



## РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЯХ

С. А. ОСАДЧУК, инж., Л. И. НЫРКОВА, канд. хим. наук, С. Г. ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук,  
С. Л. МЕЛЬНИЧУК, Н. А. ГАПУЛА, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработан двухэлектродный датчик с коповерхностным расположением электродов для измерения мгновенной скорости коррозии конструкционных сталей и сварных соединений в тонких пленках электролитов. Продемонстрирована его работоспособность для измерения скорости атмосферной коррозии при разной температуре, влажности воздуха 100 % в условиях конденсации влаги и без нее. Определено, что в условиях, моделирующих атмосферные, с помощью разработанного датчика можно измерять скорость коррозии в диапазоне  $1 \cdot 10^{-6} \dots 10$  мм/год.

*Ключевые слова:* датчик скорости коррозии, атмосферная коррозия сварных металлоконструкций, конденсация влаги на металлической поверхности, метод поляризационного сопротивления

Атмосферная коррозия является самым распространенным видом коррозии, поскольку около 80 % металлических конструкций эксплуатируется в атмосферных условиях. Атмосферная коррозия металлов в основном имеет электрохимическую природу и протекает в тонких пленках влаги, которая конденсируется на поверхности металла. Процесс коррозии в атмосфере довольно продолжительный. Время до полного разрушения металлоконструкции составляет от 5 до 16 лет. Однако было бы ошибочным считать, что процесс коррозии в атмосфере протекает всегда медленно, с меньшей скоростью, чем при погружении металла в объем электролита. Если средняя скорость коррозии в морской воде  $i_k = 0,10 \dots 0,15$  мм/год, то коррозия свай в зоне переменного смачивания, например нефтепромыслов Каспия, составляет  $0,5 \dots 0,6$  мм/год. Скорость атмосферной коррозии ( $i_k$ , мм/год) в бытовых и производственных помещениях приведена ниже [1]:

домашняя кухня и ванна .....	0,0025...0,0100
прачечная .....	0,0075
бедильня .....	0,0430
фабрика серной кислоты .....	0,0480
бумажная фабрика .....	0,0680
локомотивное депо .....	0,0800
травильный цех металлургического завода ...	свыше 0,450

Коррозия незащищенной поверхности стали и ее сварных соединений в атмосфере определяется климатическими условиями конкретной местности. Основными причинами возникновения атмосферной коррозии являются влажность и температура воздуха, перепад температуры, наличие циклов увлажнения–высыхание, присутствие в

воздухе диоксида серы (промышленная атмосфера), хлорида натрия (морская атмосфера).

Скорость коррозии в течение первого года эксплуатации сварных металлоконструкций составляет 0,19 мм/год — верхний предел для наиболее агрессивных атмосфер (категория C5) по стандарту ISO 12944–2. При наличии загрязнителей или гигроскопических солей коррозия может протекать при низких значениях влажности.

Как известно, основным фактором, стимулирующим возникновение атмосферной коррозии, является вода [1], которая способствует образованию на поверхности металла пленки влаги. При относительной влажности воздуха (до 60 %) следы влаги на поверхности металла отсутствуют. В этом случае коррозия протекает по химическому механизму.

При относительной влажности воздуха 60...70 %, которая называется критической, начинается конденсация влаги и на поверхности металла появляется тонкая сплошная адсорбционная пленка воды. Критическая влажность промышленной атмосферы в среднем составляет 60 %. При относительной влажности атмосферы выше критической скорость атмосферной коррозии значительно увеличивается.

Этот важный факт впервые продемонстрировал Вернон в серии своих классических экспериментов [1]. Он показал, что в чистом воздухе при относительной влажности ниже 100 % коррозия протекает со скоростью не более  $0,001 \dots 0,002$  мм/год, но присутствие незначительной концентрации таких примесей, как диоксид серы, может вызвать повышение скорости коррозии в 100 раз даже при отсутствии видимых следов влаги. Достаточно того, чтобы относительная влажность превысила некоторое критическое (причем сравнительно небольшое) значение, ко-

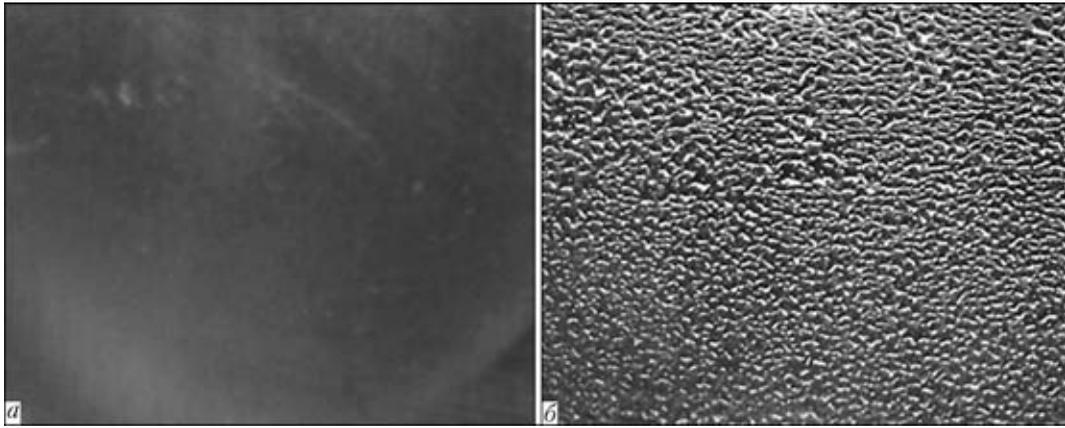


Рис. 1. Внешний вид пленки влаги, образующейся на поверхности стали Ст3 и ее сварных соединениях при  $T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$  без конденсации (а) и при  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  с конденсацией (б) влаги

торое зависит от природы загрязнения атмосферы, но при наличии диоксида серы составляет 70...80 %. Если влажность ниже критической, то скорость коррозии меньше 0,001 мм/год даже в загрязненном воздухе.

Известно, что тонкая пленка влаги на поверхности металла влияет на ход коррозионных процессов, а скорость коррозии определенным образом зависит от толщины этой пленки. Тонкие пленки бывают двух видов: адсорбционные, образующиеся при относительной влажности воздуха от 60 до 70 %; фазовые, видимые глазом, образующиеся при влажности воздуха, близкой к 100 %, которая сопровождается конденсацией влаги на поверхности и без нее.

В настоящее время методика мониторинга сварных металлоконструкций в условиях атмосферной коррозии на объектах длительной эксплуатации практически отсутствует. Ее создание невозможно без разработки надежных и достоверных средств контроля коррозии, т. е. первичных преобразователей или датчиков с высокой чувствительностью, позволяющих измерять мгновенную скорость коррозии на протяжении суточного цикла на объектах продолжительной эксплуатации таких, как складские и производственные помещения, в том числе новый безопасный конфайнмент НБК «Укрытие» на Чернобыльской АЭС.

Для измерения мгновенной скорости коррозии конструкционных сталей и ее сварных соединений в тонких пленках электролитов разработан двухэлектродный датчик с коповерхностным расположением электродов, чувствительный элемент которого выполнен из стали Ст3. Для получения более достоверных значений скорости коррозии чувствительный элемент датчика предполагается выполнять из того же материала, что и металлоконструкция. Для повышения точности измерений чувствительный элемент датчика располагают на анодированной пластине, с помощью которой датчик крепится на контролируемой металлоконструкции. Работа датчика основана на методе по-

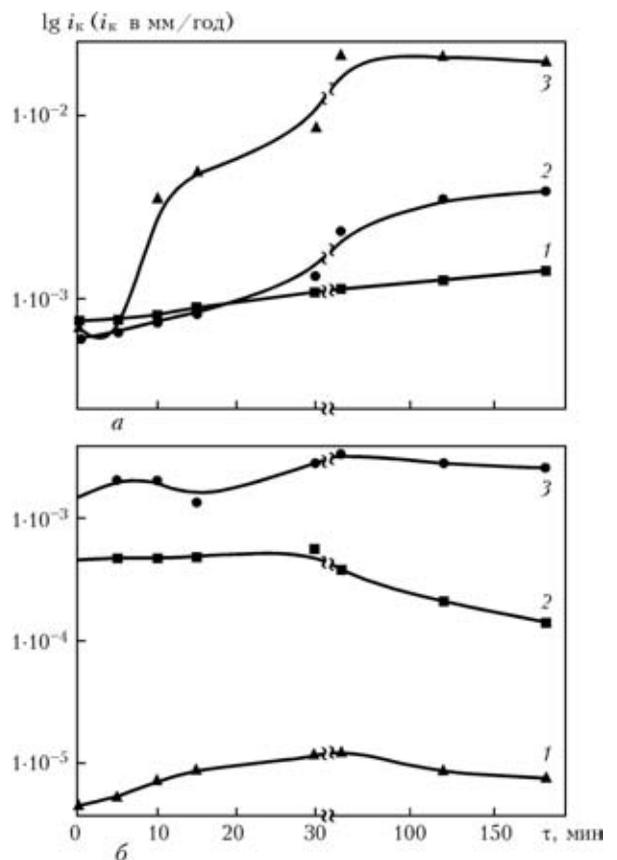


Рис. 2. Кинетика скорости коррозии  $i_k$  конструкционной стали Ст3 в условиях, моделирующих атмосферные с конденсацией влаги на поверхности (а) и без нее (б) при  $T = 24$  (1), 50 (2) и  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (3), полученная с помощью датчика скорости коррозии

Скорость коррозии конструкционной стали и сварных соединений ( $i_k$ , мм/год), полученная методом поляризационного сопротивления, в условиях, моделирующих атмосферные

$T, ^{\circ}\text{C}$	С конденсацией влаги	Без конденсации влаги
24	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
50	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
70	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$

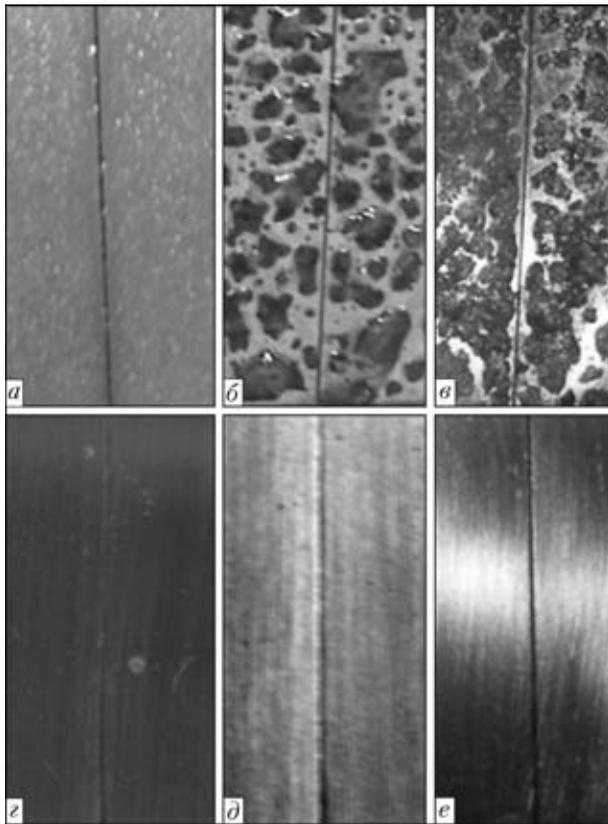


Рис. 3. Внешний вид поверхности датчиков после экспонирования ( $t = 3$  ч) в условиях, моделирующих атмосферные с конденсацией влаги на поверхности датчика (а-в) и без нее (г-е) при  $T = 24$  (а, г), 50 (б, д) и 70 °С (в, е)

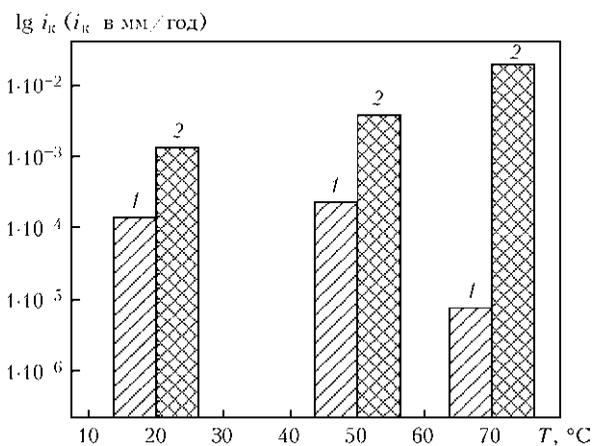


Рис. 4. Зависимость  $i_k$  конструкционной стали Ст3 от температуры в условиях, моделирующих атмосферные с конденсацией влаги на поверхности датчика (1) и без (2) нее, полученная с помощью датчика скорости коррозии

ляризационного сопротивления, теоретические основы которого описаны в работе [2].

**Технико-эксплуатационная характеристика датчика**

Диапазон измерения скорости атмосферной коррозии, мм/год .....	$1 \cdot 10^{-5} \dots 5$
Измеряемое поляризационное сопротивление, Ом .....	$10^2 \dots 10^7$
Условия эксплуатации:	
температура, °С .....	-40...+70
относительная влажность воздуха, % .....	80...100
Погрешность измерений, % .....	не более 20

Исследованы особенности коррозии углеродистой стали Ст3 и сварного соединения в условиях, моделирующих атмосферные — температура воздуха 24, 50 и 70 °С, относительная влажность 100 %. При этом датчики скорости коррозии сварных соединений и образцы сварных соединений располагали горизонтально для образования пленок влаги на их поверхностях. Измерения проводили в термостатированных условиях. В процессе исследования создавали атмосферные условия, при которых происходила конденсация влаги на металлической поверхности в условиях, когда конденсация влаги на поверхности не достигалась, а затем оценивали толщину образовавшейся пленки (рис. 1). Определено, что при температуре 24 °С в условиях конденсации влаги в течение 20 мин на поверхности образцов образовалась очень тонкая пленка толщиной от 0,6 до 3,0 мкм (см. рис. 1, а). При  $T > 40$  °С в условиях конденсации влаги на поверхности образцов образовывались видимые фазовые слои влаги и капельки воды. Толщина слоя влаги составляла от 17 до 45 мкм (см. рис. 1, б).

В лабораторных условиях, моделирующих атмосферные, оценена мгновенная скорость коррозии (в течение 3 ч). Полученные результаты представлены в таблице и на рис. 2–4.

Проанализировав полученные данные, можно отметить, что скорость коррозии стали Ст3 и ее сварных соединений в тонких пленках влаги возрастала с повышением температуры влажного воздуха вследствие интенсификации процесса конденсации влаги и образования слоев влаги разной толщины. В этих слоях коррозия протекала по разным механизмам: в слоях толщиной менее 30 мкм — по диффузионному, толщиной более 30 мкм — по конвекционному [1, 2].

При  $T = 24$  °С конденсация влаги происходила медленнее, чем при более высокой температуре. В связи с этим на поверхности металла образовалась пленка влаги толщиной от 0,6 до 3,0 мкм, коррозия имела сплошной характер и протекала со скоростью не более 0,005 мм/год (рис. 2, а, кривая 1, и рис. 3, а).

Вследствие образования неравномерного слоя влаги на поверхности датчиков при повышении температуры коррозия приобретала очаговый характер (рис. 3, б, в). Наибольшая скорость коррозии имела место под каплями влаги. Увеличению скорости локальной коррозии способствовали образовавшиеся продукты коррозии, которые по своим свойствам являлись гигроскопическими и удерживали влагу на поверхности датчика.

Скорость коррозии стали Ст3 и ее сварных соединений при отсутствии конденсации влаги на поверхности датчика также возрастала с повышением температуры от 24 до 50 °С и составила 0,00014 при  $T = 24$  °С (рис. 2, б, кривая 1, рис. 3, г) и

0,00023 мм/год при  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2, б, кривая 2, рис. 3, д). Такие значения скорости коррозии свидетельствовали о том, что металл вел себя как «совершенно стойкий» по пятибалльной шкале коррозионной стойкости [2]. Дальнейшее повышение температуры до  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  привело к уменьшению скорости коррозии (рис. 2, б, кривая 3, рис. 3, е). Наблюдаемое явление можно объяснить нагревом датчика, и как следствие, — высыханием образующегося фазового слоя, что, очевидно, привело к изменению механизма коррозии с электрохимического на химический и существенному снижению скорости коррозии.

Работы по исследованию атмосферной коррозии конструкционной стали и сварных соединений с помощью метода поляризационного сопротивления планируется продолжать в лабораторных условиях и условиях эксплуатации при разной температуре и влажности воздуха, близкой к критической. Предполагается разработать системы непрерывного мониторинга коррозионного состояния сварных металлических конструкций.

#### Выводы

1. Изучены особенности коррозии углеродистой стали Ст3 и сварных соединений в условиях, мо-

делирующих атмосферные (температура воздуха 20, 50 и  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 100 % в условиях конденсации влаги и без нее). Установлено, что в тонких пленках влаги скорость коррозии возрастает с повышением температуры влажного воздуха вследствие интенсификации процесса конденсации влаги и образования слоев разной толщины.

2. Оценена толщина пленки влаги, образовавшейся на поверхности металла в разных условиях. Показано, что при температуре  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  в условиях конденсации влаги на поверхности датчика толщина слоя влаги составляла 0,6...3,0 мкм, при повышении температуры свыше  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  достигала 17...45 мкм.

3. Исследована работоспособность датчика для измерения скорости атмосферной коррозии при разной температуре, влажности воздуха 100 % в условиях конденсации влаги и без нее. Определено, что датчик может измерять скорость коррозии в диапазоне  $1 \cdot 10^{-6} \dots 10$  мм/год.

1. Розенфельд Л. И. Атмосферная коррозия металлов. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 372 с.
2. Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. — К.: Академперіодика, 2007. — 332 с.

A two-electrode sensor with co-surface electrode position was developed for measurement of the instant rate of corrosion of structural steels and welded joints in thin electrolyte films. Sensor performance was demonstrated for measurement of the rate of atmospheric corrosion at different temperatures, 100 % air humidity under the conditions of moisture condensation and without it. It is established that under the conditions simulating the atmospheric conditions, the developed sensor can be used to measure the corrosion rates in the range of  $1 \cdot 10^{-6} \dots 10$  mm/y.

Поступила в редакцию 02.03.2011

## Российско-украинская промышленная выставка «EXPO-RUSSIA UKRAINE 2011»

5–7 сентября 2011

г. Киев Украинский дом

**Разделы выставки:** энергетика и нефтегазовая промышленность; машиностроение и автомобильная промышленность; металлургия; медицина и фармацевтика; атомная энергетика; телекоммуникации и связь; образование; строительство; агропромышленный комплекс.

В «Expo-Russia Ukraine 2011» планируют принять участие около 100 российских и украинских компаний, предприятий малого и среднего бизнеса из многих регионов России и Украины.

Выставку сопровождает насыщенная программа деловых мероприятий. Центральное событие V конференция «Россия и Украина: Новый этап отношений. Перспективы межрегионального и инновационного сотрудничества». Деловая программа также включает тематические круглые столы, семинары, конференции с участием политиков, бизнесменов, ученых и экспертов двух стран.

**Контакты:** +7 (495) 637-5079, 637-3633, 637-36-66, +7 (499) 766-99-17;  
многоканальный номер: +7 (495) 721-3236; web: z-expo.ru;  
E-mail: 6373633@mail.ru