
ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ

П.Г. Думитраш, М.К. Болога

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ И ГОМОГЕНИЗАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ В АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

*Институт прикладной физики АНМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова*

Введение. Общепринято, что кавитация является средством активного воздействия на тепло- и массообменные процессы, на структуру и контактное взаимодействие твердых тел. Это воздействие определяется нелинейными кавитационными эффектами, возникающими при распространении мощного ультразвука в веществе, либо гидродинамическими течениями за преградой или в узких каналах. При этом достигаются высокие температуры и давления, а также сравнительно большие скорости их изменения по сравнению с реализующимися в естественных процессах и используемых технологических приемах. Кавитационные воздействия приводят к физико-химическим превращениям в рабочих средах, которые могут решающим образом определить развитие технологических процессов, что особенно актуально и перспективно при бурном развертывании исследований по созданию нанодисперсных материалов.

Эмульсии и суспензии – разнообразные по составу и свойствам дисперсные среды – широко используются в пищевой, химической и текстильной промышленности, металлургии, металлообработке, строительстве и перерабатывающих технологиях, и их приготовление является весьма важным звеном во многих производствах. При этом качественный состав конечного продукта, затраты, связанные с его получением, во многом зависят от выбора технологических приемов для проведения этих процессов. Авторами продолжительное время исследуются явления и прикладные эффекты кавитации с целью интенсификации эмульгирования и диспергирования на основе применения кавитационных бичастотных воздействий. Установлено, в частности, что обеспечивается получение сока с мякотью при максимальном сохранении вкусовых и питательных качеств, значительном упрощении технологии и оборудования. Применительно к винодельческой промышленности реально создание суспензии бентонита с субмикронными частицами, площадь контакта которых с виноматериалом на 2-3 порядка выше, что позволяет значительно интенсифицировать процесс адсорбции пектиновых веществ и их флокуляции. С учетом этого в данной работе приводятся результаты исследований процесса диспергирования бентонита (месторождений Молдовы) с исходными частицами 200–300 мкм до субмикронных размеров.

Методика и анализ экспериментов. Эксперименты проводились на ультразвуковой кавитационной установке, работающей при избыточном статическом давлении. Метод обработки выбран на основе анализа теоретических и экспериментальных данных, свидетельствующих, что максимальное влияние на повышение эффективности ультразвукового диспергирования оказывают звуковое P_a и статическое P_o давления при соотношении $P_a/P_o \approx 0,5$ [1]. В ванну озвучивания объемом около одного литра засыпался бентонит в дистиллированную воду при соотношении твердой и жидкой фаз 1:20; ультразвуковую систему настраивали на резонансную частоту, необходимую амплитуду колебания, и проводилась кавитационная обработка. Амплитуда колебательного смещения измерялась электродинамическим датчиком, принцип действия которого известен [2]. Режим кавитации регистрировали по сигналам, поступающим от волноводного щупа на осциллограф, о чем свидетельствовала характерная картина спектра кавитационного шума.

Процесс нанодиспергирования бентонита в дистиллированной воде под воздействием ультразвуковой кавитации изучался в зависимости от времени озвучивания и амплитуды колебания волновода. Размер частиц в суспензии и степень дисперсности бентонита определяли методом электронной микроскопии.

Результаты и их обсуждение. Для выявления основных закономерностей, характеризующих ультразвуковое кавитационное диспергирование, возможностей управления и моделирования условий процесса применительно к различным твердым материалам, значительный интерес представляют кинетические особенности процесса, их взаимосвязь со свойствами суспензии бентонита с нанометрическими размерами частиц.

Таблица 1. Размер частиц d в зависимости от амплитуды колебаний A и продолжительности ультразвуковой кавитационной обработки τ

Амплитуда колебаний A , мкм	Длительность кавитационной обработки τ , мин					
	Контроль	4	8	12	16	20
	Размер частиц d , мкм					
5	100 - 200	52	35	17	7	3
10	- " -	46	28	7	2	0,5
15	- " -	31	11	4	1	0,4
20	- " -	14	4	1	0,5	0,4

Условия экспериментов и данные, характеризующие зависимость размеров частиц бентонита от времени ультразвуковой кавитационной обработки и амплитуды колебаний, представлены в табл. 1. Результаты свидетельствуют, что размеры частиц уменьшаются с увеличением амплитуды колебаний и продолжительности воздействия кавитации (рис. 1).

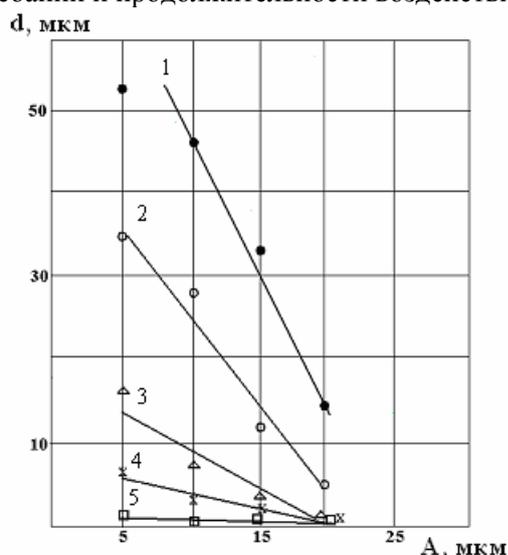


Рис. 1. Зависимость размеров частиц бентонита от амплитуды ультразвуковых колебаний τ , мин: 1 – 4; 2 – 8; 3 – 12; 4 – 16; 5 – 20

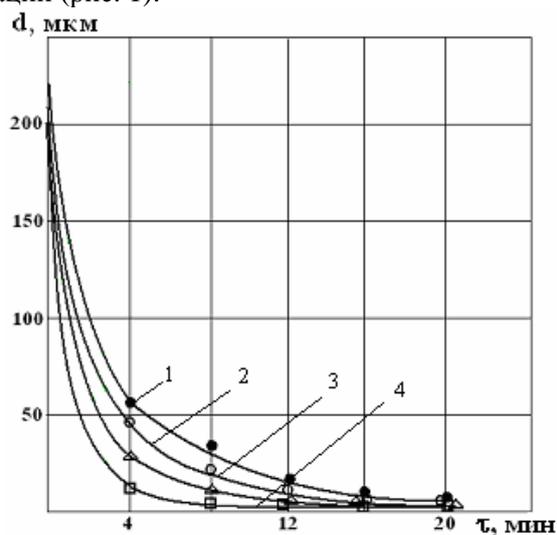


Рис. 2. Размеры частиц бентонита в зависимости от продолжительности воздействия ультразвуковой кавитации A , мкм: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20

С увеличением продолжительности воздействия кавитации угловые коэффициенты $\Delta\alpha$ для прямых $d = f(A)$ возрастают и составляют:

$\Delta\alpha$	2,5	2,1	1,1	0,4	0,2
τ , мин	4	8	12	16	20

Наиболее существенное влияние на диспергирование бентонита оказывает продолжительность ультразвукового воздействия (рис. 2).

Увеличение продолжительности воздействия кавитации сопровождается интенсивным уменьшением размеров частиц, причем наблюдается тенденция к достижению постоянной тонкой

дисперсии частиц при обработке более 12 мин. Степень влияния времени воздействия зависит от амплитуды колебания и проявляется тем сильнее, чем она больше.

Дисперсность исследовалась также в зависимости от величины амплитуды ультразвуковых колебаний при различных продолжительностях воздействия кавитации (табл. 2).

Таблица 2. Процентное содержание частиц бентонита с размерами 0,5–2 мкм, превалирующих в суспензии

Амплитуда колебаний А, мкм	Продолжительность воздействия кавитации τ , мин				
	4	8	12	16	20
	Интервал размеров частиц, мкм Процентное содержание частиц 0,5–2 мкм				
5	$\frac{52-5}{3}$	$\frac{30-3}{18}$	$\frac{17-1}{25}$	$\frac{7-0,5}{43}$	$\frac{7-0,5}{48}$
20	$\frac{14-2}{12}$	$\frac{4-1}{39}$	$\frac{1-0,5}{80}$	$\frac{1-0,4}{92}$	$\frac{0,5-0,3}{98}$

Результаты исследования влияния амплитуды ультразвуковых колебаний и продолжительности обработки на степень дисперсности показывают (рис. 3), что получение гомогенной суспензии с размерами частиц бентонита 0,5–2 мкм достигается при амплитудах колебаний выше 20 мкм и времени воздействия более 16 мин.

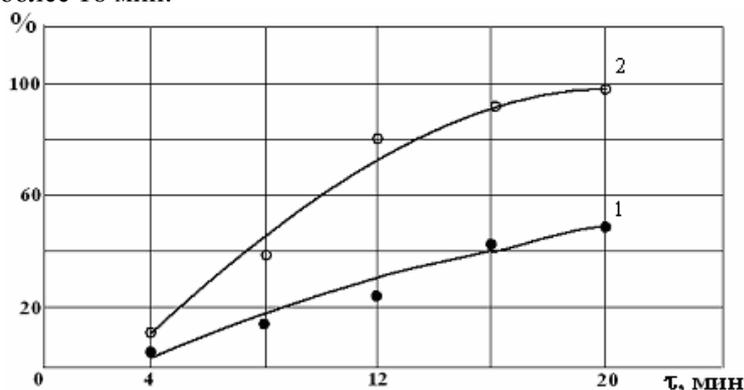


Рис. 3. Процентное содержание частиц бентонита с размерами 0,5–2 мкм в зависимости от продолжительности ультразвуковой кавитационной обработки. А, мкм: 1 – 5; 2 – 20

Электронно-микроскопический анализ свидетельствует, что в объеме суспензии содержатся частицы бентонита различных размеров. Средние размеры (продольные и поперечные) частиц до начала ультразвуковой обработки составляют 200–100 мкм. Визуальный микроскопический осмотр образцов подтверждает эффект высокодисперсной гомогенизации суспензии при обработке кавитацией (рис. 4).

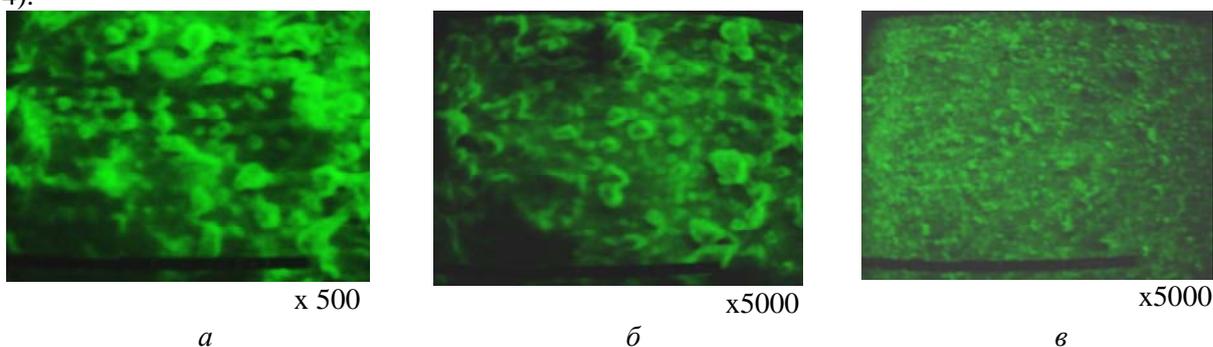


Рис.4. Электронно-микроскопические кадры дисперсии частиц бентонита: а – контроль (200–100 мкм); б – А = 5 мкм, $\tau = 4$ мин, $d = 52$ мкм; в – А = 20 мкм, $\tau = 20$ мин, $d = 0,4$ мкм

Из анализа полученных результатов и данных [3–5] можно заключить, что на процесс диспергирования оказывают влияние все основные эффекты, возникающие в мощных ультразвуковых полях: кавитация, звуковое давление, звукокапиллярный эффект, акустические потоки. Максимален эффект кавитации. В стадии сжатия ультразвуковой волны кавитационный пузырек и находящийся в нем газ сжимаются до высоких давлений. В фазе растяжения волны происходит мгновенное расширение кавитационного пузырька – микровзрыв, который образует ударную волну с мощным звуковым давлением.

На поверхности частиц бентонита, где имеются микротрещины и неровности поверхности образуются зародыши кавитационных пузырьков. Под действием звукокапиллярного эффекта и интенсивных акустических микропотоков жидкость проникает в поры и трещины, и при захлопывании пузырьков возникает ударная звуковая волна, которая разрушает частицы бентонита.

Анализ результатов (рис. 1–3) свидетельствует, что ультразвуковое диспергирование происходит в две фазы. Первая (время обработки – до 5 мин, рис. 2) – из-за наличия на поверхности исходных частиц бентонита большого количества микродефектов – протекает значительно быстрее второй. В этих условиях трение и взаимное соударение частиц сказываются на увеличении скорости измельчения. Затем наступает вторая фаза, когда частицы принимают округлую форму (рис. 4, в) и процесс измельчения замедляется (рис. 2, время обработки – больше 5 мин).

Диспергирование бентонита происходит интенсивно при условии, что усилие, оказываемое на частицу при захлопывании кавитационной полости (звуковое и статическое давление), выше реальной прочности измельчаемого бентонита. При выборе оптимальной продолжительности обработки (15–18 мин), звукового (2 Вт/см^2) и статического ($\sim 5 \text{ атм.}$) давления с использованием кавитационного метода можно достичь высокой дисперсности практически всей массы бентонита.

Заключение. Воздействием ультразвуковой кавитации обеспечивается диспергирование бентонита до субмикронных размеров. При увеличении продолжительности кавитационной обработки (более 16 мин) и амплитуды колебаний (выше 15–20 мкм) наблюдается тенденция к достижению постоянной тонкой дисперсности частиц. Гомогенная суспензия с частицами размерами 0,4–2,1 мкм достигается при амплитудах выше 20 мкм, обработке более 16 мин и обеспечивает существенное сокращение исходной массы бентонита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н. Основы физики и техники ультразвука. М.: Высшая школа, 1987. 352 с.
2. Herbert J. Ultrasonic. 1967. V. 3. P. 239–241.
3. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В., Коновалов Г.Е. Ультразвуковой кавитационный эффект. Минск, 1981.
4. Добаткин В.И., Эскин Г.И., Абрамов О.В. и др. Воздействие ультразвука на межфазную поверхность металлов и сплавов. М., 1986.
5. Владимирская М.А., Ермилов А.С., Агранат Б.А. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса диспергирования материалов слоистой структуры в УЗ поле // Проблемы создания и испытания высокотемпературных пластичных смазок. М., 1970. С. 33–36.

Поступила 20.10.06

Summary

It is shown that cavitation effects provide dispersion of Bentonit particles up to dimensions of nanoparticles. The dependencies of particle dimensions on the displacement amplitude, duration of treatment, and static pressure are found. Electronic–microscopic registration of dispersion is presented.