

А.А. Барзов, А.Л. Галиновский, М.В. Хафизов

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАСТРУЙНОГО СУСПЕНЗИРОВАНИЯ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Рассмотрено решение проблемы экспресс-оценки производительности ультразвукового суспензирования с помощью метода акустической эмиссии. Разработано информационно-методическое обеспечение технологического процесса суспензирования, которое позволяет оперативно, в режиме реального времени, оценить насыщенность жидкости элементами материала мишени при воздействии на нее ультразвуковой воды. Предложенные подходы могут быть эффективно использованы для решения аналогичных задач при гидроэрозии материалов и изделий.

E-mail: m_khafizov@mail.ru

Ключевые слова: ультразвуковое суспензирование, оптимизация, технологические параметры, производительность, эффективность технологии, акустическая эмиссия.

Процесс управляемой гидроэрозии поверхности твердотельной мишени (заготовки) в зоне удара ультразвуковой жидкости о мишень можно эффективно использовать для получения суспензий. В зависимости от технологических параметров обработки могут быть изменены конечные характеристики суспензии: концентрация материала мишени в жидкости, размеры частиц, свойства самой жидкости и т. д. [1, 2].

Таким образом, ударно-динамическое взаимодействие ультразвуковой жидкости с твердым телом и сопутствующие ему процессы в целом обладают широкими физико-технологическими возможностями и их изучение является актуальной научно-технической задачей.

Особенности ультразвукового метода получения суспензий. Под ультразвуковым суспензированием (УСУ) будем понимать совокупность физических методов и технических средств, реализация которых позволяет изменить состояние и свойства гидросреды, подвергнутой ультразвуковому воздействию (обработке). При этом суспензии получают насыщением рабочей жидкости микрочастицами гидродиспергируемого, размываемого ультразвуковой жидкости материала мишени. Именно гидроэрозионное разрушение ультразвуковой жидкости поверхностного слоя материала мишени является основным физическим процессом УСУ.

Предлагаемая технология УСУ дополняет известные способы получения суспензий (рис. 1). Ультразвуковые суспензии обладают ря-

дом уникальных свойств, которые определяются как активирующим физико-химическим действием удара ультразвука жидкости о мишень, так и условиями формирования самих твердофазных частиц.

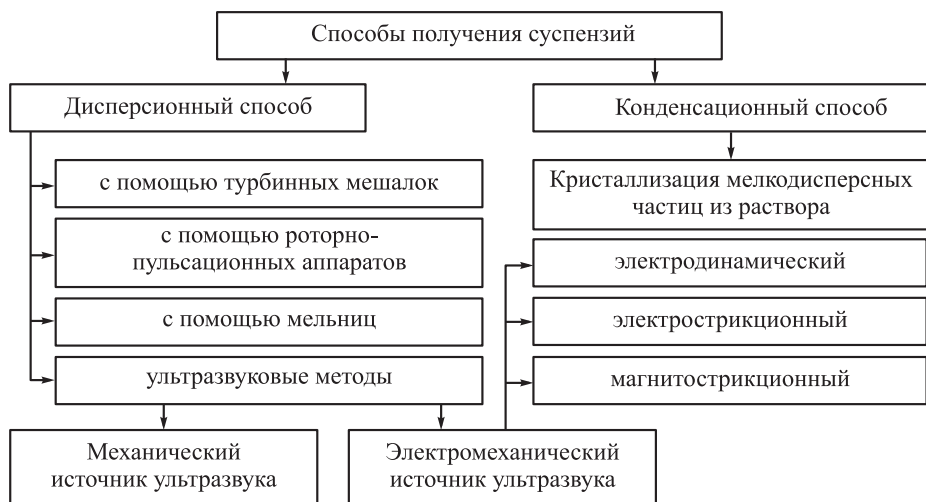


Рис. 1. Классификация основных способов получения суспензий

Однако практика использования метода УСУ выявила ряд недостатков, связанных, прежде всего, с отсутствием методов контроля текущих параметров процесса производства суспензии. Опыт применения метода акустической эмиссии (АЭ) для экспресс-диагностики механических методов обработки материалов позволил выдвинуть гипотезу о возможности применения информационно-диагностического обеспечения для контроля технологического процесса производства суспензий. Действительно, в процессе УСУ имеет место нарушение атомарно-молекулярной сплошности среды, являющееся основной причиной возникновения мощной, энергетически весьма значимой, инициированной АЭ [3]. Другими словами, при реализации данной технологии происходят разрушение обрабатываемого материала и разрыв адгезионных связей, локализованных в зоне деформации и максимального сдвигообразования.

Вместе с тем остаются нерешенными некоторые физико-технические задачи: не изучены источники АЭ; не установлены критерии выбора рациональных технологических режимов; не определены взаимосвязи параметров АЭ с технологическими режимами ультразвуковой обработки; не использована экспрессность метода.

Применение метода АЭ в технологии УСУ может развиваться в следующих направлениях:

- оптимизация режимов УСУ;
- диагностика процесса получения суспензий;

- оценка обрабатываемости материала мишени;
- контроль и прогнозирование износа расходных элементов технологического оборудования (фокусирующих сопловых насадок).

В качестве примера на рис. 2 и 3 предложен вариант оптимизации режимов получения суспензий.

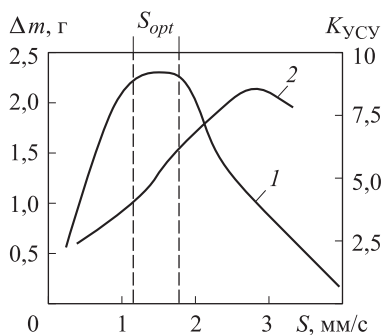


Рис. 2. Зависимости уноса массы материала мишени Δm (1) и физико-технологического критерия $K_{УСУ}$ (2) от скорости подачи сопловой головки S

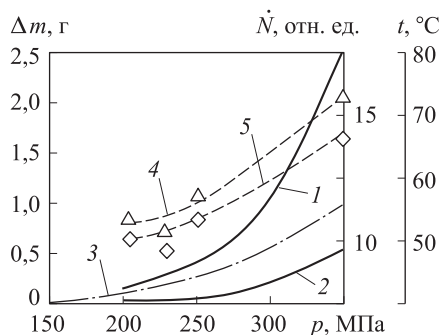


Рис. 3. Зависимости уноса массы материала мишени Δm от давления ультразвуку p (1, 2) и давления p от интенсивности АЭ \dot{N} (3) с учетом температуры суспензии t (4, 5):

1, 5 — для мишени из серебра; 2, 4 — для мишени из меди

Результаты экспериментов. Для оценки возможностей диагностики процесса УСУ методом АЭ были проведены эксперименты по получению суспензий на основе мишеней, изготовленных из химически чистого серебра и меди. Схема подключения акустической системы показана на рис. 4. Технологические параметры УСУ были следующими:

- давление ультразвуку $p = 200, 250, 350$ МПа;
- угол взаимодействия ультразвуку с мишенью $\alpha = 90^\circ$;
- траектория движения ультразвуку по поверхности мишени — спиралевидная (длина реза $L = 575$ мм, скорость подачи сопловой головки $S = 2$ мм/с);
- расстояние от мишени до среза сопла $h = 2$ мм;
- время воздействия ультразвуку на мишень $t = 240$ с.

В качестве инструментально фиксируемых параметров УСУ использовали: унос массы материала мишени; форму, размеры и распределение частиц твердой фазы, образующихся при гидродиспергировании мишеней; относительные значения параметров АЭ.

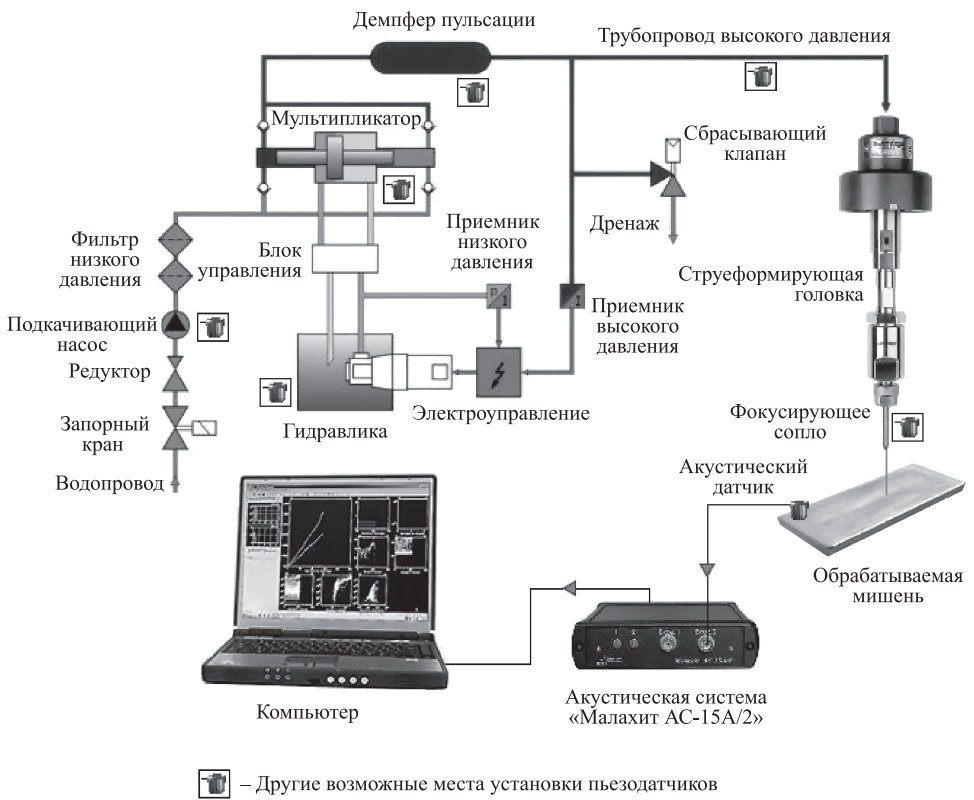


Рис. 4. Схема использования акустической системы для определения параметров процесса УСУ

В табл. 1, 2 и на рис. 5 приведены результаты экспериментов по получению ультразвуковых суспензий.

Таблица 1

Экспериментальные данные ультразвукового суспензирования

Давление p , МПа (варьируемый технологический параметр)	Оцениваемый технологический параметр		
	Унос массы Δm , г	Температура суспензии t , °С	Интенсивность АЭ \dot{N} , отн. ед.
200	0,24 / 0,04	52 / 54	320 / 360
250	0,31 / 0,07	54 / 57	390 / 435
350	2,67 / 0,46	69,4 / 73,0	490 / 540

Примечание. Через косую черту даны значения для суспензий на основе мишеней из серебра и меди.

Коэффициенты корреляции технологических параметров

—	ρ	Δm	\dot{N}	t
ρ	—	0,952 / 0,963	0,974 / 0,982	0,996 / 0,995
Δm	0,952 / 0,963	—	0,923 / 0,934	0,997 / 0,996
\dot{N}	0,974 / 0,982	0,923 / 0,934	—	0,950 / 0,961
t	0,996 / 0,995	0,997 / 0,996	0,950 / 0,961	—

Примечание. Через косую черту даны значения для суспензий на основе мишеней из серебра и меди.

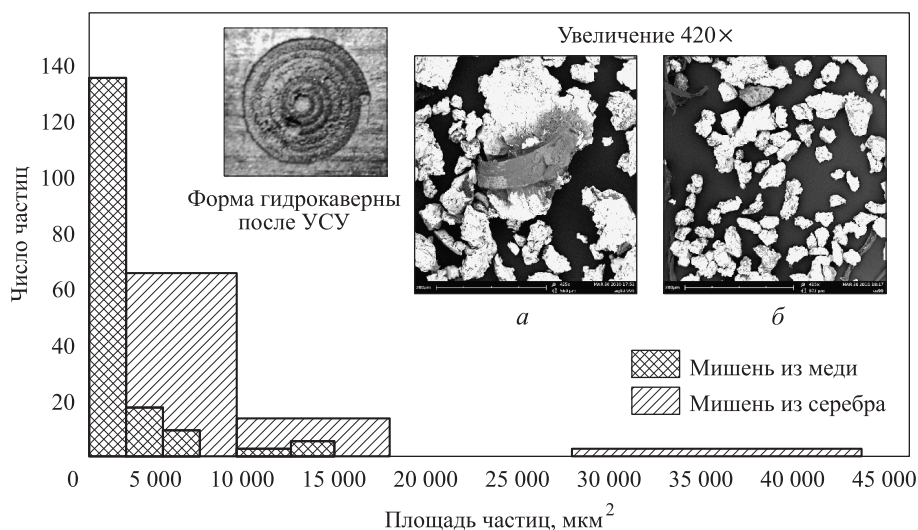


Рис. 5. Распределение частиц серебра (а) и меди (б) различных фракций в зависимости от их площади

Следует отметить, что экспериментально установленные физически обусловленные прямые и обратные связи между волнами упругих деформаций (АЭ) и физико-химическими процессами УСУ определяют перспективу развития метода эмиссионной диагностики. При этом удельный физико-технологический критерий, который связывает совокупность процессов различной физической природы в зоне взаимодействия ультразвука и мишени с выходными параметрами обработки [4], в частности с массой унесенного материала или его объемом, можно записать в виде

$$K_{УСУ} = k \frac{A\dot{N}}{v_{ж}} \sim \frac{\dot{V}_{м}}{\dot{V}_{ж}},$$

где k — постоянная обработки (коэффициент, постоянный для дан-

ных условий УСУ); A, \dot{N} — амплитуда и интенсивность (скорость счета) АЭ; $v_{ж}$ — скорость жидкости при УСУ; \dot{V}_m — удельный объем унесенного в процессе УСУ материала мишени; $\dot{V}_ж$ — удельный объем рабочей жидкости (воды).

Дальнейшее расширение практических возможностей метода АЭ может быть направлено также на решение вопросов диагностики гидроструйного оборудования, применяемого для УСУ (рис. 6).



Рис. 6. Возможности и направления применения метода АЭ в технологии УСУ

В ходе выполнения исследований было установлено наличие: корреляционной связи между параметрами волн упругих деформаций, режимами и физико-технологическими особенностями УСУ с использованием различных материалов мишеней; возможности эффективного использования метода АЭ для оценки текущего состояния элементов технологической системы (фокусирующих сопловых насадок, трубопроводов, систем высокого давления и др.).

Полученные результаты позволили сформировать структурную схему инженерного информационно-аналитического обеспечения технологии УСУ (рис. 7).



Рис. 7. Структурная схема инженерного информационно-аналитического обеспечения технологии УСУ

Перспективными задачами научных исследований по развитию технологии УСУ являются:

1) численное моделирование УСУ при варьировании технологических параметров (давление жидкости, угол наклона ультраструи к преграде, скорость подачи сопловой головки и др.) для количественной оценки выходных параметров обработки, в частности концентрации материала мишени в жидкости. Сопоставительный анализ теоретических данных численного моделирования методом конечных элементов и результатов экспериментальной отработки;

2) расширение экспериментальной базы исследований, в первую очередь в направлении оценки рациональных режимов УСУ методом АЭ на основе химически чистых металлов и монокристаллов (Zn, Mo, Si и т. д.);

3) технико-технологическое совершенствование и повышение производительности УСУ за счет наложения на зону ультразвукового взаимодействия физических полей, например температуры.

Выводы. Рассматриваемая технология УСУ синергетически объединяет положительные черты двух во многом подобных гидротехнологий: кавитационно-волновой и ультразвуковой обработки жидкостей. Однако присущая ей высокая энергетическая вариативность определяет расширение технологических возможностей, а также получение новых ультразвуковых суспензий, обладающих рядом уникальных свойств.

В результате исследования установлены корреляционные связи между параметрами волн упругих деформаций, режимами и физико-технологическими особенностями УСУ с применением мишеней из различных материалов, что позволит использовать АЭ в качестве основы при создании методики контроля процесса производства суспензии в режиме реального времени.

Работа выполнена за счет средств гранта Президента РФ № 16.120.11.5069-МД и грантов РФФИ № 12-08-00802-а и № 12-08-33022-мол а вед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В.А., Полухин А.Н. Оценка геометрических параметров формируемой поверхности при гидроабразивной обработке // Вестн. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Сер. Машиностроение. – 2012. – № 1 (86). – С. 107–116.
2. Галиновский А.Л. Анализ инновационного потенциала ультразвуковых технологий в оборонных отраслях промышленности // Оборонная техника. – 2008. – № 6. – С. 54–59.
3. Подураев В.Н., Барзов А.А., Горелов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. – М: Машиностроение, 1988. – 56 с.
4. Барзов А.А. Эмиссионная технологическая диагностика: Б-ка технолога. – М.: Машиностроение, 2005. – 384 с.

Статья поступила в редакцию 19.09.2012