



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное предприятие
**«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е.Жуковского»
ФГУП «ЦАГИ»**

140180 Московская обл., г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1
тел.: (495)556-4205, факс: (495)777-6332
E-mail: <http://www.tsagi.ru>
ОКПО 07542112, ОГРН 1025001624471
ИНН / КПП 5013009056/504001001

27.03.2020 № МБ-48-10-2809

На № _____

Уважаемый Владимир Александрович!

В ответ на Ваши письма – обращения в адрес Администрации Президента Российской Федерации от 02.03.2020 № А26-09-17242731-СО1 и от 03.03.2020 № А26-09-17426031-СО1, по вопросу применения смеси эпоксидной смолы ЭД-16 с нанотрубками компании OCSiAl в качестве материала для изготовления крыла и фюзеляжа летательного аппарата с целью улучшения его прочностных и летных характеристик, сообщаем следующее.

Вы затрагиваете очень важные и актуальные вопросы разработки современных полимерных композиционных материалов (ПКМ) для авиастроения.

Армированные ПКМ, используемые для изготовления таких ответственных изделий, как основные силовые элементы и агрегаты конструкции воздушных судов (ВС) являются системами, в которых каждый компонент имеет собственную функцию и вносит свой вклад в общие прочностные характеристики готового изделия. Наиболее часто для изготовления ответственных, силовых, высоконагруженных агрегатов и элементов ВС (части крыла, фюзеляжа, оперения и т.д.) применяются такие ПКМ, как углепластики (УП) на основе термореактивных сетчатых полимеров (в том числе, на основе эпоксидных связующих).

Следует отметить, что эпоксидиановая смола ЭД-16, указанная Вами в письме, представляет собой твердофазный олигомер с низким содержанием химически активных групп. Высокая вязкость расплава смолы препятствует равномерному распределению ЭД-16 между волокнами армирующего наполнителя, что может привести к появлению пор и

000625

Г-ну Гирину В.А.
e-mail: MorrisCastro@mail.ru

Копия: МИНПРОМТОРГ РОССИИ
Заместителю директора Департамента
авиационной промышленности

М.Б. Богатыреву

125039 Москва, Пресненская наб., д.10,
стр.2

пустот в ПКМ, которые могут приводить к разрушению материала и конструкции на его основе под воздействием нагрузок в ходе эксплуатации. Этот недостаток устраняется путем широкого применения полифункциональных эпоксидных смол – эпоксисилоклатных и эпоксифенольных, а также других видов термореактивных связующих.

На сегодняшний день ни одно из эпоксидных связующих и ни один из традиционно применяемых армирующих наполнителей полностью не отвечают всему комплексу желаемых требований, предъявляемым к таким материалам для авиационной техники. Поэтому разработка ПКМ нового поколения является одной из первоочередных задач при создании ответственных и высоконагруженных авиационных композитных конструкций во всем мире.

Как в России, так и за рубежом, для решения задач создания полимерных связующих с повышенными характеристиками прочности, теплостойкости и долговечности используют различные методы физико-химической модификации ПКМ, в том числе, введение наночастиц различной химической природы, в том числе углеродных. Внимание к ПКМ с использованием углеродных нанотрубок (УНТ) с каждым годом растет. Однако, начальный прогноз о прорывном улучшении прочностных характеристик ПКМ за счет использования уникальной структуры и свойств УНТ, пока не оправдался. В ходе многочисленных исследований было доказано, что применение УНТ дает умеренное увеличение прочности ПКМ, что значительно ниже целевых теоретических расчетных значений. Поэтому увеличение эффективности использования УНТ в полимерных связующих является важной, но сложной задачей.

Хорошо известно, что поверхность УНТ после синтеза по своим химическим свойствам близка к поверхности графита химически достаточно инертна. Простое смешение УНТ с полимерной матрицей ПКМ не позволяет полностью реализовать их потенциальные прочностные характеристики. На эффект упрочнения ПКМ с помощью УНТ влияют все технологические факторы: количественное содержание нанотрубок в связующем, размеры УНТ (диаметр и длина), свойства поверхности (исходная, окисленная или функционализированная), условия и степень диспергирования УНТ в связующем. На сегодняшний день существует несколько научных направлений поиска в области использования УНТ для модификации ПКМ с целью повышения их прочностных характеристик: во-первых, с уменьшением размеров УНТ (как диаметра, так и длины) эффект упрочнения от их введения в состав связующего возрастает; во-вторых, при функционализации УНТ (например, окислении) замечено повышение прочности связующего, содержащего такие частицы; в-третьих, чем выше степень диспергирования УНТ (в идеале – отсутствие агломератов из УНТ), тем выше степень упрочнения связующего при введении в его состав УНТ.

Следует отметить, что поскольку наличие УНТ в жидкой среде, начиная с определённой концентрации, приводит к значительному увеличению вязкости, например, полимерного связующего, то с определённого момента возникают проблемы с равномерной пропиткой волокнистого армирующего наполнителя, поэтому увеличивать концентрацию УНТ в составе связующего не представляется возможным. Кроме того, УНТ обладают каталитическим воздействием на процесс отверждения полимерного связующего. При применении наночастиц растут процент усадки и усадочные напряжения при отверждении связующего в процессе формирования конструкций из ПКМ. Эти два фактора способствуют, в конечном итоге, снижению прочности ПКМ и конструкций на его основе. Увеличивать содержание углеродных наночастиц в ПКМ можно только до установленной предельной концентрации (как правило, $\ll 1\%$). Кроме того, указанные в Вашем письме УНТ фирмы OCSiAl (Люксембург) не являются наилучшим вариантом, поскольку обладают диаметром и длиной намного большими, чем у их товарных аналогов, производимых другими фирмами. Кроме того, по результатам многочисленных отечественных исследований иные виды наночастиц, например, многослойные фуллероидные наночастицы астралены типа «В», марки УФН А2 01а (Россия), более предпочтительны для улучшения комплекса физико-механических характеристик эпоксинанокмпозитов. Целесообразность их использования также усиливается тем, что их цена в ≈ 2 раза ниже по сравнению с УНТ.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом продолжаются всесторонние исследования и испытания наномодифицированных ПКМ для их применения при изготовлении авиаконструкций. Однако, этот процесс трудоёмкий, затратный и продолжительный по времени, т.к. связан с получением сертификатов на разрабатываемые материалы, а, значит, с разработкой и проведением всего цикла испытаний, начиная с элементарных образцов и до полноразмерных агрегатов и натуральных авиаконструкций.

Тем не менее постоянные усилия ученых и специалистов должны принести свои плоды и как только нано-модифицированные композиционные материалы достигнут необходимых характеристик, они после общей и специальной квалификации могут быть применены в силовых ответственных авиационных конструкциях.

С уважением,

Заместитель Генерального директора –
начальник комплекса прочности ЛА ФГУП «ЦАГИ»



М.Ч. Зиченков