы.

Определить возможность протекания коррозии как любого химического или электрохимического процесса можно по изменению изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса), который определяется по формуле (2). Если G_1 есть энергия Гиббса исходных веществ, а G_2 – энергия Гиббса продуктов реакции, то изменение энергии системы составит:

$$\Delta G = G_2 - G_1, \quad (2)$$

Самопроизвольно протекают лишь те процессы, в результате которых происходит уменьшение энергии Гиббса, т.е. $\Delta G_1 > G_2$ или $G < 0$.

Термодинамический расчет позволяет определить возможность или невозможность протекания коррозии. Прикладным приложением такого расчета, в первом приближении является диаграмма Пурбэ, изображенная на рисунке 2.

Поскольку коррозионный процесс имеет гетерогенный характер, его скорость определяется протеканием следующих основных стадий:

– подведением к поверхности металла коррозионно активных частиц (ионов, молекул), осуществляемым диффузией или конвекцией. По закону Фика скорость диффузии (количества вещества, перенесенное в единицу времени) определяется из уравнения (3):

$$V_i = k_d S \frac{dc}{dx}, \quad (3)$$

где k_d – коэффициент диффузии;

S – площадь сечения;

dc/dx – градиент концентрации.

– реакцией частиц с металлом, протекающих многостадийно.

– отведением продуктов коррозии от поверхности металла, осуществляемым в соответствии с законом диффузии.

Скорость коррозии определяется в соответствии с уравнением (4):

$$V_k = k_p C \exp \left[-\frac{W}{RT} \right], \quad (4)$$

где k_p – константа скорости реакции;

C – концентрация частиц;

W – энергия активации, представляющая собой тот избыток энергии по сравнению со средней, обладание которым делает частицу реакционно-активной;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура;

$\exp \left[-\frac{W}{RT} \right]$ – член уравнения, характеризующий долю активных частиц,

обладающих необходимой энергией активации.

Из уравнения (4) следует, что скорость реакции выше при низкой энергии активации и она возрастает с увеличением концентрации и температуры.

Продукты коррозии во многих случаях играют решающую роль в торможении коррозионного процесса, например, при образовании на поверхности металлов соответствующих пленок, тормозящих проникновение коррозионно-активных частиц.

Разработка программы борьбы с коррозией является сложной технико-экономической проблемой, решаемой методами многокритериальной оптимизации. Основные учитываемые факторы перечислены ниже.

Применяемые материалы. Оценке подлежат стойкость к коррозии в конкретной окружающей среде, склонность к отдельным формам коррозионных процессов, применимость технологий антикоррозионной обработки и оптимальных способов соединений, обрабатываемость с целью придания оптимальной формы.

Совместимость применяемых материалов. Устранение близости друг к другу разнородных несовместимых материалов, способных в локальной зоне, в границах системы или изделия в целом повышать скорость коррозионных процессов.

Механические нагрузки. Мониторинг текущей несущей способности деталей и узлов с тем, чтобы не создавать критических нагрузок и вынужденно не снижать их в результате больших коррозионных повреждений.

Поверхности деталей. Обеспечение для изделия оптимальных значений чистоты обработки поверхностей, оптимальных показателей обтекаемости, исключаящих высокую турбулентность абразивно-электролитических потоков.

Защита поверхностей. Разработка комплекса мероприятий по изоляции поверхностей деталей от окружающей среды, анодной и

катодной защиты, снижения химической и электрохимической активности самой коррозионной среды.

Экономический фактор. Назначение приемлемого перечня и глубины антикоррозионных мероприятий, дающего оптимальное соотношение показателей надежности изделия и стоимости его жизненного цикла.

Перечисленные разделы программы борьбы с коррозией являются общими для всех видов коррозионных повреждений. В то же время физико-химическая специфика конкретных видов коррозии обуславливает индивидуальный подход при разработке частных антикоррозионных мероприятий.

Межкристаллитная коррозия:

- а) подбор материалов с гомогенной кристаллической структурой;
- б) применение улучшающих режимов термообработки (например, высокотемпературного гомогенизирующего отжига);
- в) избегать применения сварки и режимов термообработки, нарушающих гомогенность структуры материала.

Щелевая коррозия:

- а) уменьшение зазоров между элементами конструкции до предельно допустимого минимума;

б) обеспечение дренажа электролита, образующегося в щелях;

в) применение уплотнительных водонепроницаемых материалов;

г) нанесение защитных покрытий на детали по обе стороны щели;

Контактная коррозия:

- а) применение пар материалов с минимальной разностью электродных потенциалов;

б) при вынужденном использовании в контакте разнородных материалов соединять последние сваркой или пайкой;

в) нанесение высокоадгезионных непористых покрытий на катодные поверхности;

г) использование катодной защиты;

д) ингибирование коррозионной среды;

е) избегать применения несовместимых химических веществ для пропитки и покрытия контактирующих материалов.

Термоконтактная коррозия:

а) создание условий для равномерного нагрева или охлаждения деталей;

б) предотвращение ситуации одновременного воздействия на детали жидкостей и газов с существенно различными температурами;

в) обеспечение сплошности антикоррозионных и изоляционных покрытий.

Высокотемпературная коррозия:

а) применение коррозионностойких материалов;

б) назначение при проектировании оптимальных рабочих сред и температур;

в) максимальное использование возможностей сокращения продолжительности контактов деталей с агрессивными средами.

Учитывая, что в реальных условиях эксплуатации коррозионные повреждающие процессы протекают в различных комбинациях, необходимо применение антикоррозионных мероприятий в соответствующих сочетаниях [6].

Список использованной литературы

1. Щурин, К. В. Надежность мобильных машин : учебник для вузов / К. В. Щурин, В. Е. Тарасенко. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 400 с.
2. Плудек, В. Защита от коррозии на стадии проектирования : пер. с англ. / В. Плудек ; пер. А. В. Шрейдер. – М.: Мир, 1980. – 438 с.
3. Бушуев, В. В. Практика конструирования машин : справочник / В. В. Бушуев – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.
4. Воячек, А. И. Основы проектирования и конструирования машин / А. И. Воячек. – Пенза : Пензенский гос. университет, 2008. – 228 с.
5. Фролов, К. В (ред). Конструирование машин. Том 2 : справочно-методическое пособие : в 2-х т. Т. 2 / А. Ф. Крайнев [и др.] ; под ред. академика К. В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1994. – 624 с.
6. Сосновский, Л. А. Коррозионно-механическая усталость : проблемы прогнозирования. Ч. 2. Обратный эффект. Влияние напряжений на скорость коррозии / Л. А. Сосновский, А. В. Богданович, С. С. Щербakov // Механика машин, механизмов и материалов. – 2023. – № 2 (63). – С. 61–68.

Summary. The analysis of the kinetics of the electrochemical corrosion process and the combination of acting factors made it possible to develop measures to minimize the rate of development of the corrosion process.

УДК 621.432/004.932

Корнеева В.К., кандидат технических наук, доцент;

Капцевич В.М., доктор технических наук, профессор;

Цымбалюк А.И., Макаревич А.В., студенты

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ МАСЛЯНОГО ПЯТНА НА ХРОМАТОГРАММЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАГИНА INTERACTIVE 3D SURFACE PLOT

Аннотация. Предложен метод анализа формирования масляного пятна на хроматограмме с использованием плагина Interactive 3D Surface Plot программного комплекса ImageJ, основанный на визуализации двухмерных цифровых изображений в трехмерном пространстве и определении размеров и интенсивности окрашивания кольцевых зон.

Abstract. A method for analyzing the formation of an oil spot on a chromatogram using the Interactive 3D Surface Plot plugin of the ImageJ software package is proposed,