

Явления структурообразования полиолефинов при введении технических шлифпорошков алмазов природного происхождения

Е. Ю. Шиц, В. В. Корякина

Исследованы структуры новых износостойких композиционных материалов на основе полиолефинов и технических порошков природных алмазов (ППА). Установлено, что структурно-фазовый отклик на введение алмазных частиц высоких степеней дробления у карбоцепных перфторированного и нефторированного полиолефинов различный. Так, в зависимости от качественно-количественного состава композитов, технологических условий их получения, аморфно-кристаллическая полимерная основа формирует различные структурные типы — от ленточной, без явных надмолекулярных структур, до сферолитной.

Ключевые слова: политетрафторэтилен (ПТФЭ), сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), порошки природных алмазов (ППА), композиционный алмазосодержащий материал, полиолефины, структура композитов, физическая модификация, сферолиты, износостойкость.

Structure investigations of new wear-resistant composite materials based on polyolefins and industrial natural diamond powders are conducted. It is proved by experiments that the structural-phase response to the introduction of diamond particles with high degrees of fragmentation at the carbon-chain — perfluorinated and nonfluorinated polyolefins is different. Thus depending on the qualitative and quantitative composition of the composites, the technological conditions of their production, the amorphous-crystalline polymer forms the basis of different structural types — from the band with no apparent supramolecular structures to spherulitic.

Key words: polytetrafluorethylene (PTFE), ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE), natural diamond powder (NDP), diamond containing composite, polyolefins, composite structure, physical modification, spherulites, wear resistance.

Введение

Всемерное применение суперсовременных материалов при создании машин, сложных приборов, надежного и долговечного технологического оборудования тесно связано с разработкой и применением высокопроизводительного и ресурсосберегающего обрабатывающего инструмента.

В области создания абразивных инструментов принципиально новыми полимерами являются политетрафторэтилен (ПТФЭ) и сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) [1, 2]. Ценное сочетание таких свойств и характеристик, как низкий коэффициент трения, широкий рабочий интервал температур эксплуатации, стойкость к большинству агрессивных сред, высокие твердость, ударопрочность и

износостойкость у СВМПЭ, а кроме того доказанная возможность в сотни раз повысить эти характеристики проведением физической модификации — у ПТФЭ, его термостойкость, позволяют считать эти полимеры достаточно перспективными в качестве основы материалов инструментального назначения. Однако, создание композиционных алмазосодержащих материалов как на основе ПТФЭ, так и СВМПЭ сопряжено с получением грубогетерогенного, дефектного материала при введении значительного количества дисперсных, твердых, абразивных и химически инертных частиц в полимеры, каждый из которых обладает низкой адгезией вообще и посредственными капиллярными свойствами по отношению к алмазу. Как правило, за счет слабого крепления абразивных зерен в полимере, значительная часть их

выкрашивается в процессе обработки из матрицы основы, в результате чего снижается производительность и увеличивается расход алмазов. Поэтому, в процессе создания шлифовальных инструментов особенно важно изучение структуры алмазосодержащего композита и явлений, протекающих на границе раздела поверхностей алмаза и полимера-основы.

Взаимосвязь структурных характеристик с искомыми свойствами композитов триботехнического назначения на основе ПТФЭ и СВМПЭ, наполненных активными дисперсными, ультрадисперсными, в том числе, искусственными алмазоподобными и даже нанонаполнителями, достаточно хорошо изучена и имеет довольно прочный теоретический фундамент [3 – 5]. Однако эти исследования не позволяют с достаточной степенью достоверности прогнозировать последствия наполнения аморфно-кристаллической матрицы с низкой адгезионной активностью типичными кристаллами ковалентного типа с микрометровой размерностью.

Цель исследования — изучение влияния ППА различной зернистости и концентрации на структурную морфологию полиолефинов, отличающихся строением и способом переработки.

Методики эксперимента

В исследовании были использованы: СВМПЭ производства ОАО “Томскнефтехим” (ТУ 6-05-18-96–80) с молекулярной массой 4 – 5 млн., средними размерами частиц порошка 50 – 150 мкм, плотностью не менее 935 – 937 кг/м³; ПТФЭ производства ООО “Завод полимеров Кирово-Чепецкого химического комбината им. Б.П. Константинова” (фторопласт-4, ГОСТ 10007-80) плотностью 2150 – 2190 кг/м³; классифицированные технические шлифпорошки природных алмазов месторождений республики Саха (Якутия) 6-ой категории XXI группы (тип А1), узких диапазонов зернистостей: 125/100, 80/63, 50/40 мкм, с плотностью 3,49 – 3,54 г/см³ (ГОСТ 9206–85). Зернистость абразива в значительной мере определяет производительность процесса шлифования и качество обработанных поверхностей. Так, грубую обработку (резка, обдирка) производят инструментом, содержащим абразивный материал зернистостью от 400 до 150 мкм, в операциях предварительного и окончательного шлифования используют порошки размерами от 125 до 60 мкм, а при тонкой обработке (полирование, хонингование, суперфиниширование) микропорошки с размерами частиц от 40 до 7 мкм. Инструмент на основе ПТФЭ и СВМПЭ, с учетом свойств полимеров, предназначен

для применения в процессах предварительной обработки, поэтому при его создании использовали шлифпорошки природных алмазов указанных зернистостей.

Для достижения искомого технического результата, в композиционный алмазосодержащий материал на основе ПТФЭ, вводили наполнитель органической природы — флуорекс-1510, который получают из отходов переработки нефти (ТУ 3840140–88); в качестве ультрадисперсного наполнителя неорганической природы — β-сиалон с общей формулой $\text{Si}_{6-x}\text{Al}_x\text{O}_x\text{N}_{8-x}$, где $x=0,8-4$ (ТУ 88 Латв. ССР 0140–91). Алмазный природный шлифпорошок и наполнители, отдельно от полимеров, не подвергали технологическому воздействию.

Исследуемые полимерные образцы содержали в своей основе 20, 30, 40 и 50 масс.% ППА.

Инструментальные образцы для испытаний были изготовлены в соответствии разработанной технологией переработки композиций на основе термопластов, характеризующихся отсутствием вязкотекучего состояния и значительным содержанием твердой фазы — алмазных частиц, каждая из которых обладает исключительной абразивной способностью. Таким образом, для получения образцов из алмазосодержащего ПТФЭ использовали процесс холодного прессования с последующим свободным спеканием, а для СВМПЭ — процесс спекания под давлением (горячее прессование) [6].

Для исследования структурирующего влияния ППА на ПТФЭ и СВМПЭ были использованы методы рентгеновской дифракции и сканирующей электронной микроскопии. Рентгеноструктурный анализ проводили на рентгеноспектрометре ДРОН-2, по схеме Брегга-Брентано (CuK_α -излучение, напряжение 30 кВ, ток 20 мА), а также на сканирующем дифрактометре фирмы Bruker (зонд диаметром 200 мкм). По полученным дифрактограммам была проведена идентификация рентгенографических максимумов, соответствующих полимерам и алмазным порошкам, а также рассчитаны углы дифракции (2θ) и межплоскостные расстояния (D). Определение межплоскостного расстояния проводили по таблице Гиллера, эффективный размер полимерных кристаллитов рассчитывали по формуле Шеррера.

Исследование морфологической структуры образцов осуществляли на растровом электронном микроскопе XL-50 “Phillips” в режиме вторичных электронов. Образцы композитов готовили методом низкотемпературного скола: для чего опытный образец охлаждали в жидком азоте, а затем скалывали. Реплики с поверхности скола получали путем напыления золота в вакууме.

Результаты и обсуждение

На полученных рентгеновских спектрах всех исследованных образцов алмазосодержащих композитов четко проявляются три типа рефлексов: от кристаллической и аморфной фаз полимера, и от алмазной кристаллической решетки (рис. 1).

При сравнении дифрактограмм самих полимеров и композитов на их основе установлено, что введение ППА в любую из матриц не влияет на вид характерной дифрактограммы, а происходит лишь комбинирование алмазных рефлексов с дифрактограммой полимера-основы. При изменении состава и последовательном увеличении концентрации алмазов снижаются интенсивности идентифицированных пиков полимерной составляющей композита.

Установлено, что при введении алмазных частиц как в ПТФЭ, так и в СВМПЭ, во всем диапазоне исследуемых концентраций алмазного наполнителя,

рентгеновские дифракционные рефлексы кристаллической фазы полимера не имеют расширений, и полуширины дифракционных пиков остаются неизменными.

Рассчитано, что эффективные размеры полимерных кристаллитов — наименьших упорядоченных элементов макромолекул ПТФЭ, СВМПЭ не зависят от отсутствия или присутствия в системе алмазного наполнителя и равны, соответственно, 56 ± 5 нм для ПТФЭ и 31 ± 5 нм для СВМПЭ. Таким образом, размеры кристаллитов — основных структурных блоков из которых формируются более крупные надмолекулярные образования, остались не разрушенными в результате технологической переработки алмазосодержащих полимерных матриц.

Свойства композиционных полимерных материалов, в том числе алмазосодержащих, предопределяются как индивидуальными свойствами компонентов, так и характером связи между ними. Реша-

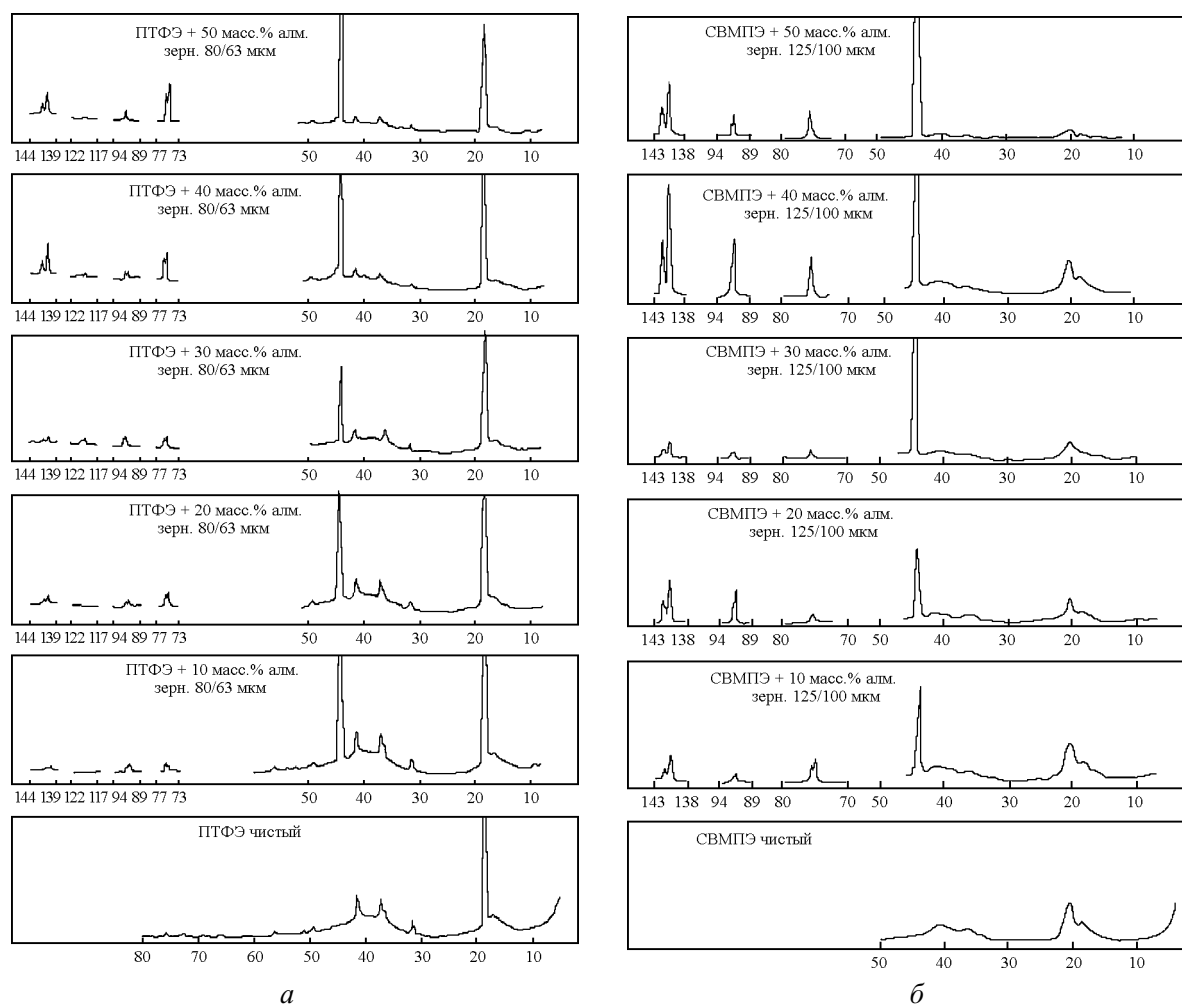


Рис. 1. Дифрактограммы: *а* — ПТФЭ и композитов на его основе, содержащих ППА зернистостью 80/63 мкм; *б* — СВМПЭ и композитов на его основе, содержащих ППА зернистостью 125/100 мкм.

Таблица 1

Углы дифракции (2θ) и межплоскостные расстояния (D) пиков полимеров и алмазосодержащих композитов на их основе

Состав композита	2θ , град.	D , Å	Состав композита	2θ , град.	D , Å
ПТФЭ	16,7	5,2	СВМПЭ	19,1	4,6
	18,1	4,9		20,4	4,3
ПТФЭ + 10 масс.% ППА* (80/63 мкм)	16,7	5,2	СВМПЭ + 10 масс.% ППА (125/100 мкм)	19,0	4,6
	18,1	4,9		20,4	4,3
ПТФЭ + 20 масс.% ППА (80/63 мкм)	16,7	5,2	СВМПЭ + 20 масс.% ППА (125/100 мкм)	19,1	4,6
	18,1	4,9		20,4	4,3
ПТФЭ + 30 масс.% ППА (80/63 мкм)	16,6	5,2	СВМПЭ + 30 масс.% ППА (125/100 мкм)	19,1	4,6
	18,1	4,9		20,4	4,3
ПТФЭ + 40 масс.% ППА (80/63 мкм)	16,7	5,2	СВМПЭ + 40 масс.% ППА (125/100 мкм)	19,1	4,6
	18,1	4,9		20,4	4,3
ПТФЭ + 50 масс.% ППА (80/63 мкм)	16,7	5,2	СВМПЭ + 50 масс. % ППА(125/100мкм)	19,1	4,6
	18,1	4,9		20,4	4,3

*в скобках указана зернистость ППА.

Таблица 2

Степень кристалличности ПТФЭ, СВМПЭ и алмазосодержащих композитов на их основе

Концентрация ППА, масс. %	Степень кристалличности, %			
	ПТФЭ + ППА (80/63 мкм)	ПТФЭ + ППА (125/100 мкм)	СВМПЭ + ППА (80/63 мкм)	СВМПЭ + ППА (125/100 мкм)
0	51	51	28	28
10	48	47	62	28
20	53	48	65	31
30	54	57	71	32
40	63	60	70	28
50	56	54	64	29

ющую роль в обеспечении прочности, повышении алмазоудержания в композите играет наличие химических связей между частицами абразива и полимером-основой. Как правило, смещенные углы и изменение межплоскостных расстояний свидетельствует о наличии химического взаимодействия между элементами композита. Расчет (табл. 1) показал, что величины углов дифракции и межплоскостные расстояния в обоих полимерах, при введении ППА остаются практически неизменными, что свидетельствует о полном сохранении индивидуальных особенностей каждого компонента композита и отсутствии между ними химической связи.

Таким образом, удержание в ПТФЭ, СВМПЭ алмазных шлифпорошков фактически обеспечивается механическим “охватом” их зерен полимером. Отсутствие между ПТФЭ, СВМПЭ и ППА адгезионных связей химического типа и, как следствие, слабое алмазоудержание компенсируется наличием равномерной плотной структуры композита, формируемой температурно-силовыми параметрами процессов их переработки [6].

Как правило, о структурированности композита можно судить по уровню кристаллизации полимерной матрицы, показателем которой является

степень кристалличности. Результаты расчетов степени кристалличности ПТФЭ и СВМПЭ в чистом виде, и в алмазных композитах приведены в табл. 2.

Установлено, что в ходе технологического процесса переработки объем закристаллизованного ПТФЭ достигает 50% и более. Если введение алмазных частиц любой зернистости в ПТФЭ не приводит к существенным изменениям степени кристалличности полимера, то введение в СВМПЭ алмазных порошков малой зернистости ведет к резкому увеличению его степени кристалличности (табл. 2). Причем эффективность роста кристаллической фазы СВМПЭ в случае использования мелких алмазов выше, чем при введении алмазного порошка любых размеров в ПТФЭ. Разные показатели степени кристалличности ПТФЭ и СВМПЭ, помимо их различия на молекулярном уровне, могут также объясняться технологическими особенностями получения композитов на их основе.

С целью более детального исследования кристаллического профиля композитов были получены лауэграммы на дифрактометре фирмы Bruker в областях непосредственного контакта полимера с алмазным зерном и на расстоянии 60 – 80 мкм от алмаза.

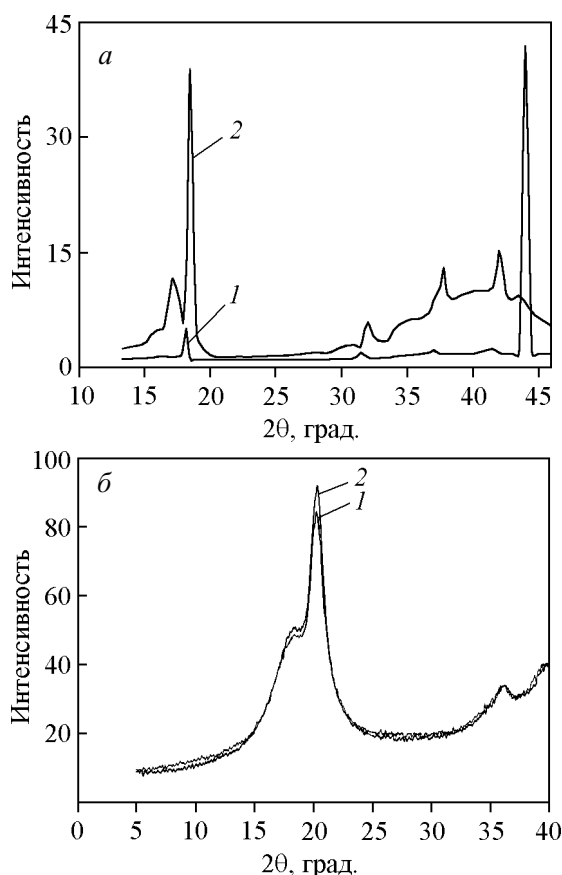


Рис. 2. Дифрактограммы композитов на основе: *а* – ПТФЭ (1 – область ПТФЭ, 2 – область на границе ПТФЭ и алмаза), *б* – СВМПЭ (1 – область СВМПЭ, 2 – область на границе СВМПЭ и алмаза), в областях с алмазными частицами и без них (на одних и тех же образцах).

На рис. 2*а* видно, что при появлении рефлексов Лауэ от монокристалла алмаза наблюдается и изменение дифрактограммы ПТФЭ. В интервале $2\theta = 30 - 50^\circ$, на границе ПТФЭ и алмазного зерна наблюдаются интенсивные кристаллизационные пики полимера на фоне аморфного гало, что типично для термически обработанного ПТФЭ [7]. Внутри полимера в данной области дифрактограммы происходит увеличение интенсивности сигнала аморфной фазы, на фоне которого сигналы кристаллизационных пиков слабеют. Таким образом, область вокруг алмазных частиц отличается повышенной кристалличностью, а значит большей упорядоченностью макромолекул ПТФЭ, чем в области самого полимера.

Анализ кристаллического профиля алмазосодержащего композита на основе СВМПЭ показал, что структура полимера в композите практически однородна. Кристалличность полимера в области непосредственного контакта с алмазным зерном и в

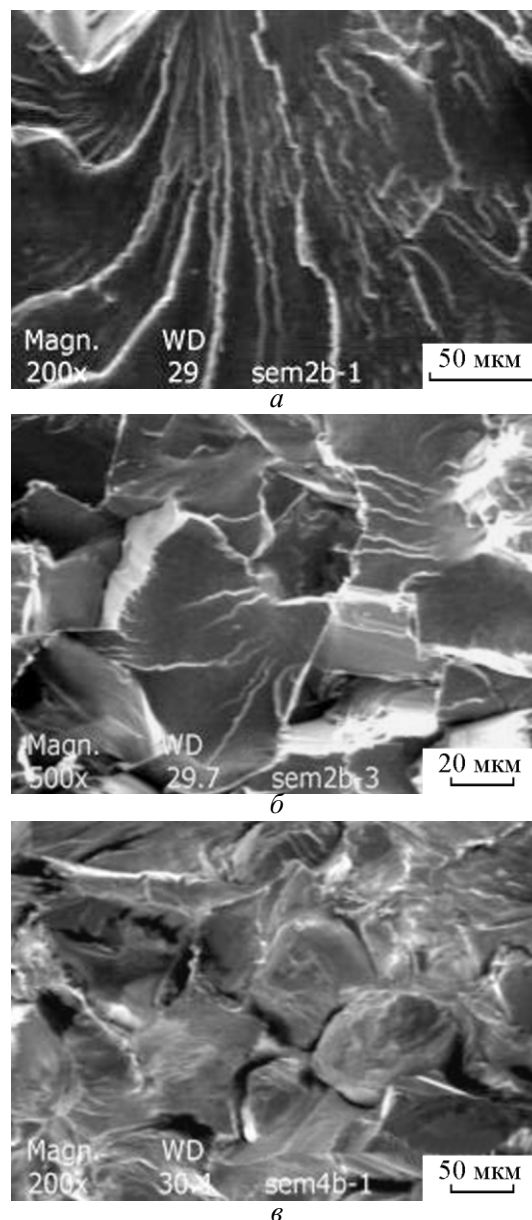


Рис. 3. Поверхности скола: *а* – СВМПЭ, *б* – СВМПЭ + 40 масс. % ППА (63/50 мкм), *в* – СВМПЭ + 40 масс. % ППА (125/100 мкм).

массе полимера (на расстоянии съемки) одинакова (рис. 2*б*).

Установлено, что зерна природных алмазов локализованы в исследуемых полиолефинах, но не связаны друг с другом. Надмолекулярные образования СВМПЭ имеют вид разупорядоченных сферолитов фибриллярного характера, рост которых начинается преимущественно на поверхности алмазных зерен (рис. 3). В табл. 3 представлены результаты измерения средних линейных размеров сферолитных образований СВМПЭ в алмазосодержащем компо-

Таблица 3

Средние линейные размеры сферолитных образований СВМПЭ в алмазосодержащем композите на его основе, мкм

Образец	Средние линейные размеры сферолитных образований (мкм) при концентрации ППА, масс. %			
	0	20	30	40
СВМПЭ + ППА (125/100 мкм)	300	150	80	60
СВМПЭ + ППА (63/50 мкм)	300	150	90	50

зите. Показано, что средние линейные размеры сферолитных структур СВМПЭ уменьшаются при повышении концентрации алмазного наполнителя.

Исследованиями установлено, что наиболее упорядоченной структурой с относительно оформленным строением сферолитов характеризуются композиты, содержащие в своей основе 20 масс.% алмазных шлифпорошков. Морфология полимерных макромолекул образцов, содержащих 30 масс.% алмазного наполнителя, имеет сферолитоподобный характер. Введение 40 масс.% ППА крупной зернистости приводит к значительному уменьшению размеров сферолитных образований, тогда как использование мелкозернистого порошка приводит к образованию более плотной и хрупкой структуры с высокой степенью кристалличности. Таким образом, рост удельной поверхности алмазного порошка, как за счет увеличения его концентрации, так и уменьшения зернистости ППА, приводит к нарушению формы надмолекулярных образований и уменьшению размеров сферолитных структур, а также повышению степени кристалличности СВМПЭ.

На рис. 4 представлены поверхности скола ПТФЭ и алмазосодержащего композита на его основе. Видно, что структура ПТФЭ и структура полимера, содержащего частицы алмазного наполнителя, идентичны. При введении ППА в ПТФЭ не происходит видимых морфологических изменений. Полимерная матрица лишь “охватывает” каждое алмазное зерно путем формирования слабо развитого межфазного слоя. Таким образом, для закристаллизованного из расплава алмазосодержащего ПТФЭ, так и для чистого полимера, сферолитная структура, характерная для большинства термопластов, нетипична. Показано, что в присутствии микрометровых алмазных частиц природного происхождения ПТФЭ кристаллизуется с образованием надмолекулярных структур типа “лент”, состоящих из определенного количества ламелей.

На основании проведенных исследований можно представить, что гипотетическая модель структуры

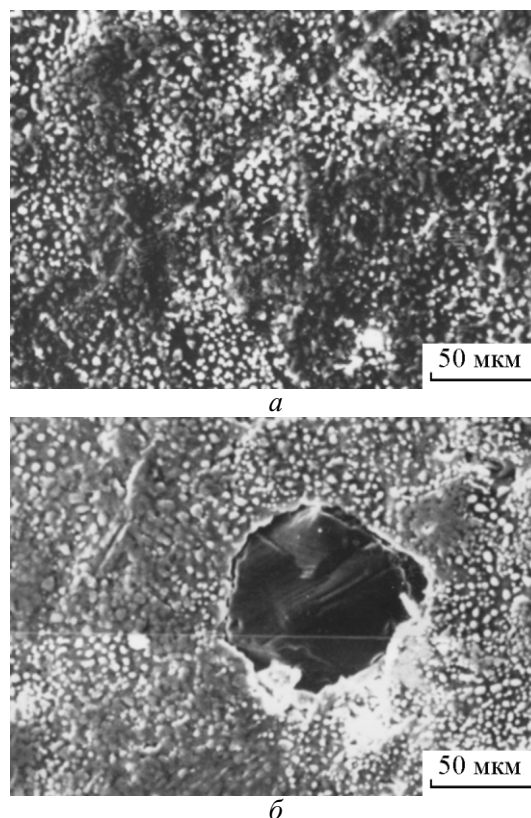


Рис. 4. Поверхности скола: а — ПТФЭ, б — алмазосодержащий композит на основе ПТФЭ.

алмазосодержащих композитов на основе ПТФЭ и СВМПЭ будет включать кристаллическую и аморфную фазы полимера, фазу алмазного наполнителя и мезофазу — межфазный слой, образующийся на границе раздела фаз полиолефин — алмазный наполнитель и обладающий высокой кристалличностью. Однако, ввиду различий технологии переработки композитов, строения и структуры используемых полимеров, рост надмолекулярных образований осуществляется различным путем: ПТФЭ формирует скрытокристаллическую ленточную структуру с тонкой межфазной зоной вокруг алмаза с высокой степенью упорядоченности, а СВМПЭ, локализуясь на поверхности алмаза, формирует сферолиты, которые растут и нагромождаются друг на друга. Поэтому увеличение концентрации используемых ППА приводит к возрастанию, но в разной степени, кристалличности полимеров. Основное отличие структурных моделей заключается в том, что СВМПЭ, по сравнению с ПТФЭ, формирует более мощный межфазный слой, который простирается далеко вглубь материала, что и обуславливает его кажущееся отсутствие на лауэграммах.

Тем не менее, основным структурирующим агентом в композитах на основе ПТФЭ и СВМПЭ

Таблица 4

Триботехнические свойства алмазосодержащих композиций на основе модифицированного ПТФЭ

Состав композиции, масс.%	Износ при обработке, мг		Шероховатость, мкм		Коэффициент трения $f_{тр}$ (по стали)
	стали	минерала	стали	минерала	
ППА-40, Флуорекс-3, β -сиалон-2, ПТФЭ-55	11,5	1,9	0,43	0,45	0,40
ППА-40, Флуорекс-5, β -сиалон-2, ПТФЭ-53	8,5	1,5	0,36	0,4	0,36
ППА-40, ПТФЭ-60	14,0	5,0	0,42	0,5	0,42

выступает поверхность сколотого алмаза, как правило, обладающая избытком поверхностной энергии, на которой, при отсутствии химического взаимодействия происходит эпитаксиальный рост полимерных надмолекулярных структур. Это означает, что для наиболее эффективной реализации функционального назначения подобных систем будет особенно важен тщательный выбор зернистости и концентрации абразивного наполнителя.

Действительно, износостойкость инструментов на основе ПТФЭ и СВМПЭ можно повысить правильным выбором концентрации и зернистости ППА [2], а также введением структурирующих наполнителей. Применение комбинированного наполнителя в алмазосодержащем ПТФЭ позволило упрочнить композит, повысить износостойкость, триботехнические и эксплуатационные показатели (табл. 4). Так, модифицированный алмазосодержащий материал на основе ПТФЭ обладает в 1,5 – 3 раза большей износостойкостью и более низким (в 1,2 – 1,3 раза) коэффициентом трения ($f_{тр}$) при лучшем качестве обрабатываемых поверхностей различной природы, что можно объяснить упрочняющим действием органического наполнителя, повышающего адгезию между элементами структуры алмазосодержащего композита. По-видимому, алмазная частица, введенная в такую матрицу “цементируется” надмолекулярными элементами композита и олигомерной добавкой.

Показатели износостойкости СВМПЭ высоки сами по себе и, по сравнению с лучшим составом на

основе ПТФЭ, алмазный композит на основе СВМПЭ имеет в 4 раза меньший износ по стали (табл. 5), следовательно, проведение модификации полимера на данном этапе исследований оказалось нецелесообразным.

Таким образом, несмотря на то, что сформированная структура матриц на основе ПТФЭ и СВМПЭ не является оптимальной с точки зрения их способности удерживать алмазные зерна, проведенными исследованиями показана принципиально новая возможность практического применения полиолефинов в качестве основы износостойких алмазосодержащих материалов инструментального назначения [8, 9].

Заключение

Впервые определен структурный отклик, карбоцепных перфторированного и нефторированного полиолефинов, отличающихся способом переработки, на введение значительного количества дисперсной фазы в виде сверхтвердых, химически инертных частиц ППА высоких степеней дробления. Установлено, что при введении ППА в исследованных полимерах образуются различные структуры — от ленточной до сферолитной, а взаимодействие компонентов при установленном отсутствии между ними химической связи, фактически осуществляется посредством механического охвата полимерами алмазных зерен.

Литература

1. Адрианова О.А., Попов С.Н., Шиц Е.Ю. Перспективы создания абразивного инструмента на основе самосмазывающихся полимеров и алмазов различной дисперсности. Трение и износ, 1998, т. 19, № 1, с. 71 – 74.
2. Шиц Е.Ю., Семенова Е.С., Охлопкова А.А. Исследование триботехнических и эксплуатационных характеристик алмазосодержащих материалов на основе СВМПЭ и ПТФЭ. Трение и износ, 2008, т. 29, № 1, с. 64 – 68.
3. Охлопкова А.А., Виноградов А.В., Пинчук Л.С. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями. Гомель: ИММС им.В.А.Белого, 1999, 162 с.

Триботехнические свойства алмазосодержащих композиций на основе СВМПЭ и модифицированного ПТФЭ

Состав композиции, масс.%	Износ при обработке стали, мг	Шероховатость стали, мкм	Коэффициент трения $f_{тр}$ (по стали)
Алмазный порошок-30, СВМПЭ-70	2,0	0,27	0,42
Алмазный порошок-40, Флуорекс-5, β -сиалон-2, ПТФЭ-53	8,5	0,40	0,36

4. Охлопкова А.А., Гоголева О.В., Шиц Е.Ю. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и ультрадисперсных соединений. Трение и износ, 2004, т. 25, № 2, с. 202 – 206.
5. Адрианова О.А., Семенов Я.С., Демидова Ю.С., Виноградов А.В. Влияние высокодисперсных наполнителей на структуру и износостойкость политетрафторэтилена. Механика композитных материалов, 1991, № 4, с. 599 – 603.
6. Шиц Е.Ю., Семенова Е.С., Корякина В.В. Технологические аспекты создания абразивного инструмента на алмазосодержащей полимерной основе. Химическая технология, 2010, № 11, с. 677 – 683.
7. Бузник В.М., Игнатъева Л.Н., Ким И.П., Кирюхин Д.П., Курявый В.Г., Меркулов Е.Г., Савченко Н.Н., Слободюк А.Б. Влияние термической обработки на строение фторполимерных продуктов, полученных из растворов теломеров тетрафторэтилена. Перспективные материалы, 2009, № 5, с. 69 – 77.
8. Патент РФ 2164522, МКИ C08J 5/14. Шиц Е.Ю., Охлопкова А.А., Соколова М.Д., Васильев А.А. Композиционный алмазосодержащий полимерный материал для абразивного инструмента. По заяв. №99116269/04; от 27.07.1999. Оpubл. 27.03.01. Бюл. № 9, 6 с.
9. Патент РФ №2326136. МКИ C08J 5/14. Шиц Е.Ю., Охлопкова А.А., Семенова Е.С. и др. Композиционный алмазосодержащий полимерный материал для абразивного инструмента. По заяв. № 2006109302/04 от 23.03.2006. Оpubл. 10.06.2008. Бюл. № 16, 3 с.

Статья поступила в редакцию 19.04.2011 г.

Шиц Елена Юрьевна — Институт проблем нефти и газа СО РАН (г. Якутск), кандидат технических наук, доцент, заведующая лабораторией. Специалист в области полимерного материаловедения. E-mail: l.u.shitz@ipng.ysn.ru.

Корякина Владилина Владимировна — Институт проблем нефти и газа СО РАН (г. Якутск), младший научный сотрудник. Специалист в области аналитических и структурных исследований, в том числе полимерных композиционных материалов.