

В.П. Мигунов¹, Д.П. Фарафонов¹, М.Л. Деговец¹

ПОРИСТОВОЛОКНИСТЫЙ МАТЕРИАЛ СВЕРХНИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Разработана технология изготовления и получены опытные образцы пористоволокнистого материала сверхнизкой плотности на основе металлических волокон. Материал предназначен для применения в качестве наполнителя высокотемпературных звукопоглощающих конструкций ГТД с рабочей температурой до 700°C.

Исследованы жаростойкость и акустические характеристики опытных образцов материала из волокон жаростойкого сплава на основе системы Fe–Cr–Al.

Разработанная технология позволяет изготавливать пористоволокнистый материал в виде матов с плотностью от 0,05 г/см³, высокой пластичностью, обеспечивающей возможность заполнения рабочего пространства ЗПК любой конфигурации и радиуса и исключения необходимости припаивания или крепления наполнителя к металлической основе.

Ключевые слова: пористоволокнистый металлический материал, звукопоглощающие конструкции, жаростойкость, газотурбинный двигатель.

V.P. Migunov¹, D.P. Farafonov¹, M.Z. Degovets¹

SUPERLOW-DENSITY POROFIBROUS MATERIAL BASED ON METALLIC FIBERS

The production technology was developed for the superlow-density porofibrous material on the base of metallic fibers and some test specimens of this material were produced. The material is designated for the use as a filler in the high-temperature sound-absorbing structures with the operating temperatures to 700°C.

The heat resistance and acoustic characteristics of test specimens made of the heat-resistant alloy fibers on the base of Fe–Cr–Al system were studied.

The developed technology allows to produce the porofibrous material in the form of mats with the density from 0,05 g/cm³, and the high ductility, ensuring the possibility of filling the working chamber of the sound-absorbing structures of any configuration and radius without filler brazing or fixing to the metallic base.

Keywords: porofibrous metallic material, sound-absorbing structures heat resistance, gas-turbine engine.

¹ Федеральное 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

Одним из перспективных направлений развития авиационного материаловедения является разработка пористоволокнистых металлических материалов (ПВММ). Эти материалы обладают рядом уникальных свойств, которые позволили разработать в ВИАМ принципиально новые истираемые уплотнительные материалы для применения в компрессорах и турбинах ГТД [1], а также материалы для высокотемпературных звукопоглощающих конструкций (ЗПК). Эти материалы объединяет то, что они изготавливаются из металлических волокон, получаемых методом экстракции висящей капли расплава (ЭВКР), осуществляемом во ФГБОУ ВПО «МАТИ–РГТУ им. К.Э. Циолковского».

Однако, если для истираемых уплотнительных материалов основными свойствами, определяющими их эффективность, являются их истираемость и эрозионная (газоабразивная) стойкость, то для звукопоглощающих материалов наряду с высокой акустической эффективностью, которая характерна для пористоволокнистых материалов, требуется низкая плотность, так как они занимают довольно большой объем в конструкции ГТД.

Акустическая эффективность пористоволокнистых металлических материалов в широкой области частот и их высокие звукопоглощающие свойства, не зависящие от уровня звукового давления в потоке, обусловлены эффектом вязкого трения при движении воздуха в порах [2].

Для эффективного поглощения шума в высокотемпературной зоне ГТД в ВИАМ разработана технология, включающая прессование и спекание волокон, по которой получены пористоволокнистые материалы в виде панелей из сплавов типа 12Х18Н10Т и Х20Н80 с плотностью 0,8–0,4 г/см³ на рабочие температуры до 650°С (рис. 1).

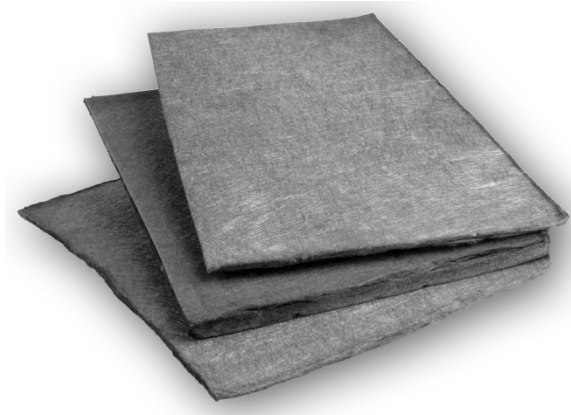


Рис. 1. Панели пористоволокнистого материала из сплава Х20Н80



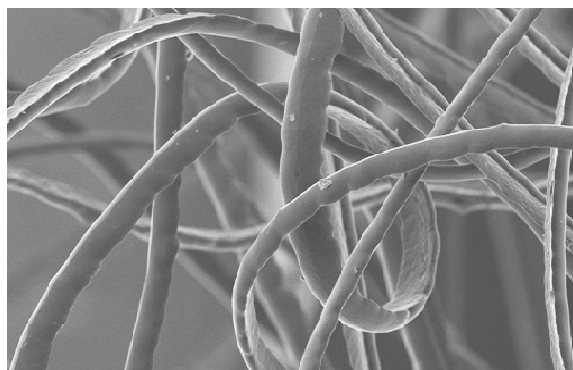
Рис. 2. Пористоволокнистый материал, полученный методом экстракции висящей капли расплава (ЭВКР)

Акустическая эффективность этих панелей исследована во ФГУП «ЦИАМ» на стенде У-96Т в диапазоне частот 800–10000 Гц и при уровне звукового давления от 110 до 150 дБ, т. е. в условиях, близких к существующим в натуральных каналах турбореактивных двигателей (ТРДД). В результате этих исследований показано, что панели из ПВММ характеризуются равномерным спектром поглощения на частотах >1,6 кГц, превосходя по акустической эффективности резонансные ЗПК на основе металлических сот, которые активно используются в конструкциях современных ГТД [3].

В настоящее время существует задача по повышению рабочей температуры звукопоглощающих ПВММ, а главное – по уменьшению их плотности. Получены первые опытные образцы материала из волокон сплава системы Fe–Cr–Al со сверхнизкой плотностью 0,05–0,35 г/см³. Это стало возможно благодаря совершенствованию установок и метода ЭВКР, позволяющего изготовлять непосредственно из расплава металлические волокнистые холсты с плотностью от 0,05 г/см³. Сущность метода ЭВКР заключается в нагреве электронным лучом стержня таким образом, чтобы на его нижнем торце образовалась висящая капля расплава, которая, попадая на тонкую кромку вращающегося охлаждаемого теплоприемника, образует непрерывное волокно, из которого формируется холст (рис. 2) [4].

Форма поперечного сечения отдельных волокон в холсте главным образом определяется формой рабочей кромки теплоприемника и может изменяться от близкой

к полукругу до серповидной. Микроструктура пористоволокнистого материала, полученного методом ЭВКР, из сплава системы Fe–Cr–Al представлена на рис. 3.



100 мкм

Рис. 3. Микроструктура пористоволокнистого материала из сплава X23Ю5, полученного методом ЭВКР

Толщина отдельных волокон не превышает 100 мкм, поэтому одним из определяющих работоспособность ПВММ свойств является их жаростойкость или способность сопротивляться окислению при повышенных температурах. Характерной особенностью пористоволокнистых материалов является их сильно развитая поверхность. Площадь поверхности данных материалов количественному определению практически не поддается. Поэтому существующие методы оценки жаростойкости к этим материалам не применимы [5].

Методика определения жаростойкости пористоволокнистых материалов основана на определении относительного изменения массы образца при воздействии на него температуры в течение определенного промежутка времени в присутствии воздуха. По результатам проведенных испытаний, ПВММ со сверхнизкой плотностью из сплава системы Fe–Cr–Al может эксплуатироваться при рабочей температуре до 700°C и выше – привес образцов этого материала не превышает 1,1% за 100 ч при температуре 700°C.

Для получения ПВММ с высокими акустическими свойствами, которые зависят от толщины материала, из холстов, полученных методом ЭВКР, были изготовлены маты толщиной 20 мм. Плотность полученных матов составила 0,2–0,4 г/см³, а пористость – более 95%. Маты толщиной 20 мм легко обрабатываются и могут доводиться до необходимых габаритов с помощью ручных ножниц по металлу.

Во ФГУП «ЦАГИ» проведены исследования акустических характеристик (коэффициента звукопоглощения α и импеданса $Re(Z)$ и $Im(Z)$) образцов, вырезанных из матов различной плотности. Испытания выполнены на интерферометре высоких уровней в диапазоне частот $f=500–5000$ Гц при перпендикулярном падении на поверхность образца звуковых волн в виде белого шума с уровнем звукового давления $L \approx 120$ дБ. Значения и частотный диапазон коэффициента звукопоглощения α для образцов толщиной 20 мм представлены в таблице.

Акустические характеристики образцов ПВММ толщиной 20 мм из волокон сплава системы Fe–Cr–Al

Плотность материала, г/см ³	Условный номер образца	Коэффициент звукопоглощения α	Диапазон частот Δf , кГц
0,2	1	0,5–0,6	3–5
	2	0,4–0,5	3–5
	3	0,4–0,5	2,8–5
0,3	4	0,6–0,7	2,8–5
	5	0,5–0,6	2,6–5
	6	0,5–0,6	2,8–5
0,4	7	0,6–0,75	2,5–5
	8	0,6–0,75	2,8–5
	9	0,6–0,75	2,8–5

Из данных таблицы видно, что образцы обеспечивают максимальное значение коэффициента звукопоглощения $\alpha \approx 0,5-0,7$ в основном в области высоких частот $f \approx 3-5$ кГц. С целью достижения более высокого звукопоглощения в расширенном диапазоне частот при изготовлении матов сверхнизкой плотности можно использовать дополнительные методы, заключающиеся в увеличении толщины поглощающего слоя, уменьшении толщины волокон, изготовлении материала с переменной плотностью и пористостью, использовании дополнительных элементов в виде перфорированных пластин или металлических сеток.

Преимущества пористоволокнистых материалов со сверхнизкой плотностью по сравнению с другими высокотемпературными ЗПК (на основе металлических сот и сеток) заключаются не только в их высоких акустических характеристиках и меньшей плотности, но и в их технологичности. Материал легко обрабатывается, а его высокая пластичность и упругость обеспечат возможность заполнения рабочего пространства ЗПК любой конфигурации и радиуса, при этом исключается необходимость припаивания или крепления наполнителя к металлической основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мигунов В.П., Фарафонов Д.П., Деговец М.Л., Ступина Т.И. Уплотнительные материалы для проточного тракта ГТД //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 94–97.
2. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. М.: Машиностроение. 1981. 233 с.
3. 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. М.: ВИАМ. 2007. С. 270–275.
4. Борисов Б.В. Разработка технологии получения волокон и пористых материалов из жаростойких сплавов методом экстракции висящей капли расплава: Автореф. дис. к.т.н. М.: МАТИ–РГТУ им. К.Э. Циолковского. 2011. 23 с.
5. 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.

REFERENCES LIST

1. Migunov V.P., Farafonov D.P., Degovec M.L., Stupina T.I. Uplotnitel'nye materialy dlja protochnogo trakta GTD [Sealing materials for flow path GTE] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 94–97.
2. Belov S.V. Poristye metally v mashinostroenii [The porous metals in mechanical]. M.: Mashinostroenie. 1981. 233 s.
3. Migunov V.P., Lomberg B.S. Poristovoloknistye metallicheskie materialy dlja zvukopogloshhajushih i uplotnitel'nyh konstrukcij [Porous and fibrous metallic materials for sound and sealing structures] /V sb.: 75 let. Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2007. M.: VIAM. 2007. S. 270–275.
4. Borisov B.V. Razrabotka tehnologii poluchenija volokon i poristyh materialov iz zharostojkih spлавov metodom jekstrakcii visjashhej kapli rasplava [Development of technology for fibers and porous materials of the heat-resistant alloys by melt extraction drop hanging]: Avtoref. dis. k.t.n. M.: МАТИ–РГТУ им. К.Э. Циолковского. 2011. 23 s.
5. Migunov V.P., Farafonov D.P. Issledovanie osnovnyh jekspluatacionnyh svojstv novogo klassa uplotnitel'nyh materialov dlja protochnogo trakta GTD [Investigation of the basic operational properties of a new class of materials for sealing the flow path GTE] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №3. S. 15–20.