

А. Б. КУСЛИЦКИЙ, И. Е. ЗАМОСТЯНИК, академик АН УССР Г. В. КАРПЕНКО

### ВЛИЯНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ И КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ НА ЭЛЕКТРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ АРМКО-ЖЕЛЕЗА

Ранее <sup>(1)</sup> нами была выдвинута гипотеза о том, что неметаллические включения являются очагом усталостного разрушения стали главным образом вследствие возникновения в их окрестности значительных остаточных термических напряжений, а не из-за концентрации напряжений от действия внешних сил, как это принято считать <sup>(2)</sup>. В связи с тем, что непосредственное измерение остаточных напряжений в локальных объемах металла представляет значительные трудности, нами проведены прецизионные исследования распределения электродных потенциалов на поверхности металлического образца. Возможность и правомерность таких исследований для указанных целей продиктована тем, что электродные потенциалы очень чувствительны к наличию и даже незначительным изменениям напряженности металла <sup>(3)</sup>.

Измерения электродных потенциалов проводили в электролите:  $0,009\text{ N HCl} + 0,080\% \text{ H}_2\text{O}_2 + 0,0001\% \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  при помощи микрокапилляров по методике, подробно описанной в работе <sup>(4)</sup>. Исследовали также распределение потенциалов при внешних нагрузках на установке ИНК-2 <sup>(5)</sup>. Для указанных исследований изготовили специальные образцы из отпущенного железа-армко толщиной 1 мм, длиной рабочей части 50 мм и шириной 10 мм. На продольной оси образца на расстоянии 15 мм по обе стороны от середины рабочей части были сделаны два отверстия диаметром 0,5 мм. Затем образец разогревали в печи до температуры плавления стекла и в одно из отверстий заливали расплавленное стекло — имитатор хрупкого неметаллического включения. Другое отверстие оставляли незаполненным и имитировало надраз — концентратор напряжений. После остывания образца до комнатной температуры его наружную поверхность зачищали и тщательно полировали. Испытаниям подвергали 5 образцов. Данные — средние с разбросом  $\pm 1$  мВ.

Как видно из рис. 1, распределение электродных потенциалов свидетельствует о качественном различии влияний, оказываемых неметаллическим включением и концентратором напряжений на электрохимическую гетерогенность металла. Что касается концентратора — незаполненного отверстия — (см. кривые 2а, 2б, 2в), то изменение электродных потенциалов соответствует общеизвестным данным <sup>(6)</sup>. При отсутствии напряжений (кривая 2а) максимум наблюдается у края отверстия, вследствие большей термодинамической активности данного участка; по мере

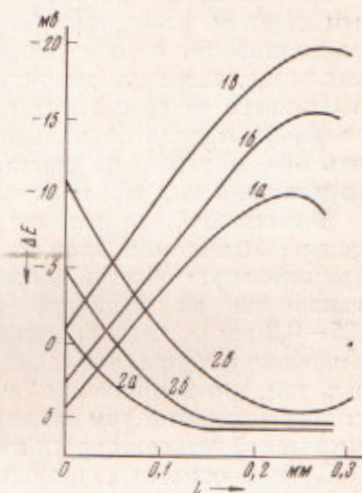


Рис. 1. Разность электродных потенциалов на поверхности образца из армко-железа в коррозионной среде у отверстия, заполненного стеклом (1) — имитатора неметаллического включения и у незаполненного отверстия (2) — имитатора концентратора напряжений при напряжениях 0 (а), 3 (б) и 9 (в)  $\text{кГ/мм}^2$



удаления от края отверстия происходит сдвиг потенциала в положительную область. Приложенные напряжения (кривая 2б, 2в) сдвигают начальную разность потенциалов у края отверстия в более отрицательную область, причем уже на расстоянии 0,25—0,30 мм влияние концентрации напряжений практически исчезает.

Надо полагать, что, если неметаллическое включение было бы по влиянию идентичным концентратору напряжений, можно было ожидать если не количественной, то, по крайней мере, качественной аналогии измеряемых величин. Анализ экспериментальных данных показывает отсутствие такой аналогии. По мере удаления от края включения разность потенциалов увеличивается со сдвигом в отрицательную область, т. е. очевидным становится факт увеличения электрохимической гетерогенности металла в районе включения. Наличие напряжений (кривые 1б, 1в) сдвигает кривую в область еще более отрицательных величин.

Отмеченная картина распределения электродных потенциалов у имитированного включения, идентичная наблюдавшимся нами ранее распределениям потенциалов у реальных включений<sup>(7)</sup>, позволяет сделать заключение об отсутствии аналогии во влиянии включений и концентраторов напряжений на электрохимическую гетерогенность металла.

По всей вероятности, при охлаждении металла с отверстием, заполненным стеклом, вследствие большой разности температурных коэффициентов расширения  $\alpha$  ( $\alpha$  металла 14,  $\alpha$  стекла 4) в слое металла, окружавшем включение, возникли значительные термические напряжения, которые, в зависимости от разности указанных коэффициентов перепада температур и величины модуля нормальной упругости металла и стекла, могли превысить предел текучести металла и создать в окрестности включения зону разрыхления или так называемую зону предразрушения<sup>(8)</sup>.

Естественно, что наличие такой зоны привело к значительному сдвигу электродных потенциалов поверхности металла в районе этой зоны в более отрицательную область. Характерно, что наличие внешних сил, мало отразившееся на величине электродного потенциала на расстоянии 0,25—0,3 мм от незаполненного отверстия, весьма существенно влияет на изменение потенциалов заполненного стеклом отверстия. Это можно объяснить тем, что напряжения от внешних сил еще больше увеличивают зону предразрушения и тем самым способствуют значительному росту электрохимической гетерогенности металла.

Следует отметить, еще один интересный факт. Из рисунка видно, что у края незаполненного отверстия (которое можно считать включением с модулем нормальной упругости, равным нулю) концентрация напряжений при действии внешних сил значительно больше, чем у отверстия, заполненного стеклом, т. е. имеющего модуль больше нуля. Это свидетельствует о правильности взглядов<sup>(9)</sup>, согласно которым чем больше модуль упругости включения, тем меньше концентрация напряжений. Вместе с тем результаты нашего эксперимента показывают, что, несмотря на более высокую концентрацию напряжений у незаполненного отверстия, оно является меньшим потенциально опасным источником разрушения, чем заполненное стеклом отверстие, так как вокруг последнего создается зона предразрушения, обусловленная значительным уровнем термических напряжений.

Физико-механический институт  
Академии наук УССР  
Львов

Поступило  
28 IV 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. Б. Куслицкий и др., ДАН, 187, № 1, 79 (1969). <sup>2</sup> В. С. Иванова и др., Усталость и хрупкость металлических материалов, М., 1968. <sup>3</sup> Г. В. Карпенко и др., Физ.-хим. мех. матер., 5, 6, 635 (1969). <sup>4</sup> Г. В. Карпенко и др., там же, 5, 3, 280 (1969). <sup>5</sup> А. В. Рябченков и др., Сборн. Коррозия и защита металлов в машиностроении, в. 92, М., 1959. <sup>6</sup> Н. Д. Томашов, Теория коррозии и защита металлов, М., 1959. <sup>7</sup> Г. В. Карпенко и др., Физ.-хим. мех. матер., 6, 1, 3 (1970). <sup>8</sup> П. А. Ребиндер, Л. А. Шрейдер, К. Ф. Жигач, Понижители твердости в бурении, М., 1944. <sup>9</sup> H. Leiris, E. Frappier, Rev. metallurgie, 56, 1, 11 (1959).