

ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Запорожская государственная инженерная академия

Подано результати дослідження методу пульсаційного перемішування рідини. За лабораторних умов методом моделювання здійснено порівняння даного методу з механічним перемішуванням за допомогою мішалки. Експериментально визначено час гомогенізації розплаву, величина якого показала добру збіжність із теоретично розрахованим значенням.

Представлены результаты исследования метода пульсационного перемешивания жидкости. В лабораторных условиях методом моделирования проведено сравнение данного метода с механическим перемешиванием с помощью мешалки. Экспериментально определено время гомогенизации расплава, величина которого показала хорошую сходимость с теоретически рассчитанным значением.

Введение. Перемешивание расплава обеспечивает быстрое растворение в нем вводимых реагентов, а также усреднение его химического состава и температуры по всему объему. Интенсивность перемешивания оказывает значительное влияние на скорость протекания некоторых процессов рафинирования расплавов. Совмещение процесса перемешивания и введения в расплав рафинирующих компонентов значительно сокращает время перемешивания [1].

Анализ достижений. Перемешивание металлических расплавов осуществляют следующими методами: падающей струей, барботажным, газлифтным, электромагнитным, вибромеханическим, механическим и пульсационным [2]. Благодаря простоте аппаратного оформления, дешевизне и относительной безопасности применения при производстве цветных металлов и сплавов наибольшее распространение имеет метод механического перемешивания с помощью мешалок. Кроме того, данный метод обеспечивает наименьшую длительность перемешивания. Однако этому методу присущи и недостатки – быстрый износ мешалок при повышенных температурах и агрессивном шлаке, а также возможность загрязнения расплава включениями, образовавшимися при разрушении материала мешалки.

Метод пульсационного перемешивания в металлургии является относительно «молодым» методом, но находит широкое применение в химической технологии [3]. Конструкции пульсационных аппаратов, применяемых в химической технологии, разнообразны, однако все они содержат пульсационную камеру, сопловое устройство и распределительный клапан. В химической промышленности наибольшее распространение получили пульсационные реакторы объемом до 20 м³ при частоте подачи импульсов 0,2...0,5 Гц. Практика применения пульсационного метода перемешивания в химической технологии показала возможность снижения расходов на ремонт и обслуживание при одновременном улучшении технических показателей.

Задачей работы является сравнение механического и пульсационного методов перемешивания металлических расплавов с точки зрения обеспечения минимального времени перемешивания и высокой степени гомогенизации расплава.

Основная часть. Одним из параметров перемешивания металлургических расплавов является время гомогенизации, в течение которого достигается усреднение состава расплава в требуемых пределах. Для теоретического определения времени гомогенизации применительно к пульсационному методу перемешивания в работе [4] предложена формула:

$$\tau_{\text{гом}} = k_{\text{ц}} \cdot \tau_{\text{ц}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{ц}}$ - коэффициент рециркуляции, $k_{\text{ц}} = 2 \dots 4$; $\tau_{\text{ц}}$ - длительность протекания одной циркуляции, с.

При расчете значения параметра $\tau_{\text{ц}}$ для контейнера прямоугольной формы применяли следующую формулу:

$$\tau_{\text{ц}} = \frac{V_{\kappa}}{V_n} = \frac{H \cdot Ш \cdot Д \cdot k}{2A \cdot d^2 \cdot (n+1) \cdot f}, \quad (2)$$

где V_{κ} - объем, занимаемый жидкостью в контейнере, м^3 ; V_n - объем жидкости, перемещающейся за одну пульсацию, м^3 ; H - уровень жидкости в контейнере, м; $Ш$ - ширина контейнера, м; $Д$ - длина контейнера, м; A - амплитуда колебаний уровня жидкости в трубке, м; d - внутренний диаметр трубки, погружаемой в жидкость, м; d_0 - максимально возможный внутренний диаметр погружаемой в жидкость трубки, при котором обеспечивается необходимая длина области смешения, м. $d_0 = 0,12H$; n - коэффициент эжекции:

$$n = \left(1 + \frac{Ш \cdot Д}{2d^2}\right) \frac{d \cdot 2^{0,5}}{Д} + 2; \quad (3)$$

k - коэффициент, учитывающий влияние на интенсивность перемешивания фактической длины области смешения.

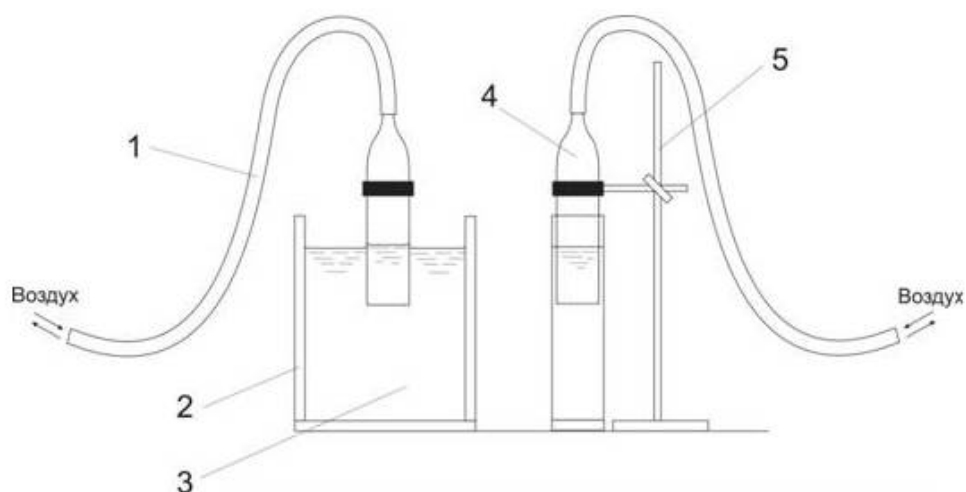
Если $d < d_0$, то $k = 1$, в противном случае величину k определяют по формуле:

$$k = \frac{5,5d \left[\frac{15,1Ш \cdot Д}{(H - h_0)^2} + \frac{3,9Д}{H - h_0} + 1 \right]}{(H - h_0) \left(\frac{Ш \cdot Д}{2d^2} + \frac{Д}{0,7d} + 1 \right)}. \quad (4)$$

h_0 - глубина погружения трубки в жидкость, м, $h_0 = 0,34H$; f - циклическая частота колебаний, Гц.

После подстановки значений всех величин в формулы (1) и (2) расчетная длительность гомогенизации жидкости составляет $\tau_{\text{гом}} \approx 3$ с.

Для изучения пульсационного перемешивания в лабораторных условиях в первой серии экспериментов применяли установку, показанную на рис.1.



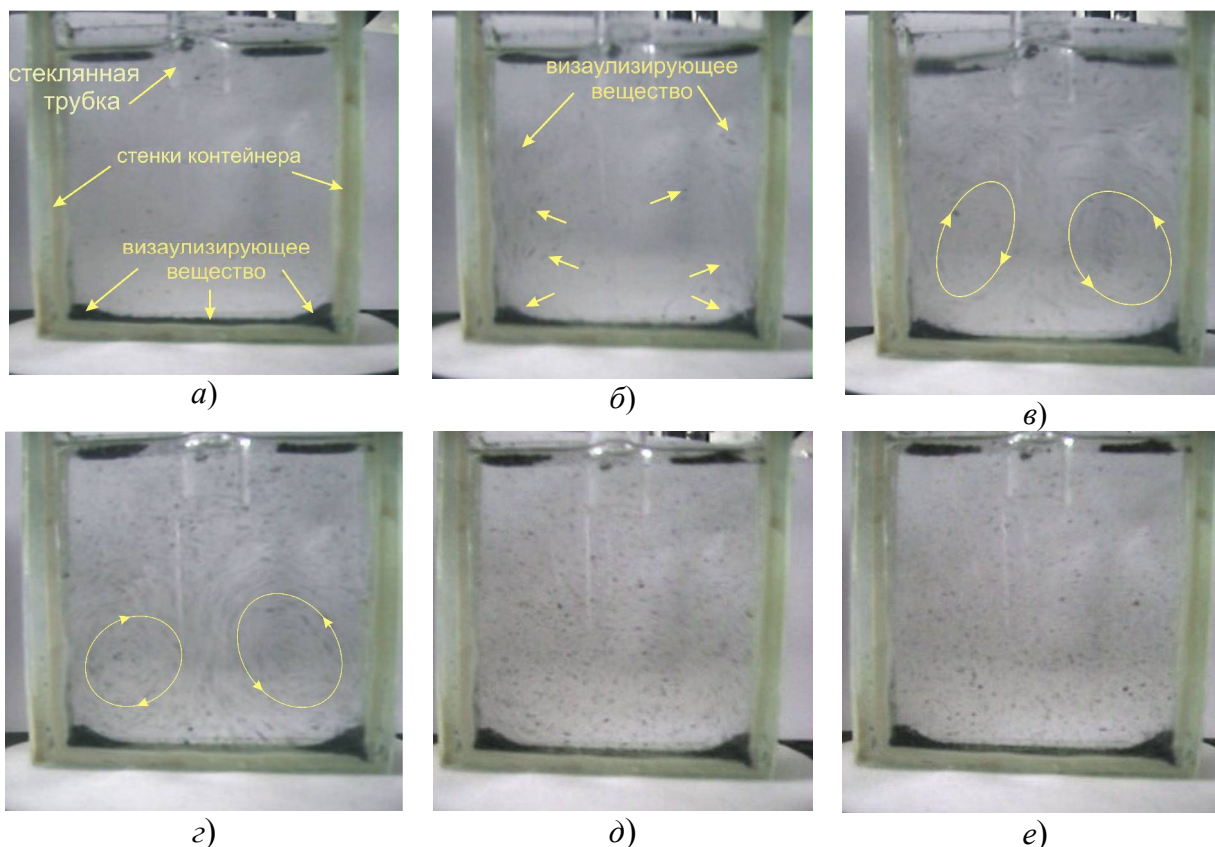
1 - резиновая трубка для подачи воздуха; 2 - стеклянный контейнер;
3 - модельная жидкость; 4 - стеклянная трубка, имитирующая пульсационную колонну;
5 - штатив с держателем

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для изучения пульсационного метода перемешивания

Геометрические размеры контейнера, изготовленного из стекла, обеспечивали визуализацию перемещения потоков жидкости, выталкиваемой из стеклянной трубки. В качестве модельной жидкости применяли воду, а в качестве визуализирующего вещества – алюминиевую и железную стружку различного размера. Амплитуда колебаний столба жидкости в стеклянной трубке составила 50 мм, частота колебаний – 2 Гц. Результаты проведенных экспериментов представлены на рис.2, где показана схема распределения визуализирующего вещества в жидкости в различные моменты времени.

В начальный момент времени визуализирующее вещество располагалось на дне контейнера (рис.2,а). Под действием пульсационной струи осуществляется подъем визуализирующего вещества со дна контейнера (рис.2,б). В течение 3...6 с наблюдается формирование двух устойчивых конвекционных ячеек перемешивания жидкости (рис.2,в,г). В дальнейшем картина конвекционных потоков не изменяется – в одной конвекционной ячейке вращение жидкости осуществляется по часовой стрелке, в другой ячейке – против часовой стрелки. После прекращения колебаний столба жидкости наблюдали самопроизвольное осаждение частиц визуализирующего вещества под действием силы тяжести (рис.2,д,е). При проведении экспериментов время гомогенизации в среднем составило 4 с, что свидетельствует о достаточной сходимости с расчетной величиной.

На следующем этапе исследований осуществляли сравнение метода пульсационного перемешивания с методом перемешивания с помощью механической мешалки. С этой целью контейнер в лабораторной установке был заменен на лабораторный стакан емкостью 800 и диаметром 110 мм. Результаты этой серии экспериментов показаны на рис.3.



a) $\tau = 0$ с; б) $\tau = 3$ с; в) $\tau = 6$ с; г) $\tau = 15$ с; д) $\tau = 18$ с; е) $\tau = 19$ с

Рисунок 2 – *Схема распределения визуализирующего вещества в жидкости при пульсационном перемешивании в различные моменты времени, с:*

Результатами экспериментов подтверждена высокая интенсивность пульсационного перемешивания – распределение визуализирующего вещества по объему жидкости наступает через 15 с (рис.3,а), в то время как при перемешивании с помощью механической мешалки аналогичная ситуация наступала через 20 с (рис.3,б). При этом следует отметить, что в перемешивании участвовали частицы визуализирующего вещества, которые захватывала непосредственно мешалка. Остальная часть частиц оставалась находиться на дне стакана. Для вовлечения их в перемешивание была увеличена частота вращения мешалки (об этом свидетельствует появление воронок). Перемешивание всей массы визуализирующего вещества наблюдалось при $\tau = 37$ с.

Установлено, что при перемешивании жидкости с помощью механической мешалки визуализирующее вещество распределяется не по всему объему жидкости, а концентрируется в плоскости вращения мешалки. Такая концентрация визуализирующего вещества объясняется тем, что фракции с более низкой плотностью под действием центробежной конвекции будут подниматься в верхнюю область жидкости, а с высокой плотностью концентрируются в плоскости вращения мешалки.



$\tau = 15 \text{ с}$



$\tau = 20 \text{ с}$



$\tau = 25 \text{ с}$

а)



$\tau = 37 \text{ с}$

б)

а) пульсационный метод; б) с помощью механической мешалки

Рисунок 3 – Сравнение методов перемешивания в лабораторных условиях:

Выводы. Проведенные эксперименты подтвердили высокую интенсивность перемешивания жидкости пульсационным методом. По сравнению с традиционным методом перемешивания с помощью механических мешалок метод пульсационного перемешивания имеет одно значительное преимущество – обеспечивает распределение реагентов, вводимых в жидкость, по всему объему контейнера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гохштейн М.Б., Морозов Я.И.* Рафинирование первичного алюминия от окисных включений и газов. - М.: Металлургия, 1979. - 78 с.
2. *Макаров Г.С.* Рафинирование алюминиевых сплавов газами. - М.: Металлургия, 1983. - 120 с.
3. *Ефименко С.П., Пилюшенко В.Л., Смирнов А.Н.* Пульсационное перемешивание металлургических расплавов. - М.: Металлургия, 1989. - 168 с.
4. *Карпачева С.М., Захаров Е.И.* Основы теории расчета пульсационных колонных реакторов. - М.: Атомиздат, 1980. - 256 с.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2008 р.

Рецензент, проф. В.М.Михайлін