

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ**

А. В. Шалунова, А. В. Шалунов, В. Н. Хмелев (научные руководители)

Бийский технологический институт АлтГТУ им. И. И. Ползунова

659305, Бийск, ул. Трофимова, 27

E-mail: shalunov@bti.secna.ru

В статье описывается разработанная методика расчета геометрических параметров поверхности распыления ультразвукового распылителя, позволяющая конструировать излучатели, обеспечивающие заданные характеристики факела распыла. Результаты теоретических расчетов по предложенной методике подтверждены результатами экспериментальных исследований созданных излучателей.

Ультразвуковое (УЗ) распыление жидкостей находит широкое применение в различных отраслях промышленности. Напыление паяльных флюсов, равномерное распределение полирующего состава при химико-механическом полировании полупроводниковых пластин, распылительная сушка, нанесение покрытий без использования распыляющего воздуха, не возможно без применения УЗ распыления. Такие технологии удалось реализовать благодаря уникальным возможностям УЗ распыления: низкой энергоемкости, монодисперсности, возможности распыления вязких и агрессивных жидкостей без использования газового распыляющего агента и носителя.

Эффективность реализуемых технологических процессов определяется точностью заданных параметров формируемого факела распыляемой жидкости. При обеспечении оптимального угла распыла и ширины факела (которые определяются габаритными размерами оборудования и требуемой производительностью) значительно повышается эффективность реализации многих технологических процессов.

К сожалению, в настоящее время отсутствуют практические методики, позволяющие определять геометрические параметры УЗ распылителя, необходимые для обеспечения заданных (оптимальных для реализации процесса) параметров факела распыляемой жидкости.

В связи с этим возникла необходимость в создании подобной методики.

Разрабатываемая методика должна обеспечивать: определение рабочей частоты УЗ распылителя, площади, формы поверхности распыления и количества отверстий для подачи распыляемой жидкости. Методика реализуется в несколько этапов.

На первом этапе определяется значение резонансной частоты УЗ распылителя, необходимое для обеспечения заданного средне медианного диаметра капель распыляемой жидкости. Расчет ведется с использованием известного выражения [1]:

$$D_{\text{капли}} = a \cdot \sqrt[3]{8\pi\sigma/(\rho f^2)},$$

где $a = 0,12$, σ – поверхностное натяжение; ρ – плотность распыляемой жидкости; f – частота УЗ колебаний.

Отсюда частота УЗ колебаний распылителя, обеспечивающая необходимый средне медианный диаметр капель аэрозоля будет равна:

$$f = \sqrt[3]{8\pi a^3 \sigma / (D_{\text{капли}}^3 \rho)}.$$

Далее определяется величина площади поверхности распыления. Расчет ведется с использованием полученного авторами выражения для определения удельной производительности распылителя [2]:

$$P_{\text{уд}} = \frac{2}{3} \pi a^3 \sqrt[3]{\pi \sigma / \rho} \cdot f^{1/3},$$

Отсюда:

$$S = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{уд}}} = 3 P_{\text{max}} \rho^{1/3} / (2 P_{\text{уд}} a^3 (\pi \sigma f)^{1/3});$$

где S – площадь поверхности распыления; Π_{\max} – требуемая производительность формирования аэрозоля; Π_{y0} – скорость распыления.

На следующем этапе определяется форма поверхности распыления, необходимая для обеспечения заданной ширины факела распыления. Искомым параметром является угол раскрытия поверхности распыления $\beta_{расп}$. На рисунке 1 схематично показаны силы, действующие на каплю жидкости, покидающую поверхность распылителя, и учитываемые при расчетах.

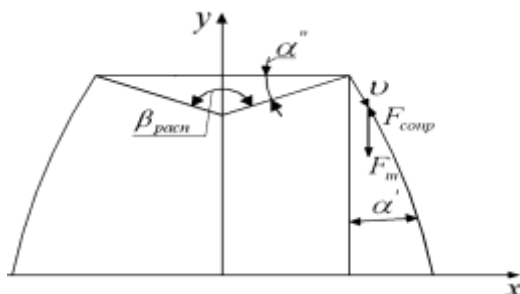


Рисунок 1 – Система сил, действующих на каплю жидкости после ее отрыва от пленки жидкости, покрывающей поверхность распыления

В начальный момент времени распыляемая частица (капля) движется под некоторым углом к поверхности распыления аэрозоля, равным:

$$\alpha' = 90 - (90 - \alpha'') = (90 - \beta_{расп})/2.$$

При движении капли угол α' будет изменяться по следующему закону:

$$\alpha' = \arctg(v_x(t + \Delta t)/v_y(t + \Delta t));$$

$$v_x = (v_x(t) \sin \alpha - \rho S^2 (v_x(t))^2 C_D(M) \sin \alpha \cdot \Delta t) / \sin \alpha';$$

$$v_y = (g / \cos \alpha - \rho S^2 (v_y(t))^2 C_D(M) / m) \Delta t + v_y(t);$$

где m – масса капли аэрозоля; $C_D(M)$ – безразмерная функция числа Маха; ρ – плотность воздуха, S – площадь поперечного сечения капли.

Используя полученные зависимости, и исходя из необходимого диаметра факела аэрозоля, можно определить угол, под которым должна отрываться капля с поверхности распыления α' и, следовательно, угол поверхности распыления $\beta_{расп} = 180 - 2\alpha'$.

Завершающим этапом расчета является определение количества отверстий, необходимых для подачи заданного количества жидкости (т.е. обеспечения производительности распыления) на распыляющую поверхность.

Максимальный радиус пятна удерживаемой жидкости определяется из условия равновесия в момент отрыва капли от поверхности и с учетом конусности поверхности:

$$R = \sqrt[3]{2r\sigma / (\rho g (\pi \cos^2 \alpha'' (1 - \sin \alpha'') + A))};$$

где $A = \pi(1 + \sin \alpha'')^2(2/3 - \sin \alpha''/3) - \pi \cos^3 \alpha''/3$.

При воздействии УЗ колебаний радиационное давление сообщает капле некоторую энергию, приводящую к ее растеканию. Выражение для силы радиационного давления, может быть представлено в следующем виде:

$$\bar{F}_r = 2S\bar{E}(kr)^4 \cos(\theta) / ((1 + 2 \cdot q)^2) \cos(\theta) \cdot [B];$$

где $B = (q - (1 + 2q)/(3q\mu))^2 + 2(1 - q)^2/9$; \bar{E} – средняя по времени плотность энергии падающей волны, r – радиус капли, θ – угол между направлением падения волны и нормалью к границе раздела, $\mu = c_2/c_1$, $q = p_1/p_2$, ρ и c – плотность среды и скорость распространения звука, k – волновое число. Индексы 1 и 2 относятся к средам, в которых распространяются падающая и прошедшая волны.

Зная величину энергии радиационного давления можно определить радиус поверхности распыления, по которому растекается жидкость:

$$l = 2F_r \pi \cos \alpha'' / (2 \cdot \sigma \pi \cdot \cos \alpha'') + \sqrt{(-2F_r \pi \cos \alpha'')^2 - C} / (2 \cdot \sigma \pi \cdot \cos \alpha'').$$

$$C = 4 \cdot \sigma \pi \cos \alpha'' \cdot (\sigma (\pi R^2 (1 + (1 + \sin \alpha'')^2) + 2\pi R^2 \cos \alpha'' \cdot (1 - \sin \alpha'')) + 2F_r R \cos \alpha'').$$

Площадь растекания жидкости будет равна:

$$S_{расч} = \pi l^2.$$

Если площадь, занимаемая жидкостью после ее растекания, оказывается меньше площади поверхности распыления, то на последней необходимо выполнить дополнительные отверстия для подачи жидкости. Эти отверстия должны находиться на расстоянии кратном $2l$ (где l радиус растекшейся капли). Количество отверстий определяется из выражения:

$$N = 6 * \sqrt{S/\pi} / 2l.$$

Разработанная методика позволила создать практические конструкции УЗ распылителей и провести ряд экспериментов, направленных на определение соответствия характеристик формируемых ими факелов аэрозоля заданным (таблица 1).

Таблица 1 – Рассчитанные и экспериментальные значения параметров УЗ распылителей

Заданные параметры факела			Рассчитанные параметры распылителей					Реализованные практически характеристики факела аэрозоля					
Диаметр капель аэрозоля, мкм	Диаметр факела распыления, см	Производительность распыления, мл/сек	Резонансная частота распылителя, кГц	Площадь поверхности распыления, см ²	Радиус распылителя, см ²	Угол распылителя, °	Количество отверстий, шт	Диаметр капель аэрозоля, мкм	Погрешность, %	Диаметр факела распыления, см	Погрешность, %	Производительность распыления, мл/сек	Погрешность, %
45	5	2	44	3,9	1,1	115	7	50	12	4,6	8	2,1	5
30	4	1,2	60	2,7	0,9	110	1	33	10	3,8	5	1,2	0
70	6	2	25	4,75	1,2	130	7	80	14	5,5	9	2,3	15

Таким образом, была разработана методика, позволяющая производить расчет параметров распылителя, необходимых для обеспечения требуемых характеристик факела аэрозоля. Проведенные экспериментальные исследования показали, что отклонение практических результатов от теоретических не превышает 15%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук и их научных руководителей № МК-383.2008.8.

Список литературы

1. Экнадиосянц, О. К. Получение аэрозолей. Физические основы ультразвуковой технологии/ под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. –689.
2. Хмелев, В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности/ В.Н.Хмелев, А.В. Шалунов [и др.]. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – 400 с.