

U-sonic.ru – Лаборатория акустических процессов и аппаратов
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

А. В. Шалунов, В. Н. Хмелев (научный руководитель)

Бийский технологический институт АлтГТУ им. И. И. Ползунова
659305, Бийск, ул. Трофимова, 27

E-mail: andrey@u-sonic.ru

The Ultrasonic Sputtering of Liquid
A. Shalunov, V. Khmelev

This article is devoted to the devices development problem for viscous liquids sputtering by high intensity ultrasonic oscillations. On the carried out theoretical analysis the way of sputtering efficiency increasing is revealed due to an optimum management criterion choice. The results of the carried out researches can confirm the reliability of the chosen criteria and the peak efficiency of the viscous liquids ultrasonic dispersion process.

Ультразвуковое распыление жидкостей является одним из перспективных направлений промышленного применения ультразвука. Основным преимуществом ультразвукового (УЗ) распыления жидкостей, по сравнению с традиционными способами [1], является низкая энергоёмкость, высокая производительность процесса, а так же возможность распылять малое, строго дозированное количество жидкости.

Одной из основных проблем является распыление вязких жидкостей и жидкостей, содержащих мелкодисперсные механические включения (например распыление смазочно-охлаждающей жидкости при резании металла, распыление фоторезистива при изготовлении интегральных схем). Потребность в таких технологиях велика. Однако в настоящее время практически отсутствуют устройства, позволяющие реализовать ультразвуковое распыление вязких жидкостей. Это обусловлено в первую очередь сложностью поддержания непрерывного, процесса монодисперсного УЗ распыления в вязких средах.

В связи с этим, существует объективная необходимость в создании УЗ оборудования, способного осуществлять распыление вязких жидкостей с заданными дисперсностью аэрозоля и производительностью процесса.

При ультразвуковом низкочастотном (22кГц – 200кГц) распылении жидкости возможны различные механизмы образования капель аэрозоля[1]:

1. воздействие ударных волн, образующихся в результате захлопывания кавитационных полостей у поверхности раздела: жидкость – газ;
2. отрыв капелек жидкости от гребней стоячих капиллярных волн конечной амплитуды на поверхности полусферических выступов, образованных парогазовыми пузырьками, пульсирующими у поверхности жидкости;
3. отрыв капелек жидкости от гребней стоячих капиллярных волн конечной амплитуды на поверхности жидкости при отсутствии парогазовых кавитационных пузырьков.

Каждый из перечисленных механизмов каплеобразования вносит различный «вклад» в общее количество создаваемого аэрозоля. Однако известно, что при распылении жидкости, обладающей сравнительно большой вязкостью (свыше 20 спс), наиболее эффективное распыление осуществляется при преобладании второго механизма. В случае менее вязких жидкостей доминирующим является третий механизм. Первый из рассмотренных механизмов приводит к образованию крупных капель-брызг (разбрызгивание жидкости). Этот механизм является мешающим фактором при УЗ распылении, и должен исключаться.

Практически преобладание того или иного механизма каплеобразования может быть обеспечено величиной, подводимой акустической энергии при неизменной поверхности распыления. В зависимости от энергии УЗ излучения относительное место расположение указанных механизмов может быть схематично представлено рисунком 1.

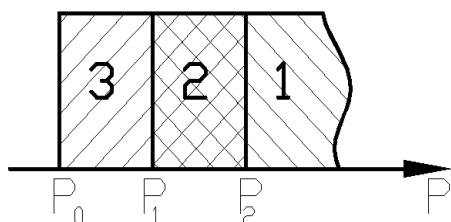


Рис. 1. Зависимость механизма каплеобразования от мощности ультразвукового излучения.

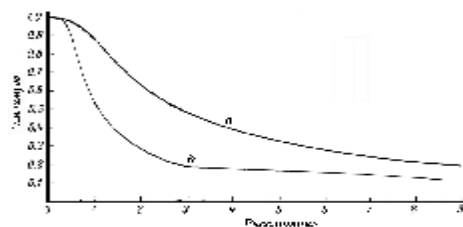


Рис. 2. Зависимость изменения интенсивности УЗ волны от расстояния

Из рисунка следует, что для эффективного распыления вязких жидкостей, величину подводимой акустической энергии необходимо поддерживать в следующих границах:

$$P_1 \leq P \leq P_2 \quad (1)$$

Численные значения параметров излучения, соответствующих границам диапазона 2, определяются вязкостью и поверхностным натяжением распыляемой жидкости, а также зависят от температуры жидкости.

Анализ результатов проведенных ранее исследований [1,2] показал, что с увеличением подводимой энергии линейно возрастает и интенсивность акустического распыления. Однако, как было сказано выше, при превышении амплитудой УЗ колебаний некоторого порогового значения, начинается разбрызгивание жидкости, и дальнейшее увеличение амплитуды УЗ колебаний является бессмысленным. Следовательно, существует необходимость в определении этого порогового значения для достижения максимальной эффективности распыления. Как было сказано ранее, разбрызгивание жидкости связано с возникновением кавитации. Поэтому ранее считалось, что критерием эффективного УЗ распыления является амплитуда колебаний, обеспечивающая интенсивность УЗ колебаний близких, но недостаточных для возникновения в жидкости кавитации.

Однако, проведенные авторами исследования позволили установить, что амплитуду УЗ колебаний при распылении вязких жидкостей можно увеличить, без повышения размеров формируемых капель. Это позволило предложить новый критерий определения максимальной эффективности мелкодисперсного распыления вязких жидкостей, суть которого заключается в следующем.

Известно, что при излучении УЗ колебаний в жидкие среды интенсивность первичной звуковой волны затухает по закону, иллюстрируемому кривой (а) на рисунке 2. При такой зависимости, интенсивности УЗ колебаний от расстояния до излучающей поверхности концентратора, кавитационные пузырьки, первоначально, образуются на излучающей поверхности. При увеличении амплитуды УЗ колебаний количество пузырьков на поверхности УЗ излучателя будет увеличиваться до тех пор, пока поверхность не будет равномерно покрыта плотным слоем кавитационных пузырьков. При дальнейшем увеличении амплитуды УЗ колебаний кавитационное облако будет разрастаться и может достигнуть поверхности жидкости, что является недопустимым.

Следовательно, амплитуду УЗ колебаний необходимо ограничивать на уровне, при котором только поверхность преобразователя покрыта слоем кавитационных пузырьков. Как правило, толщина такого слоя много меньше толщины слоя распыляемой жидкости. При этом интенсивность первичной УЗ волны уменьшается, и зависимость ее от расстояния приобретет вид, иллюстрируемый кривой (б) на рисунке 2.

Уменьшение энергии, переносимой к поверхности УЗ колебаниями, вызванное образованием кавитации, многократно компенсируется возникновением подповерхностных ударных волн, образующихся при захлопывании кавитационных пузырьков. Энергия ударных волн значительно превосходит энергию первичной УЗ волны [2], При достижении ударной волной границы раздела жидкость – газ на поверхности жидкости образуется вспучивание, напоминающее по форме капиллярную волну [1], но значительно большей амплитуды, от краев которого происходит отрыв мелких капелек. Кроме этого при захлопывании кавитационных пузырьков происходит их дробление на несколько мелких, часть из которых всплывает к поверхности жидко-

сти и продолжает пульсировать с частотой УЗ колебаний, превращаясь в резонансные пузырьки необходимые для реализации второго механизма распыления. Следовательно, в этом случае мы получаем преобладание второго механизма распыления, т.е. работаем в области правой границе второго участка показанного на рисунке 1.

Как показали проведенные эксперименты, в этом случае, интенсивность распыления увеличивается как минимум в два раза. Поэтому, амплитуду, при которой происходит образование на поверхности излучателя тонкого слоя кавитационных пузырьков, следует считать обеспечивающей максимальную эффективность ультразвукового распыления.

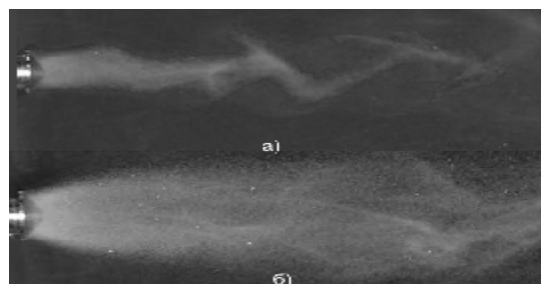
Для практического определения этой амплитуды можно, воспользоваться известным эффектом уменьшения волнового сопротивления жидкости при возникновении в ней кавитации, и разработанными в настоящее время способами определения состояния кавитирующей жидкости [3].

Для подтверждения правильности выбранного критерия определения максимальной интенсивности УЗ распыления при возникновении кавитации был разработан специализированный ультразвуковой аппарат, предназначенный для распыления жидкостей с вязкостью более 15 спз. В состав аппарата входит ультразвуковая колебательная система, со сменными распылительными насадками, и электронный блок генератора УЗ колебаний. Аппарат комплектуется устройством перемещения колебательной системы, для обеспечения возможности равномерного нанесения покрытия на большие поверхности. Внешний вид разработанного аппарата представлен на рисунке 3.

При помощи разработанного аппарата был проведен ряд экспериментов по распылению различных жидкостей, в частности: раствора глицерин-вода, сахарного сиропа, этиленгликоля и фоторезиста, применяемого при изготовлении интегральных схем. На рисунке 4 показано изменение плотности факела при распылении жидкости.



Рис. 3 Аппарат для ультразвукового распыления жидкости



а) без кавитации

б) с образованием кавитации

Рис. 4 Распыление раствора: глицерин - вода

Представленные изображения подтверждают, что при распылении в режиме кавитации факел получается более плотный и однородный, что доказывает справедливость представленных теоретических исследований.

Разработанный специализированный УЗ аппарат и проведенные исследования подтвердили эффективность мелкодисперсного распыления при выбранном режиме ультразвукового воздействия, что позволяет считать выбранный путь решения проблемы распыления вязких жидкостей перспективным и развивать его для применения в различных технологических процессах.

Список литературы

1. Физические основы ультразвуковой технологии. / Под ред. Л. Д. Розенберга - М., Наука, 1968.
2. Мощные ультразвуковые поля. / Под ред. Л. Д. Розенберга - М., Наука, 1968.
3. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Barsukov R.V., Slivin A.N., Tsyganok S.N., Levin S.V., Demidova T.A. "Automation of Advanced Cavitation Mode Obtaining Process in Liquid Mediums", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - p. 222-226