

К. К. ШАЛЬНЕВ

КАВИТАЦИОННАЯ ЭРОЗИЯ ОБЛУЧЕНИЕМ ЗВУКОВОЙ ВОЛНОЙ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 4 V 1949)

Волновая кавитация может возникать в пучностях давления звуковой или ударной волны, проходящей через жидкость. В статье рассматривается эрозионное действие волновой кавитации, возбуждающейся непосредственно у закрытого конца никелевой трубки магнитострикционного вибратора (1). Эрозионное действие волновой кавитации используется в технике для ускоренных испытаний материалов на сопротивление кавитационной эрозии, для чего применяется „метод вибрации“, при котором испытуемый образец жестко закрепляется на конце никелевой трубки вибратора (2-4). С целью избежать влияния вибрации на процесс эрозии и расширить ассортимент испытуемых материалов автором были поставлены опыты по изучению эрозионного действия волновой кавитации „методом облучения“*. В отличие от метода вибрации при методе облучения образец испытуемого материала облучается звуковой волной в неподвижном состоянии.

В описываемых опытах конец никелевой трубки 1 (рис. 1) вибратора заглушался стальной пробкой 2, не сменявшейся в продолжение всех опытов, а испытуемый образец 3 закреплялся в массивной, весом до 1,0 кг, державке 4, с помощью разрезного цилиндрического патрончика 5, торцевых подкладок 6 и нажимных винтов 7 и 8. Державка вместе с образцом помещалась на дне стеклянного сосуда с водой 9 на резиновых подкладках 10 во избежание скольжения державки по дну сосуда.

Эрозионное действие волновой кавитации изучалось на образцах из следующих материалов: 1) катаный свинец, 2) катаная красная медь, 3) известняк (мягкий и твердый), 4) доломит. До и после облучения кавитацией образцы высушивались при температуре 100—120° и взвешивались. Образцы горных пород предварительно, до первой сушки, выдерживались в воде в течение предполагаемого времени облучения.

Для количественной оценки эрозионного действия волновой кавитации использовались величины: 1) объем эрозии или потеря объема материала образца в мм³ на 1 мм² эродированной поверхности за время

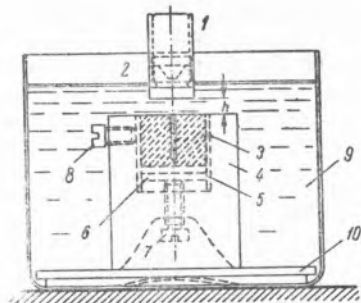


Рис. 1. Схема испытания образцов на кавитационную эрозию методом облучения

* Первые опыты были поставлены автором в ВИГМ'е в 1939 г.

облучения τ сек. или $Q = 10^3 (G_1 - G_2) / F\gamma$ мм³ / мм², где G_1 и G_2 — вес образца до и после облучения в г, F — площадь эродированной поверхности в мм² и γ — удельный вес материала образца; 2) скорость эрозии $I = 10^6 (G_1 - G_2) / 60\tau F\gamma$ м/сек. и 3) сопротивление материала эрозии $i = 1 / I$ сек. / м.

С внешней стороны, в отсутствие державки часть области кавитации, прилегающей к торцу никелевой трубки, имеет форму обращен-

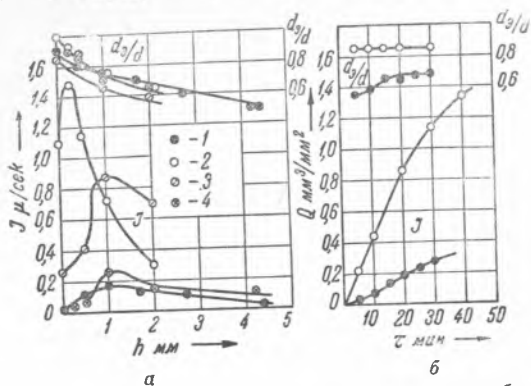


Рис. 2. Влияние h на скорость (а) и τ на объем (б) эрозии. 1 — свинец, 2 — известняк мягкий, 3 — известняк твердый, 4 — доломит

ного вершиной вниз конуса, белесоватого на темном фоне, высотой около 5—6 мм. От вершины этого, более плотного „облачка“ кавита-

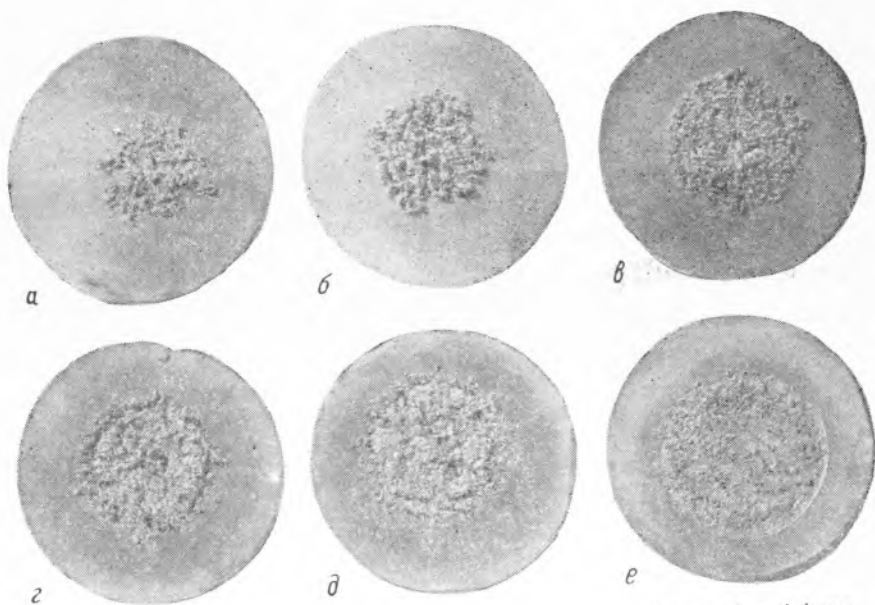


Рис. 3. Кавитационная эрозия свинца при различных h : а — $h = 4,4$ мм, б — $h = 2,7$, в — $h = 1,7$, г — $h = 1,0$, д — $h = 0,5$, е — $h = 0,0$ мм

ции отходит книзу расходящийся и редееющий по мере удаления от трубки поток разрушающихся пузырьков кавитации.

Помещая образец на разных расстояниях h от торца трубки (рис. 1), можно выяснить степень эрозийного воздействия различных участков области кавитации и зависимость эрозии от расстояния h . На расстоянии $h = 7 \div 10$ мм эрозийное действие не обнаруживается ни на свинце, ни на известковых образцах. Первые заметные следы эрозии обнаруживаются при $h = 4 \div 6$ мм (рис. 2, а).

С уменьшением h увеличивается площадь эродируемой поверхности, как это видно из кривой $d_s/d = f(h)$, где d — диаметр пробки на никелевой трубке и d_s — средний диаметр эродированной поверхности. Скорость эрозии I растет только до некоторого значения h_m , равного для 3 из 4 испытанных материалов $h_m = 1,0$ мм. Для мягкого известняка, наиболее мягкого из испытанных материалов, с малым сопротивлением эрозии, $h_m = 0,5$ мм. Пониженное значение h_m объясняется несоответствием h , измеренного в начале опыта, значению h , при котором фактически происходил опыт, вследствие быстрой эрозии и быстрого понижения эродируемой поверхности образца. По этой же причине I образцов известняков при $h=0$ еще велико, в то время как для образца свинца $I \approx 0$.

Характерной особенностью максимальной скорости эрозии является то, что она происходит при $h_m \approx \delta$, где δ — диаметр резонирующего воздушного пузырька⁽⁵⁾, определяемый по формуле⁽⁶⁾: $\delta = 0,66 f$, где f — основная частота колебаний никелевой трубки, $f = 8000$ пер./сек.

Представление об эродированной поверхности при разных h дают фотоснимки рис. 3.

Влияние продолжительности воздействия волновой кавитации τ на развитие эрозии испытывалось на образцах известняка и свинца (рис. 2, б) при $h = 0,5$ и $h = 2,0$ мм. В отличие от свинца, имеющего в начале облучения несколько большее сопротивление эрозии $i = 1 : (dQ/d\tau)$, аналогично тому, как это происходит при испытании на кавитационную эрозию в потоке жидкости, образцы известняка показывают в начале τ постоянную сопротивляемость эрозии.

Сравнение скоростей кавитационной эрозии, полученных методом вибрации (рис. 4, а) и методом облучения (рис. 4, б), было выполнено только на двух образцах красной меди, причем опыт с облучением был поставлен при $h = 0,5$ мм, т. е. при $h < h_m$. При одном и том же $\tau = 60$ мин. скорость эрозии при облучении оказалась в 4 раза меньше скорости эрозии при вибрации. Следует думать, что при $h = 1,0$ мм эрозия облучением будет в два раза меньше, чем при методе вибрации.

С внешней стороны картина эродированной поверхности металлов сходна и при методе облучения и при испытании в потоке жидкости. На свинцовых образцах эродированная поверхность ноздревато-губчатого строения и приподнята над первоначальным ее положением. Отдельные каверны имеют форму кратерообразных лунок. В образцах горных пород эродированная поверхность понижена по сравнению с первоначальным ее положением. Ноздреватость эродированной поверхности известняка, как показало их рассматривание при опиловке, распространяется на глубину до 5—6 мм. На нижней поверхности некоторых свинцовых образцов, соприкасавшейся с бумажной подкладкой, в опытах при $h \geq 1,0$ мм были обнаружены отдельные мелкие каверны, подобные булавочным проколам. Возможно, что причиной их является или пробивное действие кавитации или эрозийное действие волновой кавитации между нижней поверхностью образца и бумажной проклад-

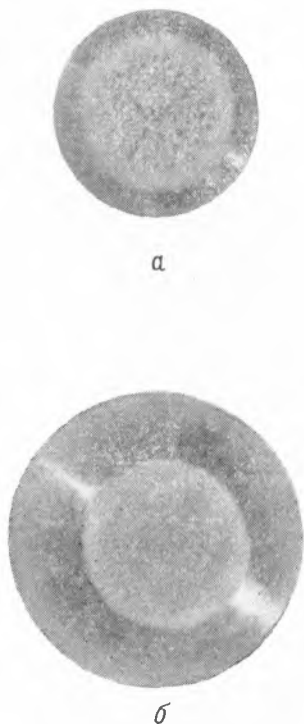


Рис. 4. Внешний вид эродированной поверхности красной меди, полученной: а — методом вибрации, б — методом облучения

кой. Нижняя поверхность пробки, возбуждавшей кавитацию, несмотря на 12 час. работы имела вид очень слабо эродированной поверхности, покрытой как бы оксидной пленкой.

Выводы

1. Степень эрозийного действия волновой кавитации зависит от взаимного положения поверхности образца и поверхности, возбуждающей волновую кавитацию.

2. При соприкосновении твердого тела с разрушающимися пузырьками кавитации эрозия не возникает.

3. Причиной эрозии не может являться соударение жидкости и твердого тела, как это можно было бы объяснить при методе вибрации (7).

4. Эрозийное действие кавитации методом облучения может быть использовано для испытания материалов на сопротивление кавитационной эрозии в тех случаях, когда требуется: а) исключить в опытах с эрозией неопределенность совместного действия в материале напряжений от кавитации и от вибрации; б) испытывать материалы, жесткое крепление которых к трубке затруднительно; в) испытывать образцы большого габарита и детали гидромашин.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт гидромашиностроения

Поступило
13 IV 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. М. Иванов, Тр. ВИГМ, в. 11 (1940). ² L. Kerr, *TASME*, 59, № 5 (1937).
³ Т. К. Рязская, Тр. ЦНИИ суд. пр., в. 3 (1941). ⁴ N. Nowotny, *VDI*, 86, No. 17/18 (1942). ⁵ F. D. Smith, *Phil. Mag.*, 19, No. 130 (1935). ⁶ E. Meyer и, К. Тамп, *Ак. Z.*, 4, No. 3 (1939). ⁷ М. Корнфельд и Л. Суворов, *J. Physics*, 8, No. 3 (1944).