

УДК 621.01.216

Павленко А.М.¹, Климов Р.А.¹, Басок Б.И.²¹Днепродзержинский государственный технический университет МОН Украины²Институт технической теплофизики НАН УкраиныОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЗАКИПАЮЩИХ ЧАСТИЦ ЭМУЛЬСИИ

В роботі представлено теплофізичну модель силової взаємодії частинок дисперсної фази емульсії, яка дозволяє визначити ефект подрібнення даних частинок, що адіабатично закипають в результаті різкого скидання тиску. Вказано можливість застосування розробленої моделі для вивчення процесів подрібнення дисперсної фази.

В работе представлена теплофизическая модель силового взаимодействия закипающих в результате резкого сброса давления частиц дисперсной фазы эмульсии, которая позволяет определить эффект дробления данных частиц. Указана возможность применения разработанной модели для изучения процессов дробления дисперсной фазы.

The mathematical model of power cooperation of beginnings to the boil as a result of sharp up cast of pressure particles of dispersion phase of emulsion which allows defining possibility of crushing of these particles is presented in this work. Possibility of application of the developed model is indicated for the study processes of crushing dispersion phase.

Введение

В промышленности широкое применение находят смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), которые в наибольшей степени определяют снижение изнашивания режущего инструмента и улучшение качества обрабатываемых поверхностей, как в технологии металлообработки, так и других производств [1]. Для снижения затрат экономически целесообразным является повторное использование отработанных СОЖ, но для этого их составы необходимо привести к нормативным, т.е. очистить от механических примесей, а также получить наиболее устойчивую к расслоению структуру, т.е. необходимо получить наименьший размер дисперсной фазы. Поэтому, изучение процессов дробления капель дискретно распределенной фазы является важным для определения оптимальных режимов диспергирования, что влечет за собой значительное снижение затрат энергии, как при самом процессе измельчения и дробления, так и финансовых затрат при многократном использовании одной и той же СОЖ, предварительно подготовленной перед каждым циклом использования.

Постановка задачи. Проведем исследо-

вание дробления капель дисперсной фазы, находящейся в окружении других капель при их закипании. При этом процесс дробления возможен из-за значительных разностей в ускорениях (скоростях) роста границ раздела масло-пар, вызванных различными амплитудами и частотами их колебаний при резком сбросе давления для частиц различных размеров. Данные условия могут привести к появлению неустойчивостей типа Релея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца [2]. В качестве объекта исследования примем эмульсию, показанную в [3] и схематически представленную на рис. 1. Рассматривая каплю эмульсии, можно сделать вывод о том, что основную роль на процессы ее разрушения будут оказывать силы, действующие по нормальной составляющей к поверхности капли, т.е. силы направленные либо к центру капли, либо от него. Ускорение и скорость, как показатели сил, действующих на поверхность капли от нескольких источников, определяются выражениями

$$g_n(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^{N-1} g_i(x_0, y_0) \cdot k_{n_i},$$

$$w_n(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^{N-1} w_i(x_0, y_0) \cdot k_{n_i},$$
(1)

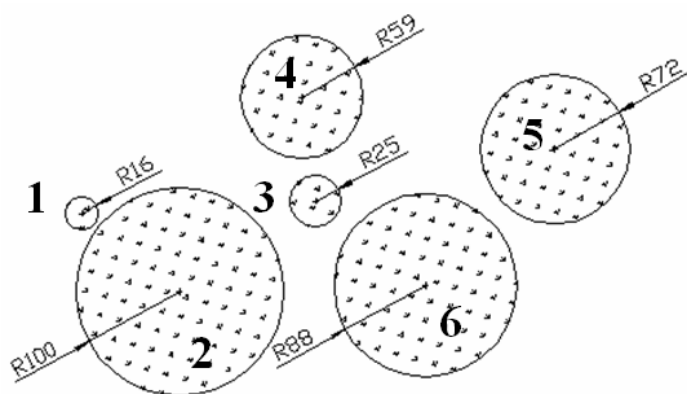


Рис. 1. К расчетной модели дробления капля дисперсной фазы эмульсии (характерные размеры в микронах).

где x_0, y_0 – координаты точки на поверхности капли; g, w – ускорение и скорость в искомой точке, действующее от какого-либо источника [4]; N – общее число закипающих капель дисперсной фазы; k_n – поправка на нормальную составляющую

$$k_n = \frac{(x_i - x_0) \sin \beta + (y_i - y_0) \cos \beta}{d_i(x_0, y_0)}, \quad (2)$$

где β – угол от вертикальной оси, выходящей из центра рассматриваемой капли, определяет координаты точек поверхности данной капли; $d_i(x_0, y_0)$ – радиус-вектор от центра i -ой капли до поверхности рассматриваемой частицы.

Важным является рассмотрение сил, действующих на противоположные стороны включения. Находя, например, ускорение и вызванную им силу на одной стороне капли и на ее противоположной стороне, будем считать, что если две противоположные силы направлены к центру рассматриваемой капли, то общая сила, действующая на каплю, равна сумме данных двух сил. Если обе силы направлены от центра капли, то общая сила также равна сумме двух векторных сил. В том случае, если обе силы действуют разнонаправленно по отношению к центру капли, т.е. однонаправлены в пространстве, определяющей будем считать ту

силу, которая имеет большее значение из двух действующих. Таким образом, на включение дисперсной фазы, которая не закипает (т.е. не создает никакого противодействия силам, действующим на него), определяющим воздействием, приводящим к возможному разрушению, будет максимум двух сил, действующих на противоположные стороны, при условиях описанных выше.

В случае же, когда капля эмульсии начинает закипать, она имеет свою силу, которая будет противодействовать внешнему воздействию со стороны других источников. Тогда определяющей силой может быть та, которая действует на одну сторону включения и превышает силу противодействия. Все это является основным отличием в рассмотрении сил, действующих на каплю, которая закипает, в отличие от незакипающей капли. Это означает, что необходимо учитывать два данных максимума и определять из них главный. Возможно совпадение в существовании этих максимумов сил.

Общее, действующее на каплю, ускорение определится уравнением

$$\Delta g = g_{p_1} + g_{p_2}, \quad (3)$$

где g_{p_1}, g_{p_2} – результирующие ускорения, определяемые с противоположных сторон поверхности рассматриваемой капли, соответственно.

При несовпадении максимумов сил (ускорений, скоростей), действующих на противоположные стороны включения и с одной стороны, считаем определяющей ту общую силу, которая имеет большее значение

$$g_d = \begin{cases} \Delta g_1, \Delta g_1 > \Delta g_2; \\ \Delta g_2, \Delta g_1 < \Delta g_2, \end{cases} \quad (4)$$

где $\Delta g_1, \Delta g_2$ – общие, действующие на каплю ускорения, рассчитанные по максимумам, действующим на противоположные стороны и с одной стороны, соответственно.

Были проведены исследования того, как изменяются силы, действующие на каплю с течением времени, а также как изменяется угол максимального воздействия силы. Для данных

условий силы равны [2, 4]

$$F_{g_{1m}} = 4\pi R_m^3 \rho_m g_{1m}, F_{g_{2m}} = 4\pi R_m^3 \rho_m g_{2m},$$

$$F_{g_m} = 4\pi R_m^3 \rho_m g_m, F_{Bo_m} = 4\pi R_m^3 \rho_m g_{d_m}, \quad (5)$$

$$F_{Bo_m}^{cr} = 40\pi\sigma R_m, \Delta F_{Bo_m} = F_{Bo_m} - 8\pi\sigma R_m,$$

где $F_{g_{1m}}, F_{g_{2m}}$ – силы, действующие на каплю; F_{g_m} – сила противодействия самой капли; F_{Bo_m} – суммарная действующая на каплю сила; $F_{Bo_m}^{cr}$ – критическая сила, вызывающая неустойчивость по Бонду; ΔF_{Bo_m} – сила, определяющая деформацию либо перемещение капли; m – номер

капли (рис. 1).

Расчет проводим либо до взаимной встречи капель, либо до выполнения условия

$$F_{Bo_m} \geq F_{Bo_m}^{cr}. \quad (6)$$

Результаты работы

Результаты расчетов по уравнениям (1) – (6) совместно с уравнениями динамики роста паровой фазы [4] методом сеток представлены на рис. 2. При этом расчет проводился для $t_0 = 105^\circ\text{C}$ до момента встречи двух наиболее близко расположенных капель.

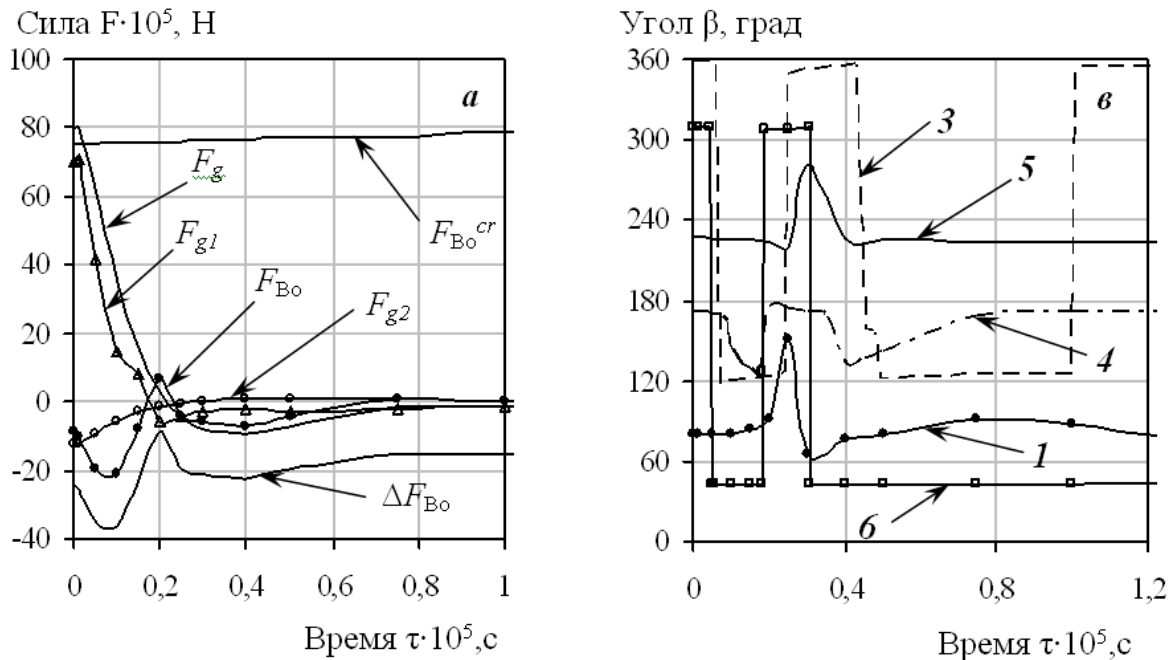


Рис. 2. Изменение во времени сил, действующих на каплю №4 (а) и угла действия максимальной силы (в).

Из рис. 2, а видно, что критическая сила $F_{Bo_m}^{cr}$ с течением времени увеличивается, что связано с увеличением радиуса R_m рассматриваемой капли, а величины сил действующих на каплю стремятся во времени к нулю.

Поэтому, можно сделать вывод о том, что если не учитывать дальнейшего взаимодействия капель между собой при их соприкосновении, то при $t_0 = 105^\circ\text{C}$, если в начальные

моменты сброса давления системы дробления крупных капель не произойдет, то до момента соприкосновения они уже не разрушатся. Кривые изменения F_{g1}, F_{g2} показывают на тот максимум силы, который действует в данный момент времени. Совместное их рассмотрение позволяет определить силу F_{Bo} , которая в свою очередь и играет основную роль в данном процессе. Видно, что для капли №4 (рис. 2, а)

при положительном значении силы F_{Bo} возможно лишь ее перемещение, на что указывает отрицательный знак ΔF_{Bo} .

Наиболее резкое изменение угла действия максимальной силы наблюдается для капель № 3 и 6 (рис. 2, в). Для примера рассмотрим каплю № 6. Как видно из рис. 2, в, с изменением угла действия максимальной силы изменяется доминирующее воздействие либо пятой капли ($\beta \approx 40^\circ$), либо третьей ($\beta \approx 300^\circ$) совместно с четвертой. Это также видно и на рис. 2, а, как резкое снижение силы F_{g2} и, как следствие, скачок действующей силы F_{Bo} из-за того, что F_{g2} и F_g оказываются однонаправленными и определяющей становится сила F_{g2} . Можно сделать вывод о том, что угол β может резко изменяться только у тех капель, которые находятся в окружении других, тогда как капли, находящиеся на «окраине», будут изменять угол действия максимальной силы на небольшую величину. Это объяснимо тем, что для капель, находящихся внутри эмульсии, максимум силы может достаточно быстро изменяться как по значению, так и по направлению, вследствие достаточно близкого расположения соседних капель, которые изменяют свое доминирующее влияние на данную частицу. В то же время капли, находящиеся в наружных слоях, имеют соседей на малой доле своей окружности, что и предопределяет небольшое значение изменения угла действия максимальной силы.

Выводы

Рассмотрена модель дробления крупных включений дисперсной фазы эмульсии. Расчет установил углы действия максимальных сил, из которых видно, что процесс дробления закипающих включений протекает при различных максимумах усилий (различных углах β) в сравнении с не закипающими частицами. Это показывает на необходимость нахождения как минимум двух максимальных усилий, которые могут совпадать по углу своего действия на каплю, либо значительно различаться по этому углу действия. Большую роль играют ПАВ, которые позволяют раздробить частицу при гораздо меньших прикладываемых к ней усилиях со стороны других закипающих включений. Учет этих явлений позволит еще более детально и точно рассматривать процессы роста и дробления включений дисперсной фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Смазочно-охлаждающие* технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С.Г. Энтелеса – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. *Долинский А.А., Павленко А.М., Басок Б.И.* Теплофизические процессы в эмульсиях. – Киев, Наукова думка, 2005. – 265 с.
3. *Эмульсии* / Под ред. Ф.Шермана – Л.: Химия, 1972. – 312с.
4. *Павленко А.М., Климов Р.А., Басок Б.И.* Кинетика испарения в процессах гомогенизации // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28. – №6. – С.14 – 20.

Получено 31.05.2010 г.