

## **УЛЬТРАЗВУКОВАЯ МЕХАНОАКТИВАЦИЯ ПОРОШКОВ**

<sup>1,2</sup>Рубаник В.В., <sup>1,2</sup>Шилин А.Д., <sup>1</sup>Луцко В.Ф., <sup>1,2</sup>Рубаник В.В. мл., <sup>3</sup>Trung Tran Bao,  
<sup>3</sup>Phuong Doan Dinh, <sup>1</sup>Лесота А.В., <sup>1</sup>Никифорова И.В.

<sup>1</sup>ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»

г. Витебск, Беларусь, E-mail: ita@vitebsk.by

<sup>2</sup>УО «Витебский государственный технологический университет»,

г. Витебск, Беларусь

<sup>3</sup> Institute of Materials Science Vietnam Academy of Science and Technology  
Hanoi, Vietnam

В последние несколько десятилетий повышенный интерес исследователей вызывают наноструктурные материалы. Эти материалы обладают высокой прочностью и рядом других, улучшенных и привлекательных для технических применений, физических свойств. Механоактивация (или механосинтез) сегодня является одной из наиболее перспективных технологий, позволяющих путем механического размола уменьшить размер микрокристаллических блоков до 10 нм и менее [1]. При механическом воздействии на твердые смеси происходит измельчение вещества, ускорение массопереноса, перемешивание компонентов смесей на атомарном уровне и активация их химического взаимодействия [1,2]. Дополнительное введение в зону реакции ультразвуковых колебаний способно существенно изменить характер формирования поля напряжений во время взаимодействия и кинетику последующих релаксационных процессов.

К настоящему времени хорошо установлено, что ультразвуковая обработка (УЗО) является одним из высокоэффективных методов модификации микроструктуры и механических свойств материалов [3-5]. Известен весьма широкий спектр эффектов, связанных с воздействием ультразвука на материалы: улучшение структуры, снятие внутренних напряжений в деформированных металлах, повышение характеристик пластичности (акустопластический эффект) и др. При этом, в зависимости от частоты, амплитуды, локальности воздействия, можно достичь как упрочнения материала, так и его разупрочнения, пластификации. Поэтому УЗО является перспективным методом обработки, позволяющим, в сочетании с другими способами, варьировать свойства материалов в весьма широких пределах.

Целью работы являлась выяснение закономерностей изменения свойств композитных порошков после ультразвуковой механоактивации, определение возможности получения в дальнейшем с помощью такой обработки однородных материалов с высокими механическими свойствами методом горячего изостатического прессования.

Эффективность воздействия ультразвука при обработке металла в значительной степени зависит от выбора схемы подвода ультразвуковых колебаний к очагу деформации. Основной фактор, определяющий эффект высокоэнергетического воздействия – это ультразвуковое поле в объеме образца, которое создается с помощью ультразвуковых колебательных систем, включающих преобразователь, согласующий элемент и излучатель.

Композитные порошки могут быть механоактивированы и измельчены ультразвуковым диспергированием в жидкости. Наличие в данной среде примесей приводит к возникновению в ней давления, избыточного по отношению к атмосферному. При ультразвуковом диспергировании может протекать два отдельных или совмещенных процесса: кавитационного и гидроабразивного разрушения материала порошков. Кавитационное разрушение происходит под воздействием энергии, освобождающейся при захлопывании кавитационных пузырьков. Гидроабразивное – при взаимодействии частиц перемещаемых в жидкой среде акустическими потоками в результате прямого удара о поверхность и скольжения с ударами о микронеровности. Интенсификация ультразвукового процесса диспергирования материала достигается в установках, работающих под избыточным статическим давлением. Наибольшее распространение имеют установки,

выполненные из нержавеющей стали, дно которых является излучающей поверхностью. Для создания избыточного статического давления в установку подается инертный газ.

В качестве источника УЗК использовали генераторы УЗГ1-1 и УЗГ3-4 соответственно мощностью 1 и 4 кВт. В конструкцию установок, кроме генераторов, вошли: ультразвуковой преобразователь ПМС-1-1, ПМС-15-А-18, бустеры и оснастка. Частота ультразвукового колебаний для всех режимов составляла  $22 \pm 0,5$  кГц, амплитуда до 50 мкм, время озвучивания – до 1 часа. Использовали как непрерывный режим ультразвукового воздействия, так и импульсный. УЗО проводили также под избыточным гидростатическим давлением (4 атм.).

Проведены исследования по влиянию ультразвуковых колебаний на структуру, размер частиц и агломератов в порошках WC,  $\text{Co}_3\text{O}_4$  с размером частиц менее 1 мкм, полученных в IMS (Вьетнам, Ханой) химическим способом, Si с размером частиц 10–25 мкм и Al с размером частиц ~70 мкм. Ультразвуковую обработку проводили в среде спирта 30 мин, с частотой колебаний 22 кГц. Влияние ультразвуковых колебаний на структуру порошков исследовали Scanning Electron Microscope (SEM) Hitachi S4100, концентрацию частиц разных размеров порошков исследовали на LS Particle Size Analyzer, также был произведен рентгеноструктурный анализ порошков на X'Pert PRO Diffraction System from PANalytical.

В результате исследования на (SEM) Hitachi S4100 выявлено, что после ультразвуковой обработки порошка  $\text{Co}_3\text{O}_4$  возрастает количество более мелких частиц, в то время как средний размер частиц остается прежним (рис.1).

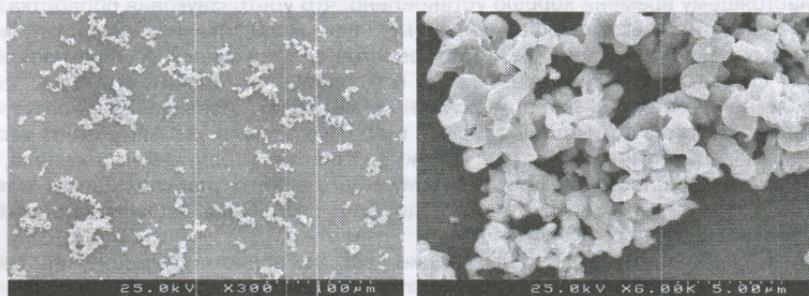


Рисунок 1 – Микрофотографии порошка  $\text{Co}_3\text{O}_4$  после ультразвуковой обработки

В порошках алюминия после ультразвуковой обработки кроме изменения размеров агломератов, также стал меньше и сам размер частиц (рис.2,3). После УЗО агломераты в порошках вольфрама и алюминия измельчаются, в итоге концентрация агломератов меньших размеров возрастает.

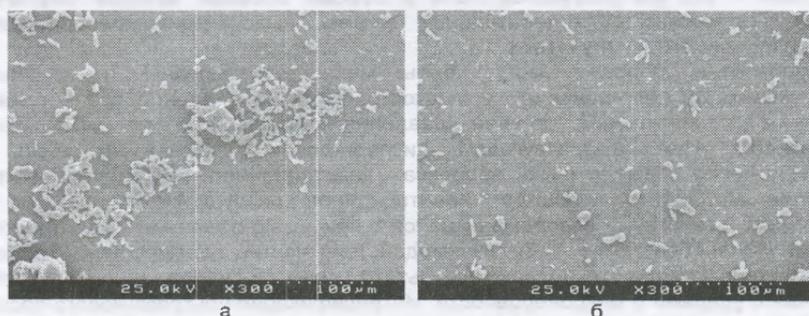


Рисунок 2 – Микрофотографии порошка алюминия до (а) и после ультразвуковой обработки (б)

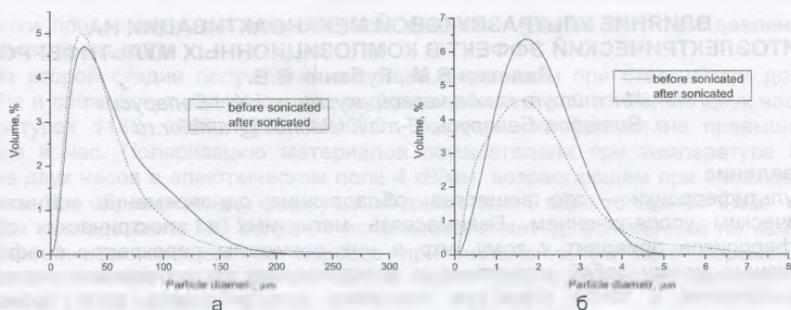


Рисунок 3 – Гистограммы распределения частиц порошков алюминия (а) и карбида вольфрама (б) по размерам до и после УЗ обработки

Анализ рентгенограмм и гистограмм распределения частиц по размерам исследуемых порошков показал, что интенсивное ультразвуковое воздействие позволяет измельчить агломераты и в незначительной степени частицы. При этом существенных изменений в рентгенограммах исследуемых порошков не выявлено. Можно констатировать, что оптимальной является УЗО в кавитационном режиме при повышенных гидростатических давлениях.

Работа выполнялась в рамках проекта БРФФИ № Т15В-004.

#### Список литературы:

1. Бутягин П.Ю. Проблемы и перспективы развития механохимии // Успехи химии. 1994. – Т. 63. – С. 1031–1043.
2. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ / Болдырев В.В. // Успехи химии. – 2006. – Т.75, N 3. – С.203–216.
3. Агранат, Б.А. Ультразвук в порошковой металлургии. / Б. А. Агранат [и др.]. – М: 1986. – 168 с.
4. Артемьев В.В., Клубович В.В., Рубаник В.В. Ультразвук и обработка материалов. Мн.: Экоперспектива, 2003. – 335с.
5. А.Назарова, Р.Мулюков, В.Рубаник и др. Влияние ультразвуковых колебаний на структуру и свойства ультрамелкозернистого никеля/ФММ. – 2010. – Т.110(6). – с.600–607.