

УДК 620.194.2

Е.В. Аполлонова (5 курс, каф. Физ. химии), О.А. Золотарева (инж.),  
В.В. Маслов, к.т.н., доц.

## РАЗРАБОТКА УСКОРЕННОЙ РЕЗИСТОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СКЛОННОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ К КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ

В связи со сложностью и многофакторностью физико-химических явлений на поверхности напряжённого металла в условиях воздействия разнообразных коррозионных сред и имеющимися ограничениями по использованию известных методов выявления склонности к коррозионному растрескиванию (КР) в настоящее время сохраняется актуальность создания универсальной ускоренной количественной оценки стойкости материалов к КР. Общим недостатком известных критериев оценки (порогового коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины  $K_{ISCC}$  [1, 2], порогового напряжения  $\sigma_{пор}$  [3], порогового отношения плотностей тока коррозии сплава и его основы  $\Theta$  [4] и др.) является их малая универсальность, поскольку для разных систем металл-среда каждый из них имеет различные значения. При этом стандартный способ, предусмотренный ГОСТом 9.903-81 [1], пригоден лишь для высокопрочных сплавов, требует большого расхода материалов (использования массивных образцов) и специальных виброустановок для выращивания усталостных трещин. Недавно предложенная электрохимическая методика оценки, основанная на сопоставлении текущего безразмерного электрохимического фактора  $z$  с пороговым значением  $z_{пор}$ , и адекватного математического описания КР при  $z_{пор} < z \leq 1$  [5], лишена указанного недостатка, однако применима лишь для растворов электролитов.

Целью настоящей работы явились экспериментальные и теоретические исследования возможности ускоренной резистометрической оценки стойкости металлических материалов к КР. В качестве материалов использовали соностон 50,5Cu-45Mn-2Fe-2Ni-0,5Al (в виде фольги толщиной 0,07 мм и шириной 2 мм), латунь Л65 и сталь-70 (в виде проволоки диаметром 0,20 мм), а в качестве сред - водные растворы комнатной температуры различного состава: щелочные аммиачные 3%  $NH_3$ , 2,4 н  $NH_3$  (для медных сплавов); кислый сульфидный раствор 0,25 м  $H_2SO_4 + 6 \cdot 10^{-4}$  м  $Na_2S$  (для ст.70 и Cu-Mn сплава); а также нейтральные и кислые хлоридные растворы 3%  $NaCl$ , 3%  $NaCl + 4 \cdot 10^{-4}$  м  $H_2SO_4 + 27 \cdot 10^{-4}$  м  $NaHCO_3$ ; 3%  $NaCl + HCl$  до  $pH=0$  (для Cu-Mn сплава). Коррозионно-механические и резистометрические исследования проводили в условиях различной степени неравномерности распределения электрического поля (при стационарном потенциале  $E_{сн}$  при поляризациях, отвечающих  $E = E_{сн} \pm 0,35V$ , с изолированной и неизолированной ватерлинией) и различной степени неравномерности поля растягивающих напряжений (при постоянной деформации [5] с радиусом кривизны  $R=5$  мм и при осевом растяжении). Начальное электросопротивление  $R_0$  и его изменение  $\Delta R$  фиксировали с помощью моста переменного тока Р5058. Основным критерием склонности к КР являлось время до растрескивания  $\tau$  при выбранной базе испытаний 2000ч.

На основе комплекса коррозионно - механических испытаний и полученных резистометрических ( $\Delta R/R_0$ ,  $\tau$ ) кривых для напряжённых и ненапряжённых образцов предложен безразмерный резистометрический фактор КР ( $\beta$ ) для начального периода протекания коррозионных процессов ( $\tau_{нач} \leq 0,25\tau$ ):

$$B = [(\Delta R/R_0)_{напр} / (\Delta R/R_0)_{ненапр}] \tau_{нач} \quad (1)$$

Причём в случае пульсирующего характера ( $\Delta R/R_0$ ,  $\tau$ ) кривых, обнаруженных для Л65, может быть использована мода. Установлена взаимосвязь фактора  $\beta$  (значение которого в экспериментах варьировались в пределах от -2,625 до +60) и склонности материалов к КР: при повышении значений  $\beta$  время до растрескивания увеличивается. Обнаружено существование порогового значения фактора  $\beta_{пор}$ , объясняющего специфичность КР: при  $\beta > \beta_{пор}$  растрескивание не проявляется.

В ходе теоретических исследований исходили из того, что трещины, ослабляющие сечение, появляются и развиваются при КР от периметра вглубь. И поэтому  $\tau$  зависит не только от природы системы металл-среда и уровня растягивающих напряжений, но и от геометрического размера системы  $h$ , представляющего отношение площади поперечного сечения к периметру, причём  $h$  меняется не только вследствие КР, но и в результате общей коррозии (ОК). На основе очевидного предположения  $h_{кр} < h_{ок}$ , а также применяя известные взаимосвязи данных характеристик с изменениями  $\Delta R/R_0$  [2,6] для начального периода протекания обоих коррозионных процессов и, учитывая уменьшение  $\tau$  при уменьшении  $h_{кр}$ , получена аналитическая математическая модель КР:

$$\tau = N[(M + \beta)/(Q - \beta)], \quad (2)$$

где  $\beta$  резистометрический фактор, определяемый из выражения (1);  $Q$ ,  $M$ ,  $N$ -параметры модели.

На основе экспериментальных данных установлены не только численные значения параметров модели, но и универсальность, и физический смысл параметров  $Q$  и  $M$  ( $Q = \beta_{пор} = 1,065$ ,  $M = (\exp \beta_{пор}) / \beta_{пор}$ ). Модель КР (2) справедлива при  $\beta < \beta_{пор}$ , причём параметр  $N$ -настроечный: его значения зависят от способа задания нагрузки и наличия или отсутствия ватерлинии.

Таким образом, разработанная резистометрическая методика ускоренной оценки склонности к КР сводится к снятию ( $\Delta R/R_0$ ,  $\tau$ ) кривых напряжённого и ненапряжённого образцов с последующим сопоставлением резистометрического фактора  $\beta$  с пороговым значением  $\beta_{пор}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 9.903-81. Стали и сплавы высокопрочные. Методы ускоренных испытаний на коррозионное растрескивание.
2. Маслов В.В., Сухотин А.М. Методика испытаний высокопрочных сталей к коррозионному растрескиванию и оценки эффективности антикоррозионной защиты / Защитные покрытия и методы борьбы с коррозией. Материалы краткосрочного семинара 1-2 апр. – Л.: ЛДНТП, 1981, с. 57-65.
3. Ажогин Ф.Ф. Коррозионное растрескивание и защита высокопрочных сталей. – М.: Металлургия, 1974 (с. 66).
4. Islam M. An investigation into the mechanistic aspects of the stress corrosion cracking of binary copper – manganese and copper – aluminum alloys // Int. Congr. Met. Corros., Toronto, June 3-7, 1984. Proc. Vol.1. – Ottawa, 1984, p. 161-166.
5. Маслов В.В., Адамова Н.В., Макарова Н.В. Математическое моделирование коррозионного растрескивания сплавов на основе разработки обобщённого безразмерного электрохимического фактора // ЖПХ, 2001, т. 74, №12, с. 1968-1974.
6. Маслов В.В., Изюмова А.Г. Поляризационные и резистометрические исследования поведения титана в нейтральном хлоридном растворе // ЖПХ, 1995, т. 68, №11, с. 1798-1803.