

УДК 66.099.2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНУ НА ЯКІСТЬ МОНОДИСПЕРСНИХ ГРАНУЛ

Склабінський В.І., д.т.н., професор, Артюхов А.Є., к.т.н., доцент, Скиданенко М.С., асп.
Сумський державний університет, м. Суми

Проведено експериментальне дослідження впливу температури та концентрації диспергуючого розчину, діаметру отворів витікання рідини, фізичних властивостей інертного середовища на якість монодисперсних гранул. Наведено результати експериментальних досліджень.

An experimental study of temperature and concentration of dispersant solution diameter holes leakage, physical properties of inert environment on quality monodisperse granules was taken. Study results was provided.

Ключові слова: вимушений капілярний розпад струменя, монодисперсність, гранула.

Аналіз науково-технічної літератури та патентної документації показує, що гранули монодисперсного складу знаходять широке застосування в різних сучасних технічних процесах і являються матеріалом для розвитку новітніх технологій. Так, отримання гранульованого ядерного палива для атомних реакторів у вигляді сферичних мікрочастинок дозволяє створити впорядковані структури, що значно підвищує безпеку і контролювання ходу процесу [1]. В медицині використовуються мікросфери у виготовленні високоякісних лікарських і вітамінних препаратів, для кріоконсервації біологічних матеріалів [2]. Сучасна харчова промисловість застосовує монодисперсні мікросфери у вигляді сухих гранульованих продуктів, що забезпечує рівномірне сушіння і достатню якість продукту [3]. На основі гранул з металів і сплавів створюються композиційні матеріали з заданими властивостями, які застосовуються в машинобудуванні, приладобудуванні, кріогенній техніці [4]. У зв'язку з цим перед науковцями та інженерами виникає актуальна проблема – розроблення високоефективного грануляційного обладнання, впровадження нових методів отримання мікрогранул монодисперсного складу, підвищення якості продукції.

Існують різні методи і засоби (золь-гель, конденсації крапель, аеродинамічний, та ін.) [5], що дозволяють отримувати дисперсні макрочастинок, які мають значний діапазон розмірів (від одиниць мікрометрів до одиниць міліметрів), з досить широкого спектра речовин, проте більшість подібних методів не дає можливість генерації ідентичних (монодисперсних) мікросфер. Порівняння різних методів отримання монодисперсних частинок (таблиця 1) показує, що одним з найбільш прийнятних способів отримання монодисперсних сферичних частинок є вимушений капілярний розпад струменя (ВКРС) рідини, що відбувається під дією збурень спеціального виду [6]. Тільки ВКРС дозволяє забезпечити високу ступінь монодисперсності за розмірами, швидкістю, можливістю отримання когерентного потоку крапель, високу продуктивність і малу енергоємність генераторів крапель, керованість потоку. Також цей спосіб володіє рядом інших суттєвих переваг: практично повна переробка вхідного продукту і повне використання кінцевого продукту, автоматизація технологічного процесу, енерго- і матеріалозбереження, екологічна безпека.

Головне завдання експериментального вивчення ВКРС та формування потоку монодисперсних крапель полягає у вимірюванні вказаних нижче характеристик для генераторів різних конструкцій, визначення області монодисперсності як функції виду сигналу. Основними характеристиками ВКРС, важливими для отримання високого ступеня монодисперсності, є наступні: довжина частини струменя що не розпалася L_j ; безрозмірне хвильове число χ ; частота f , амплітуда δ_0 і довжина хвилі λ сигналу збурення; діаметр струменя D_j (інші характеристики див. [1]). Дослідження впливу перерахованих вище характеристик присвячено ряд робіт [1,4,5]. Так в роботі [5] отримано граничні частоти зони монодисперсного розпаду, тобто діапазони перебудови розмірів крапель. Верхня і нижня межа визначаються за формулами (вплив інших характеристик на монодисперсний розпад [1,4,5])

$$f_{\max} = \chi_{\max} v_j / (\pi D_j), \quad f_{\min} = \chi_{\min} v_j / (\pi D_j) \quad (1)$$

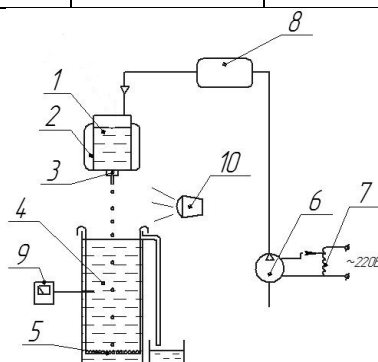
Необхідно враховувати і фізико-хімічних властивостей рідини і інертного середовища, які теж мають сильний вплив на умови отримання однорідних крапель. Метою цієї роботи являється експериментальне

дослідження та вивчення процесу диспергування монодисперсних гранул та виявлення впливу концентрації розчину, діаметру отворів витікання рідини, інертного середовища на формування гранул.

Для проведення досліджень було спроектовано і виготовлено експериментальну установку, принципова схема якої представлені на рис. 1. Установка складається з наступних елементів: диспергатора, системи нагрівання, система надлишкового тиску та системи спостереження. Диспергатор призначений для зберігання і підготовки речовини до диспергування на однакові краплі. Режим витікання рідини з насадка перехідний від струменевого до крапельного ("дріппінг-мода").

Таблиця 1 – Характеристики методів диспергування рідини [7]

Метод	Діапазон розмірів частинок, мкм	Дисперсія по розмірам, %	Відхилення від сферичності, %	Отримання регулярних потоків	Продуктивність, частинок/с	Речовина
Газове розпилення	10-2000	40-50	5-10	Неможливе	104-106	Проста рідина
Плазмове розпилення	0,5-500	30-40	5-7	Неможливе	103-104	Метал
Відцентрове розпилення	3-30	10-20	5-15	Частково можливе	105-107	Проста рідина
Конденційний метод	0,1-3	15-20	5-10	Неможливе	103-104	Спеціальна речовина
Золь-гель метод	20-500	5-10	2-5	Неможливе	102-103	Спеціальна речовина
Електрогідродинамічне розпилення	0,1-500	3-5	3-5	Частково можливе	103-104	Будь-яка рідина
Вимушений капілярний розпад струменя	10-3000	0,1-1	0,5-1	Можливе	104-106	Будь-яка рідина



1 – диспергатор; 2 – система нагрівання; 3 – змінний насадок; 4 – збірник мікрогранул; 5 – перфорована перегородка; 6 – компресор; 7 – електротрансформатор; 8 – система надлишкового тиску; 9 – цифровий мультиметер; 10 – стробоскоп.

Рис. 1 – Принципова схема лабораторної установки

За допомогою системи нагрівання здійснюється створення та підтримка однорідного температурного поля. Система надлишкового тиску призначена для створення постійного тиску, необхідного для витікання струменя з диспергатора з певною швидкістю. За допомогою системи спостереження здійснювався контроль над характеристиками розпаду струменя на краплі. Установка дозволяє отримати частинки сферичної форми діаметром від 300 до 2000 мкм. Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень дозволяє визначити вплив фізико-хімічних властивостей середовищ, на диспергування монодисперсних гранул, якість та геометричні параметри одержаного продукту. Для монодисперсного диспергування одним з параметрів являється температура розчину. Значення температури впливає на поверхневий натяг що характеризує розпад струменя. Значення поверхневого натягу може змінюватися по закону [1]:

$$d\sigma / dT = -B(\rho / M)^{2/3} \quad (2)$$

Також параметр температури розчину впливає на монодисперсний склад гранул. Під час дослідів було виявлено, що в незалежності від фізичних властивостей рідини температура розчину повинна бути в діапазоні. Верхня межа - температура при якій не відбувається фізико-хімічний змін з рідиною, а нижня межа повинна бути на 5° більше ніж температура кристалізації. Якщо температура розчину матиме менше значення, то поверхневі сили не встигнуть сформулювати кулястий об'єм і гранула прийме не сферичну форму або рідина може застигнути в насадку, порушуючи технологічний процес. При диспергуванні розчину з температурою більше ніж температура кристалізації утворюються кулясті монодисперсні гранули. При правильному обранні температури рідини для диспергування стає можливим отримувати монодисперсні гранули і уникнути закупорювання отворів насадка. Температура застигання водного розчину агар-агара в залежності від концентрації розчину зображено на рис. 2. При збільшенні концентрації зростає температура застигання.



Рис. 2 – Залежність температури застигання водного розчину агар-агара від концентрації агар-агара у розчині

В залежності від призначення гранул поверхня гранул може бути гладкою або нерівною. Для отримання гранул з заданими геометричними параметрами (розмір та форма) необхідно враховувати значення концентрації розчину. За результатами проведених експериментів при утворенні гранул з водного розчину агар-агара спостерігається така залежність: при зменшенні концентрації починаючи з 90:1 після кристалізації спостерігається втрата сферичної форми. Концентрація розчину також впливає і на діаметр гранули. Була отримана залежність різниці діаметрів гранули до кристалізації d_{II} та після кристалізації d_K ($\Delta d = d_{II} - d_K$) від концентрації водного розчину агар-агара (рис. 3). Концентрація розчину є важливим параметром для контролю утворення гранул із заданими діаметром і поверхнею.

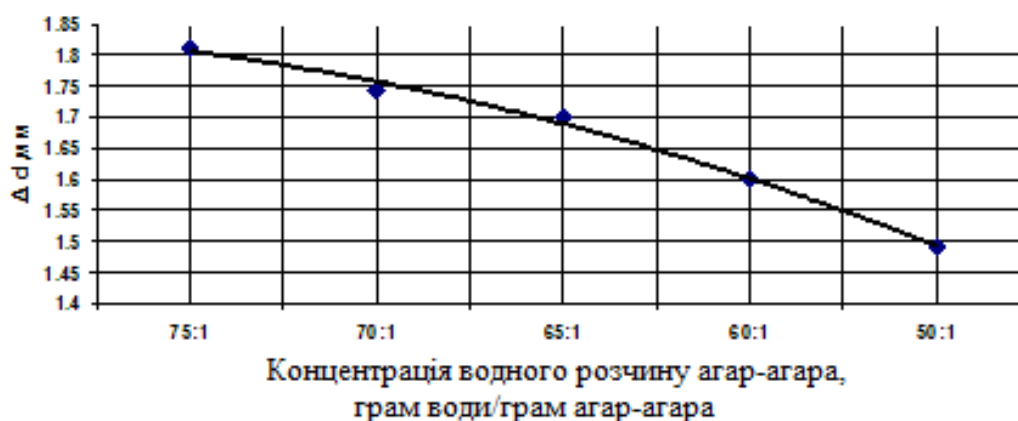


Рис. 3 – Залежність різниці діаметрів гранули від концентрації водного розчину агар-агара

Зменшення висоти грануляційного обладнання можливо при зменшенні швидкості руху краплі. Куляста частинка в рідкому середовищі рухається під дією сили тяжіння, гідравлічного опору і сили Архімеда (при русі в газовому середовищі нею нехтують), завдяки двом останнім силам збільшується час ру-

ху гранули, за який вона кристалізується і зменшується відстань (висота апарату), яка їй необхідна для цього. Під час проведення експериментів для вирішення цього питання використовувалось комбінування інертного середовища - формування краплі відбувається в газовому середовищі, а кристалізація - в рідкому середовищі. В якості рідкого інертного середовища використовувались бензин, вазелінове та трансформаторне масло, густина рідин збільшується відповідно.

Згідно з результатами досліджень зі збільшенням густини інертного середовища зменшується висота збірника монодисперсних гранул, яка необхідна для кристалізації гранул, але густина середовища повинна бути меншою густини речовини краплі. Формування краплі відбувається в газовому середовищі, а кристалізація в рідкому то необхідно враховувати і значення поверхневого натягу. Так, при диспергуванні в трансформаторне масло сумарна сила, що діє на краплю менша за силу поверхневого натягу, крапля при попаданні в рідке інертне середовище залишається на його поверхні. При подальшому диспергуванні краплі об'єднуються в одну велику гранулу і осаджуються в збірнику. Використовувалось і комбінування (верхній шар – бензин, нижній шар – трансформаторне масло), що дозволило зменшити висоту інертного середовища до 135 мм, при цьому зберігається сферичність гранули. Залежність висоти кристалізації від інертного середовища рис. 4.



Рис. 4 – Залежність висоти зони кристалізації від інертного середовища

Результати експериментів по впливу концентрації розчину, діаметру отворів витікання рідини, інертного середовища на формування гранул, дозволяють визначити оптимальні характеристики диспергуючої рідини та інертного середовища для кристалізації крапель, при отримання монодисперсних гранул.

Література

1. Аметистов Е.В., Дмитриев А.С. Монодисперсные системы и технологии. – М.: МЭИ. 2002.
2. Солодовник В.Д. Микрокапсулирование [Текст] // М.: Химия. – 1980. – 230 с.
3. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. [Текст] // Гранулирование. – М.: Химия. – 1991. – 240 с.
4. Получение монодисперсных сферических гранул методом вынужденного капиллярного распада струи металла [Текст] / В.Б. Анкудинов, М.Г. Кленов, Ю.А. Марухин, В.П. Огородников // Материаловедение. 1997. №5. с. 9-13.
5. Дмитриев А.С. Монодисперсные системы и технологии: физико-технические основы генерации и распространения монодисперсных потоков: Дис. докт. техн. наук. М., 2000.
6. Касим Р.Т. Способи отримання крапель монодисперсного складу / Р.Т. Касим, М.С. Скиданенко // Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (17-19 квітня 2012 р.). – Суми, Сумський державний університет, 2012. – С. 124.
7. Семкин Н.Д., Шепелев С.М., Исследование потоков микрочастиц при электростатическом диспергировании жидкости [Текст] // Вестник самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королева. – 2006, №3 (11). – с.44-51.