

Список цитируемых источников

1. Размерная электрическая обработка металлов : учеб. пособие / Б. А. Артамонов [и др.] ; под ред. А. В. Глазкова. — М. : Высш. шк., 1978. — 336 с.
2. Кузнецов, Э. Г. Исследование восстановления автомобильных деталей типа «вал-втулка» с использованием электрофизических способов обработки : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Э. Г. Кузнецов. — М., 1979. — 16 с.
3. Способ электроэрозионной обработки : а. с. 270157 СССР : № 1279710/25-08 / Ю. И. Сенин, А. Б. Сосенко, В. Е. Лебедев, М. Л. Левит ; заявл. 01.11.68 ; дата публ.: 1981. — № 29.
4. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / Б. А. Артамонов [и др.] // Обработка материалов с применением инструмента / под ред. В. П. Смоленцева. — М. : Высш. шк., 1983. — Т. 1. — 247 с.
5. Крымов, В. В. Алмазное шлифование деталей из титановых сплавов и жаропрочных сталей / В. В. Крымов, В. А. Горелов. — М. : Машиностроение, 1981. — 61 с.
6. Клубникин, В. С. Плазменное напыление покрытий в активных средах / В. С. Клубникин, М. В. Карасев, Г. К. Петров. — Л. : О-во «Знание» РСФСР, ЛО, ЛДНТП, 1990. — 20 с.
7. Шумов, Е. Г. Электроэрозионное шлифование / Е. Г. Шумов, Е. А. Деев. — М. : Машиностроение, 1977. — 48 с.
8. Немилев, Е. Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов / Е. Ф. Немилев. — Л. : Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1989. — 164 с.
9. Кожуро, Л. М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л. М. Кожуро, Б. П. Чемисов ; под ред. Н. Н. Подлекарева. — Минск : Навука і тэхніка, 1995. — 232 с.
10. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П. И. Ящерицын [и др.]. — Минск : Наука и техника, 1988. — 272 с.
11. Проектирование технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие для вузов / И. П. Филонов [и др.] ; под общ. ред. И. П. Филонова. — Минск : Технопринт, 2003. — 910 с.
12. Дмитриченко, Э. И. Разработка и исследование процесса магнитно-электрического шлифования деталей машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. / Э. И. Дмитриченко ; Моск. автомобилестроит. ин-т. — 1991. — 17 с.

УДК 678:538.911

Е. В. Овчинников¹, доктор технических наук, доцент, **А. П. Возняковский**², доктор химических наук, профессор, **В. А. Ляпо**¹, доктор физико-математических наук, профессор, **И. А. Петропавловский**³, доктор технических наук, **А. А. Возняковский**⁴, **Е. И. Эйсымонт**¹, кандидат технических наук

¹Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно

²Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. академика С. В. Лебедева», Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Российская Федерация

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе Российской академии наук», Санкт-Петербург, Российская Федерация

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Введение. Создание функциональных композиционных материалов на основе термопластичных полимеров достигается путем модифицирования порошками, кластерами, волокнами, агломератами различной степени дисперсности [1—8]. Перспективным направлением в области создания новых материалов на базе полимеров является использование низкоразмерных частиц. Применение данного типа веществ определено их отличием в физико-химических характеристиках от объемных материалов той же природы. В 90-х годах прошлого столетия одним из перспективных нанодисперсных модификаторов считался низкоразмерный углерод, получаемый по бризантной технологии с отрицательным кислородным балансом [9; 10]. Применение данного модификатора позволило создать широкую гамму различных композиционных материалов на основе полимерной, полимер-олигомерной матриц [11]. Однако основной проблемой применения ультрадисперсных углеродных частиц является низкая термодинамическая совместимость с модифицируемым полимерным материалом. Решить данную проблему позволяет применение функционализированных углеродных частиц, что достигается путем модифицирования поверхности детонационных наноалмазов (ДНА) радикалами различной природы. Одним из перспективных направлений использования функционализированных ДНА (ФДНА) является применение их для получения полимерных нанокомпозитов непосредственно в процессе синтеза. Этот подход позволяет избежать таких нетехнологических операций, как наполнение чернотой растворов или расплавов.

Основная часть. В настоящее время показано, что элементарный углерод способен образовывать сложные геометрические поверхности, состоящие из пяти-, шести-, семи- и восьмиугольников. С 80-х годов XX века были открыты различные формы элементарного углерода — фуллерены и нанотрубки, гигантские фуллерены и луковичные структуры, тороидальные и спиральные формы углерода. Морфология данных частиц достаточно различна, что обусловлено различными технологическими процессами формирования структуры. Исходя из проведенных исследований можно характеризовать углеродные нанокластеры, полученные по различным технологиям, как образования сложного строения, имеющие поверхностный слой с активными фрагментами, в большинстве случаев обладающими свободными электронами, причем наличие свободных электронов обуслов-

лено высокой степенью дефектности алмазо- и графитоподобных структурных составляющих наночастиц на основе углерода, что обеспечивает реализацию координирующего действия модификаторов на граничные слои полимера, а также особым составом периферийных слоев функционализированных углеродных кластерных частиц, что, в свою очередь, приведет к интенсификации адгезионного взаимодействия на границе раздела «полимерная матрица — наполнитель». Такое строение частиц предполагает их повышенную активность в полимерных композициях. В связи с этим следует ожидать, что модификатор подобного типа окажет существенное влияние на основные служебные характеристики термопластичных полимерных материалов конструкционного назначения.

Исследованы особенности морфологии дисперсных частиц наномодификаторов и различного состава, габитуса и технологии получения. Кластерное строение функционализированных углеродных частиц с сочетанием различных иерархических уровней обуславливает особенности структуры монолитизированных блоков и их деградации при различных видах энергетического воздействия — механического, термического, лазерного, ионизирующего и др. Характерная морфология поверхности единичных частиц ФНДА создает предпосылки для направленного модифицирования дисперсными частицами с различными геометрическими характеристиками. При корреляции размерных характеристик частиц модификатора и матрицы обеспечивается эффект формирования упорядоченной надмолекулярной структуры с повышенной устойчивостью к воздействию механических и тепловых нагрузок.

Установлено, что при создании композиционных материалов на основе полимера с наноразмерными функционализированными частицами углеродных наполнителей-модификаторов необходимо добиваться, чтобы эти частицы были распределены равномерно по всему объему композита. Обычно такие полимерные нанокompозиты для достижения равномерного распределения разжижают вещество с распределенным в нем модификатором и механическим способом перемешивают. Объемная концентрация наполнителя невелика и, как правило, не превышает ~5%. Но и в этом случае возможно комкование, т. е. на начальных этапах изготовления в определенной степени достигается равномерность распределения частиц наполнителя. Однако в дальнейшем образование кластеров из частиц наполнителя (комков) становится практически неизбежным.

Исследован механизм реализации синергического эффекта увеличения физико-механических, триботехнических, адгезионных и других служебных характеристик нанокompозитов на основе термопластичных полимерных и олигомерных связующих при введении в их состав допинговых добавок наноразмерных и нанофазных модификаторов, основанный на реализации явления структурного упорядочения окружающей матрицы под действием силового поля, формируемого собственным или приобретенным зарядом частицы. Установлено положительное влияние нанокompозиционных частиц «алюминий-углеродные нановолокна» на физико-механические характеристики полимерных матриц. Применение данных аддитивов целесообразно для создания композиционных материалов различного функционального назначения, в том числе триботехнических. Показано, что при добавлении уже 1% массы углеродных нановолокон наблюдается рост твердости по сравнению с чистым алюминием с 30 до 60 НВ, а также падение теплопроводности с 237 до 60 Вт/(м·К). Резкий рост твердости полученного композита объясняется природой углеродных нановолокон и их высокими прочностными свойствами. Резкое снижение теплопроводности объясняется тем, что каждая частица алюминия эффективно отделяется от остальных частиц слоем из хаотически направленных углеродных нановолокон с низкой теплопроводностью.

Заключение. Исследованы физико-механические характеристики и структурные особенности термопластичных матриц, модифицированных функционализированными углеродными частицами. Изучены процессы взаимодействия в системе «полимерная матрица — функционализированные наноалмазы». Определены оптимальные концентрации содержания модификаторов в полимерных материалах.

Список цитируемых источников

1. Фейнман, Р. Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики / Р. Ф. Фейнман // Рос. хим. журн. — 2002. — Т. 46, № 5. — С. 4—6.
2. Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications / Eds. A. S. Edelstein, R. C. Caminarata. — Baltmor : The Johns Hopkins University, 1998. — 620 p.
3. Скаскевич, А. А. Структура и технология малонаполненных машиностроительных материалов на основе конструкционных термопластов, модифицированных углеродными нанокластерами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.06 / А. А. Скаскевич. — Минск : БГТУ, 2000. — 18 с.
4. Металлополимерные нанокompозиты: особенности структуры, технология, применение / А. А. Рыскулов [и др.] ; под науч. ред. В. А. Струка, В. А. Ляпо. — Гродно : ГГАУ, 2010. — 335 с.
5. Полимер-силикатные машиностроительные материалы, физико-химия, технология, применение / С. В. Авдейчик и [др.] ; под ред. В. А. Струка, В. Я. Щербы. — Минск : Тэхналогія, 2007. — 431 с.
6. Охлопкова, А. А. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями / А. А. Охлопкова, А. В. Виноградов, Л. С. Пинчук. — Гомель : ИММС НАНБ, 1999. — 164 с.
7. Петрова, П. А. Разработка машиностроительных материалов на основе политетрафторэтилена и природных цеолитов якутских месторождений: (машиностроение) : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / П. А. Петрова. — Гомель, 2002. — С. 125.
8. Наноматериалы и нанотехнологии / В. М. Анищик [и др.] ; под ред. В. Е. Борисенко, Н. К. Толочко. — Минск : Изд. центр БГУ, 2008. — 375 с.
9. Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение / В. Ю. Долматов. — СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. — 344 с.
10. Витязь, П. А. Нанокристаллические алмазы и перспективы их использования / П. А. Витязь // Наноструктурные материалы: получение и свойства. — Минск : НАНБ, 2000. — С. 8—20.
11. Механизмы формирования структуры нанокompозиционных материалов на основе полимерных и олигомерных матриц / В. А. Ляпо [и др.] // Прогрессивные машиностроительные технологии / А. В. Киричек [и др.] ; под ред. А. В. Киричека. — М., 2012. — Т. II. — С. 159—227.