

УДК 620.178
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОСТРАНСТВЕННО-АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. П. КРЕНЬ, Т. А. ПРОТАСЕНЯ, *Т. А. КУЗНЕЦОВА
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
*ГНУ «ИНСТИТУТ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА
им. А. В. Лыкова НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

В настоящее время пространственно-армированные углерод- углеродные материалы (УУКМ) получили широкое применение благодаря своим теплозащитным свойствам и прочностным характеристикам. Высокую прочность и жесткость композиционным материалам обеспечивает определенная укладка армирующих волокон по отношению к действующей нагрузке. Вследствие большого разнообразия нагрузок применяются различные схемы укладки арматуры, тем самым устраняя еще один недостаток этих материалов – малое сопротивление межслойному сдвигу и поперечному отрыву за счет создания межслойных связей. Именно в возможности придания материалу оптимальной, для каждого частного случая, анизотропии заключается главное преимущество волокнистых композиционных материалов.

В качестве арматуры при изготовлении пространственно-армированных материалов применяют высокомодульное углеродное волокно. В качестве связующего – графитированный или карбонизированный пек. При трудоемком технологическом процессе производства УУКМ большое значение имеет не только выбор соответствующего режима, но и его отлаженность, т.к. в ходе некоторых из них даже может происходить повреждение армирующего волокна, что негативно влияет на физико-механические свойства конечного изделия.

В настоящее время накоплен большой опыт по испытанию композиционных материалов. Однако практически все из них предназначены либо для контроля изотропных материалов, либо для изучения пластмасс, и на практике лишь приближенно адаптированы и для композиционных материалов. Данные методы не учитывают особенностей структуры и свойств композиционных материалов, что приводит к низкой воспроизводимости даже стандартных испытаний на растяжение, сжатие и изгиб. Особенно большие трудности вызывают испытания пространственно-армированных композиционных материалов вследствие явно выраженной структурной макронеоднородности, которая ограничивает выбор этих параметров. Кроме того, особый интерес представляет не только интегральная оценка

свойств пространственно-армированного материала, но и аддитивные составляющие вносимые как связующим, так и армирующим волокном.

В настоящей работе была исследована возможность контроля составляющих УУКМ методом динамического микроиндентирования с помощью прибора ИПМ-1 и методом статического индентирования, осуществляемого в нанометровом масштабе изменения нагрузок и деформаций на установке экспертного класса Hysitron. Индентирование осуществлялось в отдельные элементы УУКМ (рис. 1).

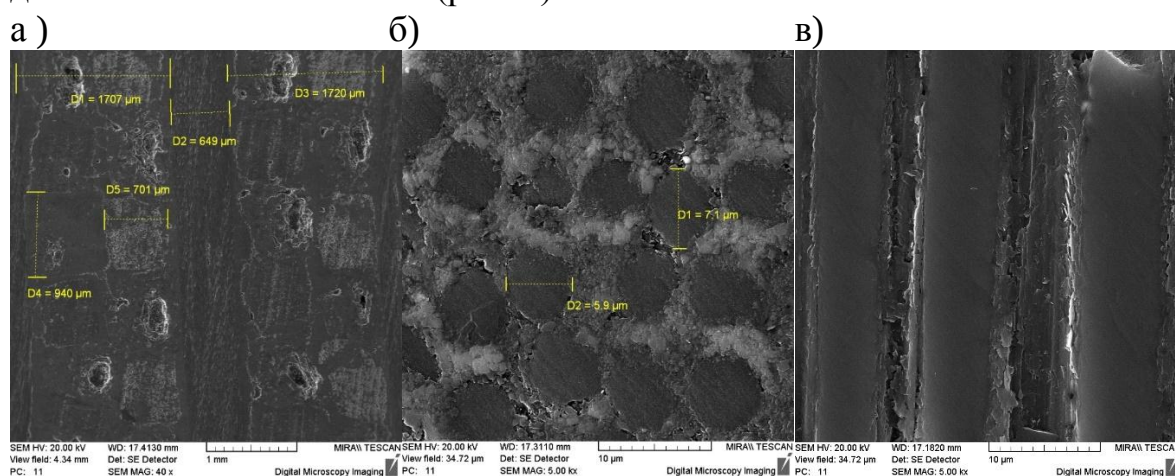


Рис. 1. Структура УУКМ: а – шлиф, на котором видны армирующие стержни (волокна) и пек; б – увеличенное изображение торца стержня; в – увеличенное изображение шлифа стержня (вдоль его оси)

Индентирование осуществлялось в центре и по краям на продольном и торцевом срезе волокна (рис. 2), а также в пек.

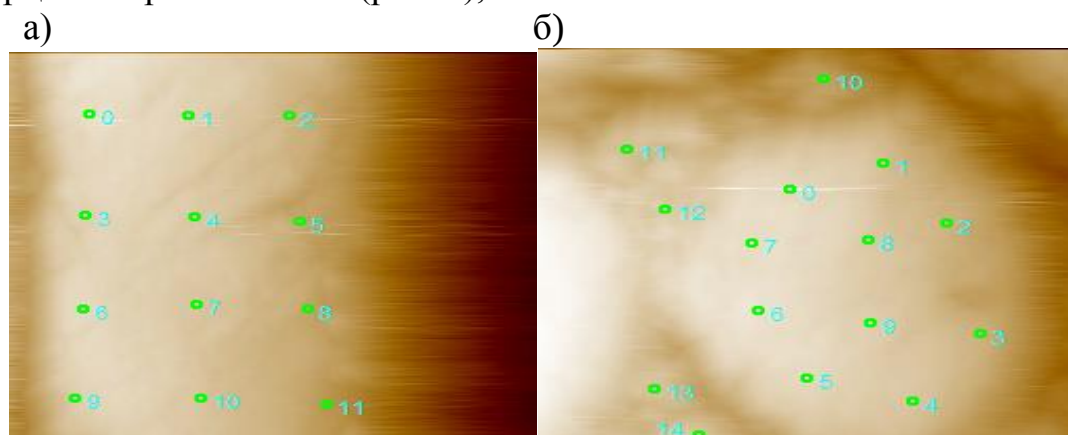


Рис. 2. Схема проведения измерения (точками показаны места, где проводилось наноиндентирование): а – продольный срез волокна, б – торец волокна, а также межволоконная фаза (пек)

Кривые «нагрузка-глубина внедрения индентора», полученные как для метода динамического микроиндентирования, так и для статического наноиндентирования представляли собой зависимости, характерные для упругого вдавливания. Для расчета значений модуля упругости E и твер-

дости H они обрабатывались по методу Оливера-Фара и методикам, разработанным в ИПФ НАН Беларуси [1, 2]. Типичные значения данных характеристик представлены в табл. 1.

Табл. 1. Измеренные значения характеристик

Направление индентирования	Место индентирования	Наноиндентирование		Динамическое микроиндентирование	
		E , ГПа	H , ГПа	E , ГПа	H , ГПа
В боковую поверхность волокна	В центре	8,17	1,05	10,1	0,63
	У края поверхности	6,68	0,87		
В торец волокна	В центре	22,92	3,18	14,0	0,94
	У края поверхности	20,64	2,86		
	Межволоконная фаза	18,26	1,55		

Представленные в табл. 1 данные показывают, что как метод динамического индентирования, так и особенно статическое наноиндентирование являются чувствительными к изменению свойств в различных направлениях армирования. Динамическое индентирование в силу больших размеров индентора (радиус сферического наконечника равен 0,5 мм) дает усредненную оценку свойств. Наноиндентирование позволяет провести расчет твердости и модуля упругости для каждого элемента структуры. Тем не менее, и тот и другой метод позволяют получить параметры, которые могут использоваться для расчета несущей способности материала согласно общепринятым методикам [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Oliver, W. C.** Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology / W. C. Oliver, G. M. Pharr // J. Mater. Res. – 2004. – Vol. 19. – № 1. – P. 3–20.
2. **Протасеня, Т. А.** Определение характеристик сопротивления разрушению углепластиков методом динамического индентирования пирамидой Виккерса / Т. А. Протасеня, А. П. Крень, В. А. Рудницкий // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2014. – Т. 80. – № 3. – С. 46–50.
3. **Старченко, В. Н.** Расчет упругих характеристик фрикционных углеродных композитов для подвижного состава // Вестн. Днепропетровского нац. ун-та ж.-д. трансп. – 2006. – № 11. – С. 160–166.

E-mail: alekspk@iaph.bas-net.by
5657397@gmail.com