**Краткая информация о проекте грантового финансирования молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2021-2023 годы:**

**«Разработка отечественной технологии получения радиопрозрачного высокопрочного композита для корпусов военных беспилотных летательных аппаратов и аэрокосмической техники»**

|  |  |
| --- | --- |
| Цель | Разработка отечественной технологии получения органопластика на основе арамидных тканей с главными характеристиками: диэлектрическая проницаемость ≤ 4 прочность на растяжение ≥ 700 МПа, прочность на сжатие ≥ 200 МПа, прочность на изгиб ≥ 300 МПа, ударная вязкость ≥ 250 кДж/м2. |
| Актуальность | Одним из перспективных робототехнических комплексов военного назначения на сегодняшний день являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Многофункциональный комплекс на основе БПЛА способно решать основные задачи, как контроль местности и объектов, проведение видео-, фото- съемки, транспортировка и сброс малогабаритных грузов в заданную точку. Предназначение и применение военных БПЛА отличаются от гражданских, исходя из двух функций: разведывательное назначение и является носителем боевого заряда. Специфика военных БПЛА заключается в их невидимости для радаров противника и обеспечения устойчивой приемопередачи информации с командным пунктом. Для этих целей, в первую очередь, материал БПЛА должен обладать свойствами радиопрозрачности. Этим требованиям полно отвечает среди композиционных полимерных материалов (ПКМ) органопластик. |
| Ожидаемые результаты | Экспериментально будет отработан способ получения органопластика с эффективными компонентами с характеристиками: прочность на растяжение до 700 МПа, прочность на сжатие до 200 МПа изгиб до 300 МПа. |
| Полученные результаты | По календарному плану за 2022 год проведено экспериментальное изучение способов повышения ударной вязкости и радиопрозрачности органопластика. Исследованы способы повышения ударной вязкости органопластика путем модификации эпоксидной смолы пластификатором. Изучено влияние комбинированного армирования на радиопрозрачность органопластика. Исследована микроструктура полученных образцов.  Проведены экспериментальные исследования ударной вязкости и радиопрозрачности органопластика. Отработаны технологические режимы формования органопластиков с тремя методами: ручное формование, вакуумное формование и вакуумная инфузия. При формовании образцов использована эпоксидная смола марки Epikote LR 285 комнатного отверждения, в качестве наполнителя арамидная ткань марки Арамид 3300 dtex. По результатам получены следующие прочностные данные ударной вязкости органопластика с тремя методами формования:  - ручное – 279 кДж/м2;  - вакуумное – 360 кДж/м2;  - вакуумная инфузия – 402 кДж/м2.  Наилучшие результаты достигнуты на образцах, методом вакуумной инфузии при массовом соотношении компонентов 65:35% и разряжении вакуума -90 кПа.  Исследованы методы повышения ударной вязкости органопластика путем комбинированного армирования арматуры арамидной ткани с арамидным ровингом в соотношении масс 50:50%, наряду с которыми достигнуто повышение прочностных показателей на сжатие, растяжение, изгиб по результатам 2021 года (прочность на растяжение 710 МПа, на сжатие 260 МПа и изгиб 418 МПа). Образцы изготовлены методом вакуумной инфузии. Ударная вязкость полученных образцов органопластика составила 416 кДж/м2.  Исследованы методы повышения ударной вязкости путем модификации матрицы органопластика с помощью:  - однонаправленный арамидный ровинг;  - однонаправленная арамидная ткань;  - пластификатор трикрезилфосфат (ТКФ);  - полиуретановый каучук СКТНА.  Для комбинирования арамидной ткани использованы однонаправленные арамидные ткани и ровинги в соотношении масс. 50:50%. Содержание модификаторов в эпоксидной смоле составляло 10%, 15%, 20% от общей массы ЭС.  Получена увеличения ударной вязкости органопластика при комбинированном армировании с однонаправленным арамидным ровингом и однонаправленным арамидным тканьем в соотношениях 50:50% от массы арамидной ткани от 402 кДж/м2 до 416 кДж/м2 и до 432 кДж/м2 соответственно. При комбинированном армировании однонаправленным арамидным ровингом и модификации эпоксидной смолы каучуком полиуретан СКТНА с содержанием 15% достигнуто повышение ударной вязкости от 416 кДж/м2 до 426 кДж/м2. А при комбинированном армировании однонаправленным арамидным тканью и при содержании 15% каучука полиурентан СКТНА достигнута ударная вязкость 445 кДж/м2. Основная роль каучука в повышении ударной вязкости заключается в том, что при ударе в органопластике под действием перенапряжений в окрестностях частицы каучука может образоваться область сдвига. Полосы сдвига способствуют увеличению ударной вязкости органопластика, как за счет дополнительного поглощения энергии удара, так и за счет того, что микротрещины тормозят свой рост при встрече с упрочненным материалом полосы сдвига.  При комбинированном армировании однонаправленным арамидным ровингом и модификации эпоксидной смолы пластификатором ТКФ при содержании 10%, достигнуто наибольшее повышение ударной вязкости на 14% от 416 кДж/м2 до 475 кДж/м2. Наилучший результат получен при модификации эпоксидной смолы с 10% пластификатором ТКФ и комбинированным армированием с однонаправленным арамидным тканьем, ударная вязкость которого показало повышение на 11% от 432 кДж/м2 до 480 кДж/м2. Повышение ударной вязкости с пластификатором ТКФ может быть связано с тем, что повышается гибкость и подвижность молекулярной структуры матрицы.  Следующим этапом работ было измерение одного из параметров оценки радиопрозрачности органопластика – потеря электромагнитной энергии. Испытания образцов проведены в ДТОО «Институт космической техники и технологий».  Измерение радиопрозрачности (коэффициента прохождения электромагнитной волны) проводилось с образцом органопластика и без него методом сравнения уровней электромагнитных излучений между передающей и приемной рупорными антеннами. Рупорные антенны типа П6-23М/2 выбраны из-за способности возбуждения концентрированного электромагнитного поля с заданной плотностью потока мощности в широком диапазоне частот с нормированной диаграммой направленности. Для проведения измерения потери электромагнитной энергии в органопластике изготовлены образцы в виде пластин с размерами: ширина 297 мм, длина 420 мм, толщина 2 мм.  Пространственное положение образца закреплено деревянной рамкой на подставке. Рамка скреплена пластиковыми винтами по периметру, чтобы минимизировать отражения в области измерений, возникающие от металлических крепежных элементов.  Для того, чтобы энергия боковых лепестков антенн не ухудшала точность измерений, проникая из передающей антенны в приемную за пределами образца, измерения радиопрозрачности образца в условиях безэховой экранированной камеры, покрытой радиопоглощающим материалом типа ТОРА. Радиопоглощающий материал поглощает паразитную энергию боковых лепестков. Экранировка камеры позволяет исключить влияние внешних эфирных радиоизлучений базовых станций сотовых операторов на результаты измерений.  Потери электромагнитной энергии в органопластике измерялась в полосе частот работы измерительных рупорных антенн 1÷6 ГГц, диапазон был разбит на два участка: 1÷4 ГГц и 4÷6 ГГц, для более точного представления результатов. По результатам экспериментов значение ослабление радиоволны в исходном органопластике в полосе частот 1÷4 ГГц составляет 0,851 дБ, а при частоте 4÷6 ГГц составляет 1,45 дБ.  Проведено измерение еще одного основного показателя радиопрозрачности -диэлектрическая проницаемость. Измерение диэлектрической проницаемости проводилось конденсаторным методом. Емкость конденсатора в присутствии органопластика и без него измеряется прибором APPA701 LCR-метром. По результатам эксперимента определена диэлектрическая проницаемость исходного органопластика =2,825.  Проведены экспериментальные исследования по способу повышения радиопрозрачности и диэлектрической проницаемости органопластика. Для повышения радиопрозрачности и диэлектрической проницаемости органопластика использованы следующие модификаторы:  - для связующего пластификатор Трекрезилфосфат (ТКФ) - 10 % от общей массы эпоксидной смолы;  - для комбинированного армирования однонаправленный арамидный ровинг в соотношениях 50:50% от массы арамидной ткани;  - для комбинированного армирования однонаправленная арамидная ткань в соотношениях 50:50% от массы арамидной ткани.  По результатам экспериментов получено снижения потеря мощности от 0,851 дБ до 0,210 дБ в диапазоне 1÷4 ГГц, а в диапазоне 4÷6 ГГц от 1,45 дБ до 0,73 дБ для образца органопластика армированным однонаправленным арамидным ровингом и модифицированной эпоксидной смолой с 10% пластификатором ТКФ. Снижение диэлектрической проницаемости от =2,825 до =2,581.  Наилучший результат по снижению потери мощности и диэлектрической проницаемости получен при модификации эпоксидной смолы с 10% ТКФ и комбинированным армированием с однонаправленным арамидным тканьем в диапазоне 1÷4 ГГц от 0,851 дБ до 0,195 дБ и в диапазоне 4÷6 ГГц от 1,45 дБ до 0,64 дБ, а диэлектрическая проницаемость =2,825 до =2,496.  Таким образом, установлено, что на радиопрозрачность и диэлектрическую проницаемость органопластика решающее значение оказывает состав наполнителя и связующего. Наилучшие радиопрозрачности и диэлектрические характеристики органопластика обеспечивает арамидная ткань на основе комбинированного армирования однонаправленным арамидным тканьем и эпоксидная смола, модифицированная 10% содержанием пластификатора ТКФ.  Снижение диэлектрических свойств вероятно достигнуто за счет: уплотнения армирующего наполнителя путем комбинированного армирования с использованием однонаправленных арамидных тканей высокой плотности, в результате этого устроняются микрополости и дефекты в композите; на показатель диэлектрической проницаемости органопластика оказывает тип полимерной матрицы, более низкие значения получены в образцах со связующим которые содержат в своем составе пластификатор ТКФ, что улучшает совместимость смолы с армирующим наполнителем. Также модификатор ТКФ обладающий хорошими диэлектрическими свойствами, характеризующийся влагостойкостью, что приводит к снижению влагопоглощению и диэлектрических характеристик в сверхвысокочастотном диапазоне.  Прочностные испытания и структурный анализ полученных образцов  Исследованы прочностные свойства органопластика модифицированное с 10% пластификатором ТКФ и с комбинированной арматурой (с однонаправленная арамидная ткань в соотношении масс 50:50%. Образцы органопластика для прочностных испытаний изготовлены согласно ГОСТ на растяжение (ГОСТ 32656-2014), сжатие (ГОСТ 33519-2015), изгиб (ГОСТ 56810-2015) и ударная вязкость (ГОСТ 4647-2015). Образцы на растяжение, изготовленные из арамидной ткани и ЭС L, имеют ширину 25 мм ± 0,5 мм, общую длину 250 мм и толщину 4 мм. Органопластиковые образцы для испытаний на сжатие изготовлены с размерами: ширина 15 мм ± 0,5 мм, общая длина 140 мм и толщина 4 мм. Органопластиковые образцы для испытаний на изгиб изготовлены с размерами: ширина 15 мм ± 0,5 мм, общая длина 140 мм и толщина 4 мм. Образцы для испытаний на ударную вязкость изготовлены с размерами: длина 80 ± 2 мм, ширина 10 ± 0,5 мм, и толщина 4 мм. Таким образом, в результате исследований прочностных характеристик органопластика составило на растяжение 740 МПа, прочность на сжатие 281 МПа, прочность на изгиб 426 Мпа и ударная вязкость 480 кДж/м2.  Исследована микроструктура полученных образцов органопластика  В микроструктуре органопластика, изготовленного с использованием метода вакуумной инфузии, содержащего модификатора трикрезилфосфат, имеются зоны с однофазовой структурой, а также области, содержащие структурные дефекты. Установлено, что толщина прослоек полимерной матрицы между волокнами значительно различается по размерам – от 0 до 10 мкм. Неравномерность распределения полимерной матрицы в объеме органопластика обусловлена различной плотностью упаковки армирующих волокон, что влияет на процесс проникновения компонентов связующего в межволоконное пространство на стадии пропитки армирующего наполнителя. Обнаружено, что присутствие воздушных пор, поверхности образцов в зонах переплетения в форме кругов диаметрами 40-80 мкм. Таким образом, полученные данные микроструктурных исследований свидетельствуют о том, что в зонах с плотной упаковкой волокон (в нитях) и у поверхности волокон формируется тонкий слой эпоксидного полимера с однофазовой структурой. Все этапы работ согласно календарному плану на 2022 год выполнены. |
| Члены исследовательской группы с идентификаторами (Scopus ID, Researcher ID, ORCID) и ссылками на их профили | 1. Ермаханова А.М., PhD <https://orcid.org/>0000-0002-2145-5122  2. Кенжегулов А.К. PhD https://orcid.org/0000-0001-7001-2654, Scopus ID: 57210622996, WoS ID: AAD-1637-2020, https://scholar.google.ru/citations?user=umeQ\_s4AAAAJ&hl=ru  3. Мейрбеков М.Н. магистр <https://orcid.org/0000-0003-0434-9114>, Scopus ID: 57218282617  4. Байсериков Б.М**.** магистр |
| Список публикации и патентов | 1. Ермаханова А.М., Исмаилов М.Б. Влияние углеродных наночастиц на механические свойства эпоксидной смолы//Труды международных сатпаевских чтений «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана» – Алматы: КазНИТУ 2016, т.2, С. 582-587. 2. M.B. Ismailov, А.M. Yermakhanova. Carbon nanoparticles influence on mechanical properties of epoxide resin and carbon composite // Complex Use of Mineral Resources – Almaty, 2016. № 4. P.63-73. DOI: https://doi.org/10.31643/2018/166445 3. Ермаханова А.М. Углеродные наночастицы. Эффективное влияние на прочностные свойства эпоксидной смолы и углепластика//Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» – Алматы: КазНУ имени аль-Фараби. 2017. С.286.  4. Исмаилов М.Б., Забережный С.А., Ермаханова А.М. Разработка отечественных технологий производства углепластика и изделий из него//IV Международный семинар на тему «Современные космические технологии: опыт и перспективы» Астана, 21-22 ноября 2016.  5. М.B. Ismailov, А.M. Yermakhanova. Characterization of the epoxy resin and carbon fiber reinforced plastic stress-strain state by modified carbon nanotubes// Eurasian Chemico-Technological Journal, 2018,V.2, №2, p.137-145. DOI: <https://doi.org/10.18321/ectj698>  6. М.B. Ismailov, А.M. Yermakhanova. About the Mechanism of Stress-strain State of Epoxy Resin by Carbon Nanotubes//The 2017 International Conference on Energy and Development and environmental protection, Shanghai, 8-10th September, 2017, p.106-111. 7. Ермаханова А.М., Исмаилов М.Б. Влияние углеродных нанотрубок на процесс отверждения и прочность эпоксидной смолы// Комплексное использование минерального сырья – Алматы, 2018. № 4, С.105-115. DOI: https://doi.org/10.31643/2018/6445.36 8. Исмаилов М.Б., Мейірбеков М.Н., Магомедов Р.М., Алпысбай И.М., Байсериков Б.М., Ермаханова А.М., Мустафа Л.М. Способ получения углепластика космического назначения. Патент на полезную модель №2017/0632.2, бюл. - №25.  9. Ермаханова А.М., Исмаилов М.Б. Влияние углеродных нанотрубок на стадийность напряженно-деформированного состояния эпоксидной смолы//Материалы Международной практической интернет-конференции «Актуальные проблемы науки», 22 ноября 2018 г.  10. Ермаханова А.М., Исмаилов М.Б., Нелюб В.А. Влияние углеродных нанотрубок на упруго-прочностные свойства углепластика// X International Symposium “THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF CARBON MATERIALS AND NANOENERGETIC MATERIALS" September 12-14, 2018 Almaty, Kazakhstan.  11. Mustafa L.M., Ismailov M.B., Yermakhanova A.M. The Effect of Carbon Fabrics Modification on the Strength of Carbon Fiber Reinforced Plastic// Complex Use of Mineral Resources, № 2 (309), 2019, p.68-75.  12. Мустафа Л.М., Исмаилов М.Б., Ермаханова А.М., Санин А.Ф. Исследование влияния пластификаторов и термопластов на механические свойства эпоксидной смолы и углепластика. (Обзор)//Комплексное использование минерального сырья.-Алматы, Институт металлургии и обогащения, 2019, № 4 (311), с.48-56. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.37>.  13. Мустафа Л.М., Исмаилов М.Б. Исследование методов модификации углеродной ткани с целью увеличения прочностных свойств углепластика. // Каз ҰЗУ Хабаршысы – Vestnik KazNRTU, 2019, №5 (135), с.72-75.  14. Мустафа Л.М., Исмаилов М.Б Исследование влияния пластификаторов на прочность и ударную вязкость углепластика//Международная научно-практическая конференция «Наука и инновации: новости, проблемы и достижения» 2-том - 29-30 апреля 2020 -Алматы.  15. Мейрбеков М.Н., Исмаилов М.Б. Влияние каучука на механические свойства эпоксидной смолы и углепластика//Complex Use of Mineral Resources, № 1 (312), 2020, p.11-21. DOI: 10.31643/2020/6445.02.  16. Meiirbekov M.N., Ismailov M.B., Manko T.A. The effect of the modification of an epoxy resin by liquid oligomers on the physical-mechanical properties of composites // Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. – 2020. – Vol.3. – P. 122-127. DOI: 10.32434/0321-4095-2020-130-3-122-127.  17. Смағұлова Г.М., Мейірбеков М.Н., Исмаилов М.Б., Аблакатов И.К. Эпоксид шайырын сұйық олигомерімен модификациялауды жүргізу. Международная научная конференция студентов и молодых ученых, «ФАРАБИ ӘЛЕМІ». Алматы. – 2019. – С. 172.  18. Забережный С.А., Исмаилов М.Б., Байсериков Б.М. Технология получения углепластиковых пластин. // Комплексное использование минерального сырья / Алматы, №3, 2016 – С.74-77.  19. Забережный С.А., Исмаилов М.Б., Байсериков Б.М. Исследование технологии получения углепластиковых пластин. В кн.: “The Physics Chemistry of Carbon Materials/Nanoengineering” and Conference “Nanoenergetic Materials and Nanoenergetics”, Алматы, 2016. - С.179-182.  20. Yermakhanova AM, Sanin A.F., Meiirbekov MN, Baiserikov BM. Investigation of dielectric and strength properties of organoplastics. Review. Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources. 2022;322(3):89-102. <https://doi.org/10.31643/2022/6445.33> |