

## Исследование высокопрочных нанокомпозиционных материалов для машиностроения

Шухрат Халимов, Каҳрамон Иноятов

### Study of high-strength of nano-composite materials for mechanical engineering

Shukhrat Khalimov, Kakramon Inoyatov

**Abstract:** Currently, the international market on a regular basis can be seen growth in consumption of high-strength polymer composite materials. Such materials provide a high-strength characteristics at creating high-nano-composite materials and a new generation of structures in mechanical engineering. The study analysis of hetero composites shows that the mechanisms form the nano-structure compounds and gelation of materials, as well as physical-mechanical and chemical properties of high nano-composite materials.

**Keywords:** nanocomposite materials, nanotechnology, high-strength materials, nanoparticle, structure, materials science, reinforcement, material.

### ВВЕДЕНИЕ

Нанокомпозиты – это инновационные материалы имеющие уникальные механические характеристики, различные в каждом конкретном случае – легкость, прочность, стойкость по отношению к механическим воздействиям. В этих уникальных нанокомпозитных материалах сочетаются лучшие свойства реактопластов с наполнителями. Неуклонно растет объем применения полимерных нанокомпозитных материалов, особенно в автомобилестроении и машиностроении. В целом, прогнозируется среднегодовая скорость роста применения нанокомпозитных материалов от 18 до 25% за год.

Одним из самых существенных технологических достижений в промышленности пластмасс за последние 3-4 года стало развитие полимерных нанокомпозитных материалов, то есть, полимерных смол, содержащих наноразмерные компоненты. Введение от 2% до 5% нанокомпонентов для формирования нанокомпозитного материала является важным новым средством модификации физико-химических свойств смолы. Основными полезными результатами становятся улучшение физико-механических свойств [1].

Наночастицы могут выгодно отличаться от стандартных наполнителей и волокон благодаря повышению прочностных свойств композитных материалов. Нанонаполнители улучшают механические свойства композитных материалов, а волокно придает прочность. Диапазон применения наноматериалов простирается от улучшения характеристик деталей применяемых в машиностроении [2].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данной статье речь пойдет о новом способе армирования полимерных нанокомпозитных материалов, в которых будут реализованы демпфирующие и динамические упругие свойства. По сочетанию прочности и модуля упругости армированных нанокомпозитных материалов существенно превосходят все современные металлические конструкционные материалы. Основной особенностью армированных композитных материалов является ярко выраженная

анизотропия их механических свойств. Отличительной особенностью нанокомпозитного материала является образования армирующих волокон при химической взаимодействии с матрицей.

Исследовались демпфирующие и динамические упругие свойства стеклоуглепластиков и органоуглепластиков различного состава при изгибных колебаниях консольно закреплённых стержневых образцов в интервале температур 293÷473 К. Результаты исследования приведены в таблицах 1 и 2, а также на рисунке. Как следует из проведенных данных, с увеличением содержания высокомодульного углеродного наполнителя в гибридных композитах на основе связующего ЭД – 20 высота пика механических потерь, проявляющегося в области температур 410 К ÷ 430 К снижается и наблюдается незначительное смещение релаксационного пика в сторону более высоких температур. Так максимальное значение логарифмического декремента в области температуры формирования матрицы с увеличением содержания углеродных волокон от 20 до 50 % в объёме наполнителя в стеклоуглепластика снизилось от 13,8 % до 8,5 %, а в органоуглепластика с 10,1 % до 8,1 %. Наряду с этим, с увеличением содержания углеродных волокон в гибридных композитах наблюдается также уменьшение температурного градиента, снижение динамических упругих свойств композитов. С повышением температуры испытаний от 300 К до 450 К значение динамического модуля упругости в стеклоуглепластика на основе наполнителей ВМПС и УКН – 5000 П уменьшилось при 20 % -ном содержании углеродных волокон в объёме наполнителя на 37%, при 35 % -ном содержании углеродных волокон 29 % и при 50 % -ном содержании углеродных волокон – 23 %.

В органоуглепластиках на основе наполнителей СВМ и УКН – 5000П значение динамического модуля упругости с повышением температуры испытаний от 300 К до 450 К снизилось при 20 % -ном содержании углеродных волокон в объёме наполнителя – на 34 %, при 35 % –ном содержании углеродных волокон – на 21 % и при 50 % –ном содержании углеродных волокон в объёме наполнителя – 14 % [3].

Обобщенный анализ полученных результатов исследование динамических и физико-механических свойств односторонних гибридных полимерных композитов показывает, что создание гибридных композиционных материалов (ГКМ) на основе непрерывных волокнистых наполнителей с различным уровнем упруго – прочностных и деформативных характеристик позволяет в широком интервале регулировать динамические и физико-механические свойства, а также термоупругие характеристики нанокомпозитных материалов.

Значения плотности динамического модуля упругости, логарифмического декремента колебаний, а также ударной вязкости стеклоуглепластиков и органоуглепластиков с различным соотношением низкомодульных и высокомодульных волокон в объёме наполнителя занимают промежуточное положение между соответствующими характеристиками гомоволокнистых полимерных композитов на основе стеклянных, органических и углеродных волокон (таблицы 1 и 2).

Следовательно, совмещение в одном материале волокон различной природы, существенно отличающихся по упруго-прочностным и деформативным характеристикам, позволяет расширить интервал возможных значений физико-механических и динамических свойств композитов.

**Таблица 1**

Зависимость логарифмического декремента колебаний и динамического модуля упругости стеклоуглепластиков на основе ЭД – 20 от температуры испытаний

Состав композита	Температура испытаний, К	Логарифмический декремент колебаний, %	Динамический модуль упругости $E \cdot 10^{-4}$ , МПа
Стеклоуглепластик На основе ВМПС + УКН – 5000П (80/20)	300	2,8	4,3
	350	3,6	4,2
	400	9,6	3,9
	425	13,8	3,3
	450	9,7	2,7
Стеклоуглепластик На основе ВМПС + УКН – 5000П (65/35)	300	2,5	5,9
	350	2,9	5,8
	400	7,5	5,3
	425	12,6	4,8
	450	10,2	4,2
Стеклоуглепластик На основе ВМПС + УКН – 5000П (50/50)	300	2,0	7,1
	350	2,4	6,9
	400	5,0	6,7
	425	8,5	6,2
	450	8,4	5,5

Динамическая модуль упругости однородных гибридных композитов на основе связующего ЭД – 20 с увеличением содержания низкомодульного наполнителя в ГКМ понижается от значения присущего композиту на основе низкомодульных волокон. Изменение динамических упругих свойств гибридных композитов при варьировании соотношения разномодульных волокон в объёме наполнителя подчиняется принципу аддитивности и носит линейный характер.

Создание гибридных композиционных материалов позволяет существенно повысить выброжесткость материалов на основе низкомодульных армирующих волокон. Так, при сравнительно небольшом содержании углеродных волокон (20% в объёме наполнителя) в стеклоуглепластике выброжесткость композита увеличивается на 28 % по сравнению с стеклопластиком.

Логарифмический декремент колебаний гибридных композитов с увеличением содержания высокомодульных углеродных волокон уменьшается, причем при малых содержаниях высокомодульного наполнителя в ГКМ (до  $0,35 \div 0,5$ ) эта зависимость выражена более ярко [2].

Прочность при изгибе стеклоуглепластиков и органоуглепластиков с увеличением содержания низкомодульных волокон линейно понижается до некоторого критического значения, после чего возрастает до значения соответствующего гомоволокнистому композиту на основе низкомодульных волокон.

**Таблица 2**

Зависимость логарифмического декремента колебаний и динамического модуля упругости органоуглепластиков на основе ЭД – 20 от температуры испытаний

Состав композита	Температура испытаний, К	Логарифмический декремент колебаний, %	Динамический модуль упругости $E \cdot 10^{-4}$ , МПа
Органоуглепластик на основе СВМ + УКН – 5000П (80/20)	300	2,0	5,0
	350	3,1	4,7
	400	8,7	4,0
	425	10,1	3,6
	450	10,0	3,3
Органоуглепластик на основе СВМ + УКН – 5000П (65/35)	300	1,8	6,2
	350	2,2	6,0
	400	7,1	5,5
	425	9,4	5,1
	450	9,2	4,9
Органоуглепластик на основе СВМ + УКН – 5000П (50/50)	300	1,7	7,4
	350	1,9	7,3
	400	3,7	7,1
	425	8,1	6,9
	450	8,2	6,4

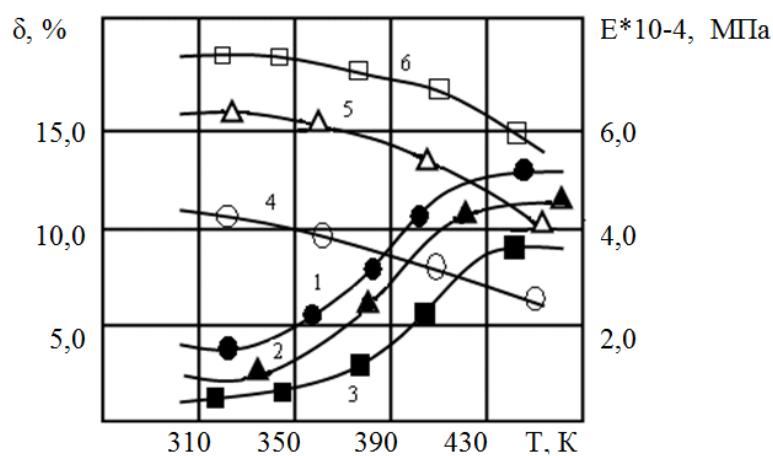


Рис. Зависимость логарифмического декремента ( $\delta$ ) и динамического модуля упругости ( $E$ ) стеклоуглепластиков на основе связующего ЭД – 20 от температуры при соотношении волокон ВМПС и УКН – 300 в объеме наполнителя: 1,4 - 80/20; 2,5 – 65/35; 3,6 – 50/50

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критическое соотношение низкомодульных и высокомодульных волокон в гибридном композите, которому соответствует минимальная прочность ГКМ на основе данной системы армирующих наполнителей зависит от уровня упруго – прочностных и деформативных характеристик армирующих волокон.

Различие в прочностных, упругих и деформативных характеристиках разномодульных волокон при сочетании их в одном материале приводит к неодновременному разрушению разномодульных волокон при нагружении в направлении армирования. Это влияние представляет интерес с точки зрения повышения прочности, трещина стойкости полимерных композитов, а также демпфирующей способности гибридных композитов. В гибридных композитах на основе непрерывных низкомодульных и высокомодульных волокон с увеличением содержания высокомодульных углеродных волокон снижается чувствительность логарифмического декремента колебаний к уровню относительной деформации при изгибных колебаниях. Увеличение содержания высокомодульного наполнителя стеклоуглепластиках и органоуглепластиках приводит к снижению высоты пика механических потерь в области температуры формирования полимерной матрицы, а также к незначительному смешению релаксационного пика в сторону более высоких температур. Кроме того, уменьшается температурный градиент снижения динамических упругих свойств гибридных композитов на основе связующего ЭД-20 в интервале температур 300÷450К. С учетом полученных результатов можно заключить, что более оптимальным по динамическим свойствам и выгодным с точки зрения стоимости гибридных полимерных композитов представляется создание ГКМ с содержанием низкомодульных стеклянных или органических волокон от 50 до 80% и, соответственно, высокомодульных углеродных волокон от 50 до 20% в объёме наполнителя.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Singer P. Nanotechnology. – Semiconductor International, January 2007, p.36–40.
- [2] Smirnov V.K., Kibalov D.S., Orlov O.M. et al. Technology for nanoperiodic doping of a MOSFET channel using a self-forming wave-ordered structure. Nanotechnology, 2003, vol. 14, p. 709–715.
- [3] Ш.А.Халимов, А.Норкулов. Особенности формования вязкоупругих и прочностных свойств армированных эпоксидных гетерокомпозитов для газовых баллонов высокого давления. Журнал пластические массы. Москва, 2010. № 2. - С.16-18.
- [4] Ш.А.Халимов, Джумабаев А.Б. Исследование вязкоупругих и прочностных свойств армированных эпоксидных гетерокомпозитов при разных температурах. Композиционные материалы. Ташкент, 2008. № 4. – С.11-14

**Авторы:**

Доц. Шухрат Халимов, кафедра «Технологические машины и оборудование». Республика Узбекистан, Наманганский инженерно-педагогический институт, тел.: +998972312868, [shuxrat-xalimov@rambler.ru](mailto:shuxrat-xalimov@rambler.ru).

Доц. Каҳрамон Иноятов. Республика Узбекистан, Наманганский инженерно-педагогический институт, тел.: +998972505429, [ilm1978@umail.uz](mailto:ilm1978@umail.uz).