

СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

[Хмелёв В.Н.](#), [Шалунов А.В.](#), [Хмелёв М.В.](#)

ООО «Центр ультразвуковых технологий»
г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Реализация технологических процессов, связанных с получением и использованием наноматериалов требует мощнейших энергетических воздействий на жидкие, твердые и газообразные среды. Необходимость таких воздействий возникает как на этапе проведения научных исследований, так и при организации серийных крупномасштабных производств.

Одним из наиболее эффективных энергетических воздействий, обеспечивающих изменение структуры и свойств любых материальных сред является воздействие ультразвуковыми (УЗ) колебаниями высокой интенсивности.

В связи с этим, огромные перспективы открываются для УЗ технологий получения наночастиц, обработки веществ, получения конструкционных и функциональных наноматериалов. Примеры практической реализации таких технологий – получение нанодисперсных частиц (в том числе, алмазов) во взрывающихся кавитационных пузырьках, сверхтонкое диспергирование органических и неорганических материалов в кавитирующих средах, формирование сверхтонких аэрозолей для нужд нанoeлектронники и химической промышленности, нанесение покрытий, получение устойчивых наноэмульсий, уплотнение нанопорошков, очистка, деагломерация, активация лекарственными препаратами и т.п.

Поскольку, в настоящее время, перед российскими нанотехнологами поставлена задача перехода от этапа исследований к этапу производства, возникает необходимость создания специализированного серийного оборудования, способного обеспечивать мощнейшее энергетическое воздействие на среды, в которых происходит формирование наноматериалов, осуществляется их очистка и модификация, а также на различные среды, из которых осуществляется формирование новых материалов на основе наноструктур.

Для создания специализированного оборудования, способного реализовать на практике известные и новые УЗ технологии получения конструкционных наноматериалов ООО «Центр ультразвуковых технологий» совместно с Бийским технологическим институтом и Ассоциацией «Межрегиональный Центр Наноиндустрии», реализуется ряд проектов, которые находят широкую поддержку, как со стороны государства (исследования поддержаны Советом по грантам Президента РФ для поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-383.2008.8. и выполняются в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы»), так и со стороны частных заказчиков.

В основу реализуемых перспективных проектов положен новый тип УЗ аппарата, включающего в свой состав информационно-измерительную и управляющую системы, обеспечивающие автоматическое определение и установление оптимального воздействия на любую из обрабатываемых сред за счет непрерывного контроля физических характеристик обрабатываемых технологических сред в различных состояниях (в том числе и кавитирующем состоянии на различных стадиях развития кавитационного процесса).

Создание специализированных аппаратов различной мощности позволит реализовать следующие основные группы технологий получения конструкционных наноматериалов.

1. Технологии получения наноматериалов, основанные на формировании в жидкости развитого кавитационного процесса, возникающего при прохождении через жидкость высокоинтенсивных ультразвуковых колебаний (с амплитудой до 150 мкм и частотой более 22 кГц). При распространении УЗ колебаний в жидких средах, в полупериод разряжения волны,

под действием растягивающих напряжений, происходит формирование полостей, заполненных газом, паром или их смесью. В момент схлопывания пузырька в полупериод сжатия, давление и температура газа достигают значительных величин - по некоторым данным до 100 МПа и 5000-25000 К. Так как взрыв происходит меньше, чем за наносекунду, при этом достигаются очень высокие скорости охлаждения, превышающие 10^{11} К/с. Взрывы пузырьков приводят к появлению в жидкости потоков, скорость которых достигает 150 м/с.

Ультразвуковая кавитация сопровождается распространением ударных волн, электрическими пробоями внутри пузырьков, образованием свободных радикалов, ускорением химических реакций и является настолько мощным инициатором физико-химических процессов, что позволяет реализовать следующие процессы:

- а) синтез конструкционных наноматериалов из растворов сонохимическими методами;
- б) синтез наноматериалов во взрывающихся кавитационных пузырьках. Примером такой технологии может служить реализованный способ получения нанодисперсных частиц углеродной фазы в процессе ультразвуковой кавитации;
- в) получение конструкционных наноматериалов с уникальной структурой развитой поверхности за счет кавитационного диспергирования исходных материалов. Проведенные исследования показали возможность получения частиц различных материалов (титан, сталь, алюминий, никель, кремний и т.п.) с размерами от 20 до 120 нм.

На рисунке 1 представлены фотографии ультразвуковых аппаратов различной мощности, созданных для реализации описанных технологий.



Рисунок 1 – Ультразвуковые аппараты, реализующие получение конструкционных наноматериалов: (а) из химических растворов; (б) в кавитирующих средах; (в) промышленное кавитационное диспергирование

2. Технологии структурирования наноматериалов, основанные на упорядочивающем действии колебаний средней интенсивности ($1...2$ Вт/см²), которое позволяет реализовать следующие процессы:

а) осаждение наночастиц из газовых сред. Технология основана на создании и применении УЗ излучателей нового типа для введения высокочастотных (более 22 кГц) колебаний с интенсивностью до 160 дБ в газовые среды. Такая технология позволяет повысить эффективность осаждения наночастиц и исключить потери материалов при их производстве и транспортировке;

б) сушку наноматериалов. Для реализации технологии созданы высокоэффективные мобильные сушильные установки с резонансными объемами специальной формы, обеспечивающие рациональное (оптимальное) энергетическое воздействие и УЗ излучатели нового типа, выполненные на основе пьезопреобразователей с изгибно-колеблющимися дисковыми пластинами. Созданные УЗ сушилки обеспечат сушку органических и лекарственных наноматериалов (экстрактов, лекарственных препаратов, взрывчатых веществ, ферментов и т.п.) без агломерации, повышения температуры и разрушения их структуры;

в) формирование и распыление наноматериалов. Технология основана на мелкодисперсном УЗ распылении жидкостей и расплавов с целью получения образцов материалов для анализов и нанесения равномерных покрытий. Созданные распылители (ингаляторы) могут стать основным инструментом быстрого введения наночастиц, содержащих лекарственные препараты или являющихся медицинскими нанороботами в кровь через альвеолы легких человека. Подобные технологии могут быть использованы для нанесения лекарственных, защитных покрытий, а также для распыления наночастиц в помещениях для стерилизации, введения в организмы животных и т.п. Ультразвуковые технологические аппараты для осуществления описанных технологий показаны на рисунке 2.

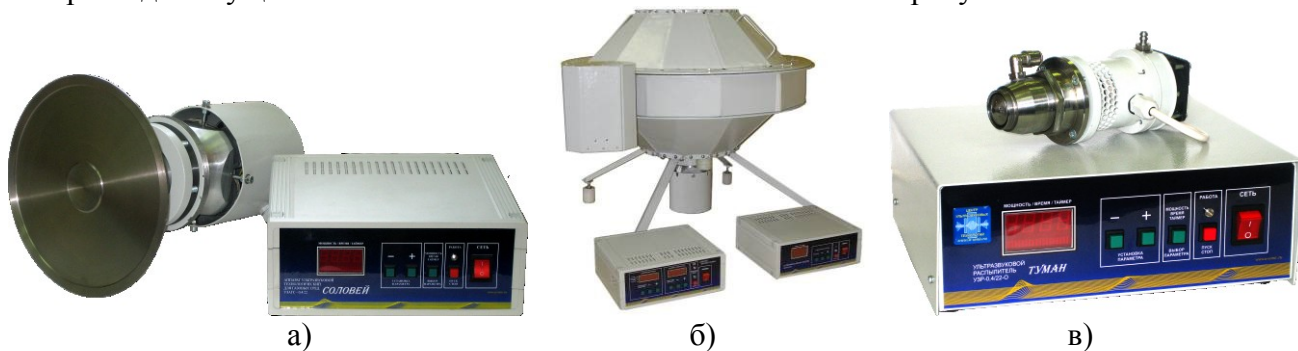


Рисунок 2 – Ультразвуковые аппараты для структурирования конструкционных наноматериалов: (а) осаждение из газовых сред; (б) ультразвуковая сушка; (в) распыление

3. Технологии применения наноматериалов, основанные на способности ультразвуковых колебаний разрушать агломераты наночастиц, производить активацию их поверхности, наносить тонкие пленки. Это процессы:

а) равномерного распределения наночастиц в вязких жидких материалах, например, в полимерных смолах для увеличения прочности композиционных материалов, маслах для нанесения полирующих и упрочняющих покрытий. УЗ аппараты этого класса так же являются эффективным средством разрушения агломератов наночастиц за счет диспергирующего эффекта и обеспечивают электрическую нейтрализацию частиц;

б) очистки поверхности наночастиц от органических и неорганических материалов и активации их поверхности. УЗ аппараты позволяют создать на основе наноматериалов уникальные по свойствам клеевые и пропиточные составы, подготовить наночастицы для дальнейшего покрытия их слоями лекарственных или смазывающих материалов;

в) напыления наноразмерных слоев материала за счет ультрадисперсного распыления. Аппараты, предназначенные для реализации указанных процессов, представлены на рисунке 3.



Рисунок 4 – Ультразвуковые аппараты для: (а) введения наночастиц в вязкие среды; (б) напыления наноразмерных слоев; (в) очистки и активации поверхности наночастиц

Созданные ультразвуковые аппараты могут стать рабочим инструментарием современной наноиндустрии, способным обеспечивать мощнейшее энергетическое воздействие на любые технологические среды, в которых происходит формирование конструкционных

наноматериалов, осуществляется их очистка и модификация, либо осуществляется формирование новых материалов на основе наноструктур.

Применение и организация серийного производства создаваемых аппаратов открывает новые перспективы для реализации существующих и создания новых ультразвуковых технологий.