

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР И ШУНГИТА В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Смирнов М. М. , Малюгин А. С.

ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют», г. Москва, Россия

Углеродные материалы благодаря уникальному сочетанию химических, физико-механических, тепловых, электрических и магнитных свойств, нашли широкое применение в авиационной технике, металлургии, химическом машиностроении, атомной энергетике и различных областях спецтехники.

До недавнего времени было известно, что углерод образует три основные модификации: графит, алмаз и карбин. Открытие новых форм углерода типа фуллеренов, нанотрубок и наночастиц, позволило по-новому взглянуть на химию углерода. Углеродные наноструктуры обладают высокой прочностью, электро- и теплопроводностью, низким коэффициентом термического расширения, что делает их перспективным наполнителем для полимерных композиционных материалов. Созданные в последнее время эффективные технологии получения и очистки углеродных наноструктур сделали возможным получение опытных композиционных материалов на их основе.

В работе кратко рассмотрены методы получения углеродных наноструктур, их строения и свойства, а также приведены характеристики шунгитовых пород. Подробно описаны механические и электрические свойства полимерных композиционных материалов с применением углеродных нанотрубок.

Отдельные главы посвящены свойствам композиционных материалов с добавками фуллеренов и шунгита, а также углерод-углеродным композиционным материалам.

Показана возможность получения полимерных композиционных материалов на основе углеродных нанотрубок и наиболее важных с практической точки зрения полимерных матриц: эпоксидная смола, полиэтилен, полиметилметакрилат и др.

При степени наполнения полимеров углеродными нанотрубками в количестве 1–5% прочность исходного полимера при растяжении увеличивается на 10–30%, модуля упругости в два раза.

Относительное удлинение при разрушении полимерного композиционного материала с нанотрубками составляет 1–2%. Ударная вязкость таких материалов часто имеет экстремальный характер и может увеличиваться или уменьшаться при введении нанотрубок.

Дальнейшее повышение механических свойств полимерных композиционных материалов, наполненных углеродными нанотрубками заключаются: в использовании нанотрубок с высокими механическими свойствами; в создании технологии получения ПКМ с нанотрубками без агломерации при объемном наполнении 10–30% и выше; в создании технологии получения ПКМ с заданной ориентацией нанотрубок.

На основании анализа электрических свойств электропроводящих ПКМ, наполненных углеродными нанотрубками, авторами установлено, что, в перспективе, такие ПКМ могут быть использованы взамен традиционных электропроводящих композиций, наполненных сажей или графитом. При этом электропроводящие композиции с нанотрубками должны обладать повышенными механическими свойствами. Широкий диапазон значений электросопротивлений позволяет использовать нанотрубки для создания электропроводящих ПКМ различного назначения: антистатические изделия, нагреватели, компоненты микроэлектроники, датчики, защитные материалы от электромагнитного излучения и т.п.

В случае применения фуллеренов и углеродных наночастиц в качестве аппрета для углеродного волокна, применяемого для создания углепластика, происходит повышение сдвиговой прочности, ударной вязкости, теплостойкости и трансверсальной электропроводности этих материалов.

Использование добавок шунгита в термопласты дает наибольший эффект в увеличении механических свойств при наполнении полипропилена.

Показана перспективность применения углеродных нанотрубок в качестве одного из компонентов матрицы углерод углеродных композиционных материалов, используемых в узлах трения.

Необходимо отметить, что исходя из свойств углеродных наноструктур, они могут найти применение в ряде других углерод углеродных композиционных материалов: вкладыши критического сечения твердотопливных ракет, носовые обтекатели, газовые рули.

Авторы преследовали цель отработки процесса смешения углеродных наполнителей с эпоксидной смолой. В качестве наполнителя был использован мелкодисперсный порошок графита марки ГМЗ (ориентировочный размер частиц 1мкм.) и шунгит марки Ш-5, прошедший помол на конусной дробилке (сталь ХВГ). В качестве матрицы использовалась эпоксидная смола ЭД-20, в качестве отвердителя ПЭПА. Соотношение смолы и отвердителя 6/1. Кроме наполненной эпоксидной смолы было изготовлены две серии контрольных образцов без наполнителей, различающихся количеством воздушных пузырей.

На полученных образцах с близкими степенями наполнения по массе ($m \approx 1\%$) определяли: кажущуюся плотность ρ_k ; прочность $\sigma_{изг}$ и модуль упругости при изгибе $E_{изг}$; прочность $\sigma_{см}$, предел текучести σ_c и модуль упругости при сжатии E_c ; ударную вязкость A и твердость по шкале Шор Д.

Введение, как графита, так и шунгита в количестве около 1% по массе (объемная доля $\sim 0.5\%$) приводит к снижению прочности на изгиб опытных образцов. Снижение прочности ПКМ с хрупкой матрицей при использовании дисперсных наполнителей является типичным явлением. Причем в этом случае снижение прочности на изгиб практически не зависит от типа наполнителя (для указанной степени наполнения). Несмотря на падение прочности, ее величина остается на уровне ремонтных материалов фирмы Belzona. Наличие относительно большого количества пузырей в эпоксидной смоле без наполнителя так же снижает прочность на изгиб.

Модуль упругости при изгибе ПКМ увеличивается (на 9–11%) только при использовании графита в качестве наполнителя и ацетона для улучшения диспергирования графита в смоле. В случае испытаний на сжатие прочность и предел текучести мало зависят от способа введения наполнителя. Модуль упругости также в большей степени возрастает при использовании графита в качестве наполнителя, и ацетона. Исключение составляет шунгит, применение которого снижает практически все свойства ПКМ, что может быть связано с достаточно крупным размером частиц и меньшим модулем упругости наполнителя. Проведение ударных испытаний показало, что они имеют слишком большой разброс, и сделать однозначного вывода об изменении ударной вязкости не представляется возможным. Твердость по Шор Д для всех образцов имеют близкие значения, и определяется твердостью матрицы. Очевидно, что введение ацетона при приготовлении образцов не приводит к изменению механических свойств матрицы.

Измерения электрических свойств образцов показало, что величина электросопротивления превышает 10^6 Ом.

1. Наилучшими механическими свойствами обладают ПКМ наполненные графитом при использовании ацетона для улучшения диспергирования графита в смоле.

2. Проведение ультразвуковой обработки при приготовлении образцов с графитом практически не сказалось на механических свойствах (для указанной степени наполнения).

3. Для дальнейшего повышения механических свойств целесообразно увеличить степень наполнения ПКМ и провести дополнительную проверку влияния ультразвука на

структуру ПКМ (оценить однородность распределения частиц с помощью оптической микроскопии и/или изготовить параллельные образцы с обработкой ультразвуком и без обработки с большей степенью наполнения).