

УДК 620-22

EDN [GMPYJF](#)



Область применения аэрогелей

А.Р. Мансурова

Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, 420015, г. Казань, Россия

E-mail: mansurova.adelina@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются необычные свойства аэрогеля. Аэрогель на 99% состоит из воздуха, благодаря чему обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными материалами. В число этих отличий входит: крайне низкая плотность, очень низкая теплопроводность (в 10 раз ниже, чем у дерева), низкая скорость распространения звука, чрезвычайно низкий коэффициент преломления света, электрическая проводимость может меняться в широких пределах в зависимости от используемого материала, очень низкий показатель при упругом сжатии. Аэрогель используется в таких областях, как: накладное остекление, аэрогелевые одеяла, очистка воздуха, огнезащита, звукоизоляция. Аэрогели могут быть гидрофильными или гидрофобными, в зависимости от того, какой процесс сушки используется. Аэрогели делятся на три группы в зависимости от их химической структуры: неорганические аэрогели, органические аэрогели и композитные аэрогели. Исходя из проведенной работы, можно сделать вывод, что аэрогель как новый материал в будущем может стать заменой известным ныне материалам, которые уже долгое время используются в различных областях жизни, и уже обладают не соответствующим качеством для современных технологий.

Ключевые слова: аэрогель, свойства аэрогелей, применение аэрогелей.

Scope of application of aerogels

A.R. Mansurova

Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx Str., 420015, Kazan, Russia

E-mail: mansurova.adelina@mail.ru

Abstract. The article discusses the unusual properties of aerogel. Aerogel consists of 99% air, so it has a number of advantages compared to traditional materials. These differences include: extremely low density, very low thermal conductivity (10 times lower than that of wood), low speed of sound propagation, extremely low refractive index of light, electrical conductivity can vary widely depending on the material used, very low index under elastic compression. Aerogel is used in such areas as: overhead glazing, aerogel blankets, air purification, fire protection, sound insulation. Aerogels can be hydrophilic or hydrophobic, depending on which drying process is used. Aerogels are divided into three groups depending on their chemical structure: inorganic aerogels, organic aerogels and composite aerogels. Based on the work carried out, it can be concluded that aerogel as a new material in the future may become a replacement for currently known materials that have been used in various fields of life for a long time, and already have an inappropriate quality for modern technologies.

Keywords: aerogel, properties of aerogels, application of aerogels.

1. Введение

На сегодняшний день является актуальным повышение эффективности использования аэрогеля в качестве теплоизоляционного материала. Снижение теплопроводности, повышении устойчивости к механическим воздействиям и повышении однородности структуры теплоизоляционных материалов на основе аэрогеля.

2. Основная часть

Аэрогели — это разнообразный класс пористых, твердых материалов, которые обладают необычными свойствами. Наиболее популярные аэрогели известны своей чрезвычайно низкой плотностью (которые варьируются от 0,0011 до ~0,5 г см⁻³). Фактически, это твердые материалы, обладающие самой низкой плотностью, которые когда-либо производились, включая кремнеземный аэрогель, который в том виде, в каком он был получен в три раза тяжелее воздуха, и может быть произведен легче воздуха путем извлечения газа из его пор. Тем не менее, аэрогели обычно имеют плотность 0,020 г см⁻³ или выше. Но даже при такой плотности потребовалось бы 150 кусочков аэрогеля размером с кирпич, чтобы взвесить один галлон воды. Как правило, аэрогели представляют собой 95-99% воздуха.

Аэрогели бывают разных форм и размеров, в зависимости от их предполагаемого использования. Монолит, порошок и пленка — это три типа аэрогеля, основанные на внешнем виде. Он называется аэрогелем, ксерогелем, криогелем или гидрогелем в зависимости от того, как он производится. На основе различных микроструктур аэрогель классифицируется как микропористый аэрогель (2 нм), мезопористый аэрогель (2-50 нм) и смешанный пористый аэрогель. Для анализа и понимания свойств аэрогелей классификация, основанная на химическом составе, кажется гораздо более полезной.

Аэрогели делятся на три группы в зависимости от их химической структуры: неорганические аэрогели, органические аэрогели и композитные аэрогели. Неорганические аэрогели, полученные из неорганических ингредиентов-предшественника, таких как алкоксид металлов или соли металлов. Органические аэрогели, изготовленные из органических прекурсоров, таких как формальдегидная феноловая смола. Композитные аэрогели, образующиеся из смеси как неорганических, так и органических прекурсоров на основе необходимых композитных аэрогелей.

3. Свойства аэрогелей

Углеродный аэрогель, обладающий сверхнизкой теплопроводностью всего около 0,12 Вт/м•К при температуре около 2000 К, при температуре 2700 К дает максимальную эффективную общую теплопроводность около 0,16 Вт/м•К, что в пять-десять раз ниже общепринятых высокотемпературных теплоизоляционных материалов, таких как углерод, волокнистый войлок или пеноуглерод, доступных в настоящее время.

Наиболее очевидным свойством аэрогелей является их чрезвычайно низкая плотность. Аэрогели были произведены с плотностью 0,003 г/см³. При такой плотности компьютерный монитор из аэрогеля будет весить примерно столько же, сколько графический калькулятор. Плотность около 0,1 г/см³, однако, встречается чаще; это около 10% от плотности воды.

Наиболее изученным свойством аэрогелей является их тепловое сопротивление. Аэрогели могут выдерживать температуру до 500 °С, выше которой они начинают уменьшаться. Их температура плавления составляет около 1200 °С.

Еще одним поразительным свойством аэрогелей является их внутренняя площадь поверхности. Это очень трудно измерить, но можно оценить по скорости адсорбции и десорбции азота. Внутренняя площадь аэрогеля может достигать 1000 м²/г. При определенных обстоятельствах аэрогели могут использоваться для поглощения некоторых газов и жидкостей.

На химический состав аэрогелей сильно влияет на их адсорбентные свойства. Аэрогели могут быть гидрофильными или гидрофобными, в зависимости от того, какой процесс сушки используется.

Сушка углекислого газа приводит к поверхностям пор, покрытым гидроксильными (ОН) группами. Когда один из этих гидрофильных аэрогелей помещается во влажную среду, он адсорбирует воду в поры, до 20% от ее массы. Вода может быть выброшена просто путем нагрева образца. Однако эти аэрогели не могут быть использованы для адсорбции воды. Высокое поверхностное натяжение воды при попадании в крошечные поры разрывает их на части.

Еще одним довольно очевидным свойством является прозрачность. Аэрогели имеют очень низкий показатель преломления. В то время как некоторые из них имеют молочный вид, другие прозрачны, как стекло.

Одним из недостатков аэрогелей является их хрупкость. Будучи формой твердого кремнезема, аэрогели в основном являются экзотической формой стекла.

Это свойство на самом деле может быть превращено в преимущество из-за режима хрупкого отказа. Большинство хрупких веществ, включая обычное стекло, ломаются почти мгновенно. Аэрогели из-за их низкой плотности и высокой пористости выходят из строя гораздо медленнее [1].

4. Область применения аэрогелей

4.1. Накладное остекление

Благодаря своему большому тепловому сопротивлению и высокой пропускаемости солнечного света, аэрогель кремнезема является хорошим материалом для оконных стекол с высокими тепловыми характеристиками. Дюр и Свендсен разработали суперизоляционное остекление аэрогеля кремнезема с коэффициентом пропускания солнца 84–92% и значением U ниже 0,5 Вт/м²К; его толщина составляла 7–12 мм. Однако аэрогель уязвим к влаге и растягивающему напряжению, и может быть быстро испорчен, если вода или водяной пар вступают в контакт с материалом. Поэтому водонепроницаемая защита необходима для аэрогелей, используемых в строительных компонентах оконных стекол и др. К счастью, аэрогель очень крепок в сжатии и поэтому может быть использован в качестве конструкции сэндвича, например, между двумя листами стекла или пластика. Рейм и др. Применяют гранулированный аэрогель кремнезема, зажатый между двумя листами ПММА, для изготовления оконного остекления с коэффициентом пропускания солнечной энергии 35% и значением U ниже 0,5 Вт/м² К при общей толщине остекления 50 мм.

Другой тип прозрачного нагнетательного оконного остекления, зажатого стеклянными горками, покрытыми аэрогелевой пленкой кремнезема, синтезируется с помощью процесса сушки окружающей среды (1 атм, 270°C). Данный тип аэрогелево-оконного остекления имеет более высокий коэффициент пропускания более 90%, то есть на 12% более высокий коэффициент пропускания, чем стекло без покрытия, поскольку аэрогели обладают антибликовым свойством. Значение коэффициента пропускания особенно велико в видимой области (0,38–0,78 мкм) в результате рэлеевского рассеяния.

Разработка суперизоляционного остекления приведет к значительной экономии энергии как в существующих, так и в новых жилых и коммерческих зданиях.

Светопропускание и U-значение окон с аэрогелевым остеклением, ~40% и 0,85 Вт/м²К, соответственно, предоставляют новые возможности для использования дневного освещения в зданиях и архитектурного проектирования фасадов зданий. В дополнение к остеклению, аэрогели также использовались в крышках солнечных коллекторов [2].

4.2. Аэрогелевые одеяла

Аэрогелевые материалы также могут быть нанесены на стены здания, чердаки, площадки и приборы. Аэрогелевые одеяла/панели были разработаны для удовлетворения различных потребностей, а коммерческое производство аэрогелевых одеял началось примерно в 2000 году. Аэрогелевое одеяло/панель представляет собой композит из аэрогеля кремнезема и волокнистого армирования, который превращает хрупкий аэрогель в прочный, гибкий/твердый и гидрофобный материал, полезный для строительных ограждающих конструкций, внутри или снаружи. Аэрогелевые одеяла/панели были изготовлены и проданы в США, Австралии и Китае [3].

4.3. Очистка воздуха

Аэрогель на основе биомассы — это новый перспективный экологически чистый фильтрующий материал для удаления мелких частиц и минимизации загрязнения воздуха.

Аэрогель состоит из полисахаридов, белка и отходов сельскохозяйственного побочного продукта (пшеничной соломы). Добавление пшеничной соломы способствует увеличению площади поверхности и сложности структуры пор аэрогеля на основе биомассы. По сравнению с другими широко используемыми коммерческими фильтрующими материалами, включая высокоэффективный фильтр воздуха для твердых частиц, хирургическую маску, обычную ткань и аэрогель из кремнезема показывает отличную производительность для удаления РМ 2.5 (99,50%) и РМ 10 (99,40%) из окружающей среды. При использовании аэрогеля на основе биомассы образец сердечника фильтра имеет меньший объем и более простую структуру для достижения аналогичных характеристик фильтрации. Эффективность фильтрации аэрогелей на основе биомассы была проверена с помощью реального теста в помещении [4].

4.4. Огнестойкость

Обладая неорганической структурой, аэрогелевые материалы кремнезема негорючи и выдерживают нагрев до 1400°C. Это контрастирует с горючей органической пенопластовой изоляцией, которая выделяет смертельные пары и дым при горении. Высокотемпературные приложения включают изоляцию выхлопных систем и реакторов, а также защиту чувствительных электронных компонентов. Диапазон непрерывных рабочих температур для аэрогеля кремнезема составляет от -273 до 650°C. Усадка начинается медленно при 500°C и увеличивается с повышением температуры.

4.5. Звукоизоляция

Распространение звуковых волн происходит в аэрогеле в жидкости пор и в твердом скелете или распространении волн в обеих фазах. Падающая волна замедляется и ослабляется, потому что волновая энергия постепенно передается в тепло из-за ряда физических явлений, таких как межчастичное трение, вязкие потери в материальных порах, тепловые эффекты, диффузия давления и сорпционные эффекты. Интерстициальная газовая природа, связи частиц, свойства материала твердого тела, геометрия и распределение пор определяют, какой эффект регулирует конкретный материал. Для материалов на основе аэрогеля эти эффекты еще не до конца поняты, поскольку существует широкий спектр подходов к подготовке материалов. Продольная скорость звука в порах кварцевого аэрогеля обычно составляет порядка 100 м/с или меньше, хотя это число для непористого кремнезема составляет около 5000 м/с [5].

5. Заключение

Аэрогель - очень интересный физический объект с необычными физическими свойствами.

Аэрогель можно использовать при сверхнизких и высоких температурах. Тем самым аэрогель имеет большую роль в современных разработках, направленных на изоляцию. Его необычные физические и химические свойства позволяют сделать производство теплоизоляции более экологичным и более направленным на улучшенный результат.

Подводя итог, можно сказать, что аэрогель должен привлекать внимание и как физический объект с отличительными свойствами. Следовательно, более детальное изучение этого объекта может дать много интересного для нашего мира.

Список литературы

1. Девятаева А.А. Аэрогели как новый класс перспективных материалов / А.А. Девятаева, Н.А. Пестов // Сборник трудов конференции. – Саранск: Мордовский государственный университет, 2019. – 10-15 с.
2. Aerogels/Ed. J. Fricke. – Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer-Verlag, 1986. – 205 p. – Springer Proceedings in Physics.
3. Bahaj AbuBakr S. Potential of emerging glazing technologies for highly glazed buildings in hot arid climates / AbuBakr S Bahaj, Patrick AB James, Mark F Jentsch // Energy and Buildings. – 2008. – № 40. – С. 720-731.
4. Hoseini Atiyeh. Aerogel blankets: From mathematical modeling to material characterization and experimental analysis / Atiyeh Hoseini, Claire McCague, Mehdi Andisheh-Tadbir, Majid Bahrami // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – № 93. – С. 1124-1131.
5. Mazrouei-Sebdani Zahra. A review on silica aerogel-based materials for acoustic applications / Zahra Mazrouei-Sebdani, Hasina Begum, Stefan Schoenwald, Kirill V. Horoshenkov // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2021. – №562. – С. 1-17