

## Секция 1

# Химия и химическая технология неорганических веществ и материалов

## НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ. ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПО НАНОМАТЕРИАЛАМ

А.П. Ильин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, [ilyin@tpu.ru](mailto:ilyin@tpu.ru)*

Приток специалистов из смежных областей наук и неквалифицированных молодых ученых из области исследований порошковых материалов привел к многим неопределенностям в понятиях, формулировках и в интерпретации результатов исследования наноматериалов. К тому же размыты границы самого предмета исследований. Еще Оствальдом в 19 веке предложена классификация дисперсных систем, основанная на физикохимии дисперсной фазы и дисперсной среды. Современное определение «нанопорошок», предложенное Зигелем, не связано с новыми свойствами «нано» и упрощено до размера в одном направлении. В советском определении нанодисперсных (ультра) порошков рассмотрены скорее всего кластеры: отнесение к порошкам проведено при сравнении размеров частиц и масштаба какого-нибудь физического явления. Длина свободного пробега электрона в металлах, например, при стандартной температуре составляет  $\approx 10$  нм. Неопределенности, сложности в понимании не позволили внедрить это определение в практику.

Ряд ученых считает, что по совокупности свойств нанодисперсные порошки следует отнести к новому состоянию вещества – промежуточному между твердым телом и жидкостью. Поэтому стандартные для порошковой металлургии методы диагностики к нанопорошкам не применимы. Например, нанопорошок алюминия может иметь насыпную плотность равную  $0,08$  г/см<sup>3</sup>. Структурно-энергетическое состояние нанопорошков, таким образом, следует отнести к фундаментальным проблемам исследований. К

настоящему времени известно, что наночастицы металлов в воздухе после пассивирования не пирофорны благодаря двойному электрическому слою на их поверхности. При этом такое состояние вещества характеризуется запасенной энергией, превышающей в несколько раз стандартную теплоту плавления данного металла.

С точки зрения термодинамики такое состояние вещества не возможно: при поглощении энергии больше теплоты плавления оно должно стать жидким. Таким образом, нанодисперсное состояние металлов с удельной запасенной энергией, кратно превышающей стандартную теплоту плавления, действительно, получено и относится к состоянию вещества, которое сформировано за счет неадиабатических переходов (нетепловых).

Для исследования нового структурно-энергетического состояния вещества необходимо в программу обучения специалистов включить следующие разделы науки [1–4]: действие энергии высокой плотности мощности на твердое тело; классификацию дисперсных систем с данными о структуре поверхности и объеме частиц; методы исследования, адаптированные к нанодисперсным порошкам; нетепловые процессы радиационной физикохимии в порошках металлов. В Томском политехническом университете разработано оборудование (циклотрон, ускорители электронов с различной энергией,  $\gamma$ -контур ядерного реактора, генераторы СВЧ-излучения и др.) и имеются приборы для диагностики веществ. Введение в систему отчетности научно-педагогических работников – индивидуаль-

ных контрактов привело к разрушению научных кадров: вместо общения, в первую очередь, с ведущими учеными, конференции аспирантов, магистрантов и студентов являются общением неквалифицированных кадров и не дают поло-

жительного эффекта в продвижении знаний. Для развития этого направления требуется подготовка научно-педагогических кадров высокой квалификации выше квалификации технически развитых стран.

### Список литературы

1. Ильин А.П., Громов А.А. *Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии.* – Томск: Изд-во Том.уни-та, 2002. – 154с.
2. Громов А.А., Хабас Т.А., Ильин А.П. и др. *Горение нанопорошков металлов.* – Томск: Дельтаплан, 2008. – 382с.
3. Ильин А.П., Кориунов А.В., Перевезенцева Д.О., Толбанова Л.О. *Проблемы диагностики нанопорошков и наноматериалов.* – Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2010. – 249с.
4. *Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов: учебное пособие / А.П. Ильин, О.Б. Назаренко, А.В. Кориунов, Л.О. Ротт.* – Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2012. – 196с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЗАПАСЕННОЙ ЭНЕРГИИ В МИКРО- И НАНОПОРОШКАХ МЕТАЛЛОВ ОБЛУЧЕНИЕМ СВЧ

А.В. Мостовщиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30*

Наноразмерные и микронные порошки металлов находят всё большее применение в различных технологиях. Сочетание таких факторов, как высокая площадь удельной поверхности, высокая (в сравнении с массивным состоянием) скорость и теплота окисления позволяют использовать порошки в составе высокоэнергетических материалов, в порошковой металлургии, составах для спекания керамик, 3D печати и т.д. Ранее было показано, что различные высокоэнергетические воздействия на наноматериалы изменяют их свойства [1]. Известно, что воздействие потоков ускоренных электронов существенно меняет микроструктурные и термохимические свойства порошков металлов. Например, воздействие электронных пучков с энергией 4 МэВ на нанопорошки железа и алюминия привело к увеличению теплового эффекта окисления в 2,4 и 1,8 раза, соответственно [2].

Электромагнитное излучение сверхвысокой частоты также находит всё большее применение в различных технологиях, вследствие чего активно развивается исследование механизмов взаимодействия СВЧ-излучения с веществом [3]. В настоящее время начинает активно развиваться направление модифицирования физико-химических свойств порошков металлов с

помощью СВЧ-излучения [4]. В частности, ранее установлено, что воздействие СВЧ-излучения на нанопорошок алюминия приводит к снижению температуры начала окисления порошка, повышению удельного теплового эффекта окисления, а также к увеличению степени окисленности при нагревании в воздухе. К сожалению, влияние СВЧ-излучения на микронные порошки алюминия оставалось не изученным, несмотря на то, что микронные и наноразмерные порошки алюминия находят всё большее применение.

Известно, что воздействие СВЧ-излучения, как и электронных пучков, на оксиды алюминия и железа в присутствии восстановителя приводит к восстановлению металлов в соответствующих оксидах. В случае микро- и нанопорошков алюминия и железа порошки представляют собой композит «металл-оксид», покрытый слоем адсорбированной воды и кислорода. После диссоциации молекул воды и восстановления протонов, в порошках присутствует некоторое количество водорода, который при воздействии СВЧ-излучения способен ускорять восстановление Al и Fe из их оксидов.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания «Наука», проект № 11.1928.2017/4.6.