

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ ПУЗЫРЕЙ ПАРА НА МАССОБМЕН ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СУСПЕНЗИЙ

Описано механизм дії парової фази на елементарні комірки киплячої суспензії в умовах, коли температура пари нижча або вища за температуру розчину. В випадку, коли температура пари нижча чи вища за температуру розчину, відбувається перерозподіл розчиненої речовини між комірками в сторону комірки кристалу більшого розміру. При чому, в першому випадку масообмін відбувається лише за рахунок речовини у розчині, а в другому також і за рахунок розчиненої речовини кристалів.

Описан механизм воздействия паровой фазы на элементарные ячейки кипящей суспензии в условиях, когда температура пара ниже или выше температуры раствора. В случае, когда температура пара ниже или выше температуры раствора, происходит перераспределение растворенного вещества между ячейками в сторону ячейки кристалла большего размера. При чем в первом случае массообмен происходит только за счет вещества в растворе, а во втором также и за счет растворенного вещества кристаллов.

Mechanism of influence of a steam phase on elementary cells boiling suspension in conditions, when temperature a steam is lower or above than temperature of a solution, is shown. In a case, when temperature the steam is lower or above than temperature of a solution, there is the redistribution of dissolved substance between cells in the direction of a greater size crystal's cell. In the first case of mass exchange occurs only at the expense of substance in a solution, and in second also at the expense of dissolved substance of crystals.

C – концентрация;
 G – масса;
 N – скорость кристаллизации;
 F – поверхность кристалла;
 V – объем раствора;
 a – коэффициент пропорциональности;
 t – температура;

τ – время;
 δ – толщина диффузного слоя;
Индексы:
 i – ячейка i ;
 j – ячейка j ;
кр – кристалл;
п – пар.

Процесс массовой кристаллизации веществ из растворов, осуществляемый путем выпаривания растворителя, сопровождается интенсивным выделением растворителя в виде образованных у поверхности теплообмена паровых пузырей, наличие которых в кристаллизующейся суспензии обеспечивает естественную циркуляцию и перемешивание в кристаллизаторе. Основная цель выпаривания растворителя — поддержание требуемой избыточной концентрации (пресыщения) вещества в растворе, необходимой для обеспечения движущей силы кристаллизации. Роль паровой фазы в процессе массовой кристаллизации на этом не ограничивается.

Являясь носителем теплоты, паровой пузырь, контактируя с элементарными ячейками суспензии, может отдавать или принимать теплоту этим ячейкам в зависимости от температуры пара и среды.

Известно, что растворы имеют температуру кипения большую, чем чистый растворитель (вода) [1]. Тогда можно полагать, что образованный на поверхности теплообмена пузырь насыщенного водяного пара, контактируя с раствором большей температуры охлаждает этот раствор, а пар при этом перегревает-

ся. Это говорит об отсутствии процесса конденсации пара образованного в кипящих растворах. Следовательно, уменьшения концентрации раствора за счет наличия пара в кипящем растворе не происходит.

Процесс теплообмена в этих условиях между пузырьком пара и элементарной ячейкой суспензии происходит в следствие наличия разности температур между паром и раствором.

Рассмотрим более подробно механизм влияния пузырей водяного пара на массообмен при кристаллизации сахарозы используя ячейковую модель процесса [2], когда межкристалльный раствор распределяется пропорционально размеру и поверхности кристалла (рис. 1).

Представим, что в начальный момент времени $\tau = \tau_0$ концентрации и температуры растворов в обеих ячейках одинаковы.

В результате одновременного взаимодействия парового пузыря с обеими ячейками, через некоторое время $\Delta\tau_1 = \tau_1 - \tau_0$, температура в этих ячейках снизится на величину, определяемую количеством раствора в каждой из них.

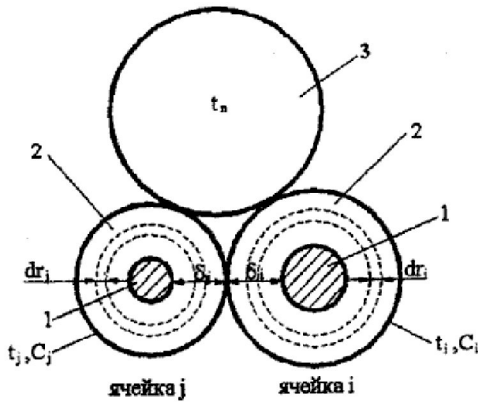


Рис. 1. Схема ячеистой модели системы твердое тело - раствор - пар при кристаллизации суспензий. 1 - кристалл; 2 - межкристалльный раствор; 3 - паровой пузырь.

При этом $t_{\delta_j}(\tau_1) < t_{\delta_i}(\tau_1) < t_{\delta_j}(\tau_0) = t_{\delta_i}(\tau_0)$.

В этих условиях растворимость сахарозы в растворе каждой ячейки изменится на разную величину, что приведет к изменению концентраций в ячейках $C_{\delta_j}(\tau_1) > C_{\delta_i}(\tau_1) > C_{\delta_j}(\tau_0) = C_{\delta_i}(\tau_0)$.

За время $\Delta\tau_1$ в ячейках будет достигнута некоторая избыточная концентрация $\Delta C(\tau_1) = C_{\delta_j}(\tau_1) - C_{\delta_i}(\tau_1)$.

Такое положение обуславливает массоперенос вещества от ячейки с большей концентрацией к ячейке с меньшей до тех пор, пока через некоторое время $\Delta\tau_2 = \tau_2 - \tau_1$ концентрации в обеих ячейках не сравняются $C_{\delta_j}(\tau_2) = C_{\delta_i}(\tau_2)$.

Однако, в этих условиях одновременно происходят два процесса массопереноса: перенос массы растворенного вещества внутри каждой ячейки к поверхности кристалла и его кристаллизация и перенос массы растворенного вещества от ячейки с большей концентрацией к ячейке с меньшей.

Количество сахарозы, которое выкристаллизуется, например, на поверхности кристалла ячейки j за время $\Delta\tau_2$ будет

$$G_{крj}(\Delta\tau_2) = G_j(\Delta\tau_2) \cdot a, \quad (1)$$

где $G_j(\Delta\tau_2)$ - общее количество растворенной сахарозы, что примет участие в процессе массопереноса в ячейке j ;

a - коэффициент пропорциональности, характеризующий отношение количества выкристаллизовавшейся сахарозы к общему количеству сахарозы, участвующей в процессе массопереноса в ячейке j , ($0 < a < 1$).

Количество сахарозы, перешедшее из раствора ячейки j в ячейку i можно определить из соотношения

$$G_{Dj}(\Delta\tau_2) = G_j(\Delta\tau_2) \cdot (1 - a), \quad (2)$$

Следовательно, в результате охлаждающего действия парового пузыря осуществляется перенос массы растворенной сахарозы в количестве $G_{Dj}(\Delta\tau_2)$ от ячейки j к ячейке i . Эта сахароза, в условиях уравнивания концентраций $C_{\delta_j}(\Delta\tau_2) = C_{\delta_i}(\Delta\tau_2)$, выкристаллизуется на поверхности кристалла ячейки i . Это свидетельствует о том, что в этих условиях происходит явление локального перераспределения массы вещества в растворе в сторону ячейки кристалла большего размера, т.е. относительная скорость кристаллизации крупного кристалла больше мелкого кристалла.

Теперь рассмотрим воздействие пузыря водяного пара введенного из вне в кристаллизующуюся дисперсную систему когда его температура в момент времени $\tau = \tau_0$ больше температуры системы:

$t_n > t_{\delta_j} = t_{\delta_i}$. В этом случае происходит нагревание

раствора ячеек с которыми контактирует пузырь пара. В соответствии с принятой ячеистой моделью, в результате такого контакта, температуры раствора в ячейках через некоторое время $\Delta\tau_1 = \tau_1 - \tau_0$ изменится на соответствующую величину

$$t_{\delta_j}(\tau_1) > t_{\delta_i}(\tau_1) > t_{\delta_j}(\tau_0) = t_{\delta_i}(\tau_0).$$

При этом, растворимость сахарозы в ячейке j будет больше чем в ячейке i . Вследствие этого концентрации насыщения в этих ячейках будут $C_{\delta_j}(\tau_1) > C_{\delta_i}(\tau_1) > C_{\delta_j}(\tau_0) = C_{\delta_i}(\tau_0)$.

Полученная в этих условиях избыточная концентрация $\Delta C(\tau_1) = C_{\delta_j}(\tau_1) - C_{\delta_i}(\tau_1)$ вызовет перенос массы растворенного вещества из раствора ячейки j в раствор ячейки i , при одновременной кристаллизации вещества из раствора обеих ячеек. За промежуток времени $\Delta\tau_2 = \tau_2 - \tau_1$ концентрации в обеих ячейках уравниваются $C_{\delta_j}(\tau_2) = C_{\delta_i}(\tau_2)$.

Количество выкристаллизовавшегося вещества на поверхности кристалла, например, ячейки j и вещества перешедшего в раствор ячейки i определяются из уравнений (1) и (2).

При этом коэффициент пропорциональности a можно рассчитать из соотношения

$$a = \frac{G_{крj}(\tau_2)}{G_{крj}(\tau_2) + G_{Dj}(\tau_2)}, \quad (3)$$

где $G_{крj}(\tau_2) = N_{крj} \cdot F_{крj} \cdot dt = \int_{\tau_1}^{\tau_2} N_{крj} \cdot F_{крj} \cdot dt$;

$$G_{Dj}(\tau_2) = [C_{\delta_j}(\tau_1) - C_{\delta_j}(\tau_2)] \cdot V_{\delta_j}.$$

Следовательно, в условиях ввода из вне водяного пара в кристаллизующуюся при кипении дисперсную систему, наблюдается перенос массы вещества из ячейки кристалла меньшего размера в ячейку кристалла большего размера. В условиях когда

меньший кристалл имеет размер предельной коллоидной дисперсности, его вещество полностью растворяется в растворе своей ячейки и в дальнейшем будет выкристаллизовываться на поверхности соседнего кристалла, то есть происходит процесс рекристаллизации [3].

Выводы

1. Присутствующая в кипящих кристаллизующихся суспензиях паровая фаза, благодаря наличию разности температур между паровым пузырем и раствором, существенно влияет на процесс массообмена по-разному изменяя растворимость и концентрацию вещества в растворе элементарных ячеек полидисперсных кристаллов.

2. Образованный при кипении суспензии водяной пар охлаждает раствор элементарных ячеек неодинаково, при этом, вследствие образовавшегося градиента концентраций, между ячейками происходит процесс перераспределения растворенного вещества и перенос его массы в сторону ячейки большего размера.

3. Водяной пар, вводимый в кипящую суспензию извне, с различной интенсивностью нагревает раствор элементарных ячеек. При этом, благодаря изменению растворимости, достигается различная концентрация насыщения в ячейках суспензии, что обуславливает процесс переноса массы вещества от ячейки с раствором большей концентрации к ячейке с раствором меньшей концентрации (от ячейки меньшего кристалла к ячейке большего), т.е. происходит процесс рекристаллизации.

Литература

1. Несис Е. И. Кипение жидкостей.- М.: Наука, 1973.
2. Гулый И.С. Непрерывная варка и кристаллизация сахара.- М.: Пищевая промышленность, 1976.- 270 с.
3. Бажал И.Г., Куриленко О.Д. Переконденсация в дисперсных системах.- Киев: Наукова думка, 1975.- 216 с.

Получено 04.02.98 г.