

Научная статья

УДК 66.017

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-3-3-12

**ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ФЕНОЛЬНОГО ПЕНОПЛАСТА МАРКИ ФК-20***М.А. Капустянская¹, К.С. Мишуров¹, И.Г. Студенов¹*

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Проведены исследования основных физико-механических свойств фенольного пенопласта марки ФК-20 на основе продуктов совмещения нитрильных каучуков с фенолоальдегидными олигомерами. Данный пенопласт используется в качестве теплостойкого конструкционного заполнителя трехслойных конструкций и изготовления различных конструкционных элементов. Показаны результаты исследования микроструктуры пенопласта марки ФК-20 и влияние воздействия повышенной температуры на значения его предела прочности при сжатии. Установлено, что пенопласт работоспособен при температуре 120 °С.

Ключевые слова: пенопласт, композиционный материал, полимер, микроструктура, каучук, фенолоальдегидные олигомеры

Для цитирования: Капустянская М.А., Мишуров К.С., Студенов И.Г. Область применения и физико-механические свойства фенольного пенопласта марки ФК-20 // Труды ВИАМ. 2023. № 3 (121). Ст. 01. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-3-3-12.

Scientific article

**APPLICATION AREA AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF PHENOL-RUBBER FOAM PLASTIC GRADE FK-20***М.А. Kapustianskaia¹, К.С. Mishurov¹, I.G. Studenov¹*

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The main physical and mechanical properties of FK-20 phenolic foam based on the products of combination of nitrile rubbers with phenolic aldehyde oligomers have been studying. This foam use as a heat-resistant structural filler for three-layer structures and the manufacture of various structural elements. The results of the study of the microstructure of the foam plastic grade FK-20 and the effect of elevated temperature on the values of its compressive strength are shown. It is established that the foam is efficient at a temperature of 120 °C.

Keywords: foam plastic, composite material, polymer, microstructure, rubber, phenolic aldehyde oligomers

For citation: Kapustianskaia M.A., Mishurov K.S., Studenov I.G. Application area and physical and mechanical properties of phenol-rubber foam plastic grade FK-20. *Trudy VIAM*, 2023, no. 3 (121), paper no. 01. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-3-3-12.

Введение

В настоящее время полимерные материалы являются одними из самых востребованных в мире. За последние 70 лет спрос на них вырос практически в 200 раз. Ежегодно проводится множество научных исследований по разработке и усовершенствованию способов синтеза новых полимеров, развиваются технологии, позволяющие

получать полимерные материалы с уникальной комбинацией характеристик [1]. Благодаря своим высоким прочностным свойствам и улучшенным механическим показателям, а также весовой эффективности и возможности модифицирования они нашли применение в таких областях, как промышленное и гражданское строительство, авиация, машиностроение, ядерная техника, космонавтика, и в других сферах [2]. Для материалов также важно обеспечить не только высокие показатели конструктивных свойств, но и сохранять их в широком интервале температур [3]. Полимерные материалы с успехом справляются и с этой задачей [4].

Особое место занимают газонаполненные (вспененные, ячеистые, теплоизоляционные) пластмассы, основу которых составляют полимерные материалы, а наполнителем является газ [5]. Использование данных материалов позволяет снизить массу конструкции при сохранении высокой прочности [6]. Их применяют не только в качестве легких наполнителей, но и как материал для фильтрации и сепарации жидкостей и газов [7].

Среди газонаполненных пластмасс выделяют пеноматериалы на основе фенолформальдегидных олигомеров. С каждым годом они находят все более широкое применение благодаря низкой стоимости и массовой доступности, а также за счет таких важных характеристик, как огнестойкость, механическая и ударная прочность, малая плотность и высокие показатели теплостойкости [2, 8].

В последние десятилетия в авиационной промышленности широко востребованы фенолокаучуковые пенопласты, получаемые взаимодействием фенолоальдегидных смол с нитрильным эластомером. При этом одновременно происходят два процесса: вспенивание частично отвержденных фенолформальдегидных олигомеров и перевод их в неплавкое состояние с помощью подведенного тепла снаружи (извне) [9]. Данные материалы полностью удовлетворяют жестким требованиям, предъявляемым к материалам для авиационной и космической техники, которые должны обладать весовой эффективностью, надежностью, выносливостью, термостойкостью, стойкостью к коррозии и способностью работать в условиях силового воздействия [7, 10, 11]. Это объясняется высокими требованиями к безопасности в авиации, где даже малейшая неисправность может привести к деструкции всего изделия [12].

В связи с интенсивным развитием авиации одним из приоритетных направлений является создание новых и модифицирование уже существующих материалов для авиастроения [13, 14]. В данной статье рассматриваются структура и свойства разработанного в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ пенопласта марки ФК-20. Это вспененная, отвержденная композиция на основе фенолформальдегидной смолы и акрилонитрильного каучука, вводимого для придания эластичности пластмассам и увеличения их ударной вязкости, однако стойкость к удару при этом уменьшается [8]. Пластификатор не образует химических связей с полимерной матрицей, внедряясь в ее структуру и ослабляя межмолекулярные взаимодействия, тем самым давая возможность макромолекулам двигаться относительно друг друга [9]. Пенопласт ФК-20 применяют как в качестве силового наполнителя, так и в качестве конструкционного, теплоизоляционного материала. Вследствие достаточно низкого содержания нитрильного каучука данный материал имеет повышенную жесткость, а также высокую стабильность в большом интервале температур. В процессе нагревания он сначала становится вязкотекучим, а при достижении определенной температуры – вспенивается [15].

Материалы и методы

Объектом исследования является пенопласт марки ФК-20 с температурой эксплуатации до 120 °С. Физико-механические свойства данного материала приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства пенопласта марки ФК-20

Свойства	Значения свойств при плотности материала, кг/м ³			
	170	220	100	
Прочность при сжатии, МПа, при температуре, °С:				
20	1,3	3,0	0,42	
120	1,0	2,6	0,25	
Прочность при изгибе, МПа, при температуре 20 °С	2,4	3,6	0,80	
Ударная вязкость при изгибе, (кг·Дж)/м ²	0,55	1,2	0,33	
Линейная усадка, %, при температуре 120 °С	0,7	0,9	0,4	
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), при температуре, °С	-60	0,037	–	0,08
	0	0,044	–	0,05
	+25	0,047	–	0,05
	+50	0,05	–	0,06
	+75	0,053	–	0,06
	+100	0,056	–	0,08
	+125	0,058	–	0,09
	+150	0,061	–	0,011
Коэффициент линейного теплового расширения: $\bar{\alpha} \cdot 10^6$, К ⁻¹ , при температуре, °С	-60	46,7	51	43,43
	-40	49,0	55	44,57
	0	43,0	55,3	32,93
	+50	7,3	31	7,94
	+100	10,5	22	13,87
	+150	25,0	19,5	18,78
Температура стеклования, °С	161			
Водопоглощение, %, в течение 24 ч	8	7	10	
Горючесть	Самозатухающий			
Дымообразование	Среднедымящий (группа III)			

В данной работе использовали следующие методы исследований.

Плотность. Исследования проводили по ГОСТ 15139–69 «Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы)» (п. 2).

Предел прочности при сжатии. Исследования осуществляли на испытательной машине Zwick/Roell Z050 по ГОСТ 4651–2014 «Пластмассы. Метод испытания на сжатие». Температура воздуха в помещении составляла 20±5 °С, относительная влажность 50±10 %. Для определения данного параметра использовали образцы размером 30×30×30 мм. По разнице расчетных длин исходного и испытываемого образцов вычисляли модуль упругости при сжатии.

Предел прочности при изгибе. Исследования проводили на испытательной машине Zwick/Roell Z050 по ГОСТ 18564–2017 «Пластмассы ячеистые жесткие. Метод испытания на статический изгиб». Температура воздуха в помещении составляла 20±5 °С, относительная влажность 50±10 %. Для определения данного параметра использовали образцы размером 120×25×20 мм. По значениям прогиба и нагрузке, которая потребовалась для его получения, вычисляли условный модуль упругости при изгибе пенопласта.

Ударная вязкость при изгибе. Исследования осуществляли по ГОСТ 14359–69 «Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования». Для определения данного параметра использовали 10 образцов размером 80×10×4 мм. Испытания

проводили при комнатной температуре. По энергии удара маятника, затраченной на разрушение образца, вычисляли удельную ударную вязкость при изгибе.

Линейная усадка. Исследования проводили по ТУ 1-595-10-612-2005 «Пенопласт терморезистивный марок ФК-20, ФК-40, ФК-60 и ФФ» (изменения 1–4). Для определения данного параметра использовали образцы размером 120×15×10 мм, предварительно сняв с поверхности бруска поверхностный слой на глубину не менее 5 мм. Испытания проводили при температуре 120±3 °С в течение 24 ч. По разнице размеров образцов до и после прогрева определяли линейную усадку. За конечный результат принимали среднее арифметическое значение замеров трех образцов.

Коэффициент теплопроводности. Исследования осуществляли по ГОСТ 7076-99 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». Для определения данного параметра использовали образцы пенопласта размером 300×300×20 мм. Испытания проводили в температурном интервале от –60 до +150 °С.

Коэффициент линейного теплового расширения. Исследования проводили по ГОСТ 32618.2-2014 «Пластмассы. Термомеханический анализ (ТМА). Часть 2. Определение коэффициента линейного теплового расширения и температуры стеклования».

Температура стеклования. Исследования осуществляли по ГОСТ Р 56753-2015 «Определение механических свойств при динамическом нагружении».

Водопоглощение. Исследования проводили по ГОСТ 12020-2018 «Методы определения стойкости к действию химических сред». Для определения данного параметра использовали образцы размером 30×30×30 мм. Выдержку образцов проводили в течение 24 ч при температуре в помещении 20±5 °С.

Горючесть. Исследования осуществляли по ОСТ 1 90094-79 «Полимерные материалы. Метод определения горючести декоративно-отделочных и конструкционных полимерных материалов». Для определения данного параметра использовали образцы размером 305×75×10 мм, испытывая их в вертикальном положении. Воспламенение проводили с нижней кромки образца в течение 60 с. По результатам испытаний образцов пенопласта определяли продолжительность остаточного горения после удаления пламени, наличие и продолжительность горения падающих капель, а также максимальную длину поврежденной части.

Дымообразование. Исследования проводили по ГОСТ 24632-81 «Материалы полимерные. Метод определения дымообразования». Для оценки дымообразующей способности использовали образцы размером 75×75 мм с разной толщиной: 10, 15 и 20 мм. По удельной оптической плотности дыма в объеме камеры при термическом разложении образца определяли дымообразование. Режимы испытаний – пиролиз и горение. В условиях пиролиза на образцы воздействовал только тепловой поток заданной интенсивности, в условиях горения – тепловой поток и пламя пилотной горелки.

Микроструктура (методами световой и электронной сканирующей микроскопии). Исследования проводили по ММ 1.595-12-243-2007 «Методика анализа микроструктуры полимерных композиционных материалов (ПКМ) с применением сканирующей электронной микроскопии». Для микроструктурных исследований пенопласта марки ФК-20 использовали образцы, вырезанные из плиты по направлению образования пены и из боковой поверхности (торец). Данные образцы приклеивали с помощью токопроводящего клея к держателям образцов для сканирующего электронного микроскопа. Поверхности образцов для выявления тонкой структуры подвергали ионно-плазменному травлению в вакуумной установке. Для снятия их электрических зарядов при исследовании в сканирующем электронном микроскопе проводили металлизацию

образцов методом магнетронного напыления в вакуумной установке. Микроструктурный анализ пенопласта марки ФК-20 осуществляли на сканирующем электронном микроскопе в режиме вторичных электронов при увеличениях от $\times 40$ до $\times 60000$. Фотографирование проведено в помещении при температуре $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влажности 41% .

Результаты и обсуждение

Высокие показатели прочностных свойств пенопласта ФК-20 позволяют использовать его в конструкционных изделиях, а пониженный показатель плотности, составляющий $100\text{--}220\text{ кг/м}^3$, – применять в авиационной промышленности, где из него изготавливают легкие конструкционные заполнители крыльев, лопастей винтов летательных аппаратов, винтовентиляторов двигателей, виброударопрочных конструкций [8].

Примером применения пенопласта ФК-20 в авиации являются лопасти несущего винта вертолета смешанной конструкции – металлический лонжерон, хвостовые секции и обшивка выполнены из композиционных материалов (рис. 1).

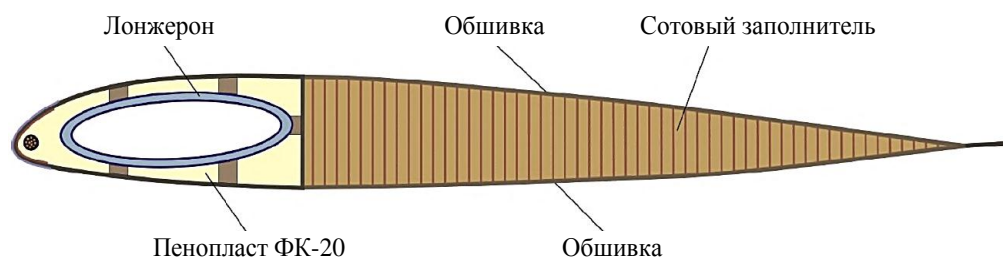


Рис. 1. Поперечное сечение смешанной конструкции лопасти несущего винта вертолета

Носовая часть лопасти состоит из компенсаторов, пенопластового заполнителя ФК-20, обшивки-облицовки и пакета противообледенительной системы. Лонжерон лопасти выполнен в форме трубы из высоколегированной стали. После закалки наружную и внутреннюю поверхности трубы полируют. Затем на этих поверхностях создают наклеп виброударным способом, повышающим сопротивление усталости лонжерона. Лонжерон помещают в каркас из вспененного пенопласта ФК-20, который снаружи покрыт стеклопластиковой обшивкой. К каркасу приклеены хвостовые секции также с обшивками из стеклопластика и сотовым наполнителем.

Пенопласт ФК-20 с коэффициентом теплопроводности $0,05\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ и минимальной плотностью 100 кг/м^3 немного уступает по данным показателям промышленным теплоизоляционным материалам, таким, например, как АТМ-3 ($0,038\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), однако широко используется в качестве утеплителя, а также применяется для строительных сооружений, различных транспортных средств и промышленного оборудования.

Высокая температура стеклования данного материала и способность сохранять свои эксплуатационные свойства в большом интервале температур (от -60 до $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$) дает возможность использовать его в строительной, космической и авиационной технике, в вагостроении и для изготовления холодильной техники. Кроме того, он применяется в регионах с низкими климатическими температурами.

Результаты исследования пенопласта ФК-20 на горючесть и дымовыделение показали, что он по характеристикам относится к самозатухающим, среднедымящим материалам (табл. 2 и 3): при выносе из пламени не горит (продолжительность остаточного горения составляет $0\text{--}1\text{ с}$). Такие показатели горючести и дымообразования позволяют использовать данный пенопласт в качестве материала для пожаробезопасных конструкций.

Таблица 2

Показатели горючести образцов пенопласта марки ФК-20

Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции в пламени горелки, с	Продолжительность остаточного горения (тления), с	Длина обугливания, мм	Продолжительность горения капель, с	Классификация
9,58	60	1	37	0	Самозатухающий
10,03		0	43		
10,34		1	65		

Таблица 3

Показатели дымообразования образцов пенопласта марки ФК-20

Толщина образца, мм	Режим испытания	Удельная оптическая плотность дыма D_2	Удельная оптическая плотность дыма D_4	Максимальная удельная оптическая плотность дыма D_{max}	Допустимое значение
10,2–10,38	Горение	9,7	20	66,3	200
	Пиролиз (тление)	17,3	32	107,7	
14,52–15,24	Горение	16,3	29,7	56	
	Пиролиз (тление)	19,7	38	132,3	
19,55–20,38	Горение	29,3	44	62,7	
	Пиролиз (тление)	19,7	42,3	136	

Результаты испытаний на коррозионную агрессивность показали, что пенопласт ФК-20 не проявляет коррозионной активности по отношению к различным металлам: не вызывает коррозии алюминиевых и магниевых сплавов в непосредственном контакте и в контакте через клей, а также не вызывает коррозии стали в прямом контакте.

Показатель водопоглощения для пенопласта ФК-20 составляет 8 % при плотности материала 220 кг/м^3 и 17 % при плотности 100 кг/м^3 . Из этого следует, что изделия из данного материала необходимо защищать от воздействия водной среды.

Пенопласт может быть переработан в изделие методом фрезерования, в качестве заготовки-полуфабриката используют плиты толщиной не более 100 мм с габаритными размерами, ограниченными применяемой оснасткой для формования.

Методом сканирующей электронной микроскопии проведен анализ микроструктуры пенопласта марки ФК-20. Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3.

Микроструктурные исследования образцов из пенопласта ФК-20 показали, что материал состоит из сообщающихся пор размером от 20 до 500 мкм (рис. 2, а–г; рис. 3, а–г); диапазон размеров сохраняется вне зависимости от направления вырезки образцов. Стенки между порами разрушаются с образованием хрупких сколов (рис. 2, д–з; рис. 3, д–з).

Микрофазовая структура матрицы – многофазная и состоит из основной матрицы, в которой хаотично распределены частицы сферической и овальной форм (рис. 2, и–м; рис. 3, и–м). Размеры частиц сферической формы находятся в диапазоне от 100 нм до 1 мкм, а овальной формы – от 1 до 10 мкм.

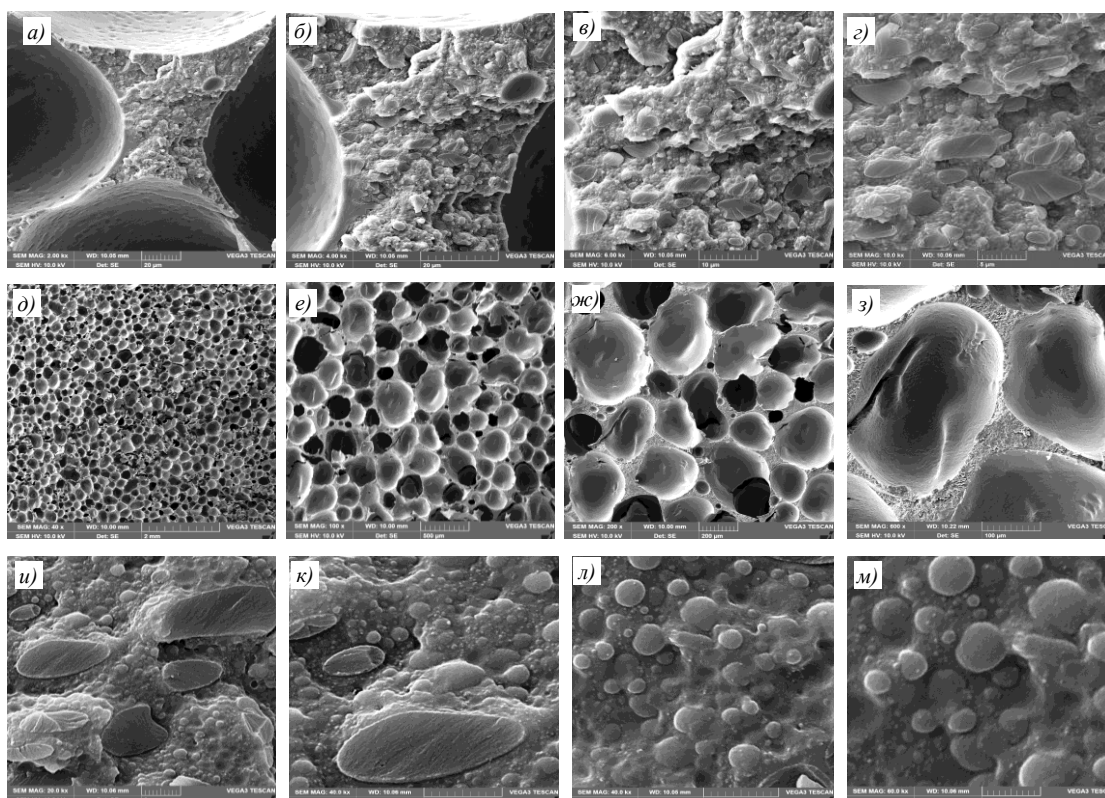


Рис. 2. Микроструктура (*a* – $\times 40$; *б* – $\times 100$; *в* – $\times 200$; *г* – $\times 600$; *д* – $\times 2000$; *е* – $\times 4000$; *ж* – $\times 6000$; *з* – $\times 10000$; *и* – $\times 20000$; *к*, *л* – $\times 40000$; *м* – $\times 60000$) среза пенопласта марки ФК-20 (направление образования пены)

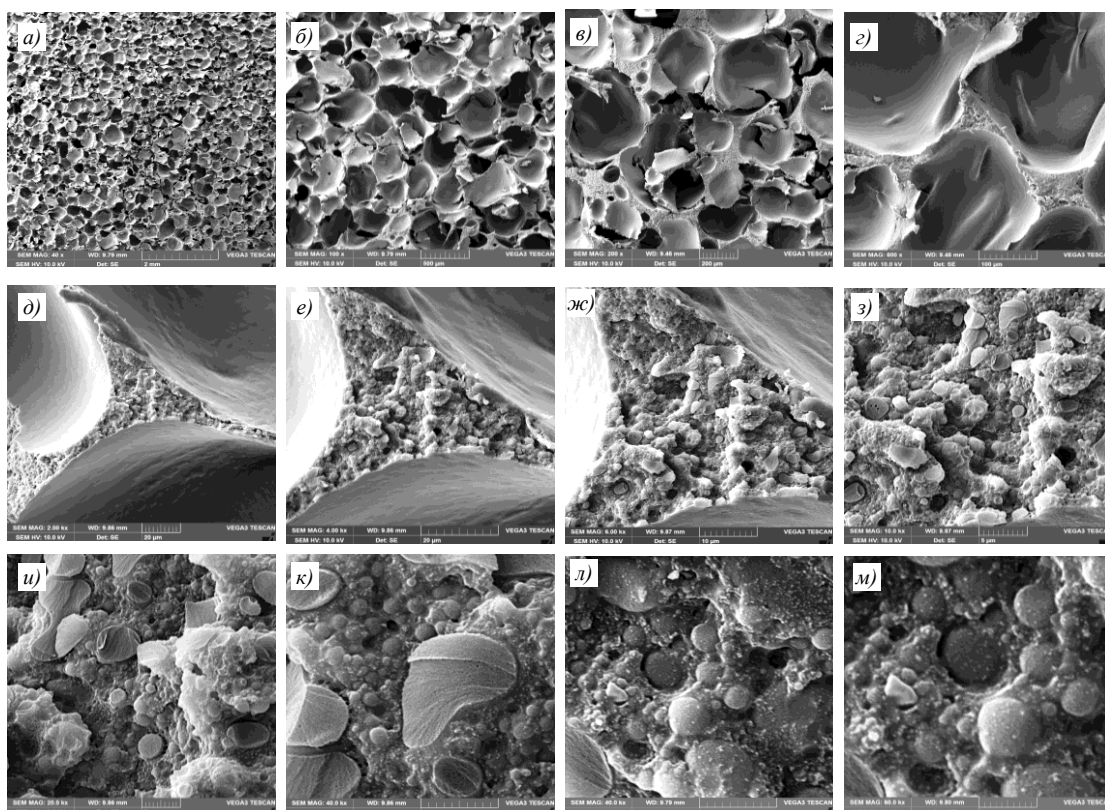


Рис. 3. Микроструктура (*a* – $\times 40$; *б* – $\times 100$; *в* – $\times 200$; *г* – $\times 600$; *д* – $\times 2000$; *е* – $\times 4000$; *ж* – $\times 6000$; *з* – $\times 10000$; *и* – $\times 20000$; *к*, *л* – $\times 40000$; *м* – $\times 60000$) среза пенопласта марки ФК-20 (торцевая сторона)

На рис. 4 и 5 приведены гистограммы распределения пор по размерам и толщине стенок между порами. Средний размер пор составляет 230 мкм, а средняя толщина стенок 32 мкм.

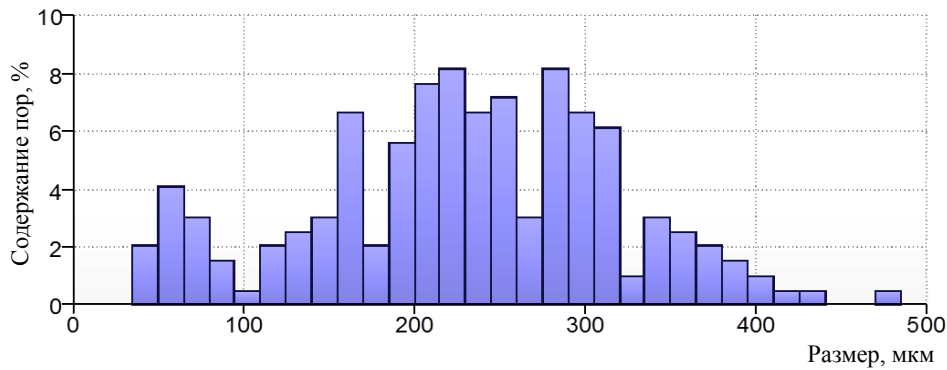


Рис. 4. Гистограмма распределения пор по размерам (диаметр Фере средний): $D_{\min} = 34,8$ мкм, $D_{\text{ср}} = 230$ мкм, $D_{\max} = 486$ мкм

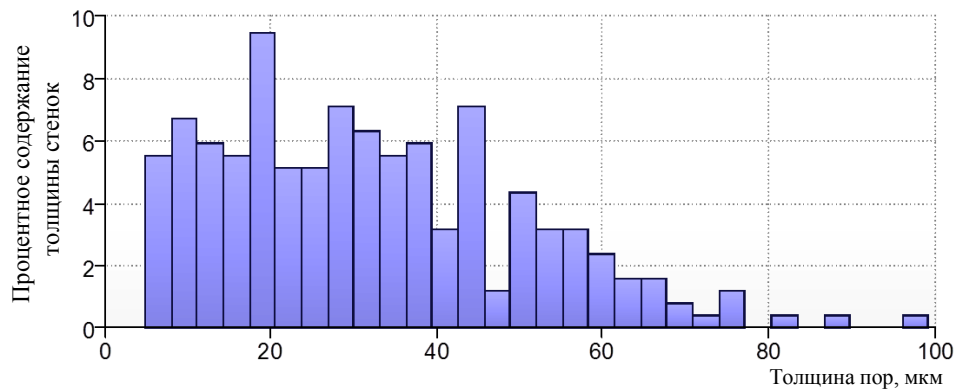


Рис. 5. Гистограмма распределения толщины стенок между порами: $l_{\min} = 4,8$ мкм, $l_{\text{ср}} = 32$ мкм, $l_{\max} = 99$ мкм

Анализ результатов исследования показал, что в образце из пенопласта марки ФК-20 содержание пор составляет ~69 %.

Заключение

В данной статье проанализированы свойства и структура пенопласта марки ФК-20 на основе фенолформальдегидной смолы и бутадиен-нитрильного каучука. За счет высоких прочностных свойств, пожаробезопасности, термостойкости, весовой эффективности, а также благодаря невысокой стоимости данный пенопласт является востребованным материалом для применения в авиационной, космической и других видах техники.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ Е.В. Куршеву и С.Л. Лонскому за подготовку образцов и проведение микроструктурных исследований.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Список источников

1. Застрогина О.Б., Синякова С.Д., Серкова Е.А. Материалы на основе фенолформальдегидных олигомеров резольного и новолачного типов (обзор). Часть 2 // Труды ВИАМ. 2021. № 11 (105). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 13.09.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-11-55-65.
2. Саматадзе А.И., Парахин И.В., Поросова Н.Ф., Туманов А.С. Получение фенолокаучуковых пенопластов методом «бессерной» вулканизации // Авиационные материалы и технологии. 2013. № 3. С. 49–52.
3. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
4. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
5. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 54–67.
6. Лавров Н.А. Традиции и инновации в химии и технологии полимеров // Пластические массы. 2021. № 7–8. С. 3–7. DOI: 10.35164/0554-2901-2021-7-8-3-7.
7. Берлин А.А., Шутов Ф.А. Пенополимеры на основе реакционноспособных олигомеров. М.: Химия, 1978. 296 с.
8. Парахин И.В., Туманов А.С. Фенолокаучуковый пенопласт повышенной пластичности // Авиационные материалы и технологии. 2014. № 4. С. 65–67. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-4-65-67.
9. Саматадзе А.И., Парахин И.В., Поросова Н.Ф. Выбор пластификатора для фенольно-каучукового пенопласта // Композиты и наноструктуры. 2014. Т. 6. № 2. С. 117–124.
10. Каблов Е.Н. Основные итоги и направления развития материалов для перспективной авиационной техники // 75 лет. Авиационные материалы. М.: ВИАМ, 2007. С. 20–26.
11. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2007. № 5. С. 7–27.
12. Якушева Н.А. Высокопрочные конструкционные стали для деталей шасси перспективных изделий авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 2 (59). С. 3–9. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-3-9.
13. Семенова С.Н., Чайкун А.М., Сулейманов Р.Р. Этиленпропилендиеновый каучук и его применение в резинотехнических материалах специального назначения // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 23–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-23-30.
14. Каблов Е.Н. Без новых материалов – нет будущего // Металлург. 2013. № 12. С. 4–8.
15. Хименко Г.С., Попов В.А., Флейшман С.Л. Применение пеноматериала ФК-20-СТ в производстве отражателей антенн радиоэлектронной самолетной аппаратуры // Пенопластмассы: сборник статей / под ред. А.А. Моисеева, В.В. Павлова, М.Я. Бородина. М.: Оборонгиз, 1960. С. 109–116.

References

1. Zastrogina O.B., Sinyakov S.D., Serkova E.A. Materials based on phenolformaldehyde oligomers of resol and novolac types (review). Part 2. *Trudy VIAM*, 2021, no. 11 (105), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 13, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-11-55-65.
2. Samatadze A.I., Parahin I.V., Porosova N.F., Tumanov A.S. Production of phenolic-elastomer foams by sulfur-free vulcanization. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2013, no. 3, pp. 49–52.
3. Raskutin A.E. Development strategy of polymer composite materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 5, pp. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
4. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composites (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.

5. Kolosova A.S., Pikalov E.S. Modern gas-filled polymeric materials and products. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*, 2020, no. 10, pp. 54–67.
6. Lavrov N.A. Traditions and innovations in chemistry and technology of polymers. *Plasticheskie massy*, 2021, no. 7–8, pp. 3–7. DOI: 10.35164/0554-2901-2021-7-8-3-7.
7. Berlin A.A., Shutov F.A. *Foam polymers based on reactive oligomers*. Moscow: Khimiya, 1978, 296 p.
8. Parakhin I.V., Tumanov A.S. Phenolic-rubber foamed plastic of higher increased plasticity. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2014, no. 4, pp. 65–67. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-4-65-67.
9. Samatadze A.I., Parakhin I.V., Porosova N.F. The choice of plasticizer for phenol-rubber foam. *Kompozity i nanostruktury*, 2014, vol. 6, no. 2, pp. 117–124.
10. Kablov E.N. The main results and directions of development of materials for advanced aviation technology. *75 years. Aviation materials*. Moscow: VIAM, 2007, pp. 20–26.
11. Kablov E.N. Materials for aerospace engineering. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2007, no. 5, pp. 7–27.
12. Yakusheva N.A. High-strength constructional steels for landing gears of perspective products of aircraft equipment. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 3–9. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-3-9.
13. Semenova S.N., Chaykun A.M., Suleymanov R.R. Ethylene-propylene-diene rubber and its use in rubber materials for special purposes (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 23–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-23-30.
14. Kablov E.N. Without new materials, there is no future. *Metallurg*, 2013, no. 12, pp. 4–8.
15. Khimenko G.S., Popov V.A., Fleishman S.L. The use of foam material FK-20-ST in the production of reflectors for antennas of radio-electronic aircraft equipment. *Foam plastics: collection of articles*. Ed. A.A. Moiseeva, V.V. Pavlova, M.Ya. Borodin. Moscow: Oborongiz, 1960, pp. 109–116.

Информация об авторах

Капустянская Мария Александровна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Мишуров Константин Сергеевич, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Студенов Иван Геннадьевич, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Maria A. Kapustianskaia, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Konstantin S. Mishurov, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ivan G. Studenov, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 31.10.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 08.11.2022.

The article was submitted 31.10.2022; approved and accepted for publication after reviewing 08.11.2022.