ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/23

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОГЕННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ, НАПОЛНЕННОЙ
НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ
НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ**

Филиппов А.А.

*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск*

Изменение механических свойств полимерных материалов при добавлении нанодispersных частиц активно применяется при создании новых композитных материалов, применяемых в авиа- и ракетостроении, где сочетание высокой жесткости и малого веса конструкций критически важно для эксплуатации. Тем не менее, свойства полимерных материалов, наполненных наночастицами, не исследованы полностью из-за ряда причин. Механические свойства наночастиц недостаточно изучены, окончательно не определена сила взаимодействия между полимером и наночастицами, не существует единого способа осреднения свойств для полимерного композиционного материала. Развитие методов наноиндентирования позволяют переходить к локальной оценке механических свойств свойств для ПКМ [1]. Целью настоящей работы является определение контактного модуля упругости полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы в зависимости от объемного содержания наночастиц.

В качестве используемых материалов были использованы термореактивная смола DER-330 (Dow chemical, США), отверждаемая изометилтетрагидрофталлиевым ангидридом (ИМТГФА) и наночастицы диоксида кремния Aerosil A-300 (Evonik, Германия). В настоящей работе рассматривались образцы с содержанием наночастиц 0, 2, 5 % масс.. Процесс получения отвержденного полимера и диспергации частиц по всему объему полимерного связующего описан в работе [2,3]. Полученные образцы ПКМ, заливались в эпоксидный полимер и подвергались полировке. При обработке экспериментальных данных нами была использована методика Оливера-Фарра, реализованная в программном обеспечении прибора NanoTriboindenter TI 950.

Контактный модуль упругости E^* определялся по формуле:

$$E^* = \frac{s\sqrt{\pi}}{2\sqrt{A}}, \quad (1)$$

где s - угол наклона кривой разгрузки на диаграмме вдавливания-перемещение индентора, а A - область контакта. При индентировании использовали треугольный режим нагружения, при котором происходит линейный рост нагрузки и разгрузки с заданным постоянным временем. Для выбора типа нагружения для полученных образцов рассматривали времена нагружения $t_i = 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60$ с для нагрузок $P = 2, 4, 6, 8, 10$ мН. Инструментальные значения контактного модуля упругости зависят как от времени нагружения так и от величины прикладываемой нагрузки. При временах нагружения более чем $t_i \geq 40$ с и нагрузках более $P \geq 8$ мН такой зависимости практически не наблюдается. Таким образом, дальнейшие измерения контактного модуля упругости выполнены по выбранному типу нагружения. Глубина вдавливания при такой нагрузке составляет 900-1000 нм, а контактная площадь согласно формуле порядка 20-25 μm^2 .

Согласно выбранному типу нагружения были получены карты распределения контактного модуля упругости на образцах содержащих 2 и 5 % масс. нанодispersных частиц диоксида кремния. Для этого на отполированных образцах на площади 0.03×0.6 мм² было выполнено индентирование поверхности полимерного композита с шагом 15 μm вдоль трех линий. Шаг выбран с одной стороны достаточно большим, чтобы избежать взаимного влияния деформации поверхности полимера от одного индентирования к другому, но с другой стороны достаточно маленьким, чтобы иметь возможность оценивать контактный модуль упругости непрерывно при выбранном типе нагружения.

Рис. 1. Карта распределения значений контактного модуля упругости на образцах, наполненных наночастицами диоксида кремния. Точками отмечены места индентирования.

На рисунке 1 представлены карты распределения модуля упругости по поверхности образцов из эпоксидной смолы, наполненной наночастицами диоксида кремния. Видно, что в целом распределение контактного модуля упругости носит однородный характер и не превышает инструментальной погрешности прибора. Размер отпечатка индентора в несколько микрон значительно превышает размер частиц Аэросила А-300 (десятки нанометров). Поэтому на рассматриваемом масштабном уровне можно считать, что наполненный полимерный материал имеет однородные по объему упругие свойства. Сравнивая контактные модули упругости образцов в зависимости от концентрации следует отметить, что модуль упругости с ростом массовой концентрации возрастает на 25 % с 6,3 до 7,65 ГПа при массовых концентрациях 0 и 5 % соответственно.

Благодарности. Работа поддержана грантом российского научного фонда №16-19-10300 «Физические основы создания гетерогенных материалов с помощью аддитивных технологий».

1. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. 312 с.
2. Ваганова Т. А. и др. // Journal of Polymer Research, 2014. № 21. С. 588.
3. Брусенцева Т.А. и др. Модификация наночастицами диоксида кремния эпоксидной смолы и технология получения композитов на их основе // Механика композитных материалов. 2015. Т. 51. № 4. С. 747-756.