

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-81-89

Косенко Е.А.Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет***E-mail: KosenkoKate@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ С ГИБРИДНОЙ МАТРИЦЕЙ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Аннотация. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности при производстве как относительно мелких, но конструктивно сложных деталей, так и крупногабаритных корпусных деталей, подвергающихся действию значительных нагрузок. Изготовление из ПКМ все более и более ответственных деталей привело к необходимости разработки новых составов, структур и технологий формования композитов. Представлено описание технологии изготовления ПКМ с гибридной матрицей, один из компонентов которой сохраняет свое «жидкое» состояние после формования изделий, а второй полностью отверждается. В получаемом композите «жидкие» компоненты формируют самостоятельную фазу и вместе с основным материалом связующего ПКМ представляют собой гибридную матрицу. Представлены результаты динамического механического анализа (ДМА) базальтопластиков с гибридными матрицами, в которых компонентами «жидкой» составляющей являются технический воск, анаэробный и кремнийорганические полимерные материалы. DMA выполнялся на образцах двух типов: №1 – образцы с низким содержанием «жидких» компонентов в матрице и №2 – образцы с высоким содержанием «жидких» компонентов в матрице. По результатам проведенных испытаний наилучшими характеристиками среди ПКМ с различными типами гибридных матриц, обладают образцы с кремнийорганическим полимерным материалом в составе матрицы.

Ключевые слова: базальтопластик, гибридная матрица, деформационные свойства, динамический механический анализ, полимерные композиционные материалы.

Введение. В последние десятилетия в различных отраслях промышленности наблюдается устойчивая тенденция замещения металлических деталей на детали, изготовленные из полимеров и полимерных композиционных материалов (ПКМ). Это обусловлено возможностью создавать изделия с практически любыми, зачастую противоречивыми свойствами, при этом достигая снижения их массы и повышая коррозионную стойкость [1–3].

Расширение областей применения ПКМ требует разработки их новых составов, структур и технологий формования, которые позволят создавать изделия с адаптированными под различные условия эксплуатации физико-механическими и другими свойствами [4–7].

Известно, что одним из главных создателей конструкционных материалов является природа. Большинство природных материалов по своей структуре являются композициями. Поэтому большой научно-практический интерес представляет возможность разработки ПКМ, обладающих свойствами «живых» природных материалов, таких как живая древесина и некоторые виды минералов, в частности, слюда (мусковит) и асбест. Отличительной особенностью этих природных материалов является наличием в их

структуре границ раздела, обладающих пониженной прочностью по сравнению с остальным объемом материала и обеспечивающих одновременно различные виды разрушений под действием нагрузок, чем объясняются их высокие деформационные свойства и механическая прочность [8, 9].

В зависимости от конкретного механизма разрушения на предельные характеристики ПКМ в значительной степени оказывают влияние материал матрицы и возникающие адгезионные взаимодействия на границе раздела с армирующим материалом [10]. Чем опаснее концентратор напряжений, тем мягче следует выбирать связующее, во всяком случае вблизи концентратора. Излишнюю жесткость и прочность связующего в какой-то степени при определенных условиях можно компенсировать снижением адгезионной прочности или введением промежуточных мягких слоев между волокном и матрицей [11].

Авторами работ [12, 13] предложена технология получения ПКМ с гибридной матрицей, один из компонентов которой отверждается, а второй сохраняет свое «жидкое» состояние после формования изделий и на всем этапе эксплуатации. Создание таких ПКМ осуществляется вакуумформованием по препреговой технологии. Предварительно пропитанные связующим слои

армирующего материала выкладываются в оснастку. На основании результатов расчетов и испытаний между определенными слоями по заданным схемам наносятся «жидкие» компоненты матрицы, после чего формируется вакуумный мешок и создается вакуумное разряжение. Отверждение ПКМ осуществляется в вакуумном мешке при комнатной температуре. Для улучшения структуры ПКМ, повышения механических свойств и ускорения процесса отверждения допускается умеренный нагрев ПКМ до температуры +80 °С, например, с помощью инфракрасных ламп.

В качестве «жидких» компонентов матрицы на основании анализа технологичности их применения и механизма отверждения были выбраны технический воск, анаэробный и кремнийорганический полимерные материалы. Компоненты «жидкой» составляющей матрицы формируют самостоятельную фазу и вместе с основным материалом связующего представляют гибридную матрицу.

Проведенные механические испытания показали, что добавление «жидких» компонентов в состав матрицы ПКМ приводит к изменению комплекса их свойств. Так, анаэробный полимерный материал в составе матрицы базальтопластиков и углепластиков позволяет повысить предел их прочности при растяжении на 2 % и 5 % соответственно по сравнению с контрольными образцами без «жидких» компонентов в составе матрицы [14, 15]. Также наблюдается увеличение значения относительного удлинения при разрушении: у углепластиков с техническим воском в составе матрицы – на 25 %, а с анаэробным и кремнийорганическим полимерными материалами – на 7 % и 4 % соответственно [14]; у базальтопластиков с техническим воском – на 4 %, а с анаэробным и кремнийорганическим полимерными материалами – на 5 % и 2 % соответственно по сравнению с контрольными образцами.

Важной особенностью ПКМ с кремнийорганическим полимерным материалом является высокая стабильность (наблюдаются минимальные потери) их механических свойств при переходе в область экстремально низких температур (при $t = -30$ °С и -50 °С) [14].

Для длительного сопротивления разрушению под действием знакопеременных нагрузок помимо прочностных свойств ПКМ должны обладать высокими деформационными свойствами [16-19].

Изучение зависимости механических и вязкоупругих свойств материалов от температуры, времени и частоты под воздействием периодиче-

ских (циклических) нагрузок осуществляют методом динамического механического анализа (ДМА). Измерения методом ДМА проводятся в соответствии с международными стандартами DIN 53513, DIN 53440, ASTM D 4065, ASTM D 4092 [20].

Методом ДМА определяют зависимость основных характеристик упругости полимерных материалов: динамического модуля упругости E' , динамического модуля потерь E'' и тангенса угла механических потерь $\tan \delta$ от частоты воздействия при постоянной температуре или от температуры при постоянной частоте воздействия [21]. Также на сегодняшний день ДМА является самым чувствительным методом для изучения процесса стеклования и других фазовых и физических переходов.

Материалы и методы. Для выполнения испытаний ПКМ методом ДМА были изготовлены 4 типа образцов:

- 1) контрольный образец (без «жидких» компонентов матрицы);
- 2) образец с анаэробным полимерным материалом (Loctite 638) в составе матрицы;
- 3) образец с кремнийорганическим полимерным материалом (Юнисил-9628) в составе матрицы;
- 4) образец с техническим воском в составе матрицы.

Изготовление образцов осуществлялось вакуумформованием по препреговой технологии [12] из пропитанных связующим Erolam 2017 четырех слоев биаксиальной базальтовой ткани марки БТ400. «Жидкие» компоненты матрицы наносились между 2 и 3 слоями в виде валика шириной 3...5 мм на всю длину образца вдоль нитей основы армирующей ткани (рис. 1). Отверждение осуществлялось с применением установки Trommelberg IR3C Standard, которая обеспечивала нагрев до температуры 80 ± 2 °С в вакуумном мешке.

Таким образом, полученный композит можно разделить на две области: №1 – область, которая располагается между двумя соседними валиками (рис. 1, 1) и №2 – в которой «жидкие» компоненты матрицы располагается непосредственно в середине образца (рис. 1, 2).

Основная часть. Испытания проводили на динамомеханическом анализаторе DMA 242 EArtemis (рис. 3, 4). Образцы подвергались трехточечному изгибу на следующих режимах: частота колебаний 1 Гц; амплитуда 60 мкм; коэффициент пропорциональности 1,1; скорость увеличения температуры 2 К/мин.

На рис. 3 приведены результаты ДМА для образцов №1. Полученные зависимости позволяют оценить значение температур стеклования,

которые определялись по пику кривых тангенса угла механических потерь ($\text{tg}\delta$). Для всех исследованных образцов эти значения не значительно отличаются между собой (см. рис. 3 а, б). Эти данные указывают на то, что введение жидкой

матрицы не приводит к какому-либо существенному изменению значений температуры стеклования. Результаты анализа упругих характеристик исследуемых образцов №1 представлены в таблице 1.

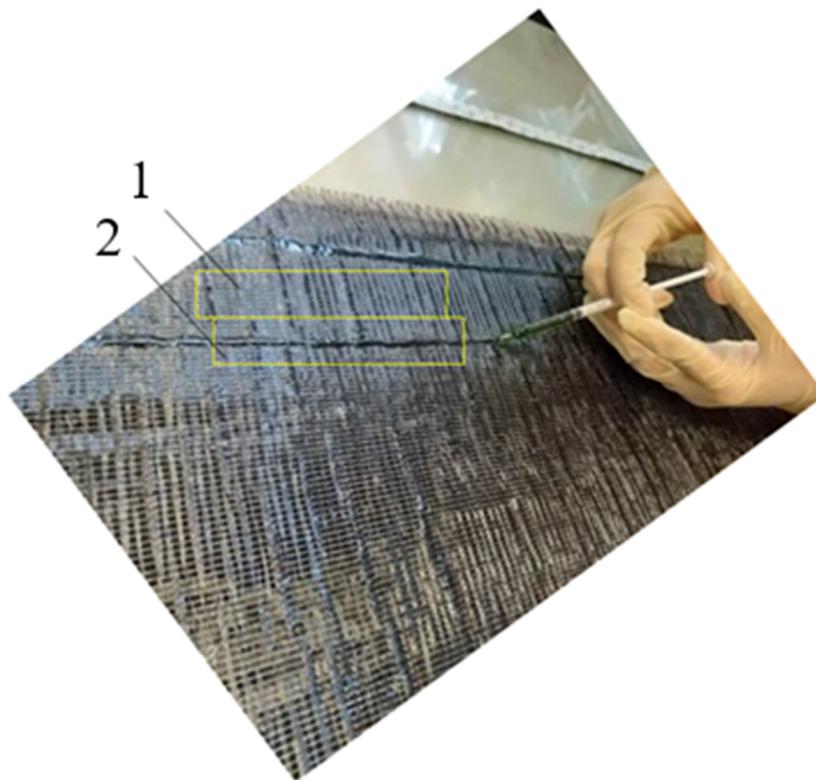


Рис. 1. Фото технологической операции нанесения жидкой матрицы с указанием областей (1, 2) их расположения

Таблица 1

Значения модулей упругости и потерь образцов базальтопластиков №1 при изгибе

Материал жидкой матрицы	Модули при изгибе, МПа при температурах °С	
	≈ 28	≈ 75
Модуль упругости		
Без «жидких» компонентов матрицы	36512	34754
Технический воск	33946	32320
Кремнийорганический полимерный материал	36043	34100
Анаэробный полимерный материал	24377	25246
Модуль потерь		
		$\text{tg } \delta \approx 0,15$
Без компонентов жидкой матрицы	–	5050
Технический воск	–	4680
Кремнийорганический полимерный материал	–	4850
Анаэробный полимерный материал	–	3950

Введение в матрицу базальтопластика «жидких» компонентов, которыми являются технический воск и кремнийорганический полимерный материал привело к снижению модуля упругости

(при температуре ≈ 28 °С) на 7,0 % и 1,3 % соответственно, тогда как использованием анаэробного полимерного материала уменьшило значение данного показателя на 33,2 %. Аналогичным образом изменяются и значения модуля потерь.

Так, при использовании анаэробного полимерного материала значение модуля потерь снижается на 21,8 % по сравнению с контрольным образцом базальтопластика, в составе матрицы которого «жидкие» компоненты отсутствуют, тогда как значения модуля потерь для образцов с техническим воском и кремнийорганическим полимерным материалом в составе гибридной матрицы ПКМ снижаются всего на 7,3 % и 4,0 % соответственно.

Таким образом, в наибольшей степени на величину упругих свойств ПКМ влияет введение

анаэробного полимерного материала в состав матрицы. Это, вероятно, связано с тем, что он единственный из всех остальных материалов, применяемых в качестве «жидких» компонентов матрицы, действительно находится в вязкотекучем состоянии, тогда как кремнийорганический полимерный материал в отвержденном состоянии представляет собой высокоэластический материал, а воск – находится в твердом состоянии, но при этом обладает пластичностью.

В таблице 2 приведены результаты ДМА образцов №2.

Таблица 2

Значения модулей упругости и потерь образцов базальтопластиков №2 при изгибе

Материал жидкой матрицы	Модули при изгибе, МПа при температурах °С	
	≈ 28	≈ 75
Модуль упругости		
Технический воск	30737	28100
Кремнийорганический полимерный материал	33991	32100
Анаэробный полимерный материал	15000	7500
Модуль потерь		
		$\text{tg } \delta \approx 0,15$
Технический воск	–	4190
Кремнийорганический полимерный материал	–	4580
Анаэробный полимерный материал	–	1180

Сравнительный анализ полученных значений модулей упругости позволяет сделать следующие выводы:

- для всех образцов базальтопластика имеет место снижение модуля упругости образцов №2 по сравнению с аналогичными образцами №1, т.е. увеличение количества «жидких» компонентов в составе гибридной матрицы приводит к ухудшению упругих характеристик композиционного материала;

- при использовании в качестве «жидкого» компонента гибридной матрицы технического воска модуль упругости базальтопластика при умеренной температуре (≈ 28 °С) и повышенной температуре (≈ 75 °С) снизился на 9,4 % и 13,0 % соответственно;

- при использовании в качестве «жидкого» компонента гибридной матрицы кремнийорганического полимерного материала модуль упругости при умеренной и повышенной температурах снизился на 5,7 % и 5,9 % соответственно;

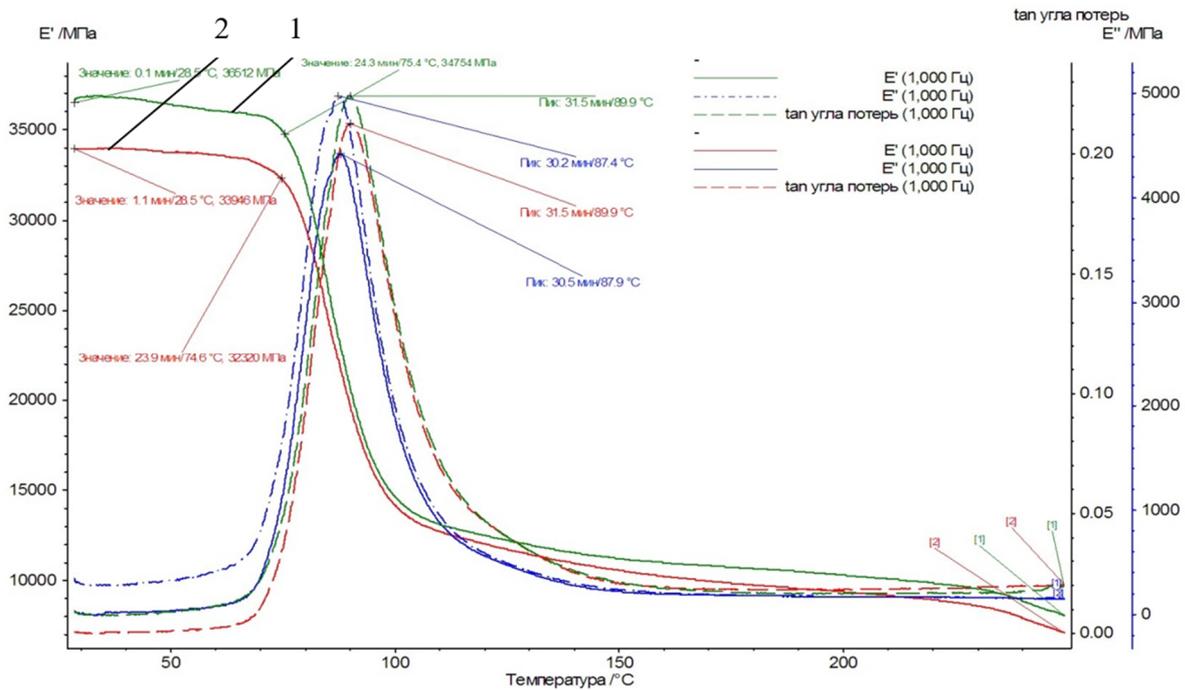
- при использовании в качестве «жидкого» компонента гибридной матрицы анаэробного полимерного материала модуль упругости при умеренной и повышенной температурах снизился на 38,5 % и 70 % соответственно.

Аналогичные закономерности характерны и для модуля потерь, значения которых для базальтопластиков, в которых «жидким» компонентом

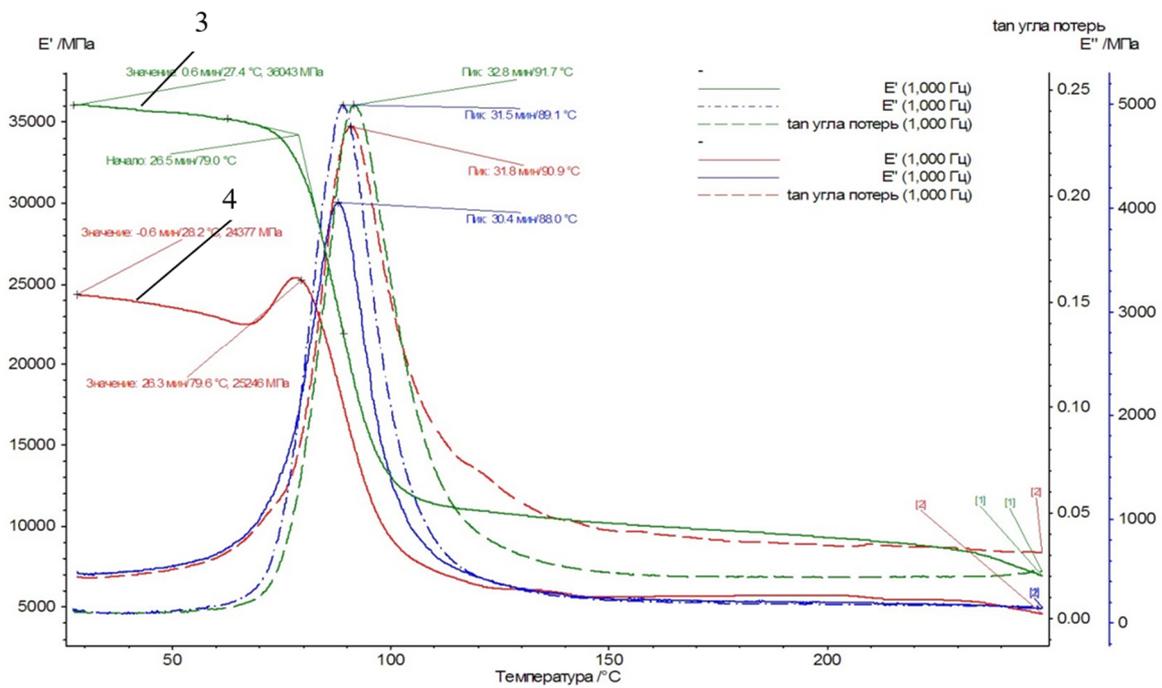
гибридной матрицы являются кремнийорганический полимерный материал, технический воск и анаэробный полимерный материал снижаются на 5,6 %, 10,4 % и 70,1 % соответственно.

Таким образом, наименьшее снижение модулей упругости и потерь (≈5 %) при увеличенном содержании «жидких» компонентов гибридной матрицы наблюдается у образцов с кремнийорганическим полимерным материалом. Если в качестве «жидкого» компонента гибридной матрицы использован технический воск, то его избыточное содержание приводит к значительному снижению упругих характеристик. В наибольшей степени на величину упругих свойств оказывает влияние добавление в матрицу ПКМ анаэробного полимерного материала. При увеличенном содержании данного компонента в композите модуль упругости снижается на 38 %, а модуль потерь на 70 %, что не позволяет рекомендовать данный материал в качестве «жидкого» компонента гибридной матрицы при изготовлении изделий.

По итогам серии испытаний образцов №2, наилучшие характеристики получены при использовании базальтопластиков, в которых «жидким» компонентом гибридной матрицы является кремнийорганический полимерный материал.

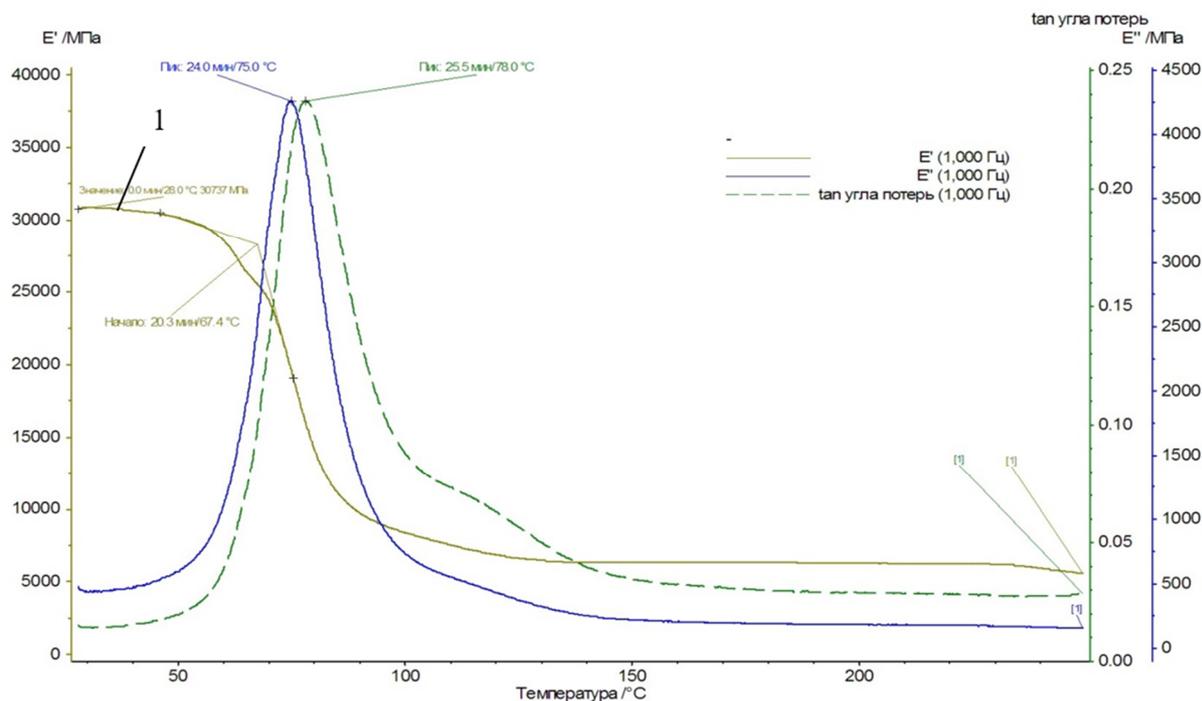


а)

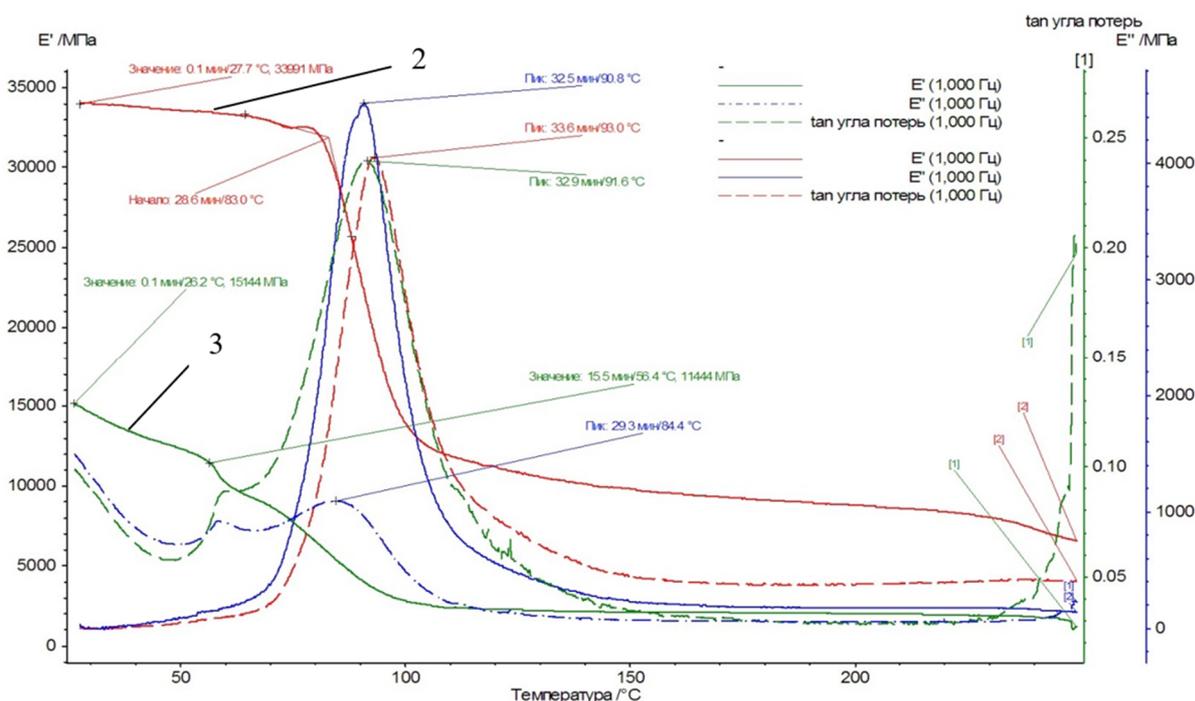


б)

Рис.3. Кривые ДМА для образцов №1 базальтопластиков без «жидких» компонентов в составе матрицы (а, 1), и с техническим воском (а, 2), кремнийорганическим полимерным материалом (б, 3) и анаэробным полимерным материалом (б, 4) в составе матрицы



а)



б)

Рис. 4. Кривые ДМА для образцов № 2 базальтопластиков с техническим воском (а, 1), кремнийорганическим полимерным материалом (б, 2) и анаэробным полимерным материалом (б, 3) в составе матрицы

Выводы. Таким образом, по результатам проведенных испытаний образцов №1 и №2 можно сделать вывод, что добавление в состав матрицы кремнийорганического полимерного материала практически не влияет на упругие характеристики ПКМ по сравнению с образцами без «жидких» компонентов в составе матрицы.

Проведенные ранее испытания данного типа ПКМ по определению предела прочности при растяжении показали относительную стабильность его механических свойств при переходе в область отрицательных температур (-30 °С и

-50 °С), что позволяет использовать ПКМ с кремнийорганическим полимерным материалом в составе матрицы при производстве изделий различного назначения, в частности, работающих в условиях экстремально низких температур [14].

Для обеспечения высоких упругих характеристик ПКМ с кремнийорганическим полимерным материалом в составе матрицы необходимо определить оптимальное количество данного компонента на основании решения многокритериальной задачи.

Схемы локации «жидких» компонентов в составе матрицы необходимо разрабатывать на основании результатов испытаний и моделирования напряженно-деформированного состояния ПКМ.

Источник финансирования. Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту №FSFM-2020-0011 (2019-1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. №6. С 61–68.
2. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2017. №1. С. 36–39.
3. Malysheva G.V., Shimina Y.Y. Influence of preparation technology on carbon-fiber-composite component composition // Fibre Chemistry. 2014. №46 (4). Pp. 237–240. <https://doi.org/10.1007/s10692-014-9596-3>.
4. Gorodetskii M.A., Nelyub V.A., Malysheva G.V., Shaulov A.Y., Berlin A.A. Technology of forming and the properties of reinforced composites based on an inorganic binder // Russian Metallurgy (Metally). 2018. №13. Pp. 1195–1198. DOI: 10.1134/S0036029518130074.
5. Nelyub V.A. Technologies of metallization of carbon fabric and the properties of the related carbon fiber reinforced plastics // Russian Metallurgy. 2018. №13. Pp. 1199–2101. <https://doi.org/10.1134/S0036029518130189>.
6. Maung P.P., Htet T.L., Malysheva G.V. Simulation and optimization of vacuum assisted resin infusion process for large-sized structures made of carbon fiber-reinforced plastic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 709 (2) 022041. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022041.
7. Nelyub V.A., Malysheva G.V. Modern treatment technologies of carbon fibre for ensuring the high strength carbon fibre reinforced plastic production // MATEC Web of Conferences. 2017. 129 02001. DOI: 10.1051/mateconf/201712902001.
8. Полилов А.Н. Этюда по механике композитов. М.: Физматлит, 2015. 308 с.
9. Gordon J.E. The New Science of Strong Materials: Or Why You Don't Fall Through the Floor. Princeton: Princeton University Press, 2006, 287 p.
10. Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., & Malysheva G.V. Thixotropy Hysteresis and Structure Formation in Elastomeric Suspensions // Inorganic Materials: Applied Research. 2018. №9(4). Pp. 603–608. <https://doi.org/10.1134/S2075113318040238>.
11. Берлин А.А., Пахомова Л.К. Полимерные матрицы для высокопрочных армированных композитов // Высокомолекулярные соединения. 1990. №7. С. 1347–1382.
12. Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. The development of natural-like polymer composite materials with liquid matrix and their use in mechanical engineering // Polymer Science. Series D. 2020. Т. 13. №3. Pp. 341–344. DOI: 10.1134/S1995421220030107.
13. Kosenko, E.A., Baurova, N.I., Zorin, V.A. Naturelike Materials and Structures in Mechanical Engineering // Polymer Science - Series D, 2021. №14(1). Pp. 69–72 DOI: 10.1134/S1995421221010135
14. Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. Investigation of the mechanical properties of polymer composite materials with various types of hybrid matrices in the extreme conditions of the Arctic // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1159 (2021) 012053. doi:10.1088/1757-899X/1159/1/012053.
15. Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. Service properties of composites with various types of hybrid matrices // Russian Metallurgy (Metally). 2020. №13. Pp. 1526–1530. DOI: 10.1134/S0036029520130169
16. Берлин А.А. Об усталостной прочности природных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. №7. С. 2–3.
17. Marenkov I.G., Baurova N.I. The use of impregnating compositions upon service of the spring elements of road vehicles fabricated from nonmetallic materials // Polymer Science. Series D. 2021. Т. 14. №2. Pp. 253–256. DOI 10.1134/S1995421221020180.
18. Baurova N.I., Konoplin A.Yu. Visualization of the dynamics of measuring processes of the quality indicators of engineering products during production, repair and operation // Polymer Science. Series D. 2020. Т. 13. №2. Pp. 193–196. DOI 10.1134/S1995421220020045.

19. Rudskoi A.I., Baurova N.I. Technological heredity during the production and operation of structural materials // Russian Metallurgy. 2019. №13. Pp. 1378–1383. DOI: 10.1134/S0036029519130317.

20. Лапина Н.В., Баурова Н.И. Исследование свойств полимерных материалов, используемых
Информация об авторах

Косенко Екатерина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин». E-mail: KosenkoKate@mail.ru. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр. д. 64

при ремонте дорожно-строительных машин, методом динамомеханического анализа // Вестник МАДИ. 2018. № 4 (55). С. 28–33.

21. Высокмолекулярные соединения: учебник и практикум для академического бакалавриата / М.С. Аржаков [и др.]; под ред. А.Б. Зезина. М.: Издательство Юрайт, 2016. 340 с.

Поступила 14.07.2021 г.

© Косенко Е.А., 2021

***Kosenko E.A.**

Moscow automobile and road construction state technical university

**E-mail: tdmtrieva-bel@yandex.ru*

STUDY OF DEFORMATION PROPERTIES OF COMPOSITES WITH A HYBRID MATRIX BY THE METHOD OF DYNAMIC AND MECHANICAL ANALYSIS

Abstract. *Polymer and composite materials (PCMs) are widely used in various industries for production of small but complex parts and large-sized body parts subjected to significant loads. The production of more critical parts from PCM has led to the need to develop new compositions, structures and technologies for molding composites. The manufacturing technology of PCMs with a hybrid matrix is presented, one of the components of which retains its "liquid" state after the molding of the products, and the second is completely solid. In the resulting composite, the "liquid" components form an independent phase and together with the main binder material, the PCMs represent a hybrid matrix. The results of dynamic mechanical analysis (DMA) of basalt plastics with hybrid matrices, in which the composition of the "liquid" component are anaerobic technical wax and organosilicon polymer materials, are presented. DMA is performed on samples of two types: № 1 - samples with a low content of "liquid" components in the matrix and № 2 - samples with a high content of "liquid" components in the matrix. According to the results of the tests carried out, the best characteristics among PCMs with various types of hybrid matrices are possessed by samples with an organosilicon polymer material in the matrix.*

Keywords: *basalt plastic, hybrid matrix, deformation properties, dynamic mechanical analysis, polymer composite materials.*

REFERENCES

1. Timoshkov P.N., Khrulkov A.V., Yazvenko L.N. Composite materials in the automotive industry (review) [Kompozitsionnyye materialy v avtomobil'noy promyshlennosti (obzor)]. Proceedings of VIAM. 2017. No. 6. Pp. 61–68. (rus)

2. Kablov E.N. Composites: Today and Tomorrow [Kompozity: segodnya i zavtra]. Metals of Eurasia. 2017. No. 1. Pp. 36–39. (rus)

3. Malysheva G.V., Shimina Y.Y. Influence of preparation technology on carbon-fiber-composite component composition. Fibre Chemistry. 2014. No. 46 (4). Pp. 237–240. <https://doi.org/10.1007/s10692-014-9596-3>.

4. Gorodetskii M.A., Nelyub V.A., Malysheva G.V., Shaulov A.Y., Berlin A.A. Technology of forming and the properties of reinforced composites based on an inorganic binder. Russian Metallurgy (Metally). 2018. No.13. Pp. 1195–1198. DOI: 10.1134/S0036029518130074.

5. Nelyub V.A. Technologies of metallization of carbon fabric and the properties of the related carbon fiber reinforced plastics. Russian Metallurgy. 2018. No. 13. Pp. 1199–2101. <https://doi.org/10.1134/S0036029518130189>.

6. Maung P.P., Htet T.L., Malysheva G.V. Simulation and optimization of vacuum assisted resin infusion process for large-sized structures made of carbon fiber-reinforced plastic. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 709 (2) 022041. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022041.

7. Nelyub V.A., Malysheva G.V. Modern treatment technologies of carbon fibre for ensuring the high strength carbon fibre reinforced plastic production. MATEC Web of Conferences. 2017. 129 02001. DOI: 10.1051/mateconf/201712902001.

8. Polilov A.N. Study on the mechanics of composites [Etyuda po mekhanike kompozitov]. М.: Fizmatlit, 2015. 308p.

9. Gordon J.E. The New Science of Strong Materials: Or Why You Don't Fall Through the Floor. Princeton: Princeton University Press, 2006, 287p.
10. Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., & Malysheva G.V. Thixotropy Hysteresis and Structure Formation in Elastomeric Suspensions. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2018. No. 9(4). Pp. 603–608. <https://doi.org/10.1134/S2075113318040238>.
11. Berlin A.A., Pakhomova L.K. Polymer matrices for high-strength reinforced composites [Polimernyye matritsy dlya vysokoprochnykh armirovannykh kompozitov]. *High-molecular compounds*. 1990. No. 7. Pp. 1347–1382. (rus)
12. Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. The development of natural-like polymer composite materials with liquid matrix and their use in mechanical engineering. *Polymer Science. Series D*. 2020. Vol. 13. No. 3. Pp. 341–344. DOI: 10.1134/S1995421220030107.
13. Kosenko, E.A., Baurova, N.I., Zorin, V.A. Naturelike Materials and Structures in Mechanical Engineering. *Polymer Science - Series D*, 2021. No.14(1). Pp. 69–72 DOI: 10.1134/S1995421221010135
14. Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. Investigation of the mechanical properties of polymer composite materials with various types of hybrid matrices in the extreme conditions of the Arctic. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1159 (2021) 012053. doi:10.1088/1757-899X/1159/1/012053.
15. Kosenko E.A., Baurova N.I., Zorin V.A. Service properties of composites with various types of hybrid matrices. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2020. No. 13. Pp. 1526–1530. DOI: 10.1134/S0036029520130169
16. Berlin A.A. On the fatigue strength of natural materials [Ob ustalostnoy prochnosti prirodnykh materialov]. *All materials. Encyclopedic reference book*. 2019. No. 7. Pp. 2–3. (rus)
17. Marenkov I.G., Baurova N.I. The use of impregnating compositions upon service of the spring elements of road vehicles fabricated from nonmetallic materials. *Polymer Science. Series D*. 2021. Vol. 14. No. 2. Pp. 253–256. DOI 10.1134/S1995421221020180.
18. Baurova N.I., Konoplin A.Yu. Visualization of the dynamics of measuring processes of the quality indicators of engineering products during production, repair and operation. *Polymer Science. Series D*. 2020. Vol. 13. No. 2. Pp. 193–196. DOI 10.1134/S1995421220020045.
19. Rudskoi A.I., Baurova N.I. Technological heredity during the production and operation of structural materials. *Russian Metallurgy*. 2019. No.13. Pp. 1378–1383. DOI: 10.1134/S0036029519130317.
20. Lapina, N.V. Investigation of the properties of polymeric materials used in the repair of road-building machines by the method of dynamic mechanical analysis [Issledovaniye svoystv polimernykh materialov, ispol'zuyemykh pri remonte dorozhno-stroitel'nykh mashin, metodom dinamomekhanicheskogo analiza]. *Bulletin of MADI*. 2018. No. 4 (55). Pp. 28–33. (rus)
21. Arzhakov M.S. et al High molecular weight compounds [Vysokomolekulyarnyye soyedineniya]. M.: Publishing house Yurayt, 2016. 340 p. (rus)

Information about the authors

Kosenko, Ekaterina A. PhD. E-mail: KosenkoKate@mail.ru. Moscow automobile and road construction state technical university (MADI). Russia, 125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64

Received 14.07.2021

Для цитирования:

Косенко Е.А. Исследование деформационных свойств композитов с гибридной матрицей методом динамического механического анализа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 10. С. 81–89. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-81-89

For citation:

Kosenko E.A. Study of deformation properties of composites with a hybrid matrix by the method of dynamic and mechanical analysis. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021. No. 10. Pp. 81–89. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-81-89