

Н. Н. ИВАНЧЕНКО, А. П. КОЛЬЦОВ, А. М. ПИРОГОВ

О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА КАВИТАЦИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком Л. И. Седовым 27 III 1974)

Влияние агрессивности растворов на кавитационную стойкость окисляемых металлов весьма значительно ⁽¹⁾. Объяснение этого эффекта чаще всего сводится к общим рассуждениям об интенсификации коррозионных процессов в зоне кавитации. Так, в хлоридной среде это связывается с активизирующим действием хлор-ионов на поверхность металла. Влияние величины рН раствора объясняется депассивирующим эффектом ⁽²⁾ и т. д. Естественно, все это не может дать более или менее определенного представления о физической природе непосредственного влияния коррозионных процессов на развитие кавитационной эрозии.

Главной причиной кавитационного разрушения является силовое воздействие кавитации на поверхность твердого тела. Рассматривая процесс механического разрушения металла, можно заметить, что его реализация имеет место лишь в случае, когда работа внешних сил превысит величину удельной поверхностной энергии η , определяемой избыточной потенциальной энергией поверхностных ионов металла по сравнению с находящимися в объеме. Это понятие позволяет более четко представить физическую сущность влияния коррозии на механические свойства металла при кавитации.

Электрохимическая коррозия включает в себя два основных процесса: восстановление окислителя и окисление самого металла ⁽³⁾. В свою очередь, окисление представляется выходом части поверхностных ионов металла в раствор. Но, по определению, именно эти ионы характеризуют величину поверхностной энергии. Поэтому в момент выхода ионов металла в раствор его поверхностная энергия должна снижаться пропорционально числу выходящих ионов. С изменением поверхностной энергии меняется и твердость металла ⁽⁴⁾. Это легко объяснить, если принять во внимание, что выход иона металла из кристаллической решетки сопровождается нарушением ионных связей, характеризующих поверхностное натяжение. Следовательно, чем интенсивней процесс окисления металла, тем более существенно должно быть изменение механических свойств.

Если наши рассуждения верны, можно ожидать, что при одном и том же разрушающем усилии кавитации поверхность единичной вмятины от воздействия кавитационного пузырька должна увеличиваться пропорционально росту агрессивности среды.

Нами были проведены испытания дисковых образцов из чугуна СЧ-24-44 и стали 38ХМЮА на ультразвуковой установке УЗМ-1,5 в водных растворах соляной кислоты различной концентрации; рН раствора в опытах изменялось от 7 до 1. Поверхность образца совершала колебания с частотой 20 кГц и амплитудой 20 мкм. Время каждого испытания составляло 30 мин. Результаты эксперимента показаны в зависимости $S(\text{pH})$ на рис. 1, где S — среднеарифметическая поверхность единичной вмятины. Она подсчитывалась на площади 0,25 см² поверхности образца. Попутно было проверено, как изменяется S со временем испытания при постоянном рН. Оказалось,

что изменяется только количество вмятин на единице площади, величина S остается постоянной.

Обработка полученных кривых (рис. 1) показала их близость к логарифмической зависимости. Но $\text{pH} = -\log C_{\text{H}}$, где C_{H} — концентрация водородных ионов в г-ион/л, которые в данном случае являются окислителем (влияние растворенного кислорода мы приняли постоянным). Это позволило предположить, что S изменяется пропорционально концентрации окислителя в растворе.

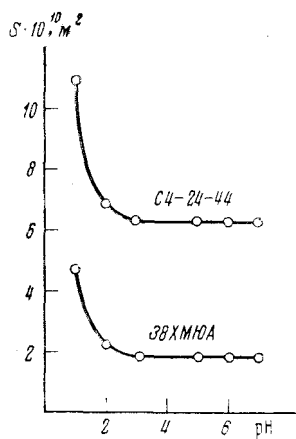


Рис. 1

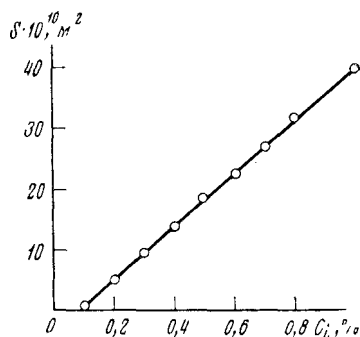


Рис. 2

В более явном виде эту зависимость оказалось возможным получить при использовании более сильного окислителя, чем водородные ионы. Для железа и его сплавов таким являются ионы меди. Испытанию подвергались дисковые образцы из стали ЗВХМЮА в водных растворах сульфата меди различной концентрации C_0 . Параметры колебания поверхности образца были такими же, как и в предыдущем эксперименте, время каждого испытания было уменьшено до 15 мин. Результаты графически показаны на рис. 2. Зависимость действительно получилась линейной.

Результаты проведенных экспериментов представляют определенный интерес. Полагая разрушение следствием работы A потока против внутримолекулярных сил, поддерживающих заданное взаимное расположение частиц металла ⁽⁵⁾, можно записать

$$\eta = AS^{-1}. \quad (1)$$

Работа A образования единичной вмятины во всех опытах может быть принята постоянной, так как режим возбуждения кавитации был одним и тем же. Следовательно,

$$d\eta = -AS^{-2} dS. \quad (2)$$

К сожалению, пока не представляется возможным произвести численный расчет. До сих пор не существует метода определения поверхностной энергии металлов в твердом состоянии. Неизвестна пока и истинная величина силового воздействия кавитационного пузырька. Но в наших опытах фигурирует вполне определенная величина поверхности единичной вмятины. Поэтому, интегрируя (2) в пределах любых двух полученных экспериментально значений S_m и S_n , можно получить выражение для изменения поверхностной энергии

$$\Delta\eta_{mn} = -A \int_m^n S^{-2} dS = A \left(\frac{1}{C_m} - \frac{1}{C_n} \right). \quad (3)$$

Так как экспериментально удалось доказать, что S изменяется пропорционально концентрации окислителя в растворе C_i то и

$$\Delta\eta_{m\eta} \propto \left(\frac{1}{C_m} - \frac{1}{C_n} \right). \quad (4)$$

Таким образом, можно утверждать, что влияние окислительного процесса при кавитации состоит в понижении поверхностной энергии металла, уменьшающей его твердость. Найденная закономерность дает основание надеяться, что развитие исследований в этом направлении позволит экспериментально определить величину разрушающего усилия кавитационного пузырька.

Центральный научно-исследовательский
дизельный институт
Ленинград

Поступило
16 I 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. К. Шальнев, ДАН, т. 95, № 2, 229 (1954). ² П. Н. Богачев, Ю. Г. Векслер, Ю. А. Красюк, Защита металлов, т. 8, 3, 265 (1972). ³ Н. Д. Томашов, Теория коррозии и защита металлов, Изд. АН СССР, 1959. ⁴ В. И. Лихтман, Е. Д. Шукин, П. А. Ребиндер, Физико-химическая механика металлов, Изд. АН СССР, 1962. ⁵ А. Тирувенгадам, Тр. Американского общества инженеров-механиков, сер. Д, т. 85, 3, 48 (1963).