

К. К. ШАЛЬНЕВ, И. А. ШАЛОБАСОВ, А. П. ФРОЛОВ

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЗОНУ КАВИТАЦИИ
ЗА КРУГЛЫМ ЦИЛИНДРОМ

(Представлено академиком П. Я. Кочиной 4 XI 1969)

Для оценки степени влияния внешнего магнитного поля на развитие зоны кавитации и кавитационной эрозии при протекании жидкости через мощное магнитное поле нет достаточно достоверных исследований, которые связывали бы электрические характеристики кавитации с ее гидромеханическими. Наличие электрических явлений при этом доказывается искрообразованием, излучением электрических и электромагнитных волн (1-4). Было высказано предположение, что в основе этих явлений лежит электрический заряд кавитационного пузырька (1, 5).

Ниже приводятся результаты исследований, проведенных в Институте проблем механики АН СССР, по обнаружению электрического заряда кавитационных пузырьков в области срывной гидродинамической кавитации за цилиндром. Описание установки давалось в работе (6). Принципиальная схема эксперимента дана на рис. 1.

Идея опыта заключалась в следующем: если на поток кавитационных пузырьков, срывающихся с образующих цилиндра (рис. 1) и движущихся преимущественно в направлении оси x , наложить магнитное поле, вектор индукции которого B_z направлен параллельно оси цилиндра z , то под действием поля электрически заряженный пузырек должен изменить траекторию своего движения. По правилу Ленца смещение заряженного пузырька должно происходить вдоль оси y .

Конструкции рабочей камеры и магнитной системы, создающей равномерное и постоянное магнитное поле в зоне кавитации, не позволяли визуально фиксировать предполагаемые смещения. Поэтому взамен непосредственных измерений зоны кавитации измерялись габариты участка

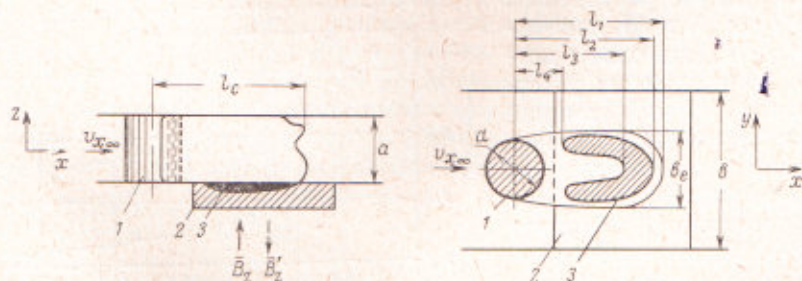


Рис. 1. Схема опытов. 1 — модель, круглый цилиндр; 2 — образец; 3 — зона эрозии

эрозии, почти полностью совпадающие с габаритами зоны кавитации при некоторых исследовавшихся стадиях ее развития. Это обстоятельство позволило по изменениям зоны эрозии судить о влиянии поля на траекторию кавитационных пузырьков.

Опыты проводились в рабочей камере $a \times b = 6 \times 25 \text{ мм}^2$ с цилиндром $d = 6 \text{ мм}$ при скорости потока перед моделью $v = 20 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$, давлении на границе свободной поверхности воды в кавитационной трубе $p = 4,5 \text{ атм.}$ и при стадии кавитации $\lambda = l_c/d = 3$, l_c — длина зоны кавита-

ции (7). В целях ускорения опытов использовались свинцовые образцы. Участки эрозии на образцах фотографировались в масштабе 3X. По фотоснимкам определялись геометрические параметры участка эрозии (рис. 1):

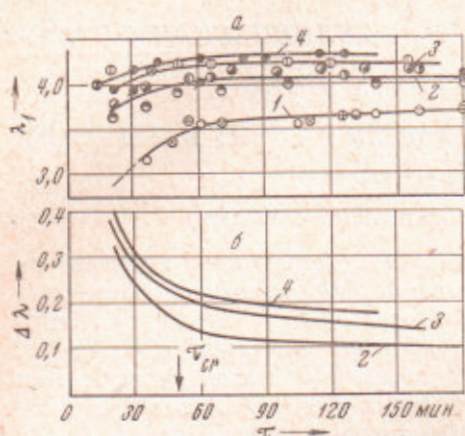


Рис. 2. а — длина зоны кавитации λ в отсутствие магнитного поля (1) и при наличии магнитного поля $B = 0,4$ тл (2), $0,55$ тл (3), $0,7$ тл (4). б — увеличение длины зоны кавитации $\Delta\lambda$ под влиянием магнитного поля

b_1 — максимальная ширина участка эрозии в отсутствие магнитного поля и b_m — при его наличии.

Участок эрозии, судя по визуальным наблюдениям и по фотоснимкам, в начале опыта имеет вид «наклепанной» поверхности. Переход от инкубационного периода к периоду возрастающей эрозии характеризуется критической точкой на зависимости потери веса образца на эрозию $\Delta G(\tau)$.

Рассмотрение результатов опытов (рис. 2 и 3) показывает, что под влиянием магнитного поля размеры участка эрозии увеличиваются как по ширине, так и по длине в зависимости от силы поля. Так, в критической точке при τ_{cr} это увеличение достигает $\Delta\lambda = 5 - 25\%$ и $\Delta\beta = 20 - 38\%$. При дальнейшем увеличении продолжительности опыта рост габаритов участка эрозии незначителен.

Теоретические расчеты и экспериментальные исследования по измерению интегральной электропроводности в зоне кавитации (8) и локальной электропроводности в различных точках кавитационной каверны показали, что в условиях рассматриваемого эксперимента не может быть эффекта магнитогидродинамического взаимодейст-

в свинцовые образцы. Участки эрозии на образцах фотографировались в масштабе 3X. По фотоснимкам определялись геометрические параметры участка эрозии (рис. 1): длина участка наклепа l_1 , длина участка максимальной эрозии l_2 , расстояние до внутреннего конца участка эрозии l_3 , расстояние до ближнего к цилиндру следов эрозии l_4 , ширина b_e и площадь участка эрозии f . Гидромеханические параметры опытов сохранялись тождественными как в отсутствие магнитного поля, так и при его наличии. Величина индукции поля изменялась в пределах $B = 0,3 \div 0,7$ тл.

Результаты опытов представлены в виде графических зависимостей. На рис. 2 — в виде $\lambda_1(\tau)$, где $\lambda_1 = l_1/d$, при величине индукции магнитного поля $B = 0$ и при трех значениях $B = 0,4; 0,55$ и $0,7$ тл и в виде зависимости $\Delta\lambda(\tau)$, где $\Delta\lambda = (\lambda_m - \lambda_1)/\lambda_1$, λ_1 — в отсутствие магнитного поля и λ_m — при его наличии. На рис. 3 — в виде зависимости $\beta(\tau)$ и $\Delta\beta(\tau)$, где $\beta = b_1/d, b_m/d$, а $\Delta\beta = (\beta_m - \beta_1)/\beta_1$,

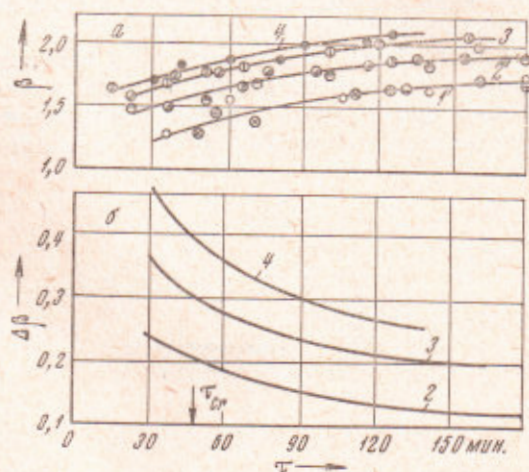


Рис. 3. а — ширина зоны кавитации β в отсутствие магнитного поля (1) и при наличии магнитного поля $B = 0,4$ тл (2), $0,55$ тл (3), $0,7$ тл (4). б — увеличение ширины зоны кавитации $\Delta\beta$ под влиянием магнитного поля

вия, так как безразмерный критерий — число Стюарта N на 7 порядков меньше критического ⁽⁹⁾.

Удовлетворительное объяснение обнаруженного эффекта изменения геометрических характеристик участка кавитационной эрозии можно дать, если принять, что на границе раздела фаз жидкость — кавитационные пузырьки или их скопления — каверн находится электрический заряд q . Указанный заряд может возникнуть вследствие адсорбции гидрофобных ионов на границе раздела фаз ^(10, 5). Так как реверсирование направления магнитного поля не приводило к изменениям геометрических параметров зоны эрозии, то резонно предположить, что знак заряда кавитационного пузырька произволен.

Под действием поля часть пузырьков выносятся в области стационарного течения, где давление больше давления насыщенных паров, и там захлопывается, что приводит к расширению участка эрозии. Лоренцова сила F , отклоняющая заряженный пузырек от первоначальной траектории, перпендикулярна вектору первоначальной скорости каверны v_c и вектору индукции, что следует из уравнения Лоренца ⁽¹¹⁾

$$F = q[v_c \times B]. \quad (1)$$

Результирующая скорость движения пузырька в магнитном поле будет векторной суммой скорости первоначального движения v_c и скорости, приобретенной под действием поля, v_m . В конце кильватерного участка течения за цилиндром (принимается схема движения с возвратной струей) результирующая скорость будет параллельна оси x . Этим объясняется удлинение зоны эрозии под действием поля.

Так как в уравнение (1) входит величина индукции магнитного поля, то ясно, что с ее увеличением сила воздействия на пузырьки возрастает, что приведет к усилению интенсивности рассматриваемых эффектов на габариты участка эрозии.

На основе опытных данных, применяя уравнение Лоренца, была вычислена ориентировочная величина заряда кавитационного пузырька при его начальном радиусе $R_0 = 10^{-4}$ м. Она оказалась равной $q = 8,5 \cdot 10^{-11}$ а·сек, что согласуется с величиной, рассчитанной в работе ⁽⁵⁾.

Выводы

1. Обнаруженное в опытах значительное влияние внешнего магнитного поля на геометрические размеры участка кавитационной эрозии в зоне кавитации за круглым цилиндром доказывает, что действительно в зоне кавитации за круглым цилиндром имеются электрические заряды.

2. Полученные в опытах данные оказались достаточными, чтобы по ним вычислить заряд единичного кавитационного пузырька.

Институт проблем механики
Академии наук СССР
Москва

Поступило
30 X 1969

Московский энергетический институт

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Я. И. Френкель, ЖФХ, 14, № 3 (1940). ² В. А. Константинов, Изв. АН СССР, ОТН, № 6 (1947). ³ В. И. Скоробогатов, Применение ультразвуки к исследованию вещества, в. X, М., 1960. ⁴ E. Yeager, J. Booker, F. Novotka, Proc. Phys. Soc. London, 73, Part 4, № 472 (1959). ⁵ В. А. Акуличев, Акуст. журн. 12, № 2 (1966). ⁶ И. А. Шалобасов, К. К. Шальнев, Докл. по итогам н.-и. работ за 1968—1969 гг., Моск. энергетич. инст., 1969. ⁷ К. К. Шальнев, Изв. АН СССР, ОТН, № 1 (1958). ⁸ И. А. Шалобасов, Докл. V Межвузовск. конф. по физ. и матем. моделированию, Моск. энергетич. инст., 1968. ⁹ Дж. Шерклиф, Теория электромагнитного измерения расхода, М., 1965. ¹⁰ T. Alty, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, 106 (1924). ¹¹ Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, Фейнмановские лекции по физике, в. 5, М., 1966.