**УГЛЕПЛАСТИКИ**

**1. Введение**

За прошедшую, более чем 20-летнюю история развития углепластиков основные усилия как в нашей стране, так и за рубежом были сосредоточены на создании материалов с комплексом эксплуатационных и технологических характеристик, обеспечивающих их широкое внедрение в слабо- и средненагруженных конструкциях летательных аппаратов. Эти работы продемонстрировали преимущества, которые позволяют реализовывать рациональное применение углепластиков, в частности существенное снижение массы конструкции (15-50%), повышение аэродинамического качества, увеличение надежности и ресурса, снижение затрат на изготовление, обслуживание и ремонт конструкций.

Кроме того, в некоторых случаях из углепластиков получены конструкции с характеристиками, недостижимыми при использовании традиционных металлических материалов. К текущему периоду в России и за рубежом создан широкий ассортимент углепластиков, различающихся как видом углеродного наполнителя, его текстурноприродными характеристиками, так и типом матрицы и их температурным диапазоном эксплуатации, охватывающим температуры от -1300 до 3500С.

В настоящее время, когда длительная (до сотен тысяч часов) эксплуатация деталей и агрегатов из углепластиков в серийных самолётах, вертолётах и авиакосмических летательных аппаратах повысили степень уверенности конструкторов в этих материалах. Все большее распространение получают опытно-конструкторские работы по внедрению углепластиков в силовые или «первичные» конструкции существующих типов летательных аппаратов и осуществление на этой основе принципиально новых технических решений в космической технике 21 века.

В полимерных матрицах в качестве основного компонента применяются отверждаемые термореактивные и термопластичные смолы. Характерной особенностью **термореактивных** связующих является то, что после отверждения они получают необратимую структуру и разрушаются при нагреве выше температуры отверждения. Характерной особенностью **термопластичных** связующих является обратимость структур, получаемых после отверждения, т. е. отвержденные структуры при повторном нагреве могут восстанавливаться до прежнего пластического состояния. Они обладают высокой ударной прочностью, повышенной теплостойкостью (до 350С), практически неограниченной жизнестойкостью полуфабриката (препрега), возможностью вторичной обработки, улучшением технологичности изготовления изделий.

Основными преимуществом КМ на основе термопластов по сравнению с КМ на основе реактопластов является:

- меньшая чувствительность к ударным нагрузкам;

- химическая стойкость и низкая степень проницаемости в агрессивных средах, в том числе в жидком водороде и нафтиле, ч то позволяет использовать их в конструкциях топливных баков и обитаемых модулях ВКС;

- меньшая энергоемкость при переработке;

- возможность многократной переформовки, сварки;

- экологически чистые и утилизируются;

- неограниченный срок хранения препрегов.

КМ на основе термопластов по своим технологическим свойствам отвечают мировой тенденции по снижению себестоимости авиакосмической техники за счет внедрения в производство ресурсо- и энергосберегающей технологии.

**2. УГЛЕПЛАСТИКИ НА ПОЛИМЕРНЫХ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СВЯЗУЮЩИХ (МАТРИЦАХ).**

Углепластики на основе термореактивных связующих остаются в настоящее время одним из наиболее широко применяемым полимерным композиционным материалом в авиакосмической отрасли благодаря особенностям природы связующих и гибкости технологий, их переработки в изделия.

Наибольшее распространение для конструкционных целей получили эпоксидные углепластики, а также углепластики на основе различных модифицированных полимидных связующих, к которым могут быть отнесены полибисмалеимиды и др. разновидности имидосодержащих олигомеров. В таблицах 1и 2 приведены основные физико-механические свойства отечественных углепластиков.

**Состав и характеристики углепластиков первого поколения**

**(серийные материалы)**

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Марка материала | Углепластики | | |
| КМУ-4Э | КМУ-7 | КМУ-7Э |
| Состав материала,   1. Наполнитель 2. Связующее | 1. Углеродная лента ЭЛУР-0,08П  2. ЭНФБ | 1. Углеродный жгут УКН-П/5000 марки А  2. ВС-2526М | 1. Углеродная лента ЭЛУР-0,1П  2. ВС-2526К |
| Плотность, г/см3 |  |  |  |
| Толщина монослоя, мм |  |  |  |
| Ширина препрега, мм |  |  |  |
| Рабочая температура, 0С |  |  |  |
| Масса 1м2 монослоя, кг |  |  |  |
| Масса 1м2 наполнителя, кг |  |  |  |
| Масса 1м2 связующего, кг |  |  |  |
| Содержание наполнителя (объёмн.), % |  |  |  |

Продолжение таблицы №1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Марка материала | Углепластики | | |
| КМУ-7ТА | КМУ-7Т2А | КМУ-7ТР |
| Состав материала,  1. Наполнитель  2. Связующее | 1. Углеродная лента УОЛ-300-1А  2. ВС-2526к | 1. Углеродная лента УОЛ-300-2А  2. ВС-2526к | 1. Углеродная ткань УТ-900-2,5А  2. ВС-2526к |
| Плотность, г/см3 |  |  |  |
| Толщина монослоя, мм |  |  |  |
| Ширина препрега, мм |  |  |  |
| Рабочая температура, 0С |  |  |  |
| Масса 1м2 монослоя, кг |  |  |  |
| Масса 1м2 наполнителя, кг |  |  |  |
| Масса 1м2 связующего, кг |  |  |  |
| Содержание наполнителя (объёмн.), % |  |  |  |

Продолжение таблицы №1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Марка материала | Углепластик |  | |
| КМУ-7л |  |  |
| Состав материала,  1. Наполнитель  2. Связующее | 1. Углеродная лента ЛУ-24П  2. ВС-2526к |  |  |
| Плотность, г/см3 |  |  |  |
| Толщина монослоя, мм |  |  |  |
| Ширина препрега, мм |  |  |  |
| Рабочая температура, 0С |  |  |  |
| Масса 1м2 монослоя, кг |  |  |  |
| Масса 1м2 наполнителя, кг |  |  |  |
| Масса 1м2 связующего, кг |  |  |  |
| Содержание наполнителя (объёмн.), % |  |  |  |

**Прочностные и жесткостные характеристики монослоя**

**углепластиков первого поколения**

**(серийные материалы)**

**Таблица №2**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | Темпе-  ратура | Углепластики | |
| **КМУ-4Э** | **КМУ-7** |
| Предел прочности при растяжении вдоль волокон, кгс/мм2 (σв1) | 20  100  170 | 90  -  - | 165  -  130 |
| Предел прочности при сжатии вдоль волокон, кгс/мм2 (σ-в1) | 20  100  150 | 90  -  87 | 130  -  90 |
| Предел прочности при растяжении поперёк волокон, кгс/мм2 (σв2) | 20  100  170 | -  -  - | 3,05  1,36 |
| Предел прочности при сжатии поперёк волокон, кгс/мм2 (σ-в2) | 20  100  150 | 9,5 | 23 |
| Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон , кгс/мм2 (σв1 и) | 20  100  150 | 130,0  -  100, |  |
| Предел прочности при статическом изгибе поперек волкон, кгс/мм2 (σв2 и) | 20 |  |  |
| Предел прочности при сдвиге в плоскости монослоя, кгс/мм2 (τв12) | 20  100  150 | 8  -  5,5 | 8,5  6,5 |
| Модуль упругости вдоль волокон, кгс/мм2 (Е1) | 20  100  150 | 12000  -  - | 14000  -  13000 |
| Модуль упругости поперёк волокон, кгс/мм2 (Е2) | 20  100  150 | 980  -  - | 920 |
| Модуль упругости при сдвиге, кгс/мм2 (G12) | 20  100  150 | 610  -  - | 560 |
| Коэффициент Пуассона (μ12) | 20 | 0,26 | 0,30 |
| Относительное удлинение при разрыве, % (ε1) | 20  100  150 | 0,75+0,82  -  - |  |
| Относительное удлинение при разрыве, % (ε2) | 20  150 | -  - |  |

**Продолжение таблицы №2**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение характеристики | Темпе-  ратура | Углепластики | | | | |
| **КМУ-7Э** | **КМУ-7ТА** | **КМУ-7Т2А** | **КМУ-7ТР** | **КМУ-7л** |
| σв1, кгс/мм2 | 20  100  150 | 113  -  90,5 | 140 | 150 | 60 | 97  -  85 |
| σ-в1, кгс/мм2 | 20  100  150 | 119,0  -  87,5 | 110 | 120 | 60 | 75  -  65 |
| σв2 , кгс/мм2 | 20  100  150 | 2,70  -  2,20 | 3,6 | 3,6 | 57 | 2,50  1,60 |
| σ-в2, кгс/мм2 | 20  100  150 | 18,4  -  12,7 | 18 | 18 | 58 | 19  17 |
| σв1 и, кгс/мм2 | 20  100  150 | 141,0  -  125,8 |  |  | 80 | 136  134 |
| σв2 и, кгс/мм2 | 20 |  |  |  | 75 |  |
| τв12, кгс/мм2 | 20  100  150 | 7,8  -  5,7 | 7,7 | 7,7 |  | 6,2  - |
| Е1, кгс/мм2 | 20  100  150 | 14200  -  12500 | 12500 | 12500 | 6700 | 21500  -  19530 |
| Е2, кгс/мм2 | 20  100  150 | 793,0  -  637,50 | 800 | 800 | 6600 | 640  460 |
| G12, кгс/мм2 | 20  100  150 | 550  -  420 |  |  |  | 550 |
| μ12 | 20 | 0,35 |  |  |  | 0,25 |
| ε1, % | 20  100  150 | 0,80  -  0,72 |  |  |  |  |
| ε2, % | 20  150 | 0,34  0,33 |  |  |  |  |