

КОММЕНТАРИИ К СТАНДАРТАМ, ТУ, СЕРТИФИКАТАМ

Ежемесячное приложение к журналу
«ВСЕ МАТЕРИАЛЫ. Энциклопедический справочник»

Главный редактор
академик РАН А.А. Берлин

Заместитель главного редактора
д-р техн. наук Г.В. Малышева

Редакционный совет
академик РАН Банных О.А.
академик РАН Каблов Е.Н.
академик РАН Новаков И.А.
академик РАН Федоров И.Б.
академик РАН Холькин А.И.
чл.-корр. РАН Бурханов Г.С.
чл.-корр. РАН Васильев В.В.
чл.-корр. РАН Мешалкин В.П.
чл.-корр. РАН Милехин Ю.М.
чл.-корр. РАН Стороженко П.А.
д-р техн. наук Дуб А.В.
д-р техн. наук Кульков А.А.

Редакционная коллегия

Войтович В.А.	Минаков В.Т.
Голубев С.С.	Плетнева Н.П.
Григорьев В.М.	Раков Э.Г.
Донской А.А.	Русин М.Ю.
Киселев М.И.	Спиридонов О.В.
Ковалевский М.А.	Стоянов О.В.
Кравченко И.Н.	Ульянов М.С.
Крыжановский В.К.	Шевченко Ю.Н.
Масленков С.Б.	Юрков Г.Ю.

Ответственный секретарь
д-р техн. наук Баурова Н.И.

Ведущий редактор Кудрина А.В.

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4.
Тел./факс: (495) 269-52-97;
(499) 164-47-74.

E-mail: admin@nait.ru
http://www.nait.ru

Телефон редакции:
(499) 269-51-96.
E-mail: korhink@nait.ru

За достоверность информации и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. При использовании материалов журнала в любой форме ссылка на журнал обязательна.

© ООО «Наука и технологии», 2013

С 2011 г. журнал «Все материалы. Энциклопедический справочник» переводится на английский язык и выпускается издательством "Pleiades Publishing, Ltd" как приложение к журналу "Polymer Science, Series D", распространение которого осуществляет издательство "Springer".

СОДЕРЖАНИЕ

Медведев А.В., Разумеев К.Э. О влиянии параметров проведения испытаний при растяжении до разрыва образцов нитей из оксида алюминия на достоверность результатов испытаний 2

Яковлев Н.О., Ерасов В.С., Сентюрин Е.Г., Харитонов Г.М. Комплекс методик оценки физико-механических характеристик органических стекол с учетом влияния высокоэластической деформации 6

Исаев Г.А. Необходимость разработки нормативных документов на новые композиционные материалы, используемые в металлургии 12

Иванова В.А., Краев А.В. Анализ законодательной и нормативно-методической базы декларирования соответствия 16

Нелюб В.А. Параметрическая оценка геометрических характеристик поверхностного слоя углеродных волокнистых наполнителей 22

Информация

Методы испытания клеев 29

Взаимозаменяемость и ее виды 35

Новости литературы 37



УДК 678

Параметрическая оценка геометрических характеристик поверхностного слоя углеродных волокнистых наполнителей

В.А. Нелюб

МГТУ им. Н.Э. Баумана

E-mail: mail@emtc.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований стандартизованных (среднеарифметическое отклонение профиля, высота неровности по десяти точкам, наибольшая высота профиля, средний шаг неровностей профиля) и не стандартизованных (среднеквадратическое отклонение профиля, параметр асимметрии) параметров шероховатости различных марок углеродных волокнистых наполнителей.

Ключевые слова: углеродные волокна, стандартизованные и не стандартизованные параметры шероховатости.

Армированные синтетическими волокнами полимерные композиционные материалы нашли широкое применение, поскольку от многих других материалов они отличаются высокой удельной (по отношению к плотности) прочностью и жесткостью. В последнее десятилетие наибольшими темпами развивается производство углепластиков. По показателям плотности, модулю упругости, кратковременной прочности при растяжении и сжатии, усталости, ползучести, демпфирующей способности и коррозионной стойкости углепластики в диапазоне температур до 250 °С превосходят стали, алюминиевые и титановые сплавы.

Целью настоящей работы являлось определение характеристик шероховатости различных марок углеродных волокон как отечественного, так и импортного производства. В качестве объектов исследований были использованы следующие волокна: «Элур», «ЛУП», «УОЛ-300», HTS-45, SAATI, Tenax, ко-

торые широко используются в нашей стране при производстве изделий из углепластиков.

Для проведения исследований использовалась методика, приведенная в работах [1, 2]. Особенностью данной методики являлось использование зондового комплекса ИНТЕГРА Спектра, который представляет собой универсальный прибор для проведения комплексных исследований поверхности различных объектов с нанометровым разрешением при работе в воздушной среде.

Шероховатость различных поверхностей, в том числе и углеродных волокон, можно оценивать как параметрическими, так и непараметрическими методами.

Непараметрическая оценка заключается в получении графического изображения шероховатости, которое представляется в виде профилограммы. Типичная профилограмма для металлов показана на рис. 1 [3]. Аналогичные профилограммы для углеродных волокон показаны на рис. 2, 3.

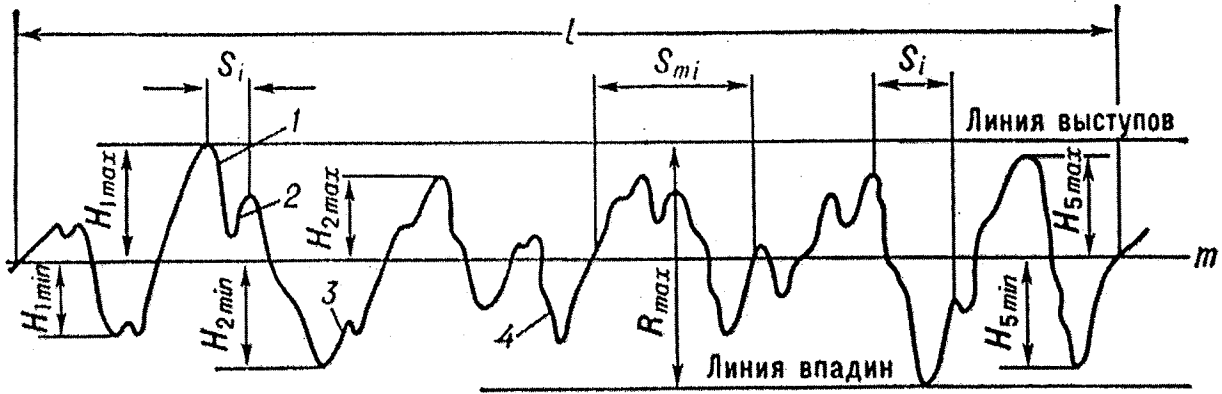


Рис. 1. Типичная профилограмма шероховатости поверхности [3]

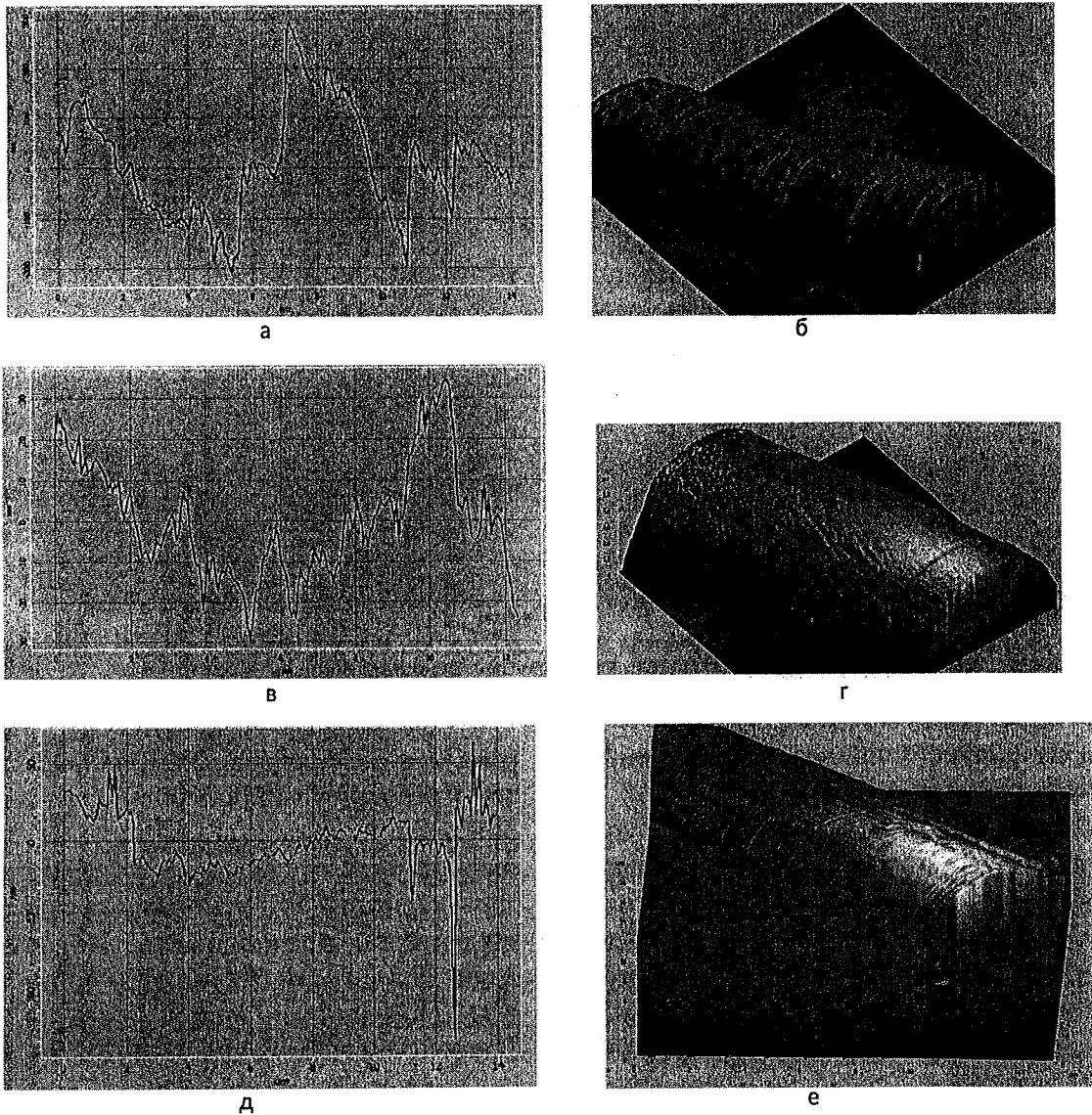


Рис. 2. Профилограммы шероховатости и 3D модель поверхности углеродных волокон:
а, б — Элур; в, г — HTS-45; д, е — ЛУП

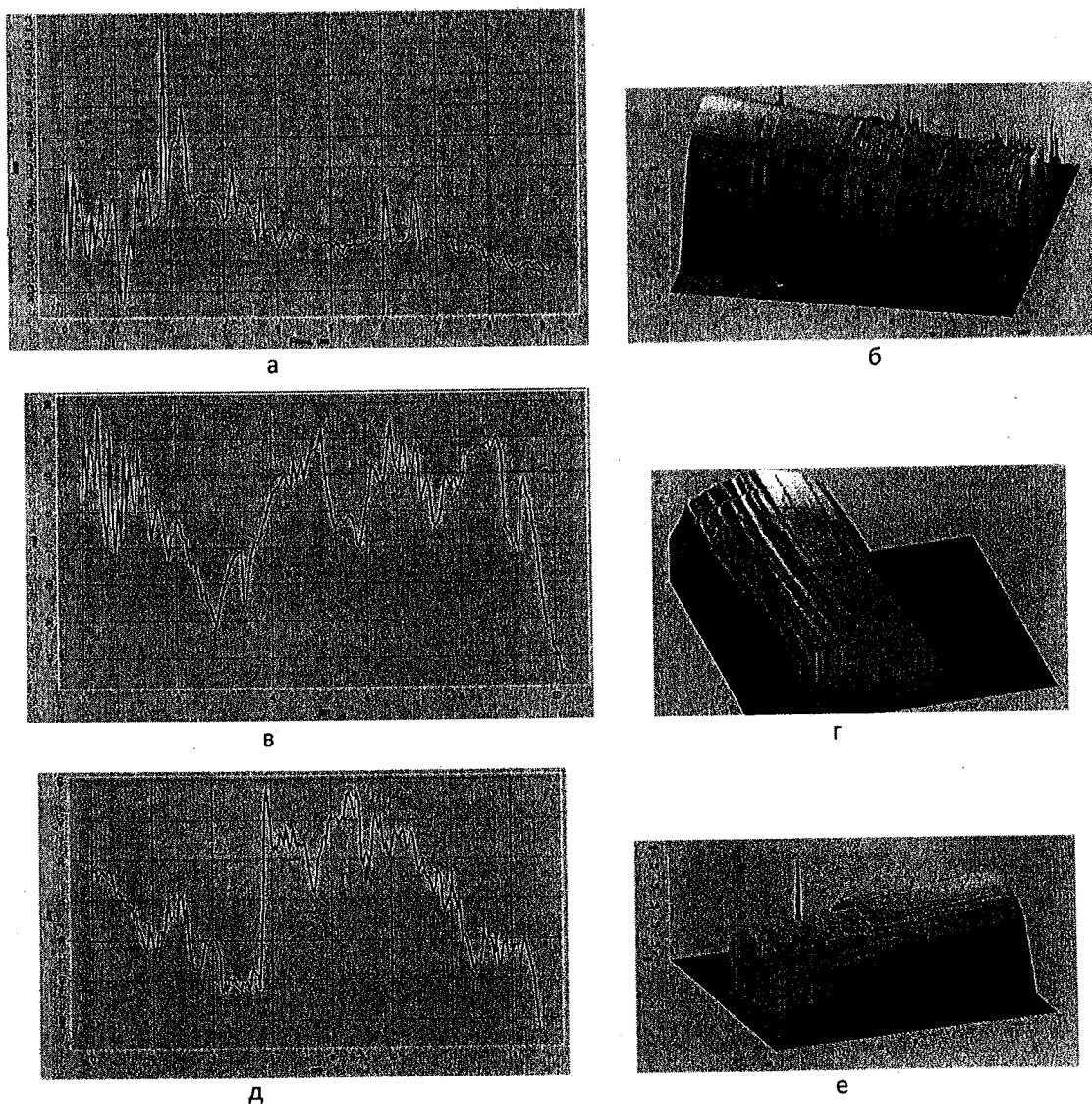


Рис. 3. Профилограммы шероховатости и 3D модель поверхности углеродных волокон:
а, б — SAATI; в, г — Tenax; д, е — УОЛ-300

На этих же рисунках приведены 3D изображения исследуемых волокон.

Анализ полученных профилограмм показал, что такая непараметрическая оценка позволяет провести только качественный анализ геометрических характеристик поверхности углеродных волокон. Например, для волокон марок ЛУП (рис. 2, д) и SAATI (рис. 3, а) характерно наличие на профилограммах областей с существенно большими высотами микронеровностей, чем в среднем по профилю. Для волокон марок HTS-45

(рис. 2, в) и Элур (рис. 2, а), наоборот, характер изменения микронеровностей плавный. Поскольку процессы растекания связующего по волокну зависят от геометрических характеристик его поверхности, то логично было бы предположить, что при одной и той же вязкости связующего процессы растекания будут лучше происходить на волокне Элур и хуже на волокне УОЛ-300 (рис. 3, д).

Однако проводить анализ шероховатости поверхности углеродных волокон только на основании полученных профилограмм

нельзя, поскольку шкала на каждой из приведенных на рис. 2, 3 профилограмм разная. Привести все полученные профилограммы к единой шкале нельзя, поскольку высоты неровностей для различных волокон отличаются в десять и даже более раз. В этом случае необходимо использовать какие-либо количественные методы оценки. К таким количественным методам относится оценка физико-химических свойств [4, 5], а также параметрическая оценка характеристик шероховатости.

В работе с помощью Зондового комплекса ИНТЕГРА Спектра определены следующие характеристики поверхностей углеродных волокон:

среднее арифметическое отклонение профиля R_a

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l [y_i] dy = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i;$$

где l — базовая длина волокна на которой проводилось измерение; n — количество измерения; y_i — значение отклонения профиля в конкретном точке на базовой длине. Числовые значения базовой длины при определении параметром шероховатости поверх-

ностей металлов выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,50; 8,00; 25,00 мм. В настоящей работе в качестве базовой длины было выбрано значение 2,5 м;

наибольшая высота выступов неровностей профиля R_{max} ;

наибольшая высота впадин неровностей профиля R_{min} ;

максимальное значение перепада высот неровностей микропрофиля R_y ;

$$R_y = R_{max} + R_{min}.$$

Также в работе определялось значение среднеквадратической шероховатости R_q и параметр асимметрии R_{sk} :

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_n^2}.$$

Параметр R_q характеризует ширину функции распределения амплитуды, и чем больше R_q , тем шире функция распределения и, следовательно, тем грубее поверхность.

Параметр асимметрии R_{sk} описывает форму функции распределения амплитуды, т.е. симметричность разброса профиля относительно средней линии. Профиль с положительным коэффициентом асимметрии имеет

четкие высокие пики, которые выделяются на общем фоне. Поверхности с отрицательным коэффициентом асимметрии имеют четкие глубокие впадины в гладких плато (рис. 4). В отличие от R_q и R_a , которые имеют размерность длины (в настоящей работе все значения определялись в нм), параметр R_{sk} безразмерен.

Для каждой марки углеродных волокон проводилось пять повторных измерений. Результаты всех пяти опытов для углеродного волокна марки Элур приведены в табл. 1. Аналогичные результаты были получены и для всех других марок углеродных волокон (табл. 2—6). Из полученных данных следует, что для одного и того же углеродного волокна значе-

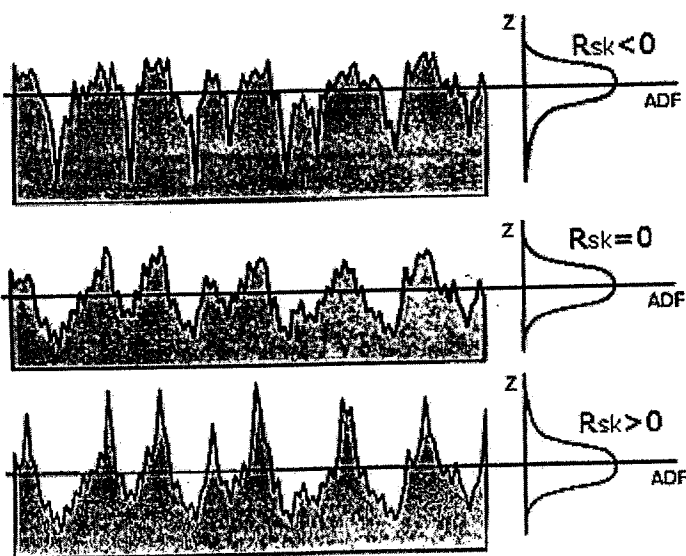


Рис. 4. Примеры профилей, иллюстрирующие функцию распределения амплитуды и параметр асимметрии

ния параметров, характеризующих его шероховатость, могут изменяться в больших пределах, и при использовании стандартизованных параметров шероховатости коли-

чество повторных опытов должно быть увеличено. Например, для отечественного углеродного волокна марки ЛУП наибольшая высота выступов профиля изменяется в диа-

1. Результаты измерений параметров шероховатости углеродного волокна марки Элур с помощью атомно-силового микроскопа

Характеристики шероховатости	Количество измерений					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
<i>Стандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднеарифметическое отклонение профиля R_a , нм	84,42	118,14	131,18	124,14	98,53	111,282
Наибольшая высота выступов профиля R_{max} , нм	293,77	318,88	397,73	373,78	324,44	276,832
Наибольшая высота впадин профиля R_{min} , нм	-208,5	-246,46	-294,35	-284,43	-211,62	-249,072
Максимальное значение перепада высот R_y , нм	502,27	565,35	692,08	658,21	536,06	590,794
<i>Нестандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднее отклонение профиля R_q , нм	107,53	143,67	160,5	148,48	136,08	109,556
Параметр асимметрии R_{sk}	0,38	0,37	0,31	0,30	0,32	0,336

2. Результаты измерений параметров шероховатости углеродного волокна марки HTS-45 с помощью атомно-силового микроскопа

Характеристики шероховатости	Количество измерений					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
<i>Стандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднеарифметическое отклонение профиля R_a , нм	11,99	18,56	11,23	12,95	14,45	13,836
Наибольшая высота выступов профиля R_{max} , нм	34,61	44,07	34,18	34,28	32,13	35,854
Наибольшая высота впадин профиля R_{min} , нм	-39,66	-68,68	-28,48	-35,57	-41,87	-42,852
Максимальное значение перепада высот R_y , нм	74,27	112,75	62,66	69,86	74	78,708
<i>Нестандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднее отклонение профиля R_q , нм	14,58	22,42	14,04	15,99	17,74	16,954
Параметр асимметрии R_{sk}	0,42	0,48	0,49	0,46	0,47	0,464

3. Результаты измерений параметров шероховатости углеродного волокна марки ЛУП с помощью атомно-силового микроскопа

Характеристики шероховатости	Количество измерений					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
<i>Стандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднеарифметическое отклонение профиля R_a , нм	15,08	23,48	30,40	27,12	19,43	23,102
Наибольшая высота выступов профиля R_{max} , нм	63,07	331,15	119,14	119,14	228,23	172,146
Наибольшая высота впадин профиля R_{min} , нм	-130,24	-32,70	-43,22	-40,88	-83,98	-66,204
Максимальное значение перепада высот R_y , нм	193,31	363,87	162,36	160,22	312,21	238,394
<i>Нестандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднее отклонение профиля R_q , нм	20,29	36,78	36,05	32,82	26,41	30,47
Параметр асимметрии R_{sk}	0,42	0,87	0,83	0,83	0,93	0,776

4. Результаты измерений параметров шероховатости углеродного волокна марки УОЛ-300 с помощью атомно-силового микроскопа

Характеристики шероховатости	Количество измерений					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
<i>Стандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднеарифметическое отклонение профиля R_a , нм	6,01	10,11	16,06	7,9	14,64	10,944
Наибольшая высота выступов профиля R_{max} , нм	13,0	20,85	41,38	20,42	28,93	24,916
Наибольшая высота впадин профиля R_{min} , нм	-16,34	-23,65	-36,67	-16,23	-20,08	-22,594
Максимальное значение перепада высот R_y , нм	29,34	44,5	78,25	36,65	49,01	47,55
<i>Нестандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднее отклонение профиля R_q , нм	7,29	11,82	19,45	9,35	16,89	12,96
Параметр асимметрии R_{sk}	0,25	0,23	0,5	0,07	0,14	0,238

5. Результаты измерений параметров шероховатости углеродного волокна марки SAATI с помощью атомно-силового микроскопа

Характеристики шероховатости	Количество измерений					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
<i>Стандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднеарифметическое отклонение профиля R_a , нм	86,63	52,12	40,88	94,9	45,5	64,006
Наибольшая высота выступов профиля R_{max} , нм	11155,7	11398,1	11396,4	10897,6	11426,2	11254,8
Наибольшая высота впадин профиля R_{min} , нм	10259,8	10761,5	10835,7	10122	10850,9	10565,98
Максимальное значение перепада высот R_y , нм	895,92	636,6	560,67	775,6	575,27	688,812
<i>Нестандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднее отклонение профиля R_q , нм	10500,5	10868	11008,9	10303	10987,5	10733,58
Параметр асимметрии R_{sk}	1,73	2,56	0,93	1,71	1,63	1,712

6. Результаты измерений параметров шероховатости углеродного волокна марки Tenax с помощью атомно-силового микроскопа

Характеристики шероховатости	Количество измерений					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
<i>Стандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднеарифметическое отклонение профиля R_a , нм	11,94	28,22	28,09	11,14	19,68	19,814
Наибольшая высота выступов профиля R_{max} , нм	28,69	69,86	92,76	30,63	54,03	55,194
Наибольшая высота впадин профиля R_{min} , нм	-44,28	-73,95	-67,5	-26,44	-34,02	-49,238
Максимальное значение перепада высот R_y , нм	72,98	143,82	160,26	57,07	88,3	104,486
<i>Нестандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднее отклонение профиля, R_q , нм	14,85	32,25	35,08	13,37	23,4	23,79
Параметр асимметрии R_{sk}	0,73	0,97	0,34	0,14	0,84	0,604

пазоне от 63,07 до 331,15 нм, т.е. более чем в пять раз.

Аналогичный высокий разброс данных был получен и для другого отечественного

углеродного волокна марки УОЛ-300, для которого величина наибольшей высоты выступов профиля изменялась в диапазоне от 13 до 41,38 нм, т.е. более чем в три раза. В отли-

7. Результаты измерений параметров шероховатости углеродных волокнистых наполнителей с помощью атомно-силового микроскопа

Характеристики шероховатости	Марки углеродных волокнистых наполнителей					
	Элур	HTS-45	ЛУП	УОЛ-300	SAATI	Tenax
<i>Стандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднеарифметическое отклонение профиля R_a , нм	111,282	13,836	23,102	10,944	64,006	19,814
Наибольшая высота выступов профиля R_{max} , нм	276,832	35,854	172,146	24,916	11254,8	55,194
Наибольшая высота впадин профиля R_{min} , нм	-249,072	-42,852	-66,204	-22,594	10565,98	-49,238
Максимальное значение перепада высот R_y , нм	590,794	78,708	238,394	47,55	688,812	104,486
<i>Нестандартизованные параметры шероховатости</i>						
Среднее отклонение профиля R_q , нм	109,556	16,954	30,47	12,96	10733,58	23,79
Параметр асимметрии R_{sk}	0,336	0,464	0,776	0,238	1,712	0,604

чие от волокон марок ЛУП и УОЛ-300, другое отечественное углеродное волокно марки Элур имело сравнительно небольшой разброс данных для различных измерений, который соизмерим с разбросом данных в партии из пяти измерений для исследованных импортных углеродных волокон марок HTS-45, Tenax и SAATI.

В меньшей степени был получен разброс данных (в серии из пяти опытов) для такого нестандартизованного параметра шероховатости, как среднее отклонение профиля R_q . Его величина для всех исследованных марок углеродных волокон не превысила 2,5 раз. Таким образом, если количество повторно проводимых опытов не велико, то в качестве показателя, наиболее точно характеризующего шероховатость поверхности углеродных волокон, целесообразно использовать величину R_q .

Для удобства анализа полученных результатов средние значения всех испытанных марок углеродных волокон приведены в табл. 7. Как следует из полученных данных, наименьшее значение шероховатости имеют углеродные волокна марок УОЛ-300, ЛУП и Tenax. Наибольшая шероховатость у волокна марки Элур.

Таким образом, по результатам оценки характера профилограммы и по данным пара-

метрической оценки профиля, наибольшей шероховатостью отличается углеродное волокно марки Элур.

Разработанная методика позволяет проводить селекцию углеродных волокон по характеристике шероховатости.

Отдельные результаты работ получены при финансовой поддержке по ГК 14.513.11.0011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нелюб В.А., Александров И.А. Оценка шероховатости поверхностей углеродных волокон с помощью атомно-силового микроскопа // Комментарии к стандартам, ТУ сертификатам. 2013. № 4. С. 22—25.
2. Нелюб В.А., Александров И.А., Малышева Г.В., Прозоровский А.А. Исследование параметров состояния поверхности углеродных волокон // Энциклопедия инженера-химика. 2013. № 5. С. 34—38.
3. Качество машин: Справочник. Т. 1. Суслов А.Г., Браун Э.Д., Виткевич Н.А. и др. М.: Машиностроение, 1995. 256 с.
4. Баурова Н.И. Динамика процессов разрушения полимерных композиционных материалов // Энциклопедия инженера-химика. 2013. № 2.
5. Петрова Л.Г., Чудина О.В. Применение методологии управления структурообразованием для разработки упрочняющих технологий // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010. № 5. С. 31—41.