

УДК 620.193

## КОРРОЗИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Цыганкова С.Д.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

*«Солнце, воздух и вода, столь необходимые человеку для жизни, в то же самое время – злейшие враги конструкционных материалов...»*

Елена Лозовская

Из всего многообразия металлов периодической системы Менделеева, только 5 являются термодинамически устойчивыми: золото (Au), серебро (Ag), платина (Pt), иридий (Ir) и палладий (Pd) [5]. Вышеперечисленные металлы представлены в природе в неокисленном состоянии. Все остальные металлы и их сплавы при взаимодействии со средой (жидкость, газ) подвергаются разрушению.

В настоящее время коррозия металла является одной из важнейших проблем производства, так как наносит колоссальный ущерб экономике любой промышленно развитой страны (США, Франция, Япония, Российская Федерация и др.). В соответствии с последними данными международной ассоциации инженеров-коррозионистов (NACE), средние затраты на решение проблемы коррозии ежегодно составляют 4–6 % ВВП. В соответствии с прогнозными данными значений Международного валютного фонда и Focus Economics, в 2019 году на борьбу с коррозией и её последствиями будет затрачено: в США – примерно 860,249 млрд. долларов, во Франции – 117,363 млрд. долларов, в Японии – 209,249 млрд. долларов, в Российской Федерации – 70,171 млрд. долларов.

В соответствии с ГОСТ 5272-68 «Коррозия металлов», коррозионный процесс представляет собой разрушение металла в результате их взаимодействия с коррозионной средой. Термин «коррозия» происходит от лат. «corrodere», что в переводе означает «разъедать» [1]. Под коррозионной средой понимают среду, в которой происходит коррозионный процесс: жидкости, газы. Стоит отметить, что данный процесс является самопроизвольным: в результате происходит уменьшение свободной энергии Гиббса  $\Delta G$ .

Обозначим за  $G_1$  энергию Гиббса исходных веществ, а за  $G_2$  – продуктов реакции, тогда изменение энергии всей системы [2]:

$$\Delta G = G_2 - G_1, \quad (1)$$

Отметим, что в большинстве случаев значение  $\Delta G$  отрицательно. Данный факт подтверждает возможность самопроизвольного протекания реакции окисления металла [6].

Н.Д. Толмашов в [3], разделил все известные нам сегодня металлы на пять групп, в зависимости от степени их термодинамической нестабильности:

- металлы повышенной нестабильности (Li, Rb, Cs, Ba, Sr и др.);
- металлы термодинамически нестабильные (Cd, In, Co, Ni, Mo и др.);
- металлы промежуточной термодинамической стабильности (Bi, Sb, Re, Cu, Te и др.);

- металлы высокой стабильности (Hg, Ir, Pd, Pt);
- металлы полной стабильности (Au).

Стоит отметить, что коррозионный процесс не нуждается в создании каких-либо условий, а наоборот требует своевременного принятия мер для предотвращения протекания коррозии. В качестве примера можно привести нанесение смазки, применение каких-либо ингибиторов и т.д.

Сегодня все коррозионные процессы принято классифицировать по следующим признакам [4]:

1. По механизму взаимодействия металлов с внешней средой;
2. По виду коррозионной среды и условиям протекания процесса;
3. По характеру коррозионных разрушений;
4. По видам дополнительных воздействий, которым подвергается металл одновременно с действием коррозионной среды.

По механизму протекания выделяют химическую и электрохимическую коррозию. Химической коррозией называют взаимодействие металла с коррозионной средой, при котором окисление металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают в одном акте. Этот тип коррозии наблюдается при действии на металлы сухих газов (воздух, сернистый газ, сероводород) и жидких неэлектролитов (бензин, смола). Электрохимической коррозией называют взаимодействие металла с коррозионной средой (раствором электролита), при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают не в одном акте и их скорости зависят от электродного потенциала.

По условиям протекания выделяют следующие виды коррозии:

1. Газовая;
2. В электролитах;
3. В неэлектролитах;
4. В естественных природных условиях;
5. Электрокоррозия;
6. Радиохимическая;
7. Биологическая;
8. Фреттинг-коррозия;
9. Коррозия при кавитации;
10. Контактная;
11. Щелевая;
12. Структурная;
13. Термоконтактная.

По характеру коррозионного разрушения различают общую (сплошную) или местную (локальную) коррозию. Сплошная коррозия охватывает всю поверхность металла с одинаковой скоростью. Выделяют следующие виды общей коррозии рисунок 1:

1. Равномерная;
2. Неравномерная;
3. Избирательная.



Рисунок 1. Виды общей коррозии

В свою очередь металлы, подверженные равномерной коррозии, в зависимости от скорости протекания процесса подразделяются на три группы:

1. Скорость коррозии не превышает 0,15 мм/г;
2. Скорость коррозии от 0,15 – 1,5 мм/г;
3. Скорость коррозии больше 1,5 мм/год.

В отличие от общей коррозии, местная охватывает только отдельные участки поверхности металла. Локальная коррозия металлов и сплавов играет значительную роль в разрушении конструкций, трубопроводов, теплообменников, конденсаторов и др.

Выделяют следующие виды местной коррозии рисунок 2:

1. Пятнами;
2. Язвами;
3. Точечная;
4. Сквозная;
5. Нитевидная;
6. Подповерхностная;
7. Межкристаллитная;
8. Ножевая;
9. Коррозионное растрескивание;
10. Коррозионная хрупкость.

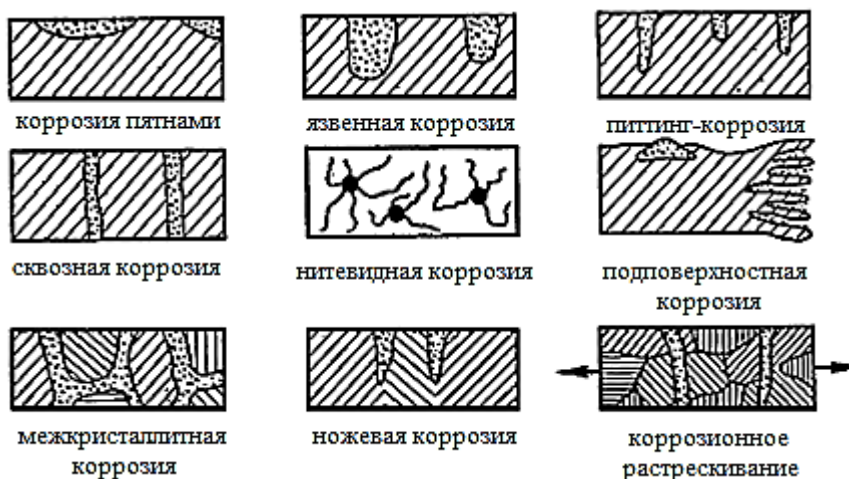


Рисунок 2. Виды местной коррозии

Сегодня не представляется возможным однозначно дать ответ на вопрос, какой из видов коррозии представляет наибольшую опасность. Это зависит, в первую очередь, от условий, при которых эксплуатируется то или иное оборудование. Так, например, оболочки твэлов ядерного реактора из сплавов Э110 и Э635 подвержены сквозной коррозии, коррозии пятнами, питтинговой

коррозия, фреттинг-коррозии. Нельзя не отметить, что в примере важным также является загрязнение металла изделия продуктами коррозии.

В общем случае коррозионный процесс имеет три стадии:

1. Перенос реагирующих веществ к поверхности раздела фаз (реакционная зона);
2. Гетерогенная реакция;
3. Отвод продуктов реакции от реакционной зоны.

Стоит отметить, что каждая из выделенных стадий может включать протекающие параллельно или последовательно свои элементарные стадии. На рисунке 3, 4 представим схему протекания коррозионного процесса, состоящего из трёх последовательных или параллельных стадий.

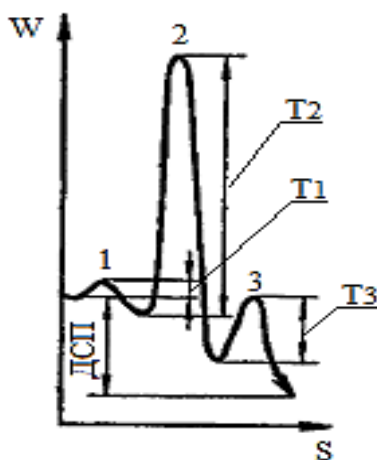


Рисунок 3. Функция энергии от пути протекания коррозионного процесса  $W(S)$ , состоящего из 3 последовательных стадий

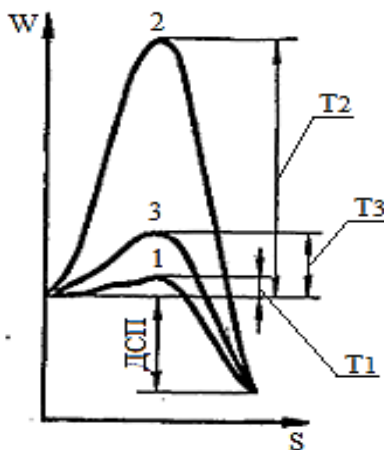


Рисунок 4. Функция энергии от пути протекания коррозионного процесса  $W(S)$ , состоящего из 3 параллельных стадий

На рисунках 3, 4 обозначены: ДСП – движущая сила процесса, Т – торможение протекания отдельных стадий.

С помощью ДСП и Т можно определить скорость коррозионного процесса [2]:

$$\vartheta = \frac{\text{ДСП}}{T}, \quad (2)$$

В случае если значение  $T$  одной из последовательных стадий превышает значения  $T$  двух других, то суммарная скорость коррозии определяется по той стадии, где значение  $T$  максимально. Так на рисунке 3 основная – стадия 2. В случае, когда коррозионный процесс представляет собой 3 параллельные стадии, суммарная скорость коррозии будет определяться по той, где значение  $T$  будет минимальным.

Скорость коррозионного процесса зависит от следующих факторов:

1. Медленности диффузии реагентов к поверхности металла или продуктов реакции в обратном направлении;
2. Медленности химической или электрохимической реакции взаимодействия металла с коррозионной средой или ее компонентами;
3. Медленности обеих стадий при соизмеримости их торможений.

Основными показателями процесса коррозии являются: глубинный показатель ( $K_{\Pi}$ ), массовый показатель ( $K_m^{\pm}$ ), объёмный показатель коррозии ( $K_V$ ), механический показатель коррозии ( $K_{\text{мех}}$ ), прочностной показатель коррозии ( $K_{\sigma}$ ), показатель изменения электрического сопротивления ( $K_N$ ). Глубинный показатель ( $K_{\Pi}$ ) определяется глубиной коррозионного разрушения в единицу времени (мм/г). Массовый показатель ( $K_m^{\pm}$ ) характеризует изменение массы ( $m$ ) образца металла в результате коррозии, отнесенное к единице поверхности металла  $S$  и к единице времени  $\tau$  (например, г/(м<sup>2</sup>·ч)) [2]:

$$K_m^{\pm} = \frac{m}{S \cdot \tau}, \quad (3)$$

Этот показатель может быть отрицательным, если масса металла за время испытания  $\tau$  после удаления продуктов коррозии уменьшилась. Он может быть и положительным, если масса образца за время испытаний увеличилась.

Объёмный показатель коррозии ( $K_V$ ) указывает объем поглощенного или выделившегося в процессе коррозии металла газа  $\Delta V$ , приведенного к нормальным условиям, и отнесенный к единице поверхности металла и к единице времени (например, см<sup>3</sup>/(см<sup>2</sup>·ч)) [2]:

$$K_V = \frac{\Delta V}{S \cdot \tau}, \quad (4)$$

Прочностной показатель ( $K_{\sigma}$ ) представляет собой отношение изменения предела прочности при растяжении за время  $\tau$  коррозии, к изменению предела прочности при растяжении до коррозии [2]:

$$K_{\sigma} = \frac{\Delta \sigma_{\tau}}{\Delta \sigma_{\tau 0}}, \quad (5)$$

Для грубой оценки коррозионной стойкости металлов существует десятибалльная шкала:

1. Совершенно стойкие (0,001 мм/год – 1 балл);
2. Весьма стойкие (0,001 – 0,005 мм/год – 2 балла, 0,005 – 0,010 мм/год – 3 балла);
3. Стойкие (0,01 – 0,05 мм/год – 4 балла, 0,05 – 0,10 мм/год – 5 баллов);
4. Понижено стойкие (0,10 – 0,50 мм/год – 6 баллов, 0,50 – 1,00 мм/год – 7 баллов);
5. Малостойкие (1,0 – 5,0 мм/год – 8 баллов, 5,0 – 10,0 мм/год – 9 баллов);
6. Нестойкие (10,0 мм/год – 10 баллов).

Исходя из рассмотренной классификации коррозионного процесса, можно сделать следующие выводы:

1. Большинство металлов в природе находятся в окисленном состоянии за исключением золота, серебра, платины, иридия и палладия.

2. Коррозия – процесс самопроизвольный, в результате которого происходит уменьшение свободной энергии Гиббса.

3. Классификация коррозионных процессов производится в зависимости от механизма взаимодействия металлов с внешней средой, вида коррозионной среды и условий протекания процесса; характера коррозионных разрушений; вида дополнительных воздействий, которым подвергается металл одновременно с действием коррозионной среды.

4. На сегодняшний день выделяют три основных стадии коррозионного процесса: 1. перенос реагирующих веществ к поверхности раздела фаз (реакционная зона), гетерогенная реакция, отвод продуктов реакции от реакционной зоны.

5. Основными показателями коррозионного процесса являются: глубинный показатель ( $K_{\Pi}$ ), массовый показатель ( $K_m^{\pm}$ ), объёмный показатель коррозии ( $K_V$ ), механический показатель коррозии ( $K_{\text{мех}}$ ), прочностной показатель коррозии ( $K_{\sigma}$ ), показатель изменения электрического сопротивления ( $K_N$ ). Глубинный показатель ( $K_{\Pi}$ ) определяется глубиной коррозионного разрушения в единицу времени (мм/г).

#### Литература

1. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов: учебное пособие для металлургических специальностей вузов / Н.П. Жук. – 2-е изд., стер. – М.: Альянс, 2006. – 472 с.
2. Колотыркин, Я.М. Металл и коррозия. Защита металлов от коррозии / Я.М. Колотыркин. – М.: Металлургия, 1985. – 88 с.
3. Неверов, А.С. Коррозия и защита материалов: учеб. пособие / А.С. Неверов, Д.А. Родченко, М.И. Цырлин. – Минск: Выш.шк., 2007. – 222 с.: ил.
4. Улиг, Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ. / Под ред. А.М.Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – Пер. изд., США, 1985. – 456 с.: ил.
5. Чиж, В.А. Водоподготовка и водно-химические режимы электростанций: Учебно-методическое пособие для студентов дневной и заочной форм обучения специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» и 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» / В.А. Чиж, Н.Б. Карницкий [и др.]. – Минск: БНТУ, 2004. – 99 с.: ил.
6. Шлугер, М.А. Коррозия и защита металлов / М.А. Шлугер, Ф.Ф. Ажогин, Е.А. Ефимов. – М.: «Металлургия», 1981. – 216 с.