

УДК 669.018.95

Н.Н. Блинова¹, А.А. Беляев¹**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-1-62-65

Рассмотрены вопросы исследования и анализа акустических характеристик (а именно, коэффициента звукопоглощения как одной из них) для таких нечасто используемых в акустических целях материалов, как металлы. Для проведения измерений выбраны два вида пористых металлов – пенометалл и пористоволокнистый металлический материал (ПВММ), с одинаковыми пористостью и толщиной. Рассмотрены возможности применения этих материалов. Описаны основные принципы работы устройства для определения акустических характеристик материалов. Исследована возможность увеличения удельной жесткости, термостойкости и пожаробезопасности различных конструкций на основе пористых металлов.

Ключевые слова: шумопоглощение, пенометалл, пористоволокнистый металлический материал, удельная жесткость, термостойкость.

The article is devoted to the questions of analysis and study of acoustic characteristics (e.g. sound absorption factor) of rather rarely used for the acoustic purposes metal materials. Two kinds of porous metals – a foamy-metal and a porous-fibers-metal material with identical porosity and thickness are taken for the study. Some possibilities of application of the materials are considered. Basic operation principles of the device for acoustic characteristics evaluation of the materials are described. The possibility to increase the material specific rigidity, thermal stability and fire safety of different structures on the basis of porous metals is investigated.

Keywords: sound absorption, foamy-metal, porous-fibrous metal material, specific rigidity, thermal stability.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации
[Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

В Стратегических направлениях развития материалов и технологий их переработки [1] большое внимание уделено композиционным, функциональным материалам [2, 3] и их применению в авиа- и ракетостроении. К созданию новых материалов, позволяющих решать поставленные задачи, также подталкивает стремление к развитию различных технических и научных отраслей в нашей стране [1]. Возникающие с развитием техники проблемы, в том числе – воздействие на природу химических, технических, шумовых и других факторов, должны решаться на стадии разработки. Защита от все более широко распространяющегося шумового загрязнения должна обеспечиваться не только на стадии производства [4, 5], но и на стадии проектирования. В связи с растущим интересом к вопросам снижения шума все большее значение приобретает создание новых акустических материалов [6–8]. Однако хорошо поглощающие звук материалы зачастую бывают мягкими, горючими или имеют другие эксплуатационные недостатки. С этой точки зрения целесообразно рассмотреть материалы, сочетающие в себе как высокие термостойкость и удельную жесткость, так и хорошее шумопоглощение, что является одной из актуальных задач авиационного материаловедения.

Материалы и методы

Одной из основных характеристик шумопоглощающего материала является коэффициент звукопоглощения (шумопоглощения). Значение коэффициента звукопоглощения – это отношение разности энергии, падающей на материал (границу раздела «материал–воздух») и отраженной от материала плоских волн, к энергии падающей волны. Необходимо отметить, что это определение верно для материала, расположенного на акустически жесткой (полностью отражающей) поверхности.

Коэффициент звукопоглощения зависит от свойств материала: плотности, жесткости, степени пористости и других. Свойством шумопоглощения обладают различные виды материалов: на основе минеральной ваты или стекловолокна, пенополиуретан, пенополистирол, вспученный перлит, вермикулит, пемза, в том числе и материалы на основе металлов, например, пены и маты. В авиационной технике довольно широко используются звукопоглощающие материалы на основе сотопластов. Для сравнения материалов по такому параметру, как шумопоглощение, рассмотрены пористые металлы (пенометалл и пористоволокнистый металлический материал – ПВММ) с одинаковой пористостью. По сведениям авторов, сравнение звуко-

поглощающих характеристик таких материалов ранее не проводилось.

Пенометалл интересен как класс материалов, имеющих крайне низкие плотность – до 50 кг/м³, теплопроводность, высокие термостойкость и удельную жесткость, а также хорошее шумопоглощение, что позволяет применять его в конструкциях, где необходимо не только звукопоглощение, но и устойчивость, прочность, теплоизоляция, пожаробезопасность.

Пенометаллы производятся из расплавленных металлов путем впрыска газов (воздуха, инертных газов) либо путем введения газовыделяющего реактива для стимулирования местного образования газов. Свойства пенометалла зависят от количества поглощенного газа и характеристик исходного металлического материала.

Существует несколько способов получения пенометаллов. Это различные методы вспенивания, например введение гидридов в расплавленный металл или добавка органических соединений, которые выделяют газы при нагреве. Другими примерами получения металлов ячеистой структуры являются осаждение в паровой фазе на полимерных подложках или литье металла вокруг гранул, которые затем выщелачивают, оставляя металл с пористой структурой.

На способ образования вспененного материала с применением продувочных агентов влияют поверхностное натяжение и вязкость расплава. Вязкость противодействует разрушению стенок пор, когда постепенно увеличивается объем образованных пузырьков, тогда как низкое поверхностное натяжение благоприятно для образования тонкостенных пузырьков. Свойства вспененных материалов, представляющих собой дисперсии газа в твердом теле, определяются по их плотности, но размер пор, их структура и распределение также являются важными параметрами, влияющими на характеристики материала. Такие вспененные металлы получают путем добавки выделяющего газ соединения с последующим нагревом полученной смеси для разложения соединения и выделения газов для расширения и образования пор. Соединением для вспенивания материала является обычно гидрид металла (например, титана или циркония), причем после стадии вспенивания форму охлаждают для получения пористого материала [9]. Известны пенометаллы на основе алюминия, магния и других металлов [10, 11].

Пористоволокнистые металлические материалы получают из металлических волокон различными способами: путем изготовления суспензии волокон в жидкой среде с последующим ее осаждением на вибрирующее перфорированное основание; введения суспензии в форму с пористыми стенками; воздушного наложения [12]; иглопробивания волокнистой массы с последующим спеканием [13]; методом экстракции вискозы [14, 15]. Они характеризуются высокими прочностью, сочетающейся с пластичностью, и пористостью (до 98%), низкой плотностью [16], а благодаря использованию волокон из жаростой-

ких и коррозионностойких сплавов ПВММ могут длительно использоваться при температурах до 700°C и выше [7, 17].

В данной статье приводятся результаты исследований измерения шумопоглощающей способности образцов пористых материалов (пенометалла и пористоволокнистого металла) в частотном диапазоне от 500 до 6400 Гц.

Результаты

Как известно, ПВММ являются одними из наиболее пригодных материалов при создании высокотемпературных звукопоглощающих конструкций. Они обладают эффективными поглощающими свойствами, которые практически не зависят от уровня звукового давления и обеспечивают снижение шума в широкой области частот [18].

Пенометаллы также обладают эффективными звукопоглощающими свойствами и обеспечивают снижение шума, что позволяет использовать их в широком диапазоне частот. Возможно их использование в конструкциях, требующих жесткости, и высоких значений шумопоглощения, а также применение в качестве несущего материала для последующего присоединения к ним других материалов в зависимости от требуемых свойств изделия.

Таким образом, применение пористых металлов позволяет не только сохранить высокий уровень термостойкости, но и значительно увеличить прочностные характеристики изготавливаемых из них конструкций. Кроме того, при этом повышается экологическая и противопожарная безопасность (например, по сравнению с сотовыми пластинами на основе эпоксидных связующих или пенополиуретанами) при эксплуатации изделий. Металлы обладают более высоким уровнем грибоустойчивости и мало абсорбируют жидкости, что позволяет применять их там, где использование неметаллических материалов приводит к уменьшению эксплуатационных свойств изделий.

Для измерения акустических свойств материалов (коэффициента звукопоглощения), использовали двухмикрофонный способ по стандартной методике тестирования в соответствии с ISO 10534-2 «Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Transfer-function method» («Акустика. Определение коэффициента звукопоглощения и импеданса в импедансных трубах. Часть 2. Метод передаточной функции») и ASTM E1050-08. В применяемой акустической трубе для измерения импеданса используется двухмикрофонный метод измерения акустических параметров малых тестовых образцов. Внутри нее находится динамик (источник звука), которым производится случайный или псевдослучайный шум (рис. 1)

Звук отражается от абсолютно жесткой стенки и образца, в результате для каждой частоты спектра вдоль измерительной трубы устанавливается распределение амплитуд звукового давления. В двух точках на поверхности трубы специальными микро-

фонами проводятся измерения звукового давления. Из соотношения между величинами акустического давления, измеряемыми микрофонами в этих двух точках определяются падающая и отраженная составляющие этого шума. Мультианализаторная система по измерению падающей и отраженной составляющих (двухмикрофонный метод измерения коэффициента акустического поглощения включает разложение широкополосного стабильного случайного сигнала на падающую (P_i) и отраженную (P_r) составляющие) определяет акустические свойства образца, подвергающегося испытанию.

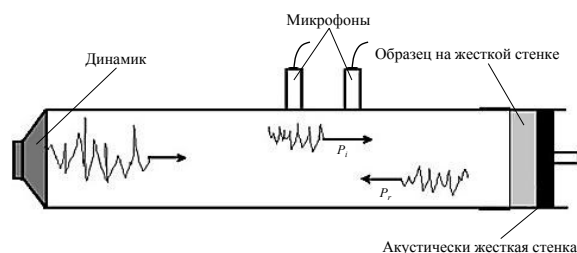


Рис. 1. Схема измерения акустических параметров двухмикрофонным методом

Двухмикрофонная теория предполагает плосковолновое распространение акустической волны, отсутствие значительных потоков и потерь вследствие поглощения акустической энергии в стенках трубы.

Частотный диапазон измерений зависит от диаметра импедансной трубы и расстояния между микрофонами. Измерения характеристик можно проводить как на единичных образцах разной толщины, так и на нескольких (собранных набором) образцах, при условии плоско-параллельности соприкасающихся друг к другу сторон во избежание погрешности из-за зазоров между ними.

Комплексные амплитуды давления (A_1 , A_2) преобразуются в электрические сигналы, пропорциональные A_1 и A_2 , которые подаются на входы каналов мультианализаторной системы, где они подвергаются преобразованию Фурье. На основе значений падающей и отраженной составляющих

звукового давления на месте расположения двух микрофонов, рассчитываются три функции:

- частотная функция;
- частотная функция, ассоциированная с падающей составляющей;
- частотная функция, ассоциированная с отраженной составляющей.

Используя эти величины, определяется комплексный коэффициент отражения по формуле:

$$R = \frac{H_{12} - e^{-jkS}}{e^{jkS} - H_{12}} e^{j2k(L+S)},$$

где k – волновое число; L – расстояние между первым микрофоном и передней поверхностью образца, мм; S – расстояние между микрофонами, мм; H_{12} – отношение комплексных амплитуд давления сигналов второго и первого микрофонов соответственно: $H_{12} = A_2/A_1$.

Зная коэффициент отражения, можно определить коэффициент звукопоглощения, нормальные входные импеданс и адмитанс. Поскольку образец расположен перед жесткой стенкой (поршнем), то коэффициент звукопоглощения рассчитывается по формуле:

$$\alpha = 1 - |R|^2.$$

Результаты

Результаты измерений коэффициента звукопоглощения (средние значения) для двух видов материалов, имеющих одинаково высокую пористость и аналогичную толщину, представлены в таблице.

Видно, что величина коэффициента звукопоглощения испытанных образцов из ПВММ и пенометалла зависит от частоты. При этом максимальные значения звукопоглощения для пенометалла приходятся на частоты 2000 Гц и выше 6000 Гц, а на частотах от 3500 до 4500 Гц значения звукопоглощения пенометалла уступают значениям ПВММ. На основании полученных результатов можно предположить, что отличие максимумов частотных характеристик коэффициента звукопоглощения связано с различной структурой исследованных материалов: пористой – для пеноме-

Акустические характеристики образцов из пенометалла и ПВММ

Частота, Гц	Коэффициент звукопоглощения	
	набора образцов пенометалла общей толщиной 32 мм	образца ПВММ толщиной 32 мм
500	0,31	0,18
1000	0,65	0,39
1500	0,90	0,61
2000	0,99	0,78
2500	0,98	0,91
3000	0,94	0,95
3500	0,88	0,97
4000	0,87	0,97
4500	0,88	0,95
5000	0,92	0,92
5500	0,96	0,91
6000	0,99	0,88
6400	0,99	0,87

таллов (называемых иногда материалами с жестким скелетом), пористоволокнистой – для ПВММ (называемых иногда материалами с подвижным скелетом), у которых вследствие большей подвижности составляющих материала максимум частотной характеристики смещен в сторону высоких частот.

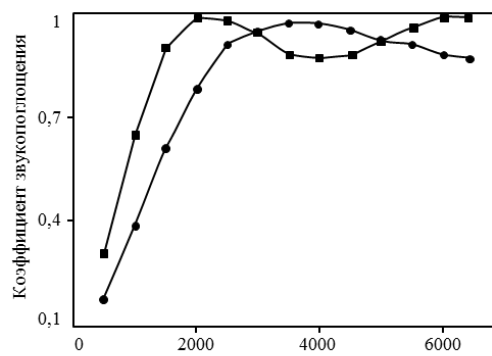


Рис. 2. Акустические характеристики образцов из пенометалла (■) и ПВММ (●)

Для большей наглядности полученные данные представлены в графическом виде (рис. 2).

Обсуждение и заключения

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что пенометаллы (при прочих равных условиях) целесообразно применять, когда частотная характеристика шума смещена в сторону низких частот (от 1000 до 2000 Гц), а ПВММ более эффективны, когда частотная характеристика шума смещена в сторону средних частот (от 3500 до 4500 Гц).

Благодарность

Авторы выражают благодарность С.В. Кондрашову (ФГУП «ВИАМ») за помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2008. №3. С. 2–14.
4. Иванов Л.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. 1-е изд. М.: Университетская книга, Логос, 2008. 424 с.
5. Тейлор Р. Шум. 2-е изд. М.: Мир, 1978. 308 с.
6. Платонов М.М., Железина Г.Ф., Нестерова Т.А. Пористоволокнистые полимерные материалы для изготовления широкодиапазонных ЗПК и исследование их акустических свойств // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2014. №6. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.11.2014). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-6-9-9.
7. Фарафонов Д.П., Мигунов В.П. Изготовление пористоволокнистого материала сверхнизкой плотности для звукопоглощающих конструкций авиационных двигателей // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №4. С. 26–30.
8. Мигунов В.П., Ломберг Б.С. Пористоволокнистые металлические материалы для звукопоглощающих и уплотнительных конструкций / В сб.: 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: Юбилейный науч.-технич. сб. М.: ВИАМ, 2007. С. 270–275.
9. Способ получения пенометалла: пат. 2046151 Рос. Федерация; опубл. 20.10.95.
10. Способ получения вспененного алюминия: пат. 2026394 Рос. Федерация; опубл. 09.01.95.
11. Легкий энерго- и звукопоглощающий, теплоизолирующий материал: пат. 2180288 Рос. Федерация; опубл. 10.03.02.
12. Плиты из металлического волокна: пат. 3469297 США; опубл. 16.09.93.
13. Способ получения пористоволокнистого металлического материала: пат. 2311262 Рос. Федерация; опубл. 27.11.2007.
14. Серов М.М., Борисов Б.В. Получение металлических волокон и пористых материалов из них методом экстракции висящей капли расплава // *Технология легких сплавов*. 2007. №3. С. 62–65.
15. Борисов Б.В., Серов М.М. Формирование пористых волоконных материалов методом экстракции висящей капли расплава // *Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. 2013. №1. С. 55–58.
16. Мигунов В.П., Фарафонов Д.П., Деговец М.Л. Пористоволокнистый материал сверхнизкой плотности на основе металлических волокон // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №4. С. 38–41.
17. Мигунов В.П., Фарафонов Д.П. Исследование основных эксплуатационных свойств нового класса уплотнительных материалов для проточного тракта ГТД // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. №3. С. 15–20.
18. Гришина О.И., Кочетов В.Н., Шавнев А.А., Серпова В.М. Аспекты применения высокопрочных и высокомодульных волокнистых металлических композиционных материалов авиационного назначения (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2014. №10. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.11.2014). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-10-5-5.