

ПРОЦЕС РОЗЧИНЕННЯ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН В РІДКИХ РОЗЧИННИКАХ В УМОВАХ ДІЇ УЛЬТРАЗВУКУ*Асафтей О.А., Воробйова О.В.***Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Вступ. Одним з перспективних підходів до вирішення різних технологічних задач сучасних виробництв являється ультразвуковий (УЗ) кавітаційний вплив на гетерогенні системи з рідкою фазою. Висока ефективність і перспективність УЗ впливу доведена численними дослідженнями для широкого спектра технологічних середовищ (вода, органічні розчинники, масла, нафта, лакофарбові композиції, смоли і т. д.), які в ряді випадків можуть містити тверду або рідку дисперсну фазу мікронного (1 ... 100 мкм) або субмікронного (0,01 ... 1 мкм) розміру (емульсії, суспензії). Унікальність і ефективність УЗ впливу обумовлена формуванням кавітаційних парогазових бульбашок, які накопичують енергію при їх розширенні в один напівперіод УЗ коливань і утворюють ударні хвилі, кумулятивні струмені при стисканні в інший напівперіод. Ударні хвилі викликають зміну структури і властивостей технологічних середовищ, дозволяють збільшувати міжфазну поверхню взаємодії, реалізовувати процеси розчинення, екстрагування, емульгування і т.д.

Мета дослідження полягає в розробленні математичної моделі процесу розчинення твердих речовин в рідких розчинниках в умовах ультразвукової кавітації.

Методи дослідження полягають в використанні процесу розчинення для органічних солей у полі дії ультразвукової кавітації.

Об'єктом дослідження слугує вплив ультразвукового променя на процес розчинення твердих речовин в рідких розчинниках.

Основні результати. Аналіз літературних джерел показує, що узагальнене рівняння, яке описує процес розчинення за умови, що швидкість між фазного переходу досить велика, має вигляд:

$$-\frac{dm}{d\tau} = \beta F \cdot (c^* - c), \quad (1)$$

де m – маса гранули, що розчиняється; F – поверхня гранули; β – коефіцієнт масовіддачі; c^* та c – концентрації розчиненої речовини в стані насичення і в розчині відповідно.

Коефіцієнт масовіддачі β залежить від товщини дифузійного примежового шару, який в свою чергу залежить від гідродинамічного примежового шару і від швидкості руху рідини біля поверхні гранули, що розчиняється.

В загальному вигляді коефіцієнт масовіддачі визначається за рівнянням:

$$\beta = \frac{D}{\delta}.$$

Для визначення коефіцієнта масовіддачі використовують критеріальні рівняння, які враховують властивості розчинника, гідродинамічну обстановку при проведенні процесу [4].

Для процесів розчинення сферичний в умовах вільної конвекції в літературі пропонується рівняння виду:

$$Nu^* = 0,6(Gr \cdot Pr^*)^{0,25}, \quad (2)$$

де:

- критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{gd^3}{\nu^2} \frac{\Delta\rho}{\rho};$$

- дифузійний критерій Прандтля:

$$Pr^* = \frac{\nu}{D};$$

- дифузійний критерій Нуссельта:

$$Nu^* = \frac{\beta d}{D}.$$

Ультразвукові коливання дозволяють інтенсифікувати процеси масопереносу за рахунок виникнення течії в нерухомій рідині та руйнування прилежого шару біля поверхні гранули, що розчиняється.

Аналіз впливу ультразвуку на рідини показує, що в акустичному полі спостерігаються періодичне зміщення частинок, виникають постійні течії, які мають різний характер і походження [1].

У реальних в'язких середовищах такі течії виникають як у вільному полі, так і поблизу перешкод. Особливий інтерес, з точки зору процесів розчинення, викликає характер взаємодії в'язкої рідини з твердими стінками перешкод, внаслідок якої швидкість тангенціального зміщення частинок середовища (шарів рідини) прилеглих до стінки (поверхні перешкоди) повинна перетворюється в нуль. Передбачається, що товщина шару, в якому спостерігається ця взаємодія, має величину порядку глибини проникнення зсувної хвилі в рідині, коефіцієнт поглинання зсувної хвилі в рідині α_c визначається рівнянням:

$$\alpha_c = \left[\frac{W \rho_o}{2\eta_c} \right]^{1/2}. \quad (3)$$

Відстань, на якій хвиля затухає, тобто глибина її проникнення, оцінюється співвідношенням:

$$\Delta \approx \left[\frac{12\eta_c}{W \rho_o} \right]^{1/2}. \quad (4)$$

Вихрові течії, які виникають в шарі товщини Δ , спостерігаються переважно на низьких звукових частотах.

Для ультразвукового поля характерними є течії, які виникають у вільному ультразвуковому пучку при високій інтенсивності, що реалізуються в ультразвуковому діапазоні частот [2].

Течія викликана дією уздовж ультразвукового пучка радіаційного тиску, пов'язаного з поглинанням середовищем енергії ультразвукової хвилі.

Радіаційна сила, яка діє на одиницю об'єму рідини (середовища що поглинає), вздовж напрямку поширення ультразвукових хвиль визначається за формулою:

$$F = \frac{d\omega}{dx}. \quad (5)$$

Ця сила викликає стаціонарну течію, швидкість якої можна розрахувати на підставі гідродинамічного рівняння руху для ідеальної рідини. Позначимо V_o швидкість стаціонарного акустичного потоку. Тоді рівняння руху для ідеальної рідини [5]:

$$-\frac{d\omega}{dx} = \rho \frac{dV_o}{dt} + \rho V_o \frac{dV_o}{dx}. \quad (6)$$

Для рідини, що не стискується за умови:

$$\rho = \rho_o = const, \quad \frac{dV_o}{dt} = 0. \quad (7)$$

Рівняння руху приймає вид:

$$-\frac{d\omega}{dx} = \rho_o V_o \frac{dV_o}{dx}. \quad (8)$$

Інтегруємо рівняння в межах:

$x = 0$ – розташування випромінювача; x – поточна координата.

Враховуючи, що при $x = 0$ швидкість ультразвукового вітру дорівнює 0 запишемо рівняння збереження енергії:

$$\frac{\rho_o V_o^2(x)}{2} = \bar{\omega}(0) - \bar{\omega}(x). \quad (9)$$

Виходячи з отриманого рівняння можна записати швидкість стаціонарного акустичного потоку:

$$V_o = \Delta P R_{mp}^2 (4\eta \cdot x), \quad (10)$$

де R_{mp} – радіус трубки пучка; ΔP – різниця тиску в точках віддалених на відстані x , що визначається з рівняння:

$$\Delta P = \bar{\omega}(0) - \omega(x) = \bar{\omega}(0) [1 - \omega(0) \cdot e^{-2\alpha_0 x}]. \quad (11)$$

З огляду на зв'язок щільності енергії з інтенсивністю ультразвуку знаходимо [3]:

$$V_o = I_o R_{mp}^2 \alpha_0 (2\eta_c C_0), \quad (12)$$

де I_o – інтенсивність ультразвукового пучка або інтенсивність джерела ультразвуку; α_0 – амплітудний коефіцієнт поглинання ультразвуку; C_0 – швидкість звуку у середовищі.

При низьких частотах ультразвуковий вплив має інтенсифікувати процеси масопереносу в примежовому шарі гранул, при високих – сприяти перемішуванню і усередненню концентрації розчиненої речовини в рідині.

Висновки. Побудована математична модель процесу розчинення твердих речовин в рідких розчинниках в умовах ультразвукової кавітації. Швидкість розчинення гранули в умовах турбулентності акустичного течії визначається в залежності від співвідношення розмірів гранул і максимального масштабу турбулентності.

Список літератури

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя в 3-х томах [Текст] / Анурьев В. И. // Том 1-3. – М: Машиностроение, 2001.– 920 с.
2. Голых Р.Н. Оптимизация методом математического моделирования режимов ультразвукового воздействия на различные технологические среды [Электронный ресурс] / Р.Н. Голых, В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов // Электронный журнал «Южно-Сибирский научный вестник». – 2012. – №2. –С. 20-24.
3. Лашинский А.А., Основы конструирования и расчета химической аппаратуры [Текст] / Лашинский А.А., Толчинский А.Р. // Изд. 2-е. Л.: «Машиностроение», 1970. – 752 с.
4. Шестаков, С. Д. Многопузырьковая акустическая кавитация: математическая модель и физическое подобие [Текст] / С.Д. Шестаков // Электронный журнал "Техническая акустика". – 2010. – №14. – 16 с.
5. Шутилов В. А. Основы физики ультразвука: Учеб. пособие. – Л.: Изд - во Ленингр. ун – та, 1980 – Ил. – 78, табл. – 22, библиогр. – 109 назв. С. 1 – 280.

References

1. Anur'ev V. I. Spravochnik konstruktora mashinostroitelja v 3-h tomah [Tekst] / Anur'ev V. I. // Tom 1-3. – М: Mashinostroenie, 2001.– 920 s.
2. Golyh R.N. Optimizacija metodom matematicheskogo modelirovanija rezhimov ul'trazvukovogo vozdejstvija na razlichnye tehnologicheskie sredy [Jelektronnyj resurs] / R.N. Golyh, V.N. Hmel'ov, A.V. Shalunov // Jelektronnyj zhurnal «Juzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik». – 2012. – №2. –S. 20-24.
3. Lashhinskij A.A., Osnovy konstruirovanija i rascheta himicheskoi apparatury [Tekst] / Lashhinskij A.A., Tolchinskij A.R. // Izd. 2-e. L.: «Mashinostroenie», 1970. – 752 s.
4. Shestakov, S. D. Mnogopuzyr'kovaja akusticheskaja kavitacija: matematicheskaja model' i fizicheskoe podobie [Tekst] / S.D. Shestakov // Jelektronnyj zhurnal "Tehnicheskaja akustika". – 2010. – №14. – 16 s.
5. Shutilov V. A. Osnovy fiziki ul'trazvuka: Ucheb. posobie. – L.: Izd - vo Leningr. un – ta, 1980 – Il. – 78, tabl. – 22, bibliogr. – 109 nazv. S. 1 – 280 s.