

УДК 621.647.23

Підвищення продуктивності ультразвукових диспергаторів з розпиленням в тонкому шарі

Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В., Гришко І.А., Зілінський А.І., Шульга А.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Ультразвукове розпилення в тонкому шарі дозволяє отримати якісний монодисперсний аерозоль з дисперсністю до 5...30 мкм при частоті ультразвукових коливань в межах 22...66 кГц. Отриманий монодисперсний аерозоль знаходить застосування в багатьох технологічних процесах, особливо, коли можливості застосування інших методів розпилення обмежено властивостями рідини. [1-4]. Подібні технологічні процеси широко використовуються в машинобудуванні, хімічній промисловості, медицині та сільському господарстві у складі мехатронних систем автоматики та багатьох інших галузях.

Ключові слова: Ультразвук; розпилення; кавітація

Зазвичай, диспергатори (Рис.1) [5,6], що застосовуються для реалізації ультразвукового розпилення в тонкому шарі, забезпечують продуктивність до 0,7 л/хв. Але багато технологічних процесів потребують значно більшої продуктивності. В свою чергу, продуктивність залежить від поверхневого натягу рідини, частоти та амплітуди коливань поверхні розпилення, а також її площі. Зазначимо, що поверхневий натяг та частота впливають на дисперсність аерозолю. Збільшення амплітуди коливань призводить спочатку до підвищення продуктивності, але при досягненні рівня розвинутої кавітації в рідині, до механізму розпилення в тонкому шарі додається механізм кавітаційного розбризкування, що негативно впливає на дисперсність. Відповідно, вплив частоти та амплітуди коливань поверхні розпилення на продуктивність обмежуються вимогами до дисперсності аерозолю. На сьогодні, в більшості випадків, відбувається раціоналізація конструкцій з метою зменшення акустичних втрат та електричної напруги, що підводиться до п'єзокерамічних елементів.

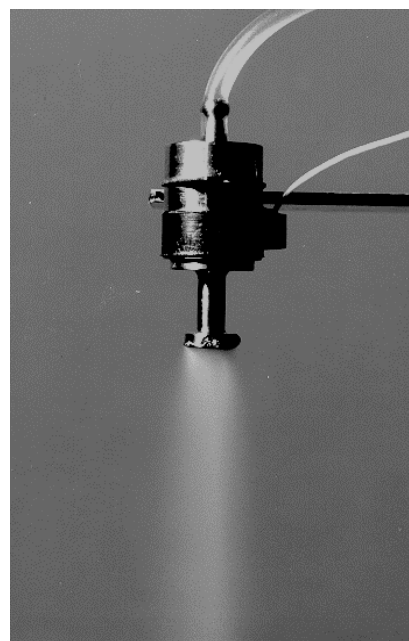
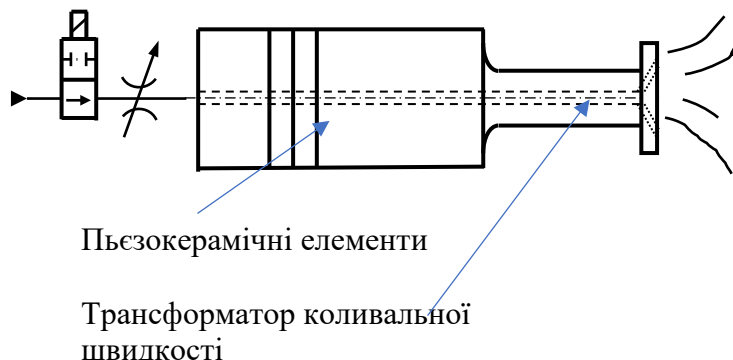


Рис.1. Ультразвуковий диспергатор з плоскою поверхнею, що розпилює (споживана потужність 20 Вт, продуктивність 0,07 л/хв, резонансна частота 66 кГц)

Фактично, єдиним ефективним шляхом збільшення продуктивності є збільшення поверхні розпилення диспергатора, що вібрує і вкрита тонким шаром рідини. Зазвичай, диспергатор являє собою стрижньовий пакетний п'єзокерамічний перетворювач, що через трансформатор коливальної швидкості з'єднаний з диском. Саме диск буде виконувати роль поверхні розпилення. Відповідно, збільшення площі диска буде призводити до збільшення поверхні розпилення. Однак збільшення площі нормально вібруючої поверхні, що збуджується по центру, призводить до виникнення згинальних коливань поверхні [8]. Згинальні коливання поверхні розпилення звичайно призводять до появи вузлових зон, в яких амплітуда коливань буде мінімальна, що, відповідно, призведе до неможливості утворення на вібруючій рідинній поверхні капілярних хвиль, при руйнуванні яких і утворюється дрібнодисперсний аерозоль [1,6]. Тобто, в вузлових зонах вібруючої поверхні розпилення буде відсутнім (рис.2). Якщо мова йде про розпилення, наприклад, води або водяних розчинів, то в вузлових зонах буде збиратися рідина. Але, якщо мова йде про розпилення розплавленого металу з метою отримання дрібнодисперсного металевого порошку, то ця проблема призведе до застигання металу в цих проблемних зонах і виходу з ладу диспергатора. Як бачимо, продуктивність стрижньових диспергаторів обумовлюється конструкцією елемента, що виконує роль поверхні розпилення.

Прикладом альтернативного конструктивного рішення є застосування циліндричної трубчастої поверхні розпилення, які збуджують на радіальній моді коливань [9-11].



Рис.2. Ультразвуковий диспергатор з трубчастою поверхнею розпилення, що збуджується на радіально-згинальній моді коливань

При чисто радіальних коливаннях вузлові зони будуть відсутні і це дозволяє підвищити продуктивність диспергаторів до 4...5 л/хв. Але, як показує практика, утримати моду чисто радіальних коливань, дуже складно і тому подібні диспергатори не дозволяють досягти монодисперсності аерозолі.

Достатньо цікавим є запропоноване авторами технічне рішення, яке забезпечує прикладання нормальних до поверхні розпилення коливань, що збуджують поверхню розпилення не в зонах пучностей, а в вузлових зонах (рис. 3) [12]. Це призвело до суттєвого збільшення площі віброуючої поверхні, що здатна реалізовувати процес розпилення в тонкому шарі. В запропонованому рішенні вихідний торець трансформатора коливальної швидкості 1 являє собою трубчасту форму 2, середній діаметр якої дорівнює діаметру вузлової лінії 4 циліндричної поверхні розпилення 3, яка здійснює згинальні коливання, які збуджуються поздовжніми коливаннями п'єзоелектричного перетворювача. Оскільки поверхня розпилення згідно акустичної схеми розміщена в пучності хвилі 5 поздовжніх коливань, то і вузлова зона циліндричної поверхні розпилення буде здійснювати поздовжні коливання з амплітудою, що є достатньою для реалізації ультразвукового розпилення в тонкому шарі.

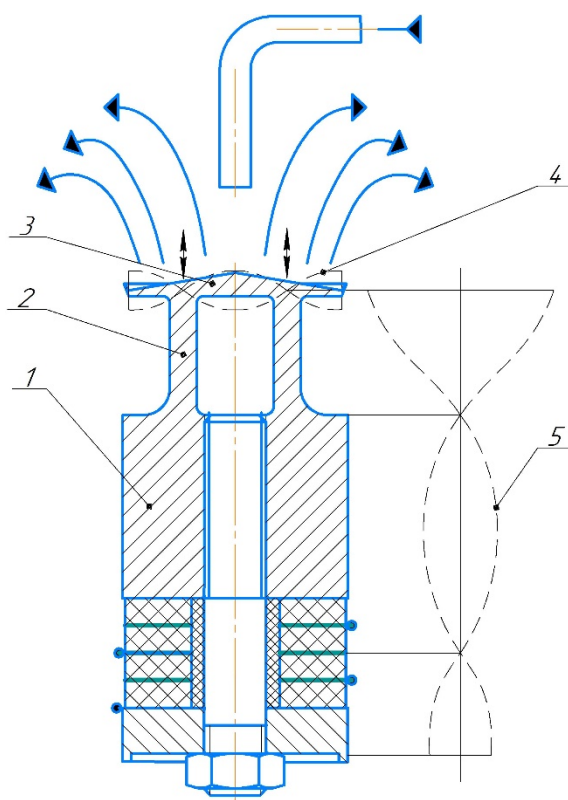


Рис. 3. Ультразвуковий диспергатор підвищеної продуктивності з прикладанням осьових коливань збудження в вузловій зоні згинальних коливань поверхні розпилення

Як бачимо, наведена конструкція відрізняється не тільки збудженням поверхні розпилення, а і конструкцією трансформатора коливальної швидкості. Експериментальна перевірка запропонованого технічного рішення підтвердила отримання якісного монодисперсного аерозолі продуктивністю 0,8 л/хв при споживаній потужності 200 Вт на резонансній частоті 33 кГц.

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень було встановлено, що найбільш доцільним шляхом підвищення продуктивності ультразвукових диспергаторів є збільшення поверхні розпилення. Збільшення зростання поверхні розпилення, в свою чергу, обмежується виникненням згінних коливань у віброуючій поверхні, що призводить до утворення вузлів коливань, в яких розпилення відсутнє. Можливими шляхами

зменшення впливу згінних коливань або унеможливлення їх виникнення є або перехід на трубчасті поверхні розпилення, або зміна точок збудження циліндричних розпилювачів.

Список літератури:

1. Луговський, А.Ф. Ультразвуковая кавтация в современных технологиях: монограф. / А.Ф. Луговської, Н.В. Чухраев. – К. 2007. – 244 с. – ISBN 966-594-927-6.
2. Луговской А.Ф. Создание мехатронных систем с использованием ультразвукового распыления жидкости в тонком слое / А.Ф. Луговской, А.В. Ляшок // Труды девятой Всероссийской межвузовской научно-практической конференции / Самар. гос. техн. ун-т – Самара, 2011. – С. 171 – 173.
3. Ляшок А.В. Ультразвукове розпилення рідини у мехатронних системах штучного мікроклімату / А.В. Ляшок, О.Ф. Луговський // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідраліка і пневматика» – Вінниця, 2011. – №4 (34) 2011. – С. 20 – 25.
4. Lugovskoy A. [Physical analogue of the process of ultrasonic liquid nebulization in a thin layer](#) / Lugovskoy A., Lyashok A. // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. – Київ, 2013. – № 67. – С. 110 – 115.
5. Луговський, О. Ф. Спосіб та пристрій для отримання рідинного аерозолю / О. Ф. Луговський, А. В. Ляшок, Ю. О. Пижигов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. – 2011. – № 61, том 1. – С. 107 – 113.
6. Ляшок А. Энергетическая модель процесса ультразвукового распыления в тонком слое / А. Ляшок, О. Яхно, А. Луговской // MOTROL. – Lublin-Rzeszow, 2013. – VOL 15 № 5, С. 91 – 97. ISSN 1730-8658.
7. Мовчанюк, А. В. Аналітичне дослідження впливу конструкції ультразвукового пакетного п'єзокерамічного перетворювача на амплітуду коливань / А. В. Мовчанюк, О. Ф. Луговський, В. П. Фесіч // Mechanics and Advanced Technologies. – 2019. – №3 (87). – P. 75-82.
8. Мовчанюк, А. В. К вопросу о расчете ультразвукового ступенчатого трансформатора колебательной скорости с развитой поверхностью излучения / А. В. Мовчанюк, А. Ф. Луговской, В. П. Фесич // Mechanics and Advanced Technologies. – 2019. – №1 (85). – P. 49-56
9. Луговской А.Ф. Исследование работы ультразвукового трубчатого кавитатора в режиме радиальных колебаний / А.Ф. Луговской, И.А. Гришко, А.В. Мовчанюк // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування, Вип. 59, - Київ, 2010, с.285-287
10. Патент України на винахід № 117879, Опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19; Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В., Ткалич В.В., Орешніков О.В., Гришко І.А., Фесіч В.П., Зілінський А.І. Ультразвуковий розпилювач.
11. Патент України на винахід № 122846, Опубл. 06.01.2021, Бюл. № 1; Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В., Ткалич В.В., Орешніков О.В., Луговська К.О., Фесіч В.П., Зілінський А.І. Ультразвуковий розпилювач.
12. Патент України на винахід № 122303, Опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19. Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В., Гришко І.А., Фесіч В.П., Зілінський А.І. Ультразвуковий розпилювач.