

Использование композиционных материалов в системе кондиционирования воздуха на транспорте

Нагайцев Р.Ю., д.т.н. проф. Меркулов В.И.
Университет машиностроения
(495) 223-05-23, доб. 1054

Аннотация. В статье содержится обзор современных высокоэффективных композитных материалов. Проведён обзор предприятий, уже начавших использование композитных материалов в системах воздухообмена на транспорте, и даны рекомендации по использованию данных материалов в конструкциях.

Ключевые слова: композиционные материалы, снижение веса, увеличение прочности

В настоящее время применение композиционных материалов постоянно растёт, особенно последние десять лет. Современные композиционные материалы могут существенно снизить вес и увеличить прочность, но в то же время они сложнее для "предсказания" поведения их по сравнению, например, с алюминием, также представляется более трудной проверка на различные трещины и прочие скрытые дефекты. Это накладывает особые требования в области применения данных материалов на турбоустановках и других силовых агрегатах. В стадии разработки сейчас находятся так называемые самовосстанавливающиеся композиты, которые смогут "затягивать" небольшие трещины в структуре.

Примерно 15% от структурной массы современного гражданского самолёта составляют различные пластиковые композиты, преимущественно изготовленные из углеволокна. В настоящее время проектируется новый российский самолёт МС-21\Як-242, где доля используемых композитов должна превысить 30%.

В основном в авиации использование современных материалов ограничивается обшивкой и элементами фюзеляжа. Заметна тенденция использования углеволокна в силовых деталях, типа шпангоутов, кессонов.

Свойства композиционных материалов в основном зависят от физико-механических свойств компонентов и прочности связи между ними. Отличительной особенностью композиционных материалов является то, что в них проявляются достоинства компонентов, а не их недостатки. Вместе с тем композиционным материалам присущи свойства, которыми не обладают отдельные компоненты, входящие в их состав. Для оптимизации свойств выбирают компоненты с резко отличающимися, но дополнительными друг от друга свойствами.

Использование новых материалов позволяет иметь заданное сочетание разнородных свойств: высокой удельной прочности и жесткости, жаропрочности, износостойкости, теплозащитных свойств и др. Спектр свойств композитов невозможно получить при использовании обычных материалов. Их применение даёт возможность создавать ранее недоступные, принципиально новые конструкции.

Благодаря композиционным материалам стал возможен новый качественный скачок в увеличении мощности двигателей, уменьшении массы агрегатов и конструкций и повышении весовой эффективности наземных транспортных средств и авиакосмических аппаратов.

Рассматривая современные работы по данному направлению, можно выделить несколько перспективных тем по металлическим композиционным материалам:

- высоконаполненные карбидом кремния (с содержанием армирующих частиц 60-70% по объёму) алюминиевые композиты – для получения высокой теплопроводности при низком температурном коэффициенте расширения;
- антифрикционные композитные материалы на основе меди, алюминия или свинца, армированные микронными частицами квазикристалла системы Al-Cu-Fe;
- композиты системы алюминий – рубленое углеродное волокно, полученные особым способом, – для использования в качестве специальных датчиков или образцов свидетелей, способных накапливать информацию о внешнем воздействии на изделие, конструкцию, установку.

Армирование алюминия частицами бора (карбида бора) приводит к усилению защитных свойств композитов и к появлению у него возможности использования в качестве конструкционного материала, непосредственно интегрированного в конструкцию. Фирма Talon Composites, LLC рекламирует материал для защиты от нейтронного излучения Talbor®, представляющий металлический композиционный материал на алюминиевой матрице (сплавы 6XXX, 7XXX, 2XXX, 11XX и 5XXX серии), армированной карбидом бора (объемная доля от 1 до 40%).

Кроме алюминия, хорошие перспективы есть и у армированного борсодержащими частицами свинца. Эксперименты показали, что материал после армирования приобретает механическую прочность, повышенный модуль упругости, механическую и деформационную обрабатываемость на стандартном оборудовании на уровне, близком к обычным материалам. В областях применения, не требующих высокой весовой эффективности, этот материал может стать незаменимым элементом конструкции, принимающим на себя часть эксплуатационных нагрузок.

Наполнение алюминиевой матрицы частицами карбида кремния, с содержанием 60-70% по объёму, позволяет достичь в композите высокой теплопроводности при низком температурном коэффициенте расширения, обеспечивая эффективное применение в качестве теплоотводящих элементов конструкции. Эти материалы уже используются в качестве теплоотводящих подложек для приборов силовой электроники на Западе такие фирмы, как MC-21, АМТЕК, CPS. Производство таких материалов освоено и в Китае.

Работа по освоению промышленного производства высоконаполненных металлических композиционных материалов ведётся в настоящее время и в России (ОАО «Электровыпрямитель», г. Саранск; ОАО «СКЛ», г. Ульяновск).

Кроме того, ведутся работы по использованию неметаллических композиционных материалов в качестве конструкционных материалов. Например, ОАО НПО «Наука» совместно с ВИАМ работают над изготовлением корпусных деталей на базе полиамидного композита, наполненного углеродом. Проблемой данной работы является возможность изготавливать отливки небольшого объёма (до 80 дм³).

Развиваются и технологии изготовления деталей и узлов из композитов. Кроме традиционного литья, в данный момент идёт освоение современной «3D печати» и плазменного напыления, а также технологий, включающих жидкофазные технологии замешивания в расплав, принудительную и реакционную пропитку, твердофазные технологии механического легирования.

Однако в настоящее время в России практически отсутствует промышленное производство металлических композиционных материалов в целом. Это связано со стереотипом о высокой стоимости и сложности технологии металлических композитов. Но уже появились российские компании, проявляющие интерес к данной тематике, появились государственные программы софинансирования подобных технологий.

С учётом анализа физико-химических свойств композиционных материалов рассмотрена номенклатура деталей и узлов системы кондиционирования воздуха на авиационном транспорте, которые могут быть изготовлены из композитов. Первый опыт в этом направлении был получен при замене в подшипниковых опорах турбокомпрессора металлических шариков на шарики из композитного материала. Эксплуатация подобных гибридных шарикоподшипников – как радиальных, так и радиально-упорных – показала их надёжность и долговечность. Перспективным направлением является перевод следующих деталей и узлов системы кондиционирования воздуха на транспорте:

- корпусные детали пластинчатых теплообменников;
- вентиляторы;
- лопатки компрессора и воздушной турбины;
- запорные устройства в выпускных клапанах;
- корпуса выпускных клапанов.

Для реализации расширенного применения композитных материалов необходимо ре-

шить следующие задачи:

- 1) разработка конструкторской документации с учётом технологии изготовления деталей и узлов из композиционных материалов;
- 2) разработка методов расчёта температурных и прочностных характеристик деталей и узлов из композиционных материалов.

Перевод ряда деталей и узлов системы кондиционирования воздуха на транспорте позволяет существенно улучшить такие эксплуатационные свойства конструкций, как снижение массы, улучшение вибрационных и шумовых параметров, увеличение ресурса.

Свойства металлических матриц

Матрица	γ , г/см ³	σ_B , МПа	E, ГПа	α , 10 ⁻⁵ К ⁻¹
Al	2,63 – 2,80	250 – 573	69 – 73	11 – 13
Mg	1,74 – 1,83	200 – 280	43 – 45	14 – 15
Ni	4,5	500 – 1200	113	9 – 10
Cu	8,94	220 - 400	132	17 - 18

Свойства волокон для армирования металлических КМ

Тип волокна	Основа	γ , г/см ³	σ_B , МПа	E, ГПа	α , 10 ⁻⁵ К ⁻¹
C	ПАН	1,7-2,0	1,7-3,2	170-517	-1,0...-1,5
	Вискоза	1,6-1,8	0,6-3,2	400-525	–
	Пек	2,0	1,1-2,1	380-700	-1,3
SiC	На W	3,15	3,1-3,4	420-450	3,8-5,0
	На УВ	3,05	3,45	400-420	–
B	На W	2,49	3,52	400	4,8-5,0
	На УВ	2,25	3,32	380	–
B – SiC	На W	2,50	2,90	400	4,9
Al ₂ O ₃	–	2,90	3,9-4,3	380-500	8,5

Литература

1. Меркулов В.И., Кустарёв Ю.С., Валеев А.Г., Пелевин А.Н. Применение композиционных материалов на транспорте // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта, вып. 20, изд. ФГОУ ВПО ВГАВТ, Нижний Новгород. 2006.
2. Абузин Ю.А. Функциональные металлические композиционные материалы и технологии в машиностроении // Материалы в машиностроении, 2009 № 6(69) с. 52-54.
3. Абузин Ю.А. Неравновесные структуры в металлических композиционных материалах // Металлургия машиностроения, 2009 № 6 с. 32-35.
4. Юдин А.С., Абузин Ю.А. Использование особенностей квазикристаллов при создании материалов для космоса, авиации, моторостроения и других отраслей народного хозяйства // Апрель 2003 с. 82-87.
5. Рогов В.А., Соловьёв В.В., Копылов В.В. Новые материалы в машиностроении // РУДН, Москва, 2008.
6. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы // ГОУ ВПО ТГТУ, Тамбов, 2011.