

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННЫХ КЛАСТЕРОВ НА ЭРОЗИЮ МАТЕРИАЛОВ**

**Калачев Ю.Н., Кузнецов С.Ю., Фатюхин Д.С.**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)*

*г. Москва, Россия, E-mail: mitriy@newmail.ru*

Наиболее востребованными технологиями, основанными на передаче ультразвуковых колебаний в жидкие среды, являются: очистка и обезжиривание, интенсификация гальванических и химических процессов, приготовление эмульсий и суспензий, пропитка пористых сред, экстрагирование.

В технологических процессах ультразвуковой жидкостной обработки, основным механизмом воздействия является кавитация. В результате схлопывания кавитационных полостей возникают ударные волны, кумулятивные струйки и высокоскоростные микротечения. Эффекты, создаваемые одиночными пузырьком, ничтожно малы, но при высокой частоте повторения приводят к значительным результатам.

Изучение процессов, основанных на использовании кавитации, требует чёткого определения феноменов, возникающих в жидкости при высокочастотном колебательном воздействии на неё. Как правило, основным объектом исследования является характер поведения одиночной паргазовой полости (пузырька).

Кавитация возникает при колебании пузырьков, радиусы которых находятся в широком интервале значений от  $R_{кр}$  до  $R_{рез}$ . Резонансными размерами пузырьков являются такие размеры, которые соответствуют частоте приложенной звуковой волны. Пузырьки, размеры которых меньше  $R_{кр}$ , в ультразвуковой кавитации (при заданном статическом давлении  $P_{ст}$ ) участвовать не будут. Если радиус пузырька больше резонансного, захлопывания не произойдет и пузырек будет пульсировать в поле со сложным изменением своей формы.

Таким образом, по характеру производимого действия и по длительности существования в звуковом поле основными кавитационными образованиями принято считать захлопывающиеся и пульсирующие пузырьки.

Существование изолированного пузырька маловероятно. Большинство исследователей сходятся во мнении, что мощное ультразвуковое излучение вызывает образование множества пузырьков, взаимодействующих между собой. Скопление пузырьков принято называть кавитационной областью [1, 2].

Кроме того в кавитационной области исследователи [1, 2] выделяют цепочечные кавитационные образования, называемые тяжами. Кавитационные тяжи обычно образуются у боковой поверхности излучателя, а также в зонах образования стоячих волн.

Исследования, проведённые с помощью скоростной видеокамеры, позволили выявить ряд закономерностей, характерных для поведения кавитационных образований. Съёмки проводились в интервале скоростей 0,5 ... 100 тыс. кадров в секунду при частоте колебаний излучателя 22 кГц.

Полученные видеоматериалы показывают, что больший объём кавитационной области занимают не одиночные пузырьки, а их конгломераты, размеры которых составляют в среднем 200 ... 600 мкм, при этом размеры пузырьков значительно меньше – до 50 мкм.

Таким образом, для описания явлений, происходящих в области действия акустической кавитации, сформулируем понятие кавитационного кластера. Согласно наиболее распространённым определениям, кластеры (от англ., cluster, букв. – пучок, рой, скопление), группы близко расположенных, тесно связанных друг с другом атомов, молекул, ионов, иногда ультрадисперсных частиц [3]. По отношению к кавитационным образованиям наиболее подходит определение кластера [4]: объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определёнными свойствами.

Наблюдение динамики кавитационных кластеров показало, что пульсирующий и поступательно перемещающийся в озвучиваемом объеме кластер существует в течение достаточно продолжительного промежутка времени, соответствующего 10 ... 100 тыс. колебаний источника ультразвука.

Необходимо отметить, что размер кластера на протяжении всего его существования изменяется незначительно. При движении кластера часть пузырьков рассеивается за счёт их захлопывания, а другая часть отделяется под действием сопротивления жидкости. В тоже время происходит поглощение кластером других близкорасположенных пузырьков и кластеров, что приводит к пополнению его объема.

Исследование воздействия различных кавитационных образований на обрабатываемую среду выявило значительную роль динамики кластеров в процессах кавитационной эрозии поверхностей.

На кадрах кинограммы, полученной со скоростью в 2 раза превышающей скорость колебаний кавитационного кластера у твердой поверхности, наблюдается замыкание кластера внутрь, аналогичные модели схлопывания пузырька. При этом заметного ударного воздействия не происходит. Кроме колебательных движений кластер совершает поступательные перемещения со скоростью (по кинограмме)  $1,4 \cdot 10^{-2}$  ...  $1,5 \cdot 10^{-2}$  м/с.

Исследование воздействия кластеров на тест-образцы из алюминиевой фольги позволили определить стадии и характер разрушения образца. После включения колебательной системы в течение 40 ... 50 колебаний излучателя образуются пузырьковые кластеры, которые начинают пульсировать и совершать сложные поступательные и вращательные движения. В тоже время наблюдается и образование каверн на фольге.

Величина кластера достигает критического размера вследствие коагуляции большого количества кавитационных зародышей. При касании поверхности фольги кластер диаметром 0,5 мм деформирует её и образует лунку диаметром 0,1 мм. Удерживаясь в образовавшейся лунке, кластер осуществляет сложные движения, что влечет за собой увеличение размеров лунки. Необходимо отметить, что увеличение лунки происходит по спиральной линии, очевидно, вследствие вращения кластера. Под действием растягивающих напряжений и циклических знакопеременных нагрузок происходит усталостное разрушение фольги. Образуется сквозная трещина. Трещина растет под действием пульсаций кластера и гидродинамических потоков. Фольга начинает рваться.

По аналогичной методике проводились и исследования кавитационной эрозии поверхности стальных цилиндров, которые выявили схожую динамику деформации и разрушения поверхности.

Полученные результаты позволяют оптимизировать технологические процессы, осуществляемые при воздействии ультразвука на жидкие среды. Так, например, на основании проведенных исследований удалось установить оптимальную скважность при импульсно-модулированном режиме ультразвуковой очистки, обеспечивающем повышение технологического эффекта и эффективность использования акустической мощности.

#### **Список литературы:**

1. Основы физики и техники ультразвука: Учеб. пособие для вузов / Б. А. Агранат, М. Н. Дубровин, Н. Н. Хавский и др.— М.: Высш. шк., 1987. —352 с. ил.
2. Розенберг, Л.Д. Физика и техника мощного ультразвука. Мощные ультразвуковые поля / Л.Д. Розенберг; под. ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. – 688 с.
3. Кластеры [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/> Кластеры, свободный. © Wikimedia Foundation, Inc., 2014.
4. Губин, С. П., Химия кластеров. Основы классификации и строение / С. П. Губин. – М.: Физический факультет МГУ, 1987. – 86 с.