

- высокая степень влагонепроницаемости позволяет не только сохранить теплоизоляционные свойства аэрогеля в условиях повышенной влажности, но и надежно защитить изолируемые объекты от вредного воздействия атмосферных осадков и коррозионных процессов;

- высокая прочность, гибкость и эластичность обеспечивают длительный срок службы без заметного снижения полезных свойств аэрогеля. Даже под влиянием сильного механического воздействия они не разрушаются и вновь принимают свою первоначальную форму. При этом, в отличие от традиционных утеплителей, герметичность защитного слоя не нарушается, и уровень теплоизоляции сохраняется прежним;

- легкий вес и возможность рулонного варианта исполнения облегчает и транспортировку материала, и процесс монтажа, значительно сокращая сроки на его проведение. При этом нагрузка на изолируемые объекты практически не изменяется, как это происходит в случае применения других видов теплоизоляции. Изоляционный слой при этом не требует много места, что очень важно в стесненных условиях производственных помещений;

- состоящие из кварцевого материала, являющегося, по сути, песком, эти утеплители совершенно безвредны, как для человеческого здоровья, так и для окружающей среды. Процесс утилизации отходов облегчен тем, что отходы аэрогелевых утеплителей занимают очень малый объем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Почтман, Ю.М. Техника Без Опасности. Эффективность потребления ресурсов. Технология устойчивого развития / Ю.М. Почтман, В.А. Бараненко. – М.: Стройиздат, 2010. – № 5.
2. Aerogels/Ed.J. Fricke. – Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: SpringerVerlag, 1986. – 205 p
3. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Наука-Физматлит, 2007. – 416 с.
4. [Электронный ресурс] Таблица\_1. – Режим доступа: [http://thermalinfo.ru/publ/tverdye\\_veshhestva/stroitelnye\\_materialy/teplofizicheskie\\_svoystva\\_teploprovodnost\\_plotnost\\_temperatura\\_primeneniya\\_gibkoj\\_teploizoljacji\\_na\\_osnove\\_aehrogelja/6-1-0-363](http://thermalinfo.ru/publ/tverdye_veshhestva/stroitelnye_materialy/teplofizicheskie_svoystva_teploprovodnost_plotnost_temperatura_primeneniya_gibkoj_teploizoljacji_na_osnove_aehrogelja/6-1-0-363).
5. Строительная теплотехника: ТКП 45-2.04-43-2006. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2007. – 24 с.

УДК 544.774.2

### ПРОИЗВОДСТВО АЭРОГЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**И.А. ДАВЫДЕНКО**

*(Представлено: Е.С. НЕКРАСОВА)*

*Достижения в области науки приводят к совершенствованию технологий. Представлено исследование аэрогеля АЮОН, который может синтезироваться с применением нового оригинального метода – селективного управляемого окисления водяным паром алюминия, растворенного в расплаве галлия (свинца, висмута и др.).*

Аэрогель начал производиться еще в 1940-х годах, но в 1970-х производство было остановлено вследствие слишком высокой стоимости и опасности производства.

С каждым годом ученые прилагают усилия по развитию технологии производства. Основными направлениями изучения для осуществления широкой коммерциализации аэрогелей являются снижение затрат на его производство, а также повышение качества продукта.

Существуют следующие способы производства аэрогелей:

- «золь-гель» – технология с применением сверхкритического (либо сублимационного) высушивания;
- метод плазменного гидролиза;
- жидкометаллическая технология [1].

Метод сверхкритической сушки применяется в тех случаях, когда необходимо избежать повреждения поверхностей исследуемых объектов за счёт капиллярных эффектов. При обычном высушивании на воздухе или в вакууме во всех впадинах образцов возникают большие стягивающие силы, связанные с большим поверхностным натяжением на границе раздела «жидкость – газ». Действие этих сил в процессе сушки приводит к деформации областей действия данных сил, а иногда к полному схлопыванию впадин на поверхности. Чтобы этого избежать, можно проводить сушку в системе, в которой отсутствует

граница раздела фаз и, как следствие, поверхностное натяжение. Такой системой может служить сверхкритический флюид как гомогенная среда, в которой есть только одна фаза.

Сверхкритический  $\text{CO}_2$  также может быть использован вместо спирта для осушения жидких гелей. Отсутствие поверхностного напряжения в сверхкритических флюидах позволяет осушать гели с минимальным уменьшением объема, сохраняя матричную структуру геля практически неизменной. В результате, аэрогели, сформированные методом сверхкритической сушки, имеют большую площадь поверхности, меньшую плотность, большие размеры пор и объем пор.

Способ очистки сверхкритическим флюидом от остаточного растворителя является ключевой стадией в фармацевтической и пищевой промышленности. Традиционные методы очистки чрезвычайно энергоемки. Технологии сверхкритической сушки, разработанные TharProcess, позволяют эффективно убирать остаточный растворитель из продукции.

Аэрогели, выпускаемые немецкими и американскими производителями, используют в основном «золь-гель» технологии (Кистлер, 1931 г.) с применением сверхкритического (реже сублимационного) высушивания, или метод плазменного гидролиза.

В отличие от указанных технологий, жидкометаллическая технология не использует вредные и агрессивные жидкости. Нет необходимости создавать высокие давления, что существенно снижает уровень затрат на оборудование, упрощает технологические схемы и снижает стоимость продукта.

Государственный научный центр Российской Федерации «Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» разрабатывает производство наноструктурного аэрогеля  $\text{AlOON}$  для создания нового поколения сенсорной и конструкционной керамик, сорбентов, резинотехнических изделий, тепловой изоляции.

Способ получения аморфного мезопористого аэрогеля гидроксида алюминия со слоисто-волоконистой микроструктурой включает проведение реакции синтеза аморфного гидроксида алюминия в герметичной емкости путем обработки галлий-алюминиевого расплава газовой смесью на основе инертного или малоактивного газа с водяным паром с содержанием пара 1–30 об. % при температуре 50...150 °С [2].

Для синтеза ультрапористого оксигидроксида алюминия со слоисто-волоконистой наноструктурой используется специализированная установка (рис. 1).

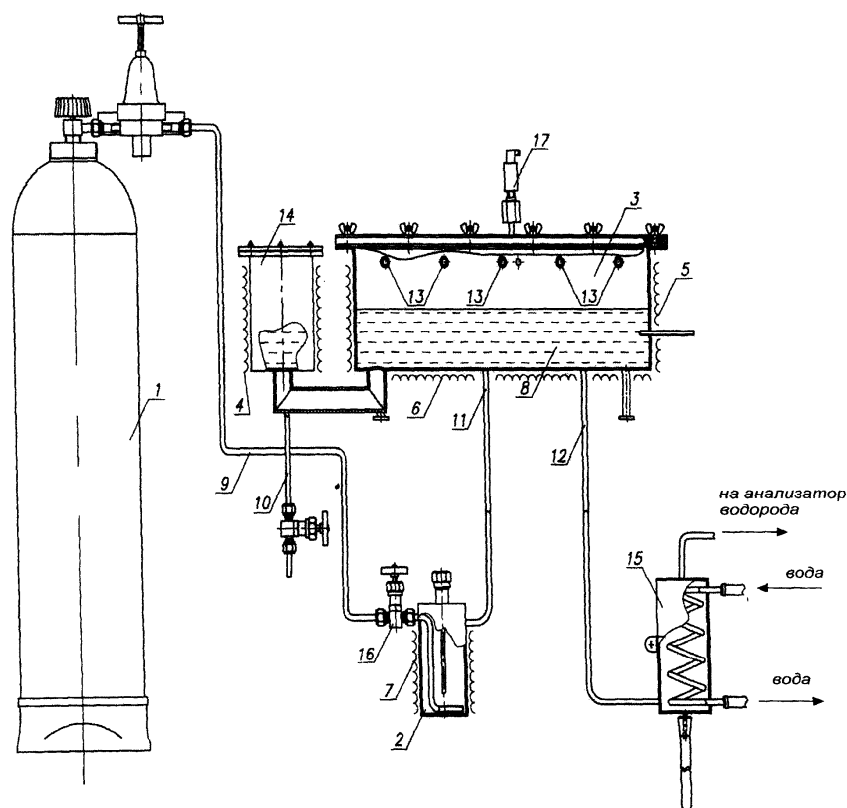
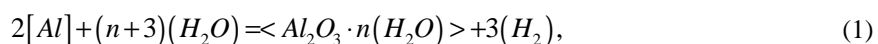


Рис. 1. Конструкция установки:

- 1 – источник инертного газа; 2 – увлажнитель; 3 – реакционная емкость; 4, 5, 6, 7 – электронагреватели; 8 – расплав галлия; 9, 10, 11, 12 – трубопроводы; 13 – впускной коллектор; 14 – бак для ввода алюминия; 15 – конденсатор влаги отработанного газа; 16 – регулировочный вентиль; 17 – манометр

Установка работает следующим образом. Увлажнитель 2 заполняют дистиллированной водой. Реакционную емкость 3 заполняют расплавом галлия так, чтобы его уровень находился ниже впускного коллектора 13, бак для ввода алюминия 14 позволяет производить непрерывную подпитку расплава галлия алюминием. При включенных электронагревателях 4, 5, 6 и 7 организуют подачу инертного газа, например, аргона из его источника (баллона) 1, через регулировочный вентиль 16 с необходимым расходом на вход увлажнителя 2. Попадая в увлажнитель 2, аргон выходит через отверстия в барботажной трубке, находящейся под уровнем воды, проходит в пузырьковом режиме слой дистиллированной воды и выходит в газовую полость увлажнителя, насыщаясь при этом парами воды. При этом степень насыщения парами воды регулируется температурой воды в увлажнителе 2 и расходом газа. Полученная паро-аргоновая смесь (с заданным паросодержанием) поступает по газовым линиям во впускной коллектор 13, а затем в газовый объем реакционной емкости 3, заполненной расплавом галлия 8. Реакционная емкость 3 сообщается с баком для ввода алюминия 14 по расплаву галлия. Это позволяет непрерывно подпитывать расплав галлия в реакционной емкости 3 алюминием до необходимого содержания, растворяя необходимое количество алюминиевой стружки в баке для ввода алюминия 14.

При контакте с поверхностью расплава в реакционной емкости водяной пар, находящийся в окислительной смеси  $\text{Ar-H}_2\text{O}$ , вступает в химическую реакцию с растворенным в галлии алюминием. В силу того, что сродство к кислороду у алюминия больше, чем у галлия, растворенный алюминий селективно окисляется, взаимодействуя с водяным паром. Галлий при этом не расходуется, а является своеобразной матрицей – средой для подготовки алюминия к окислению. В итоге по общей (результатирующей) реакции (1) образуются легкие белые «хлопья» – ультрапористый оксигидроксид алюминия со слоисто-волоконистой наноструктурой:



где вид скобок характеризует состояние реагентов и продуктов реакции: «[ ]» – растворенное; «( )» – газообразное; «<>» – твердое (аморфное).

Последующий отжиг синтезированного материала при температурах до 800 °С позволяет удалить часть физически и химически связанной воды и получить материал, соответствующий формуле  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  или  $\text{AlOOH}$ . При этом его слоисто-волоконистая наноструктура сохраняется. Следует заметить, что в отличие от изотропного аэрогеля  $\text{SiO}_2$ , у которого нановолокна переплетены между собой случайным образом, а аэрогель  $\text{AlOOH}$  обладает анизотропной структурой, т.е. нановолокна ориентированы преимущественно в одном направлении (рис. 2).

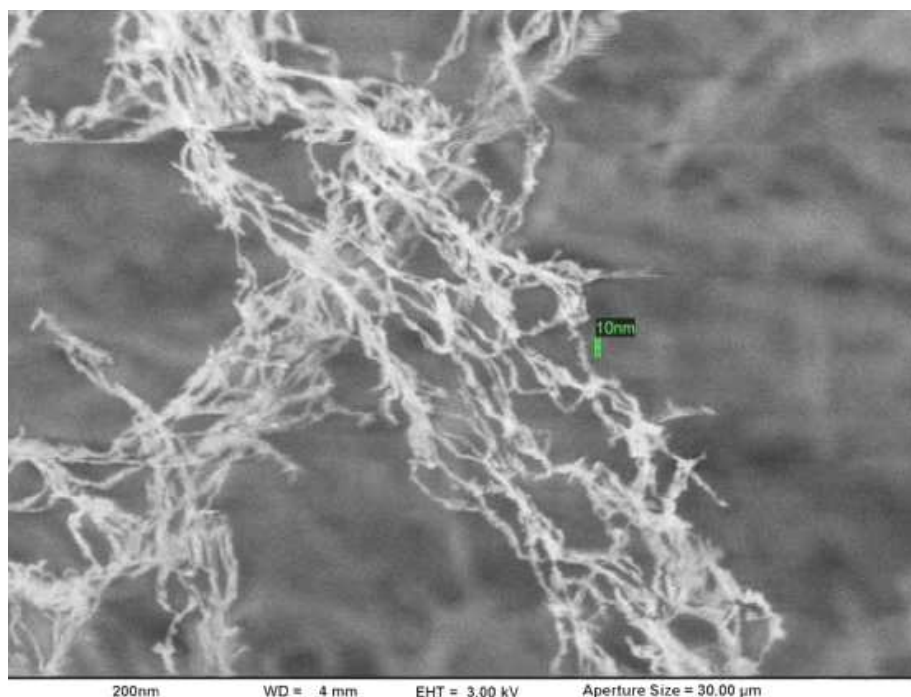


Рис. 2. Характерные размеры нановолокна аэрогеля  $\text{AlOOH}$  (Ga-Al)

Отработавшая паро-водородо-аргоновая смесь через выходной патрубок реакционной емкости направляется на вход в конденсатор влаги отработавшего газа 15 (см. рис. 1). Конденсатор влаги отработавшего газа 15 (конденсатор) является теплообменным устройством, представляющим собой цилиндрическую емкость, оборудованную змеевиком и конденсаторприемником. Конденсатор служит для удаления не прореагировавшего водяного пара из отработавшей паро-водородо-аргоновой смеси перед ее подачей на анализатор водорода (на схеме не показан). В анализаторе водорода измеряется содержание водорода в отработавшей паро-водородо-аргоновой газовой смеси. Анализатор водорода служит средством оперативного контроля за реакцией (1), протекающей в реакционной емкости 3 [3].

Основным преимуществом этой технологии, по сравнению с альтернативными способами производства, является отсутствие применения при производстве автоклавов, характеризующихся большим энергопотреблением, работой при высоких давлениях и температурах. Кроме этого, не требуются кислоты, солевые растворы и другие агрессивные реагенты, усложняющие технологию. Это позволяет существенно упростить техпроцесс производства и на порядок снизить стоимость конечного продукта, при этом по основным характеристикам аэрогель AlOON не хуже своих аналогов, получаемых методом сверхкритической сушки (таблица) [4].

Сравнительные характеристики различных видов аэрогелей

Свойство	Аэрогель AlOON	Аэрогель SiO <sub>2</sub>
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,005... 0,10	0,0011...0,65
Пористость, %	90... 99	90...99
Удельная пористость, м <sup>2</sup> /г	до 300...800	до 500...950
Толщина волокон, нм	5...10	2...3
Теплопроводность, Вт/(м·°C)	0,01...0,02	0,016...0,03

Таким образом, по каталитическим и сорбционным возможностям аэрогель AlOON не уступает свойствам лучших отечественных и зарубежных сорбентов и катализаторов, а в ряде случаев значительно их превосходит. При этом технологию определяют:

- отсутствие органических растворителей и других вредных химических веществ;
- недорогое оборудование, в частности отсутствие автоклавов высокого давления;
- технология исключает сверхкритические давления и высокие температуры.

Все это существенно упрощает технологический процесс и снижает стоимость конечного продукта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hunt Arlon. History of silica aerogels / A. Hunt [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – Беркли: [б.и.], 2002. – Режим доступа: <http://energy.lbl.gov/ecs/aerogels/>.
2. Способ получения аморфного мезопористого аэрогеля гидроксида алюминия со слоисто-волоконистой микроструктурой: пат. 2305659 Рос. Федерация, МПК C01F7/02, B01D12/00 / Асхадуллин Р.Ш., Мартынов П.Н., Юдинцев П.А.; заявитель и патентообладатель Асхадуллин Р.Ш., Мартынов П.Н., Юдинцев П.А.; заявл. 30.08.05; опубл. 10.03.07 // Бюл. № 23 (II ч.). – С. 1–3 .
3. Способ получения аморфного мезопористого аэрогеля гидроксида алюминия со слоисто-волоконистой микроструктурой: пол. мод. 81490 Рос. Федерация, МПК C01F7/02, B01D12/00 / Асхадуллин Р.Ш., Мартынов П.Н., Юдинцев П.А.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Обнинский центр науки и технологий».
4. Askhadullin, R.Sh. Liquid metal based technology of synthesis of nanostructured materials / R.Sh. Askhadullin, P.N. Martynov, A.A. Osipov // J. Phys.: Conf. Ser. – № 8. – С. 1–2.
5. Мартынов, П.Н. Наноматериалы / П.Н. Мартынов // Новые промышленные технологии. – 2004. – № 3. – С. 3–5.
6. Р.Ш. Асхадуллин, П.Н. Мартынов, П.А. Юдинцев, И.С. Курина // Нанотехника. – 2005. – № 2. – С. 15.