

К. К. ШАЛЬНЕВ

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛЕВЫХ СТРУЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 7 VI 1953)

Ослабляющее действие щелевых струй на интенсивность кавитационной эрозии было случайно обнаружено в опытах с эрозией от кавитации, возникающей за моделью плохо обтекаемого профиля в рабочей камере гидродинамической трубы (1). В упомянутых опытах щель в 0,3 мм образовалась от неплотного прилегания модели к двум боковым стенкам рабочей камеры, между которыми она должна быть плотно зажата.

До последнего времени влияние щелевых струй на интенсивность кавитационной эрозии не исследовалось. Между тем, вопрос о защитном от эрозии свойстве щелевых струй имеет существенное значение для объяснения кавитационных повреждений стенок камер рабочих колес осевых турбин и насосов. Широко распространенное объяснение кавитационных повреждений стенок камер приписывает причину кавитационных повреждений действию кавитаций, образующихся на лопастях рабочих колес гидромашин (2). Такое объяснение противоречит приведенным выше данным наблюдений, так как величина зазора между лопастями и стенками камеры в крупных гидромашинах достигает 2—10 мм, — величин, казалось бы, достаточных для защитного эффекта щелевых струй.

С целью проверки защитного от эрозии действия щелевых струй в Институте механики АН СССР были поставлены опыты с эрозией от кавитации, возникающей за моделью круглого профиля. Модель диаметром 6 мм испытывалась в гидродинамической трубе, в рабочей камере сечением 20×7 мм. Модель располагалась между двумя вертикальными плексигласными стенками. К одной стенке крепились пластинки свинца — образцы, служившие индикаторами интенсивности эрозии (рис. 1). В продолжение опытов скорость потока в рабочей камере $v = 13,3$ м·сек⁻¹ и стадия развития кавитации (рис. 2) поддерживались постоянными регулированием давления в уравнивательной башенке гидродинамической трубы. Интенсивность эрозии оценивалась визуально по размеру площади повреждения в глубине каверн.

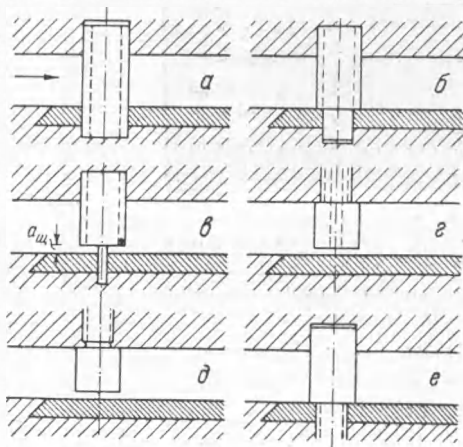


Рис. 1. Схемы устройства опытов с эрозией от кавитации за круглым профилем

№№ опытов	Схема на рис. 1	$a_{ш}$ в мм	τ_0 в час.	τ в час.	Фото эрозии на рис. 3	f в мм ²	Характеристика эрозии	Шум кавитации
1	<i>a</i>	—	11	37	<i>a</i>	22	Односторонняя, слабо интенсивная	Большой силы
2	<i>б</i>	—	—	37	<i>б</i>	68	Двусторонняя, интенсивная	" "
3	<i>в</i>	0,1	14	37	<i>в</i>	55	Двусторонняя, симметричная, интенсивная	" "
4	<i>в</i>	0,3	—	18	<i>г</i>	64	Двусторонняя, не симметричная, интенсивная	Средней силы
5	<i>г</i>	0,3	20	25	<i>д</i>	70	Двусторонняя, симметричная, интенсивная	Большой силы
7	<i>г</i>	1,0	—	31	—	—	Эрозии нет	Слабый
8	<i>г</i>	0,5	—	32	<i>е</i>	—	"	Средней силы
9	<i>д</i>	0,1	12	13	<i>ж</i>	32	Двусторонняя, интенсивная	" "
10	<i>д</i>	0,5	—	38	—	—	Эрозии нет	" "
11	<i>е</i>	—	8—11	37	<i>з</i>	66	Двусторонняя, интенсивная	Большой силы

Данные об устройстве опытов и результаты опытов приведены в табл. 1 и на рис. 3. В табл. 1 обозначено: $a_{ш}$ — высота щелей, τ_0 — срок появления первых каверн эрозии, обнаруживаемых невооруженным глазом, τ — полная продолжительность опыта, f — площадь эрозии.

Опыт № 1. Конструкция модели состоит из стального стержня (сталь 3) и надетой на него трубочки из нержавеющей стали. Имеется основание предполагать, что односторонняя эрозия явилась следствием протекания через кольцевой зазор у верхней стороны трубочки.



Рис. 2. Зарисовка внешнего вида кавитации, при которой происходили опыты с эрозией

Опыт № 2. Конструкция модели та же, что и в опыте № 1, но в данном устройстве опыта было достигнуто более плотное прилегание трубочки к образцу и стенке камеры.

Опыты №№ 3 и 4. Конструкция моделей та же, что и в опыте № 1, но между моделью и образцом имеется щель, которую пересекает опорный стерженек модели диаметром 1 мм. Опыт № 4 был прекращен ранее нормального срока, так как было обнаружено засорение щели мельчайшими волокнами, плавающими в воде гидродинамической трубы.

Опыт № 5. Модель профиля изготовлена в виде плотного стержня из нержавеющей стали с каналом по оси модели для периодической очистки щели продувкой воздуха. На время продувок щели опыт прекращался. Образец не подвергался эрозии в течение 20 час. Затем прочистка щели перестала быть эффективной; после опыта в щели был отмечен мусор, состоящий из волокон и частичек окиси железа.

Опыты №№ 7 и 8. Модель такой же конструкции, что и в опыте № 5, но изготовлена из латуни. По окончании опыта мусора в щели не было найдено.

Опыты №№ 9 и 10. Модель профиля представляет сплошной латунный стержень. Несмотря на отсутствие прочистки щели, она мусором не засорялась.

Опыт № 11. Модель профиля изготовлена из целого латунного стержня, плотно зажато между стенкой и образцом.

Рассмотрим влияние щеловых струй на форму и местоположение эро-

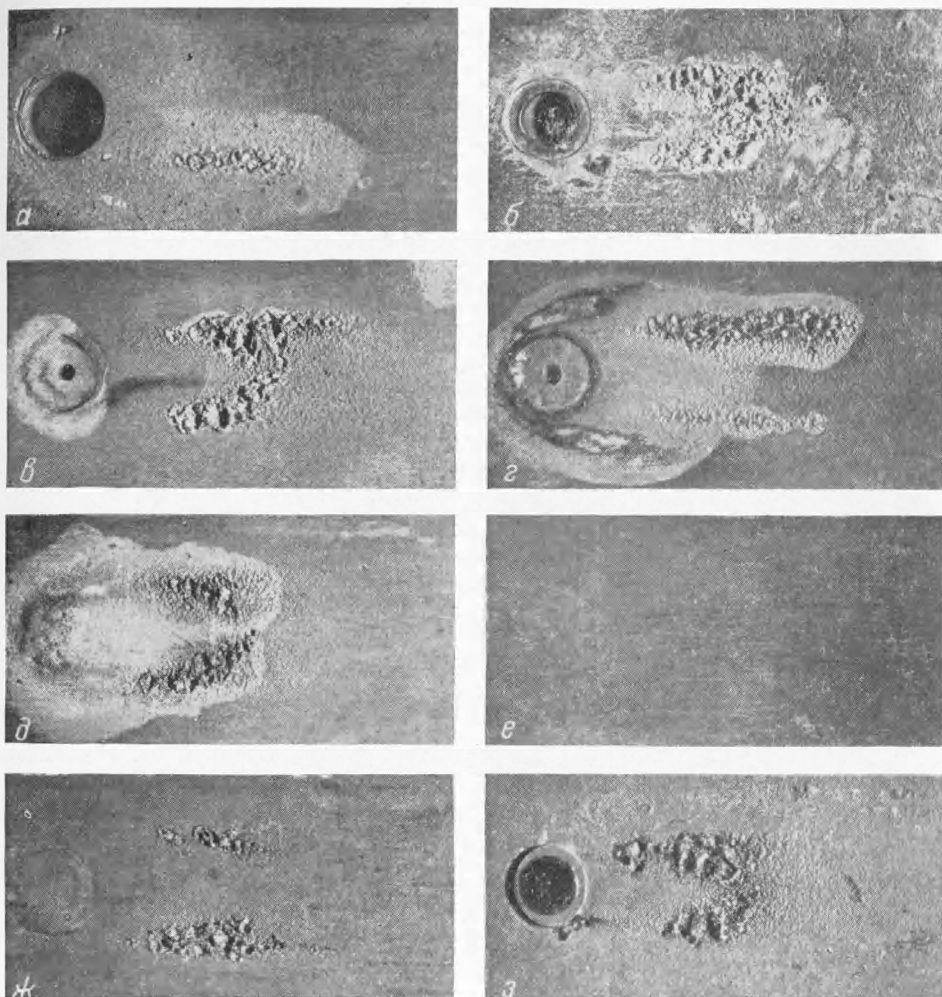


Рис. 3. Фотоснимки кавитационной эрозии от кавитации за круглым профилем при различных устройствах опыта

зии на испытанных образцах свинца. В случае плотного прилегания модели к боковым стенкам камеры или в случае полного засорения щели каверны эрозии располагаются симметрично относительно продольной оси камеры. Каверны эрозии группируются в два больших пятна хвостобразной формы, тянущихся справа и слева от модели, расширяясь в направлении течения, и в два маленьких пятнышка, расположенных вблизи стенок модели в диаметрально противоположных точках, под углом в 90° к оси потока (рис. 3 б, д, з).

Влияние щелевых струй на пятна эрозии сказывается в том, что в незасоренных щелях при высоте щелей $a_n \geq 0,5$ мм эрозия не возникает совсем за тот срок опыта, за который в отсутствие щелей разрушения от эрозии значительны (рис. 3 е). Когда щель частично засорена, то симметрия в расположении пятен эрозии нарушается, пятнышки эрозии у стенок модели не возникают. Хвостобразные пятна эрозии тянутся тогда по краям участка эрозии и не соединяются своими концами на средней оси течения за моделью (рис. 3 а, г, ж).

Визуальные наблюдения области кавитации при различных устройствах опытов не обнаруживают каких-либо заметных изменений ее формы и структуры. Однако приближенная субъективная оценка шума кавитации говорит нам о том, что сила ударов, возникающая при срыве кавитационных каверн, под влиянием щелевых струй значительно ослабевает.

То обстоятельство, что щелевые струи не оказывают влияния на форму и структуру области кавитации, в то время как процесс эрозии прекращается, показывает, что в поперечных сечениях щелевых струй имеется большой градиент давления (3). Поверхность струи, соприкасающаяся с областью кавитации, следовательно, поверхность низкого давления, удерживает на себе один конец кавитирующих вихрей, из которых состоит область кавитации в данной стадии. В то же время повышенное давление на другой поверхности, противоположной первой и пограничной твердой стенке камеры, предохраняет стенку от соприкосновения с ней области кавитации и от эрозии. Как в наших опытах со струями толщиной 0,5—1,0 мм, так и в других опытах (4) с эрозией от кавитации за круглым цилиндром полубесконечного размаха, в которых толщина струи достигала 10—12 мм, струя, предохраняя одну стенку камеры от эрозии, не препятствовала развитию срывной кавитации (5) на цилиндре и ее разрушительному действию на противоположную стенку рабочей камеры.

В ы в о д ы. 1. Щелевая струя, протекающая через зазор между стенкой канала и торцом модели под влиянием разности давлений на передней и задней сторонах модели, может служить средством гидравлической защиты от эрозийного действия кавитаций, возникающих на модели.

2. Защитное от эрозии действие щелевой струи проявляется при условии, что щель не засоряется, и ее высота равна $1/20$ — $1/15$ толщины кавитационного слоя.

3. Встречающиеся в практике кавитационные повреждения стенок камер рабочих колес осевых турбин и насосов не могут быть объясняемы непосредственным действием кавитаций, развивающихся на лопастях рабочих колес. Согласно результатам данного исследования, щелевая струя через зазор между лопастями и стенкой камеры должна предохранять стенки камеры от эрозийного действия кавитаций, развивающихся на лопастях гидромашин.

Институт механики
Академии наук СССР

Поступило
15 V 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Schröter, VDI, 78, № 11, 349 (1934). ² А. I. Stepanoff, Centrifugal and Axial Flow Pumps, 1948. ³ К. К. Шальнев, Инж. сборн., 8 (1948). ⁴ P. de Haller, Escher Wyss Mitteil., 4, 77 (1933). ⁵ К. К. Шальнев, ДАН, 61, № 6 (1948).