

ловати втрати тепла з колошниковим газом та з охолоджуючою водою, що значно підвищить достовірність прогнозування і стабілізації якості чавуну.

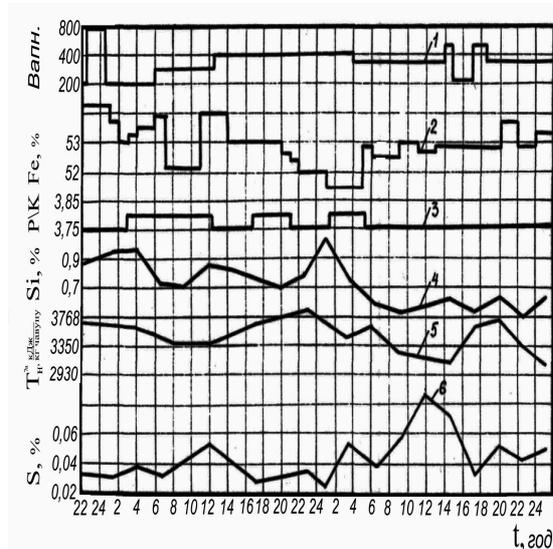


Рис. 1 Графіки зміни в часі параметрів процесу

- 1 – маса вапняку в подачі;
- 2 – вміст заліза в рудній частині шихти;
- 3 – рудне навантаження на кокс;
- 4 – вміст кремнію в чавуні;
- 5 – прихід тепла в нижню частину печі  $T_n^{7a}$  ;
- 6 – вміст сірки в чавуні.

## Висновки

Зміна перепаду температури води на 1-3 °С та температури колошникового газу на 10-20 °С викличе зміну витрати тепла на 250 кДж/кг і більше, що значно вплине на тепловий стан плавки та якість чавуну. Це підтверджує необхідність безперервного контролю втрат тепла. Створені нові показники для оперативного контролю теплового стану дозволять значно підвищити достовірність прогнозування і стабілізації якості чавуну.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Довгалюк Б. П. Умови ефективного використання АСУ ТП доменної печі. Збірник наукових праць 18 Міжнародної наукової конференції з автоматичного управління, „Автоматика — 2011”, Т.1. — Львів : 2011. — С.34—36.
2. Довгалюк Б. П. Основные номограммы доменного процесса / Довгалюк Б. П. К. : Техніка, 1985. — 56 с.
3. Довгалюк Б. П. Автоматизована система керування технологічними процесами доменної плавки / Довгалюк Б. П. — Дніпродзержинськ, ДДТУ. 2009. — 245 с.
4. Справочник. Доменное производство / М. : Metallurgizdat. 1963. — 266 с.

пост.20.02.13

## Возникновение нестабильностей при закипании эмульсионных сред

Р. А. КЛИМОВ

Днепродзержинский государственный технический университет

В статье предлагается рассмотрение процессов дробления дисперсной фазы эмульсии. Показана возможность дробления больших капель малыми при вскипании водной фазы в результате резкого сброса давления, с учетом силового воздействия одной капли на другую, основанного на критериях нестабильности Бонда и Вебера.

В статті запропоновано розгляд процесів подрібнення дисперсної фази емульсії. Показана можливість подрібнення великих крапель дрібними при закипанні водної фази в результаті різкого скидання тиску, з урахуванням силової взаємодії однієї краплі на іншу, яке засноване на критеріях нестабільності Бонда та Вебера.

In the given work the consideration of processes crushing of dispersion phase of emulsion is offered. Possibility of crushing of large drops is shown small at boiling of water phase up as a result of sharp up cast of pressure, taking into account the power influence of one drop on other, based on the criteria of instability of Bond and Weber.

**Введение.** Процессы деформации и дробления дисперсной фазы рассматривают многие исследователи [1-3], но данные явления требуют дополнительного изучения, которое позволит определить наиболее выгодные в экономическом и экологическом плане параметры для их реализации.

Классическая теория деформации и разрушения капель в зависимости от степени турбулентности потока принадлежит Колмогорову. Он рассматривал данный процесс как результат проявления большого числа случайных явлений и на основании теории вероятности получил логарифмическое распределение капель по

размерам. В целом же проблему дробления жидких дисперсий в непрерывной среде делят на два направления [2]: дробление жидких капель в эмульсиях и газовых потоках. При рассмотрении данных процессов важным является устойчивость капли к действию сил, которые стремятся ее разрушить. Представленные в литературных источниках расчеты в большинстве случаев основываются на критериях Бонда и Вебера [1, 2], т.е. рассматривают только неустойчивости Релея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца, которые наиболее характерны для эмульгирования или дестабилизации дисперсных сред. В [1] изучено влияние каждого рабочего элемента ДИВЭ на деформацию и возможное последующее дробление капель дискретной жидкой фазы, из чего можно сделать вывод о том, что все элементы ДИВЭ могут приводить к получению микронного диапазона частиц дисперсной фазы. Процессы деформирования и дробления капель при движении в жидкости описаны в [3]. При этом ни одна существующая модель не рассматривает процесс дробления вторичной жидкости с учетом формирования паровой прослойки на границе раздела двух фаз и силового взаимодействия относительно нескольких одновременно закипающих частиц дисперсной фазы. В основном описаны возможные процессы деформации и дробления под действием либо взрывного вскипания, роста паровых пузырей, либо под воздействием каверн, кавитационных полосей в момент их схлопывания, когда возможен наибольший динамический эффект. Но само образование паровой полости (пузырька) принимается гомогенным и рассматриваются лишь максимальные динамические эффекты, в то время как разрушение дисперсной фазы может происходить в любой другой момент времени из-за того, что гидродинамическая обстановка даже в окрестности двух растущих пузырьков является неопределенной и если частица дисперсной фазы находится на каком-то расстоянии от данных пузырей (либо между ними на определенном расстоянии), то эффект дробления данной частицы проявится по достижении максимальной силы, которая превысит критическую, рассчитанную по критериям Вебера или Бонда, но обязательно будет равна тому максимуму, который может действовать в данной системе. Если же рассматривать процесс дробления дисперсной фазы, которая сама закипает, то процесс становится еще более усложненным и требует детального изучения.

**Постановка задачи.** В соответствии с критериями Вебера и Бонда [1], основными факторами, определяющими дробление дисперсной фазы, соответственно будут: скорость (относительная скорость)  $w$ , и ускорение  $g$ , действующие на данную частицу. Скорость в любой точке пространства в окрестности растущего или схлопывающегося парового объема можно определить по соотношению

$$w(r) = \frac{w_R R^2}{r^2}. \quad (1)$$

Распределение ускорения в окрестности пузырька определяется выражением

$$g(r, \tau) = \frac{dw(r, \tau)}{dt} = -\frac{2w_R R^2}{r^3} \frac{dw_R}{d\tau}. \quad (2)$$

С учетом уравнения (1)

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} = \frac{dw_R}{d\tau} \frac{R^2}{r^2} + 2 \frac{w_R^2 R}{r^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial r} = -\frac{2w_R R^2}{r^3}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2) получим

$$g(r, \tau) = \frac{1}{r^2} \left[ \frac{dw_R}{d\tau} R^2 + 2w_R^2 R - \frac{2w_R^2 R^4}{r^3} \right]. \quad (5)$$

Тогда с учетом уравнения Релея-Плессета [4] можно записать

$$g(r, \tau) = \left( p_R - p_\infty + 0.5w_R^2 \rho_m - \frac{2\rho_m w_R^2 R^3}{r^3} \right) \frac{R}{\rho_m r^2}. \quad (6)$$

**Материалы и результаты исследований.** Результаты расчетов по уравнению (6) представлены на рисунке 1. Как видно из этого рисунка ускорение в определенные моменты времени неоднозначно зависит от расстояния  $r$ : может иметь отрицательное значение на поверхности раздела масло-пар в нагретой эмульсии, повышаться с увеличением  $r$ , достигнув максимума, снижаться и даже на расстоянии четырехкратно превышающем радиус капли ускорение во много раз превышает ускорение силы тяжести.

Ускорение  $g \cdot 10^{-5}$ , м/с<sup>2</sup>

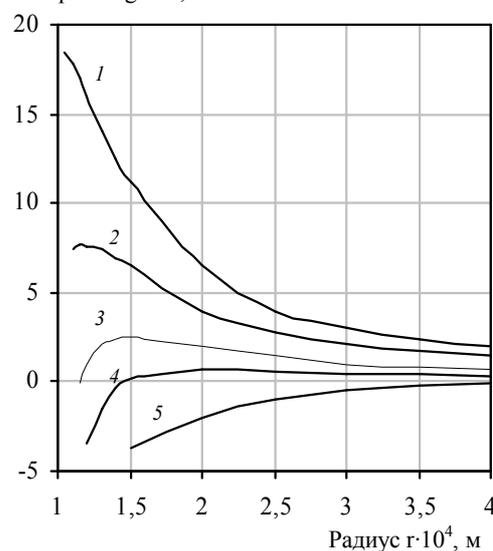


Рис. 1. Распределение ускорения в окрестности парового слоя при его росте для  $R_1 = 100$  мкм,  $t_0 = 180$  °С,  $p_\infty = 1$  атм в различные моменты времени: 1 –  $10^{-6}$  с; 2 –  $1.5 \cdot 10^{-6}$  с; 3 –  $2.5 \cdot 10^{-6}$  с; 4 –  $3.5 \cdot 10^{-6}$  с; 5 –  $10^{-5}$  с

Из этого можно сделать вывод о том, что капля дисперсной фазы, находящаяся на расстоянии в несколько раз превышающем радиус закипающей части-

определенных параметрах ( $R, \sigma, g$ ) могут ее разрушить.

На рис. 2, 3 представлены совместные графики изменения скорости движения границы раздела масло-пар и ее ускорения при начальной температуре системы  $t_0 = 180$  °С для различных начальных радиусов капель по модели [4] с учетом роста паровой фазы в объеме масла. Из данных графиков видно, что чем меньше начальный радиус капли, тем интенсивнее растет паровая фаза, т.е. выше скорость и ускорение границы раздела.

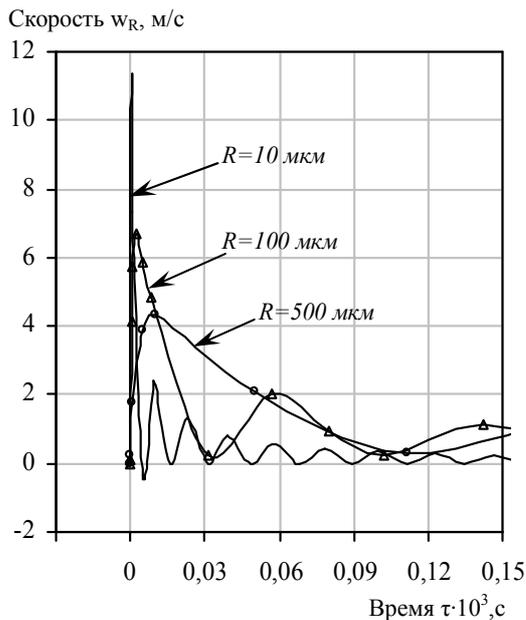


Рис. 2. Зависимость изменения скорости движения границы раздела масло-пар во времени при различных начальных радиусах капель

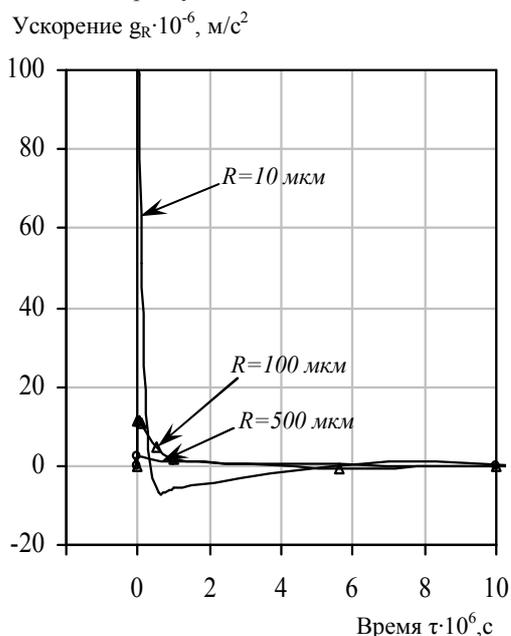


Рис. 3. Зависимость изменения ускорения движения границы раздела масло-пар во времени при различных начальных радиусах капель

При различных радиусах капель могут наблюдаться как совместные максимумы (минимумы) скорости (ускорения), так и существенные разности данных скоростей (ускорений). Тогда, учитывая, что скорости для разных начальных радиусов имеют различные амплитуды и частоты изменения во времени, можно предполагать, что в какой-то момент времени возможно возникновение неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, а для ускорения – Релея-Тейлора.

## Выводы

Представленная модель позволяет описать динамическое поле сил вызванных значительными изменениями ускорения границы раздела фаз эмульсий типа вода-масло при росте паровой прослойки в присутствии масла, как ПАВ, с учетом формирования паровой фазы на границе раздела вода-масло. Как видно из результатов расчетов, при резком сбросе давления системы возникают достаточно большие динамические силы, вызванные ускорением и скоростью движения границы раздела масло-пар. В эмульсиях капли дисперсной фазы имеют различные размеры, а также могут наблюдаться неравномерности в процессе закипания. Очевидным является возможность возникновения неустойчивостей, вызванных скоростью (динамическим напором) и ускорением [2], и, как следствие, взаимное дробление частиц дисперсной фазы, в котором инициирующим воздействием будут силы, действующие от закипающих капель. Так, например, динамические параметры границы раздела масло-пар в присутствии, например, трех частиц, причем одна из них находится между двумя другими, в условиях их неравномерного закипания, могут привести к неустойчивостям Релея-Тейлора или Кельвина-Гельмгольца, в результате чего вероятно произойдет срыв парового объема и разрушение капли воды. Если же закипающая частица эмульсии движется в потоке, то возникают деформации парового объема, которые могут привести к его срыву с поверхности воды и дроблению самой капли воды. Учет данных явлений будет произведен дальнейшим совершенствованием модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долинский А. А. Дискретно – импульсная трансформация энергии в адиабатно вскипающем потоке / А. А. Долинский, Б. И. Басок // Промышленная теплотехника. — 2001. — Т.23. — № 4—5. — С. 5—20.
2. Шурчкова Ю. А. Анализ механизмов дробления капель при адиабатном вскипании и смешении дисперсных систем / Ю. А. Шурчкова, Т. В. Малишевский // Промышленная теплотехника. — 2000. — Т. 22. — № 1. — С. 17–23.
3. Иваниский Г. К. Моделирование процессов деформирования и дробления капель при движении в жидкости // Промышленная теплотехника. — 1997. — Т. 19. — № 1. — С. 9—16.
4. Павленко А. М. Кинетика испарения в процессах гомогенизации / А. М. Павленко, Р. А. Климов,



