1. Определения, обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие термины с соответствующими определениям:

|  |  |
| --- | --- |
| Сырая заготовка | соединенные друг с другом слои препрега. Соединение производится за счет технологических свойств связующего |
| Предварительно подформованная заготовка | упрессованная сырая заготовка. Упрессовка производится за счет уплотнения слоев материала и отдавливания избыточного связующего |
| Частично отвержденная  заготовка | предварительно подформованная заготовка, в которой связующее прошло не полный процесс отверждения |

* 1. Условные обозначения механических и физических свойств неметаллических материалов приведены в таблице 2.1

**Таблица 2.1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование свойств | Обозначение | Единица измерения |
| Плотность | d | г/см3 |
| Коэффициент Пуассона | μ | - |
| Толщина монослоя | δ | мм |
| Предел прочности при растяжении по основе, (0˚)  по утку, (90˚) | σ1  σ2 | кгс/мм2 |
| Предел прочности при сжатии по основе, (0˚)  по утку, (90˚) | σ-1  σ-2 | кгс/мм2 |
| Предел прочности при сдвиге в плоскости листа | τ1,2 | кгс/мм2 |
| Предел прочности при межслоевом сдвиге | τ | кгс/мм2 |
| Модуль упругости при растяжении по основе, (0˚)  по утку, (90˚) | Ε1  Ε2 | кгс/мм2 |
| Модуль упругости при сжатии по основе, (0˚)  по утку, (90˚) | Е-1 Ε-2 | кгс/мм2 |
| Модуль упругости при сдвиге в плоскости листа | G | кгс/мм2 |
| Удельная ударная вязкость | а | кДж/м2 |
| Коэффициент термического линейного расширения | α | 1/ºС |
| Коэффициент теплопроводности | λ | Вт/м·ºC |
| Диэлектрическая проницаемость | ε | - |
| Тангенс угла диэлектрических потерь | tgδ | - |
| Электрическая прочность (пробивное напряжение) | Εпр | кВ/мм |
| Поверхностное электросопротивление | ρs | Ом |
| Удельное объемное электросопротивление | ρv | Ом/см3 |
| Водопоглощение за 24 часа | Вп | % |
| Керосинопоглощение за 24 часа | Кп | % |

* 1. В настоящем стандарте применяются следующие сокращения:

БЧ - бесчертежная деталь

КД – конструкторская документация

ПМ – полимерный материал

ПКМ – полимерный композиционный материал

ТТ – технические требования

1. Общие положения
   1. Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) угле-, боро-, органо-, стеклопластиков и гибридных пластиков в конструкциях летательных аппаратов позволяет снизить их массу и повысить ресурс.
   2. Важнейшее преимущество ПКМ – возможность создания из них элементов конструкции с заранее заданными свойствами, наиболее полно соответствующими характеру и условиям работы. Многообразие волокон и матричных материалов, а также схем армирования, используемых при создании конструкций из ПКМ, позволяет направленно регулировать прочность, жесткость, уровень рабочих температур и другие свойства путем подбора состава, изменения соотношения компонентов.
   3. В процессе создания надежных конструкций из ПКМ вопросы конструирования и разработки технологии изготовления являются органически взаимосвязанными.
   4. Получение ПКМ с заданными физико–механическими характеристиками имеет ряд особенностей:

а) свойства ПКМ формируются в процессе производства конкретной конструкции;

б) процесс проектирования изделия начинается с конструирования самого материала – выбора его компонентов и назначения оптимальных режимов производства;

в) без учета особенностей технологии производства нельзя правильно назначить требования к ПКМ (как к конструкционному материалу) и тем более к самой конструкции. Это обстоятельство вызывает необходимость тесного взаимодействия конструктора и технолога при проектировании агрегатов из ПКМ;

г) главная особенность создания конструкций из ПКМ, в отличие от традиционных конструкций, заключается в том, что конструирование материала, разработка технологического процесса изготовления и проектирование самой конструкции – это единый взаимосвязанный процесс, в котором каждая из составляющих не исключает, а дополняет и определяет другую. Система «***материал–конструкция–технология***»неразделима.

* 1. ПКМ представляет собой неоднородную систему, состоящую из двух или более компонентов, среди которых возможно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и полимерную матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов. В качестве наполнителя используют ткани, жгуты и ленты из углеродных, стеклянных и синтетических волокон.
  2. При проектировании агрегатов с применением ПКМ следует учитывать, что высокопрочные волокна воспринимают основные напряжения, возникающие в композиции при действии внешних нагрузок, придавая ей жесткость в направлении ориентации волокон. Податливая полимерная матрица, заполняющая межволоконное пространство, обеспечивает совместную работу отдельных волокон за счет собственной жесткости и взаимодействия существующего на границе раздела матрица – волокно. Следовательно, механическое поведение ПКМ характеризуется тремя основными параметрами: высокой прочностью армирующих волокон, жесткостью матрицы и прочностью связи на границе матрица – волокно. Различное соотношение этих параметров с учетом конкретной ориентации армирующего наполнителя относительно действующих нагрузок характеризует весь комплекс механических свойств материала и механизм его разрушения.
  3. Работоспособность ПКМ обеспечивается как правильным выбором исходных компонентов, так и рациональной технологией их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении первоначальных свойств.
  4. Свойства ПКМ зависят не только от свойств волокон и матрицы, но и от способа армирования, в отношении которого можно выделить следующие основные группы:
* композиционные материалы, образованные из слоев, армированных параллельными непрерывными волокнами;
* композиционные материалы, армированные тканями;
* композиционные материалы с пространственным армированием.
  1. Прочность и модуль упругости вдоль волокон возрастают с увеличением содержания волокон в композиции, причем до определенного предела, обусловленного плотностью упаковки волокон в композиции, обеспечивающего сохранение монолитности связующего. Оптимальная степень армирования для большинства композиций составляет 65…75% (по объему).
  2. Наиболее эффективными в отношении удельных характеристик ПКМ являются ориентированные материалы, образованные из непрерывных волокон и полимерной матрицы. Такие материалы обладают двумя уровнями неоднородности: связанной с наличием двух фаз (волокон и матрицы), и макронеоднородностью, связанной с наличием в материале различным образом ориентированных макронеоднородных слоев.
  3. При расчете, обычно, учитывается только второй уровень неоднородности материала (считается, что он состоит из совокупности квазиоднородных элементарных слоев, свойства которых известны).

1. **Применяемые полимерные композиционные материалы**
   1. *Углепластики*
      1. Углепластики – полимерные композиционные материалы, армированные углеродными волокнами, лентами, тканями. Они обладают низкой плотностью, высокой удельной жесткостью, прочностью, высокой усталостной и демпфирующей способностью. По этим свойствам углепластики значительно превосходят стеклопластики, алюминиевые и титановые сплавы.
      2. Свойства углепластиков зависят от входящих в них компонентов, их содержания и ориентации волокон по отношению к направлению действия нагрузки. Наибольшие значения показателей прочности и жесткости достигаются в композициях с однонаправленным расположением непрерывных волокон при нагружении в направлении ориентации, а наименьшие - при нагружении в ортогональном направлении. Регулирование свойств материала в плоскости армирования достигается перекрестным расположением и количественным соотношением волокон в различных направлениях.
      3. Отличительными особенностями углепластиков являются повышенная тепло- и электропроводимость. Коэффициент термического расширения углепластика меняется в зависимости от структуры армирования. Однонаправленный пластик имеет отрицательное значение коэффициента термического линейного расширения α от (-0,5)х10-6 до 1,5х10-6 1/ºС.
      4. Углепластики имеют довольно низкое значение ударной вязкости, следовательно, в местах, где существует вероятность воздействия ударных нагрузок, необходимо усиливать материал прокладкой или слоем стекло- или органопластика.
      5. Для соединения элементов из углепластиков наиболее широко используются клеевые и клеемеханические способы, при выборе которых должны учитываться значительные различия коэффициентов термического линейного расширения углепластиков и других соединяемых материалов.
      6. Запрещается допускать наличие контактной пары углепластик – алюминий, так как уменьшается коррозионная стойкость алюминия, необходимо ограничить контакт прокладкой или слоем стекло- или органопластика.
      7. Марки углепластиков и их назначение приведены в таблице 4.1, физико-механические характеристики в таблице 4.2.

**Таблица 4.1**

| Марка  материала | Состав материла | Условия работы и назначение материала | Способ формования |
| --- | --- | --- | --- |
| КМУ–7тр | Ткань углеродная  УТ-900-2,5А-240-ЭД  ТУ 1916-155-05763346-95  Связующее ВС-2526К  ТУ 1-595-12-578-00 | Для средне - и сильнонагруженных деталей конструкционного назначения с рабочей температуройот минус 60° до плюс 150°C включительно водо- и влагостойкий, устойчив к агрессивным химическим средам, топливу, маслам, климатическим факторам | Формуется автоклавным или прессовым методами |
| КМУ–7э-0,08 | Лента углероднаяЭЛУР-0,08ПАГОСТ 28006-88 Связующее ВС-2526К  ТУ 1-595-12-578-00 | Для изготовления нагруженных деталей (элементов силового набора планера, обшивок трехслойных конструкций) с рабочей температурой от минус 60º до плюс 150ºC включительно | Формуется автоклавным или прессовым методами |
| КМУ-7т | Лента углероднаяУОЛ-300-1А ТУ 1916-167-05763346-96 Связующее ВС-2526К  ТУ1-595-12-578-00 | Для средне - и сильнонагруженных деталей конструкционного назначения с рабочей температурой от минус 60º до плюс 150ºC включительно | Формуется автоклавным или прессовым методами |
| КМУ-7Т2А | Лента углероднаяУОЛ-300-1А ТУ 1916-167-05763346-96 Связующее ВС-2526К ТУ1-595-12-578-00 | Для средне - и сильнонагруженных деталей конструкционного назначения с рабочей температурой от минус 60º до плюс 150ºC включительно | Формуется автоклавным или прессовым методами |
| КМУ-7э | Лента углероднаяУОЛ-300-1А ТУ 1916-167-05763346-96 Связующее ВС-2526К ТУ1-595-12-578-00 | Для средне - и сильнонагруженных деталей конструкционного назначения с рабочей температурой от минус 60º до плюс 150ºC включительно | Формуется автоклавным или прессовым способами |
| КМУ–15тл | Лента углеродная  УОЛ-300-1А  ТУ 1916-167-05763346-96  Связующее УП-2227  ТУ 6-05-241-416-90 | Для средне - и сильнонагруженных деталей конструкционного назначения с рабочей температурой от минус 60º до плюс 100ºC включительно | Формуется автоклавным или прессовым методами |
| КМУ–15т | Ткань углеродная  УТ-900-2,5А-240-ЭД  ТУ 196-155-05763346-95  Связующее эпоксидные марки УП-2227  ТУ 6-05-241-416-90 | Для изготовления нагруженных деталей (элементов силового набора планера, обшивок трехслойных конструкций) с рабочей температурой от минус 60º до плюс 100ºC включительно | Формуется автоклавным или прессовым методами |
| КМУ-15э | Лента углеродная  ЭЛУР-0,08ПА  ГОСТ 28006-88  Связующее эпоксидные марки УП-2227  ТУ 6-05-241-416-90 | Для средне - и сильнонагруженных деталей конструкционного назначения с рабочей температурой от минус 60º до плюс 100ºC включительно | Формуется автоклавно-вакуумным или прессовым методами |
| КМУ–11э | Лента углеродная  ЭЛУР-0,08ПА  ГОСТ 28006-88  Связующее ЭДТ-69Н  ТУ1-565-12-584-00 | Для средненагруженных конструкций с рабочей температурой от минус 60º до плюс 80ºC включительно | Формуется автоклавно-вакуумным или прессовым методами |
| КМУ-11тр | Ткань углеродная  УТ-900-2,5А  ТУ 196-155-05763346-95  Связующее ЭДТ-69Н  ТУ1-565-12-584-00 | Для средне - и сильнонагруженных деталей конструкционного назначения с рабочей температурой от минус 60º до плюс 100ºC включительно | Формуется автоклавным или прессовым методами |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Таблица 4.2** | Физико–механические характеристики углепластиков | G,  кгс/мм2 | 590 | 590 | 800 | 550 | 550 | 618 | 550 | 470 | 650 | 349 |
| τ1,2  кгс/мм2 | 4,7 | 4,7 | 16,2 | 4,4 | - | 6,5 | 4,4 | 4,7 | 16,2 | 4,4 |
| τ,  кгс/мм2 | 6,0 | 7,8 | 5,3 | 8,4 | 7,6 | 9,7 | 8,4 | 9,3 | 4,9 | 8,6 |
| E-2,  кгс/мм2 | 890 | 890 | 6500 | 835 | 750 | 5720 | 835 | 890 | 6500 | 830 |
| σ-2,  кгс/мм2 | 20 | 20 | 60 | 18,4 | 18,0 | 58 | 18,4 | 21 | 58 | 21 |
| Е-1,  кгс/мм2 | 12000 | 12000 | 6700 | 11000 | 11000 | 5730 | 11000 | 12000 | 6700 | 10900 |
| σ-1,  кгс/мм2 | 140 | 110 | 60 | 90 | 90 | 60 | 90 | 100 | 58 | 90 |
| μ | 0,36 | 0,36 | 0,07 | 0,35 | 0,30 | 0,07 | 0,33 | 0,32 | 0,07 | 0,33 |
| E2,  кгс/мм2 | 880 | 880 | 6000 | 740 | 910 | 6900 | 740 | 880 | 6400 | 740 |
| σ2,  кгс/мм2 | 3,4 | 3,4 | 60 | 2,7 | 2,4 | 60 | 2,7 | 3,0 | 56 | 2,1 |
| E1,  кгс/мм2 | 13300 | 13300 | 6440 | 13500 | 12000 | 7000 | 13500 | 13400 | 6600 | 13500 |
| σ1,  кгс/мм | 157 | 140 | 60 | 90 | 90 | 63 | 100 | 140 | 58 | 90 |
| δ  монослоя, мм | 0,20  ±0,01 | 0,25  ±0,02 | 0,23  ±0,02 | 0,12  ±0,01 | 0,12  ±0,01 | 0,22  ± 0,02 | 0,09  ±0,01 | 0,25  ±0,02 | 0,25  ±0,02 | 0,09  ±0,01 |
| d,  г/см3 | 1,52  …1,56 | 1,52  …1,55 | 1,52  …1,55 | 1,52  ±0,02 | 1,52  ±0,02 | 1,53…  1,56 | 1,52  ±0,02 | 1,53  ±0,03 | 1,50  …1,55 | 1,52  ±0,02 |
| Марка  углепластика | КМУ-7Т2А | КМУ-7Т2А | КМУ-7тр | КМУ-7э | КМУ-11э | КМУ-11тр | КМУ-7э-0,08 | КМУ-15тл | КМУ-15тр | КМУ-15э |

* 1. *Композиционные клеевые материалы*
     1. Композиционные клеевые материалы - это полимерные композиционные материалы, получаемые из клеевых препрегов на основе клеевой матрицы и армирующих наполнителей различной структуры, изготовленных на основе стеклотканных и углеродных волокон. Использование клеевых препрегов позволяет изготавливать высоконагруженные конструкции (в том числе и сотовые) одинарной и сложной кривизны за одну технологическую операцию.
     2. Стекло- и углепластики на основе клеевых препрегов, по сравнению с традиционными материалами, имеют повышенную трещиностойкость, прочность при межслоевом сдвиге, усталостную и длительную прочность. Марки композиционного материала на основе клеевых препрегов приведены в таблице 4.3, а физико-механические характеристики в таблице 4.4.

**Таблица 4.3**

Марки композиционных материалов на основе клеевых препрегов и их назначение

| Марка композиционного материала | Состав композиционного материала | Условия работы и назначения материала | Способ изготовления |
| --- | --- | --- | --- |
| Композиционный материал  КМКУ-2м.120.Э01 | Препрег клеевой КМКУ-2м.120.Э01.45  КМКУ-2м.120.Э01.65  ТУ 1-595-24-484-96 | Для деталей конструкционного назначения (в том числе сотовых конструкций) с рабочей температурой от минус 60º до плюс 120ºС включительно | Формуется автоклавно-вакуумным или прессовым методами |
| Композиционный материал  КМКС-2м.120.Т10 | Препрег клеевой КМКС-2м.120.Т10.37  КМКС-2м.120.Т10.55 ТУ 1-595-24-488-96 | Для деталей конструкционного назначения (в том числе сотовых конструкций) с рабочей температурой от минус 60º до плюс 120ºС включительно | Формуется автоклавно-вакуумным или прессовым методами |
| Композиционный материал  КМКС-2м.120.Т60 | Препрег клеевой КМКС-2м.120.Т60.37  КМКС-2м.120.Т60.55 ТУ 1-595-24-488-96 | Для деталей конструкционного назначения (в том числе сотовых конструкций) с рабочей температурой от минус 60º до плюс 120ºС включительно | Формуется автоклавно-вакуумным или прессовым методами |
| Композиционный материал  КМКС-2м.120.Т64(ВМП) | Препрег клеевой КМКС-2м.120.Т64.37  КМКС-2м.120.Т64.55 ТУ 1-595-24-488-96 | Для деталей конструкционного назначения (в том числе сотовых конструкций) с рабочей температурой от минус 60º до плюс 120ºС включительно | Формуется автоклавно-вакуумным или прессовым методами |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 4.4 | Физико-механические характеристики композиционных материалов на основе клеевых препрегов | G, кгс/мм2 | 300 | 300 | - |
| τ1,2, кгс/мм2 | - | 11,0 | - |
| τ, кгс/мм2 | 7,4 | 6,9 | 6,0 |
| Ε-2, кгс/мм2 | - | - | 1400 |
| σ-2, кгс/мм2 | 11,7 | 43,0 | 22,0 |
| Ε-1, кгс/мм2 | 11000 | - | 4200 |
| σ-1, кгс/мм2 | 90 | 56 | 95 |
| μ | 0,29 | 0,23 | 0,32 |
| Ε2, к  гс/мм2 | 825 | 2200 | 1200 |
| σ2, кгс/мм2 | 4,3 | 39,0 | 7,1 |
| Ε1, кгс/мм2 | 11500 | 2250 | 5200 |
| σ1, кгс/мм2 | 90 | 56 | 135 |
| δ монослоя, мм | 0,12  ±0,01 | 0,25  …0,30 | 0,15  ±0,01 |
| d, г/см3 | 1,5  ±0,02 | 1,88  ±0,02 | 1,88  ±0,02 |
| Марка ПКМ | Композиционный материал  КМКУ-2м.120.Э01 | Композиционный материал  КМКС-2м.120.Т10 | Композиционный материал  КМКС-2м.120.Т60 |