

К. К. ШАЛЬНЕВ

## СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ В ПРЕСНОЙ И В МОРСКОЙ ВОДЕ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 30 XII 1953)

В Институте гидромашиностроения (ВИГМ) были поставлены опыты по сравнению сопротивления металлов кавитационной эрозии в пресной и в морской воде. Результаты этих опытов, при их сопоставлении с данными опытов в Институте механики (1), приводят к выводам о механизме эрозии, которые отличаются от общераспространенных взглядов.

Сопоставление металлов кавитационной эрозии в пресной и в морской воде определялось методом вибрации на магнитострикционном приборе конструкции Н. М. Иванова (2). В наших испытаниях по методу вибрации образцы испытуемых металлов крепились к торцу трубки прибора, колебавшейся с частотой 8000 гц и с амплитудой  $\sim 0,09$  мм. Образцы погружались в воду на глубину 6 мм. Температура воды во время опытов поддерживалась постоянной, равной  $25^\circ$ . Вес каждого образца выравнивался до 25 г. В качестве пресной воды употреблялась водопроводная кипяченая вода, в качестве морской — синтетическая морская вода следующего состава (в %): NaCl 2,4;  $MgSO_4$  0,212; KCl 0,007;  $CaSO_4$  0,11;  $MgCl_2$  0,3;  $Ca(HCO_3)_2$  0,005. Сопротивление металлов кавитационной эрозии оценивалось по потере веса образцов за 90 мин.

Испытывались: 1) латуни, 2) бронзы и 3) серый чугун. Механические свойства и сопротивление кавитационной эрозии приводятся в табл. 1. Для каждого металла испытывалось по 3—4 образца. В табл. 1 дана средняя потеря веса для нескольких образцов каждого испытанного металла, а на графике  $\Delta G(R_B)$  показана потеря веса каждого из испытанных образцов бронз и латуней (см. рис. 1).

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что твердость бронз и латуней играет существенную роль в их сопротивлении кавитационной эрозии и что химические свойства воды не создают особого различия в сопротивлении этих сплавов кавитационной эрозии. Совершенно иначе влияет состав воды на сопротивление кавитационной эрозии черных металлов, именно, серого чугуна (см. две последних строки табл. 1):

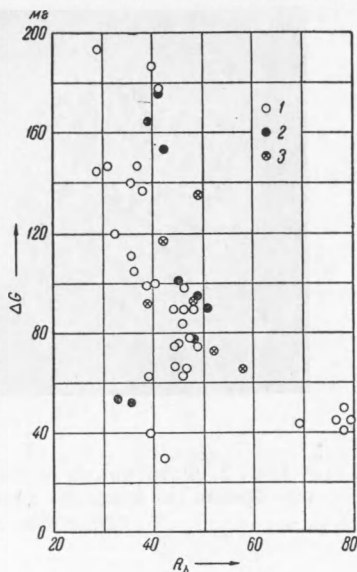


Рис. 1. Потеря веса  $\Delta G$  бронзовых и латунных образцов в пресной и морской воде в зависимости от твердости по Роквеллу: 1 — в морской воде; 2, 3 — в пресной воде (3 показаны в таблице звездочками)

потеря веса образцов чугуна в морской воде почти в 2 раза превышает потерю веса в пресной воде. При сравнении внешнего вида образцов чугуна, испытанных в пресной и морской воде, бросается в глаза большая глубина язв эрозии на образце, испытанном в морской воде (см. рис. 2). Аналогичные результаты для бронз и чугуна были получены также Керром (3), а для алюминия в 3% растворе NaCl Шумбом, Петерсом и Миллигеном (4).

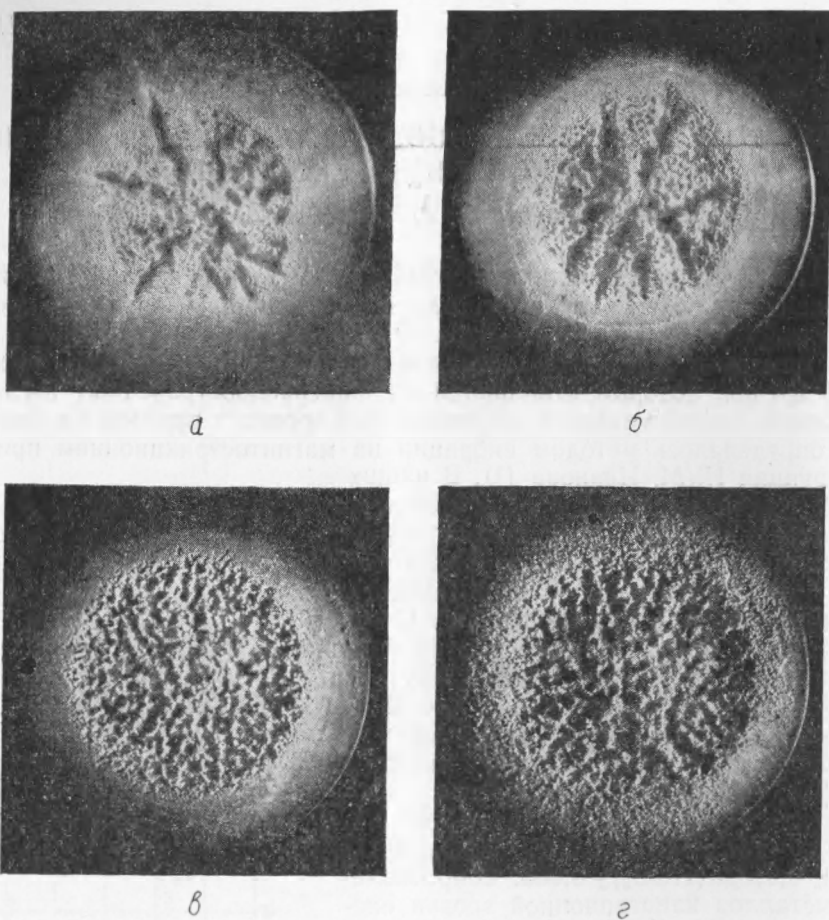


Рис. 2. Фотоснимки эрозии образцов, испытанных методом вибрации: а — бронза в пресной воде, б — бронза в морской воде, в — чугун в пресной воде, г — чугун в морской воде

Низкое сопротивление кавитационной эрозии чугуна в морской воде по сравнению с пресной находится в явном противоречии с механическими (5-7) и термодинамическими (8) теориями кавитационной эрозии. В соответствии с этими теориями, химический состав воды не имеет значения для возникновения огромной величины местного гидравлического давления и необычно высокой температуры, которые должны развиваться при разрушении кавитационных каверн и являются основной причиной кавитационной эрозии.

Согласно нашей гипотезе, процесс кавитационной эрозии следует различать по стадиям. В начальной стадии кавитационное разрушение поверхности металла должно быть связано с электрохимическими явлениями на границе металл — жидкость и металл — атмосфера кавитационной каверны, т. е. с электродным потенциалом металла и баллоэлек-

трическим потенциалом кавитационной каверны. М. Корнфельд и Л. Суворов <sup>(9)</sup> фотосъемками установили, что кавитационная каверна в вибрационном приборе за период колебания, следовательно, при изменении давления под торцом трубки, не разрушается полностью, а только частично сокращается в своем объеме. Можно предположить, что при максимальном разрежении под торцом трубки каверна состоит частью из газовой области и частью из пузырьчатой, подобно тому, как это наблюдается при развитии кавитации на пластинке <sup>(10)</sup>. Газовая область прилегает к поверхности металла (см. рис. 3 а). При максимальном избыточном давлении каверна состоит из пузырьков, которые могут соприкасаться с поверхностью металла тремя способами <sup>(11)</sup>: 1) через жидкостную пленку постоянной толщины, 2) через жидкостную пленку с «барьером» и 3) с прорывом пленки внутри границы соприкосновения с металлом (рис. 3 б). В нашем вибрационном приборе чередование смоченной поверхности образца со свободной от соприкосновения с жидкостью происходит через 1/16000 сек., что должно обусловить появление на границе металл — жидкость мгновенных электродных потенциалов <sup>(12)</sup>.

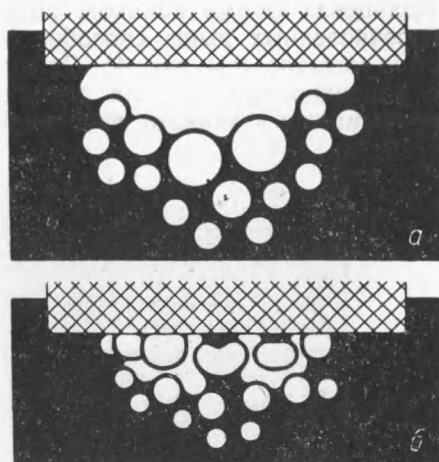


Рис. 3. Схема структуры кавитационной каверны на торце никелевой трубки вибратора: а — в момент максимального разрежения, б — в момент максимального избыточного давления

Таблица 1

Механические свойства и сопротивляемость кавитационной эрозии

$\sigma_a$ кг·мм <sup>-2</sup>	$\sigma_T$ кг·мм <sup>-2</sup>	$i$ 10%	$H_B$	$R_B$	Средн. потеря веса в мг	Род жидкости
59,2—59,6	21,3—22,8	19,9—21,9	125	78,3	45,3	Синт. морск. вода
58,3—59,0	20,2—20,3	20,1—25,4	138	72,8	44,5	» » »
21,4—23,5	11,7—12,4	11,2—16,8	60	30,2	151,5	» » »
22,8—24,5	11,6—11,8	22,8—24,5	57	36,8	138,5	» » »
20,0—23,4	—	10,0—17,7	70	39,5	171,0	» » »
20,0—23,4	—	10,0—17,7	70	40,8	165,0	Водопр. кип. вода
—	—	—	—	43,6	87,2	Синт. морск. вода
16,6—19,3	7,8—9,9	15,5—20,0	49	36,8	105,0	» » »
21,0—23,0	8,3—9,1	17,7—22,0	49	34,2	53,5	Водопр. кип. вода
20,3—21,7	8,0	21,8—26,4	59	47,0	81,4	Синт. морск. вода
—	—	—	—	47,2	94,7	» » »
—	—	—	—	48,1	91,0	Водопр. кип. вода
20,2	—	11,0	82	45,8	77,3	Синт. морск. вода
16,0	—	15,0	95	41,3	50,0	» » »
*	—	—	81	53	91	Водопр. кип. вода
*	—	—	81	43	100,7	» » »
—	—	—	—	—	137,3	» » »
—	—	—	—	—	254,6	Синт. морск. вода

По данным теории электрохимической коррозии <sup>(12)</sup>, мгновенные электродные потенциалы способны вызвать коррозию в сотни и тысячи раз более интенсивную, чем при постоянном соприкосновении металла с электролитом.

Первичные следы эрозии должны отражать способ соприкосновения металла с кавитационной каверной. Действительно, внимательное обслед-

дование поверхности, подвергающейся кавитационной эрозии, обнаруживает своеобразную форму первичных язвенок эрозии на поверхности металла. Именно, наряду с язвёнками круглой в плане формы, как это наблюдали другие авторы<sup>(13)</sup>, нами были обнаружены язвёнки в форме кольцевых канавок, изолированных или соприкасающихся друг с другом. Кольцевая форма канавок, по всей вероятности, отвечает третьему из перечисленных выше способов соприкосновения пузырьков с поверхностью металла (см. рис. 4). От многократного соприкосновения пузырьков с поверхностью металла различными способами поверхность металла покрывается язвёнками неправильной формы.

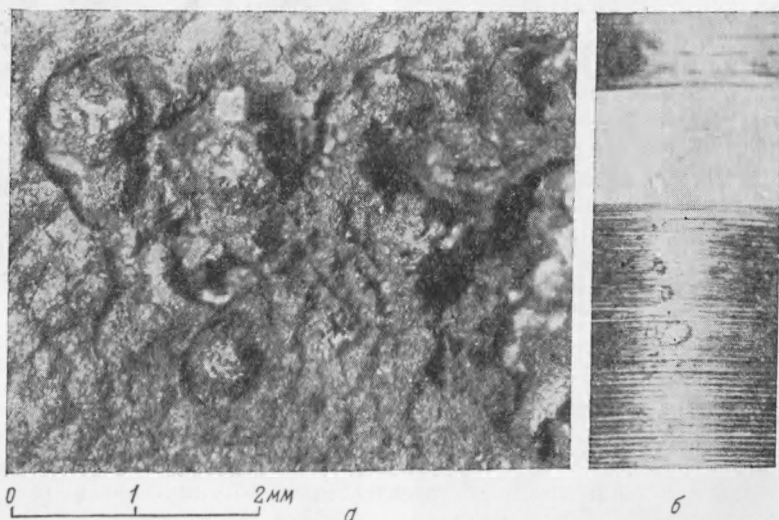


Рис. 4. Форма язвенок кавитационной эрозии в плане: *a* — на образце свинца, испытанного проточной кавитацией за круглым профилем<sup>(2)</sup>; *b* — на бронзовой втулке насоса, обнаруженные в опытах А. М. Васильева (ВИГМ)

Периодическое смачивание поверхности образца происходит не только за счет оседания на ней пузырьков, но также вследствие радиального поджатия кавитационной каверны. Граница жидкости и газовой области каверны периодически перемещается по поверхности образца то ближе к центру, то наружу, по площади кольца, создавая тем самым благоприятные условия для возникновения мгновенных электродных потенциалов и условия интенсивного разрушения металла на этом участке поверхности образца. Приведенные соображения находят свое подтверждение в форме профиля разрушенной поверхности в осевом сечении тела некоторых образцов. Наибольшая глубина разъедания в таких образцах обычно наблюдается вблизи наружной границы участка эрозии и имеет в плане форму кольца (рис. 2 *в, г*). Центральная часть участка эрозии и его наружная граница разрушаются в меньшей степени.

Поступило  
27 XI 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> К. К. Шальнев, ДАН, 91, № 5 (1953). <sup>2</sup> Н. М. Иванов, Тр. ВИГМ, в. 11 (1940). <sup>3</sup> L. Kegg, Trans. ASME, 59, No. 5 (1937). <sup>4</sup> W. S. Schumb, H. Peters, L. N. Milligan, Metals and Alloys, 8, No. 5 (1937). <sup>5</sup> O. M. Rayleigh, Phil. Mag., 34, No. 200, 94 (1917). <sup>6</sup> C. A. Parsons, S. S. Cook, Engineering, 107, 515 (1919). <sup>7</sup> P. Hasmik, J. Appl. Mech., 14, No. 12 (1947). <sup>8</sup> J. Ackeret, Techn. Mech. u. Thermod., 1, No. 1, 2 (1930). <sup>9</sup> M. Kornfeld, L. Suvorov, J. of Phys., 8, No. 3 (1944). <sup>10</sup> К. К. Шальнев, ДАН, 94, № 5 (1953). <sup>11</sup> В. Дерягин, М. Кусаков, Изв. АН СССР, сер. хим., № 5 (1937). <sup>12</sup> Г. В. Акимов, Теория и методы исследования металлов, 1945. <sup>13</sup> Н. Schröter, VDI, 77, No. 32 (1933). <sup>14</sup> К. К. Шальнев, Инж. сборн., 12 (1952).