

ОПТИМИЗАЦИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВАННАХ ОЧИСТКИ

(Представлено академиком А.П. Достанко)

¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск*

²*РУП “Оптическое станкостроение и вакуумная техника”, Минск*

Введение. Развитие технологии ультразвуковой очистки и обезжиривания поверхностей изделий за последние десятилетия показало, что наиболее производительным является групповой способ обработки мелких изделий, уложенных в кассеты или корзины, в ультразвуковых ваннах [1]. Для обеспечения высокого качества изделий необходимо обеспечить равномерность распределения интенсивности кавитационных полей в объеме жидкости.

Для оценки интенсивности кавитации в жидких средах используют методы, основанные на сравнении параметров образцов до и после воздействия на них кавитации [2]; регистрации температурных полей [2] или специальной обработке возникающих акустических сигналов в зоне обработки [3].

С помощью тестовых образцов, закрепляя их в определенном месте рабочего объема и сохраняя время выдержки постоянным, можно количественно исследовать зависимость эрозии от свойств жидкости и параметров ультразвукового поля, однако ошибка в данном случае составляет до 25 %. Малая точность метода объясняется неоднородностью кавитационной области, изменением ее расположения в ходе эксперимента и другими случайными факторами.

Исследование эрозионной активности кавитационной области значительно облегчается, если в качестве образца использовать тонкую алюминиевую фольгу толщиной 0,05 мм. Эрозионную активность оценивают по степени разрушения фольги, помещаемой в рабочую камеру параллельно поверхности излучателя на расстоянии 5 – 10 мм до излучателя. После испытаний фольгу высушивают на воздухе и определяют площадь разрушений емкостным методом [2]. Недостатки метода заключаются в длительности измерений и в отсутствии непрерывного контроля за процессом кавитации.

Кавитационное поле в жидкостях имеет сложный спектральный состав, поскольку в случайные моменты времени возникает и захлопывается множество пузырьков и вызванное ими акустическое излучение проявляется в виде широкополосного шума со спектром в полосе от нескольких сотен Гц до сотен кГц. На фоне сплошного спектра кавитационного шума наблюдаются отдельные дискретные субгармонические компоненты, отражающие частотный спектр поля, что является характерным признаком кавитации и используется для экспериментальной регистрации ее возникновения [4].

Спектральный анализ формы сигналов путем разложения в ряд Фурье [5] позволил выделить спектральные линии, соответствующие основной частоте воздействия, ее гармоникам $n f_0$ ($n = 1, 2, 3$), субгармоникам $n f_0/2$, $n f_0/3$, $n f_0/4$ и ультрагармоникам колебаний полости. Акустическое давление обнаруживается в виде коротких импульсов, излучаемых при минимальных радиусах периодического движения; при этом их спектр является непрерывной функцией.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \quad (1)$$

Помимо основной частоты и гармоник высоких частот $n f_0$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) в спектре содержатся серии субгармоник $n f_0/2$, $n f_0/3$, $n f_0/4$ и во всем диапазоне имеет место сплошной «белый» шум, генерируемый кавитационными пузырьками различных резонансных размеров.

Экспериментальная часть. Для спектрального исследования кавитационного шума в диапазоне 20 кГц–50 МГц использован анализатор спектра С4-54. В кавитационную область жидкости в УЗ ванне погружался волноводный датчик, сигнал с которого усиливался и подавался на анализатор (рис.1). Основная частота колебаний преобразователя контролировалась частотомером ЧЗ-34.

Анализ спектрограмм показывает, что максимальный прирост в кавитационном спектре при увеличении излучаемой мощности дает сплошной шум, а также субгармоники. Наибольшая спектральная плотность кавитационного шума находится в полосе частот от 20-й до 40-й гармоники основной частоты ультразвукового преобразователя (рис. 2) [5].

Для оценки интенсивности кавитационного давления в жидких средах предложено измерять квадратическую величину уровня шумов в диапазоне его наибольшей спектральной плотности с помощью кавитометра [6], состоящего из датчика, полосового фильтра, квадратичного детектора и регистрирующего прибора. Показания прибора имеют линейную зависимость от активной мощности в диапазоне 0 – 2 кВт.

Кавитометр (рис.3) измеряет кавитационные давления от 5 до $5 \cdot 10^4$ Па в диапазоне частот 18 – 60 кГц с точностью ± 10 %. Давление в кавитационной области воспринимается плоским диском (1) размером 1 см^2 , соединенным упругим волноводом (2) с пьезоэлектрическим преобразователем (3). Электрический сигнал с преобразователя поступает на усилитель (4), расположенный в корпусе датчика и служащий для согласования высокоомной цепи преобразователя с входом измерительного прибора. Атенюатор (5) на входе измерительного прибора, ослабляет входной сигнал с датчика при большой мощности УЗ. Полосовой фильтр (6), выполненный по схеме Чебышева третьего порядка с полосой пропускания 100 – 400 кГц, выделяет часть спектра сигнала, характерную для кавитационных импульсов. Далее сигнал через усилитель (7), среднеквадратичный детектор (8), усилитель постоянного тока (9) и подается на стрелочный прибор. Источник (10) питает измерительный прибор и датчик. Показания прибора регистрируют через 1 – 2 с, когда процесс кавитации принимает устойчивый характер.

Исследованы зависимости кавитационного давления от температуры среды и концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ) в растворе. С повышением температуры кавитационное давление уменьшается, поскольку повышается упругость пара в полостях и снижается их кинетическая энергия, что приводит к уменьшению интенсивности ударных волн. Параллельно происходит образование новых, в основном заполненных паром пузырьков, что приводит к расширению области кавитации и уменьшению неравномерности ее распределения.

Скорость уменьшения кавитационного давления по мере роста температуры моющей среды зависит от ее физико-химических свойств (рис. 4). Так, для чистой воды (зависимости 1 и 2) скорость изменения меньше, чем для водных растворов ПАВ (зависимости 3 и 4). ПАВ уменьшают силу поверхностного натяжения, что приводит к снижению порога кавитации, росту числа кавитационных пузырьков и, следовательно, к повышению равномерности кавитационного поля. Однако уменьшение силы поверхностного натяжения приводит к уменьшению скорости захлопывания кавитационных пузырьков и к снижению микроударного действия кавитации. С увеличением концентрации ПАВ их влияние усиливается (рис.5), однако увеличивать ее свыше 10% нецелесообразно ввиду трудности последующего удаления.

Заключение. Таким образом, измеряя кавитационное давление можно устанавливать такие температурные режимы, при которых эффективность воздействия УЗ колебаний и ПАВ будут оптимальными. Для УЗ очистки оптимальная температура моющих сред на основе водных растворов ПАВ находится в пределах 50–60°C, а концентрация ПАВ– 3–4%. Это обеспечивает качественное выполнение операции УЗ очистки в приборостроении и электронике.

Литература

1. S a v a g e T. Ultrasonic cleaning in industry// Wire Industry. 2005. N6.P. 424–426.
2. Ультразвуковая технология / Под ред. Б.А. Аграната.–М., 1984.
3. M a r a n g o p o u l o s I.C., M a r t i n C.J. // Physics in Medicine and Biology. 1995. N40.P. 1897–1908.
4. Y o u n g F.R. Cavitation. – London, Mc. Graw-Hill., 1989.
5. I l y i c h e v V.I., K o r e t z V.L., M e l n i c o v N.P. // Ultrasonics. 1989. N 27. P. 357–361.
6. З а л м а з о н Л.А. Преобразование Фурье, Уолша, Харра и их применение в управлении, связи и других областях. М., 1989.
7. К у н д а с С. П., Л а н и н В. Л., Д о с т а н к о А П. и др. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Т.2. / Под общ. ред. А.П. Достанко. Мн., 2003. С. 126–146.

LANIN V.L., TOMAL V.S.

CAVITATION FIELDS IN ULTRASONIC BATHS OF CLEARING

vlanin@bsuir.unibel.by

Summary

For an estimation of intensity cavitations pressure in liquid environments and uniformity cavitations fields it is offered to measure quadratic size of a level cavitations noise in a range of its greatest spectral density. Optimum temperature modes and concentration of superficial substances in ultrasonic baths of clearing are determined

ИЛЛЮСТРАЦИИ К СТАТЬЕ

КАВИТАЦИОННЫЕ ПОЛЯ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВАННАХ ОЧИСТКИ

В.Л. ЛАНИН, В.С. ТОМАЛЬ

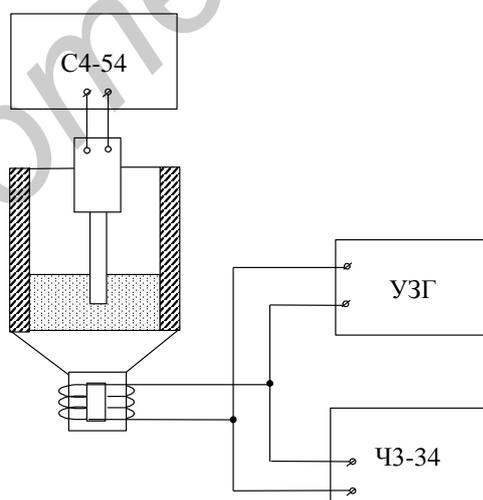


Рис.1. Схема исследования кавитационного шума

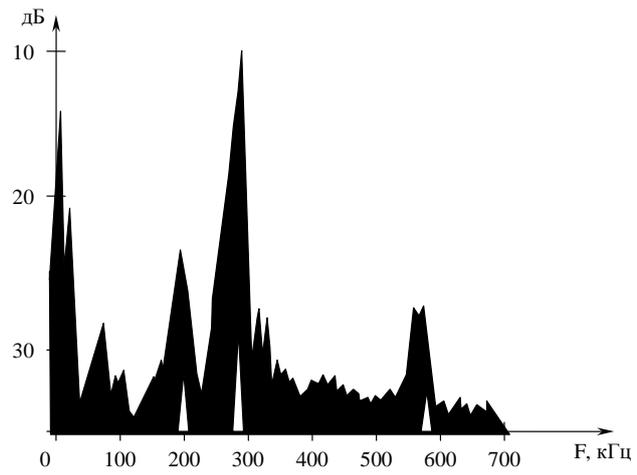


Рис. 2. Спектр кавитационного шума в воде

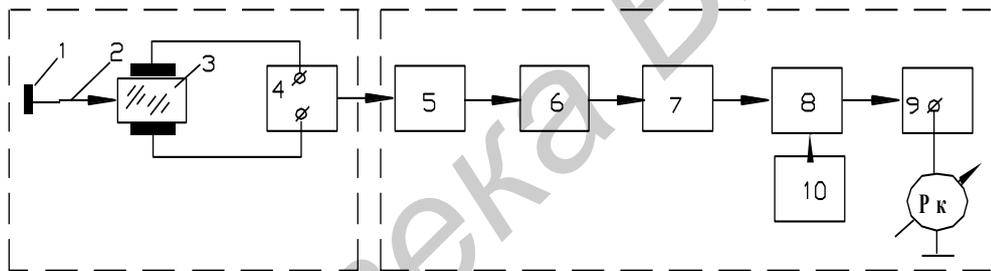


Рис. 3. Схема кавитометра

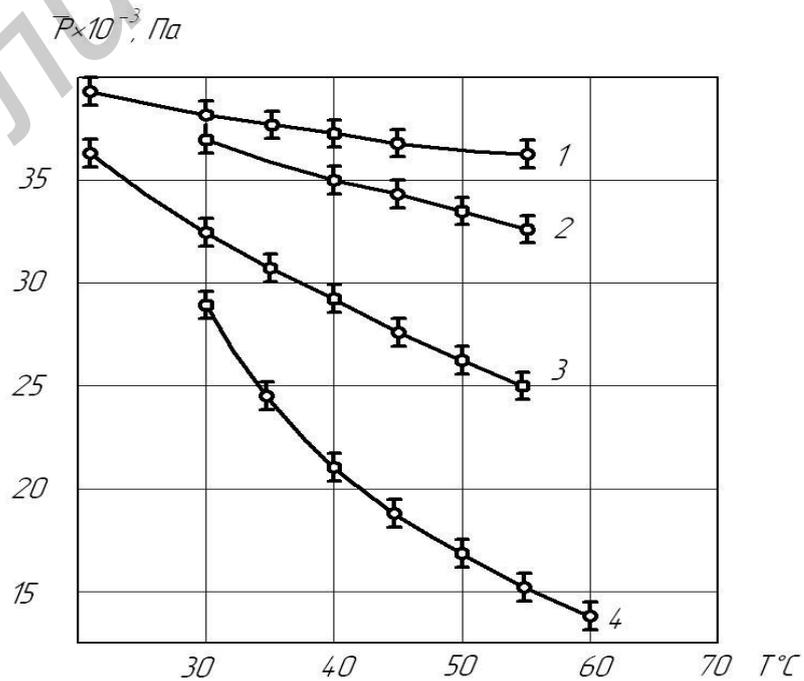


Рис. 4. Зависимости кавитационного давления от температуры моющей среды и наличия ПАВ: 1, 2 – в воде, 3 – в растворе ПАВ концентрацией 1,5%, 4 – в растворе ПАВ концентрацией 3%

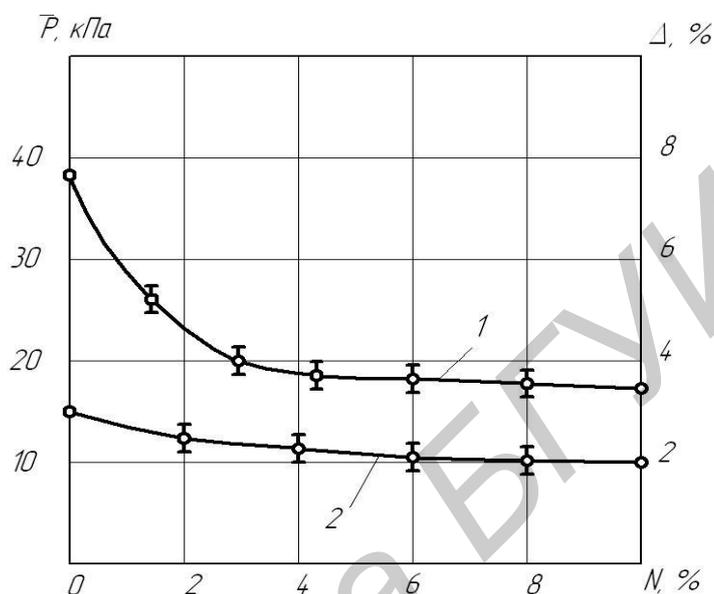


Рис. 5. Зависимости кавитационного давления от концентрации ПАВ: 1 – в центре ванны на расстоянии 4λ от дна, 2 – неравномерность кавитационного давления по площади ванны

УДК 534.8: 621.396.6

ЛАНИН В.Л., ТОМАЛЬ В.С. КАВИТАЦИОННЫЕ ПОЛЯ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ
ВАННАХ ОЧИСТКИ

Для оценки интенсивности кавитационного давления в жидких средах и равномерности кавитационного поля предложено измерять квадратическую величину уровня кавитационных шумов в диапазоне его наибольшей спектральной плотности. Определены оптимальные температурные режимы и концентрация поверхностно-активных веществ в ультразвуковых ваннах очистки.

Ил.5. Библ.7.

// Доклады НАН Беларуси. 2007. т.51, № С.