

УДК 678.5

Ультраструйная технология наномодификации композиционных материалов: перспективы применения

Папич Александр

papicha@student.bmstu.ru

SPIN-код: 3844-6850

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрен такой способ повышения механических и теплофизических характеристик композиционного материала, как модификация композита наноразмерными частицами. Рассмотрены номенклатура применяемых модифицирующих материалов, а также технологии введения модификатора в композит. Показано, что существующие технологии наномодификации не решают такую проблему, как склонность наночастиц к образованию агломератов, ухудшающих свойства конечного композита. В качестве альтернативной технологии предлагается ультраструйная технология наномодификации. Суть данной технологии заключается в использовании высокоскоростной струи жидкости в качестве носителя модифицирующих частиц. Перспективность данной технологии показана на примере углепластика с повышенной теплопроводностью.

Ключевые слова: композиционные материалы, композиты, наномодификация, наноматериалы, графен, цифровое материаловедение, цифровой двойник

Ultra-jet technology for nanomodification of composite materials: application prospects

Papich Alexander

papicha@student.bmstu.ru

SPIN-code: 3844-6850

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The article considers such a method of increasing the mechanical and thermal characteristics of a composite material as modification of the composite with nanosized particles. The nomenclature of the modifying materials used, as well as the technologies for introducing the modifier into the composite, are considered. It is shown that the existing nanomodification technologies do not solve such a problem as the tendency of nanoparticles to form agglomerates that worsen the properties of the final composite. Ultra-jet nanomodification technology is proposed as an alternative technology. The essence of this technology is to use a high-speed liquid jet as a carrier of modifying particles. The prospects of this technology are shown using carbon fiber with increased thermal conductivity as an example.

Keywords: composite materials, nanomodification, nanomaterials, graphene, digital materials science, digital twin

Введение. В настоящее время композиционные материалы за счет своих высоких удельных характеристик получили широкое распространение в различных областях промышленности, причем доля композитов в различных конструкциях неуклонно растет. Поэтому актуальной является задача повышения эксплуатационных характеристик композитов.

Одним из способов решения данной задачи является введение в состав композиционного материала модифицирующих наноразмерных добавок [1]. Наиболее изученными являются такие наномодификаторы, как одно- и многостенные углеродные нанотрубки, а также графен. Применение данных материалов позволяет повысить механические характеристики полимерных композиционных материалов, а также повысить их тепло- и электропроводность [2, 3].

Модифицирующие наночастицы склонны к образованию агломератов, ухудшающих свойства модифицированного материала и снижающих эффективность модификации. Поэтому основной задачей при модификации композитов является равномерное распределение модификатора по объему материала. В настоящее время наиболее распространенной технологией является ультразвуковое диспергирование наночастиц в полимерном связующем [4].

Для повышения эффективности наномодификации и уменьшения размеров агломератов предлагается использовать ультразвуковую технологию наномодификации [5]. Суть данной технологии заключается в том, что суспензия, содержащая в себе наночастицы модификатора, подается с высокой скоростью на твердую мишень и разбиваясь об нее, образует наносодержащий спрей, осаждающийся на поверхность армирующего компонента композита, например, ткани. В данной технологии для разбивания агломератов используется энергия удара высокоскоростной суспензии о мишень.

Данная технология может найти свое применение при изготовлении изделий ракетно-космической техники. Для оценки эффективности модификации необходимо провести исследование свойств модифицированного композита.

Материалы и методы. При использовании метода ультразвуковой модификации частицы модификатора, нанесенные на поверхность ткани, в конечном композите содержатся не во всем объеме связующего, а в ограниченном объеме вокруг каждого из армирующих слоев. Это предположение позволяет в дальнейшем рассматривать модель материала, состоящего из одного армирующего слоя, который окружен связующим, содержащим в себе наноразмерные частицы с различной концентрацией.

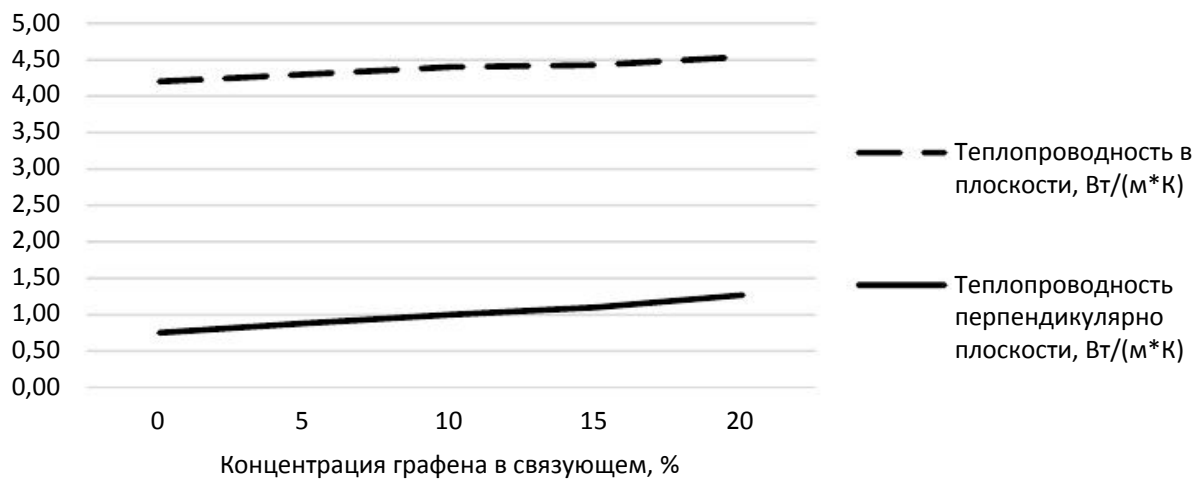
В качестве примера рассматривается углеродная ткань с плетением типа plain. В качестве связующего используется эпоксидная смола FR-4. В качестве модификатора используется графен. В таблице приведены принятые в расчете характеристики материалов.

Свойства модифицированного материала были получены расчетным способом с использованием цифрового двойника. Расчет вели на микроуровне методом конечных элементов с использованием пакетов специализированных программных комплексов.

Характеристики материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/(м · К)
Углеродное волокно	1,5	10
Эпоксидное связующее	1,9	0,3
Графен	2,2	2500

Результаты. На рисунке показано изменение теплопроводности модифицированного материала в зависимости от концентрации модификатора.



Изменение теплопроводности

Обсуждение полученных результатов. Было получено, что добавление графена с использованием метода ультразвуковой модификации позволяет увеличить тепло- и электропроводность углепластика, причем в поперечном направлении эффективность модификации значительно выше, чем в продольном. Это объясняется тем, что в продольном направлении тепло- и электропроводность определяются в большей степени соответствующими характеристиками волокна. Полученные полимерные композиционные материалы с повышенной теплопроводностью могут применяться в термонагруженных, теплоотводящих и размеростабильных элементах конструкции космических аппаратов.

Заключение. Таким образом, в данной статье рассмотрена технология ультразвуковой модификации полимерных композиционных материалов. Преимуществом данной технологии является возможность использования энергии удара высокоскоростной наносодержащей суспензии о твердую мишень для разбиения образовавшихся агломератов модифицирующих наночастиц.

Список источников

- [1] Крестинин А.В. О перспективных применениях углеродных нанотрубок в композиционных материалах. *Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения. IV Всерос. науч.-техн. конф.: матер.* Москва, ВИАМ, 2019, с. 66–83.
- [2] Ткачук А.И., Куршев Е.В., Лонский С.Л., Любимова А.С. Модификация эпоксидных связующих многостенными углеродными нанотрубками. *Труды ВИАМ*, 2023, № 2. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2023-0-2-63-76>
- [3] Tariq W., Ali F., Arslan C., Nasir A., Gilliani S.H., Rehman A. Synthesis and applications of graphene and graphene-based nanocomposites: Conventional to artificial intelligence approaches. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 2022, vol. 3. <https://doi.org/10.3389/fenvc.2022.890408>
- [4] Хела Р., Боднарлова Л., Яролим Т., Лабай М. Возможность диспергирования углеродных нанотрубок с помощью ультразвука. *Строительные материалы*, 2017, № 1–2, с. 4–9.
- [5] Чжо М.Х., Галиновский А.Л. Перспективы развития технологии ультразвукового диспергирования суспензий. *Будущее машиностроения России. XV Всерос. конф. молодых ученых и специалистов: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, т. 1, с. 37–43.