

Александр Буря, Ольга Набережная, Светлана Сучилина-Соколенко

ИК-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ САМОАРМИРОВАННЫХ ОРГАНОПЛАСТИКОВ

Олександр Буря, Ольга Набережна, Світлана Сучиліна-Соколенко

ІЧ-СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ САМОАРМОВАНИХ ОРГАНОПЛАСТИКІВ

Aleksandr Burya, Olga Naberezhnaya, Svetlana Suchylina-Sokolenko

IR-SPECTRAL ANALYSIS OF SELF-REINFORCED ORGANOPLASTIC MATERIALS

Исследованы структурные превращения на молекулярном уровне в органопластиках методом ИК-спектроскопии. Показано влияние размера и количества волокна на взаимодействие его с полимерной матрицей. Определены наиболее сильные межполимерные связи и оптимальное содержание волокна в связующем – 10 мас. %, длиной 3 мм.

Ключевые слова: полимерная матрица, органическое волокно, органопластик, ИК-спектры, межполимерное взаимодействие.

Табл.: 2. Рис.: 4. Библ.: 7.

Досліджено структурні перетворення на молекулярному рівні в органопластиках методом ІЧ-спектроскопії. Показано вплив розміру і кількості волокна на взаємодію його з полімерною матрицею. Визначено найбільш сильні міжполімерні зв'язки та оптимальний вміст волокна у в'язучому – 10 мас. %, довжиною 3 мм.

Ключові слова: полімерна матриця, органічне волокно, органопластик, ІЧ-спектри, міжполімерна взаємодія.

Табл.: 2. Рис.: 4. Бібл.: 7.

The structural transformations at the molecular level in organoplastics by IR spectroscopy. The influence of the size and amount of fiber to its interaction with the polymer matrix. Identified the strongest mezhpolimernye communication and optimal fiber content in the binder - 10 wt. %, 3 mm in length.

Key words: polymer matrix, organic fiber, organic plastics, IR spectra, interpolymer interaction.

Tabl.: 2. Fig.: 4. Bibl.: 7.

Постановка проблемы. В последнее время развитие промышленной техники неразрывно связано с созданием новых материалов, наиболее перспективными среди которых являются материалы на полимерной основе, что связано с их высокими эксплуатационными показателями, зачастую превосходящими металлы и сплавы на их основе, а также экономичностью и экологической чистотой. В связи с возрастающими требованиями к эксплуатационным показателям и надежности деталей и конструкций различного назначения необходимо создание все новых и новых материалов, обладающих уникальным сочетанием характеристик [1]. Сочетание разнородных веществ приводит к созданию композитных материалов (КМ), свойства которых количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя и размером армирующих частиц, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств [2]. КМ, армированные органическими волокнами, – органопластики (ОП), где волокна, которые тем или иным способом распределяются в полимерной матрице, обладают высокими показателями физико-механических и триботехнических характеристик.

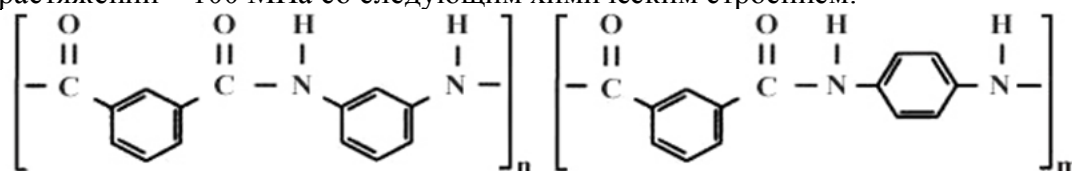
Анализ последних исследований и публикаций. Оценка характера связи между связующим и волокном является принципиально важной при изучении структурно-деформационных свойств. Существующие химические методы количественного анализа не позволяют определить содержание функциональных групп, связанных различными гидроксильными группами. Методы, основанные на выделении и анализе отдельных компонентов – наполнителей, дают только оценочную информацию [3]. Поэтому для изучения распределения функциональных групп в армированном ароматическом полиамиде перспективными являются спектральные методы. ИК-спектроскопия — один из наиболее плодотворных современных физических методов исследования межмолекулярного взаимодействия и химической связи с помощью колебательных спектров молекул [4].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. В настоящей работе был использован метод инфракрасной спектроскопии для определения мод колебаний ИК-спектров, возникающих в результате химического взаимодействия между атомами полиамидной матрицы и органического волокна.

Цель работы. Необходимый этап таких исследований - интерпретация спектров, т. е. установление формы нормальных колебаний, распределения колебательной энергии по степеням свободы, выделение значимых параметров, определяющих положение полос в спектрах и их интенсивности.

В качестве объектов исследования были выбраны:

- полимерная матрица для органопластиков – ароматический полиамид фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71), который представляет собой мелкодисперсный порошок с насыпной плотностью 0,2–0,3 г/см³ и удельной вязкостью 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5 % хлористого лития не менее 0,75, характеризующийся следующими свойствами: ударная вязкость – 20 кДж/м², твердость – 18 HRB, разрушающее напряжение при растяжении – 100 МПа со следующим химическим строением:



- армирующий компонент – органическое термостойкое волокно фенилон, с характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики волокна фенилон

Характеристика	Значение
Плотность, г/см ³	1,37–1,38
Толщина нити, текс	29 и 16,6
Прочность, гс/текс	45
Удлинение, %	15–20
Модуль упругости, ГПа	9–12
Относительная прочность, %	
в узле	90
в петле	95

Для получения КМ в емкость загружали навески порошкообразного фенилона и измельченного волокна, добавляли ферромагнитные частицы, изготовленных в виде цилиндров, диаметром 2 мм, длиной 15 мм. Емкость помещали во вращательное электромагнитное поле (0,12 Тл). Готовую смесь таблетировали при комнатной температуре и давлении 30 МПа. Таблетки загружали в пресс-форму, предварительно нагретую до 523 К, нагревали до 593–598 К и выдерживали при этой температуре 10 мин без давления и 10 мин под давлением 30 МПа. Для фиксации формы изделия охлаждали под давлением до температуры 523 К и дальше выталкивали из пресс-формы. Готовые изделия подвергали механической обработке, которая главным образом заключалась в зачистке изделий – удалении облоя. При необходимости с помощью различных методов обработки можно изменять форму изделий, повышать точность размеров.

Для осуществления ИК-спектрального анализа использовали ИК-спектрометр VERTEX 70 (Германия, фирма Bruker). Этот прибор открывает широчайшие возможности для решения сложных аналитических и исследовательских задач. Сбор данных осуществлялся с помощью двух 24-битных аналого-цифровых преобразователей, которые встроены в предусилитель детектора и работают параллельно. Передовая технология DiGiTest предотвращает появление помех и обеспечивает высокое соотношение си-

гнал/шум. В спектрометр устанавлювали спресований порошок включаючий 1 мг исследуемого вещества и 150 мг КВг (таблетка Ø13мм). Сканировали 16 раз и усредняли результат.

Результаты ИК-спектрального анализа и их интерпретация. ИК-спектры фенилона С-1 и волокна фенилон (рис. 1) различаются. В волокне фенилон есть первичные амино-группы, соединенные Н-связями. Амидные группы находятся в ассоциированной форме. Аналитические области: 1000 – 450 см⁻¹; 1700 – 1400 см⁻¹; 3550 – 2920 см⁻¹; 2850 – 1600 см⁻¹; 1200 – 1000 см⁻¹; 1000 – 450 см⁻¹; 3600 – 3000 см⁻¹; R₂ = [⊕]NH₂: ν(N-H)= 2700 – 2250 (с.ш.); ν(N-H)= 2000 (ср., может отсутствовать); R – NH₃[⊕]: ν(N-H)= 3000 (с.ш.); ν(N-H)= 2500(ср.); ν(N-H)= 2000(ср.); δ(N-H)= 1600 – 1575 (ср.) [5; 6; 7].

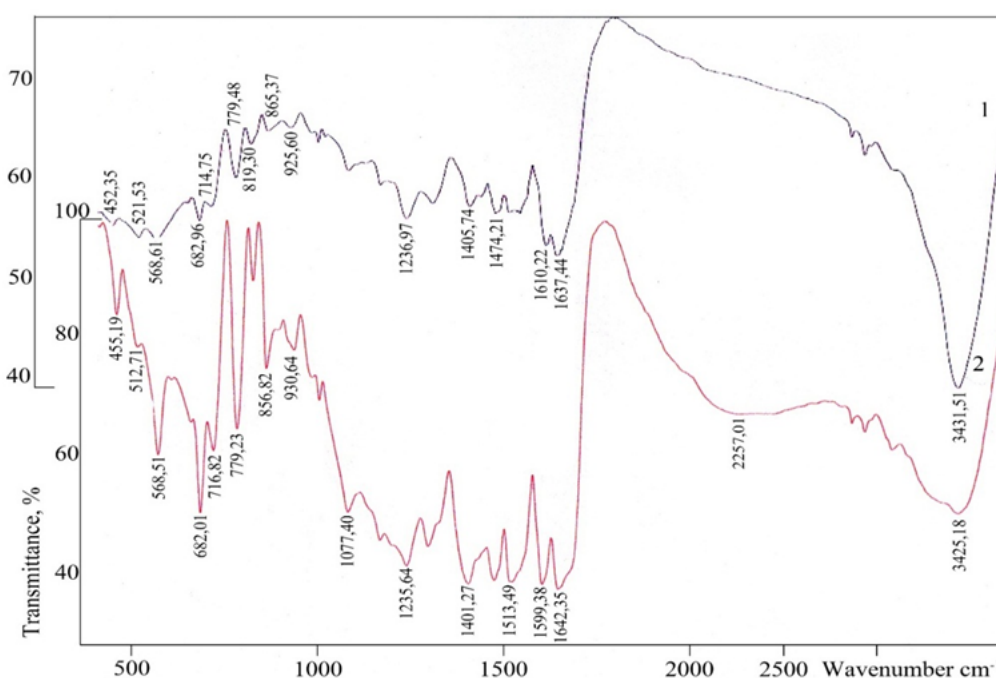


Рис. 1. ИК-спектры полимерного связующего фенилона С-1 и органического волокна фенилон

Таким образом, более реакционноспособным является волокно фенилон, содержащее:

- во-первых, ионные связи R – NH₃[⊕] и R – COO[⊖];

- во-вторых, системы кумулированных двойных, возможно: C = C = C, C = C = O,

–N = C = C, $\begin{matrix} O \\ \parallel \\ C \end{matrix}$, –N = C = O– связей, а также тройных связей по типу: –C ≡ C –, –C ≡ N, –[⊕]N ≡ C[⊖], N ≡ N[⊕] –;

- в-третьих, кето-енол-ениминные связи: $\begin{matrix} O \\ \parallel \\ -C = N - \\ | \\ O \end{matrix}$; $\begin{matrix} OH \\ | \\ -C = N - \end{matrix}$;

- в-четвертых, этерные и эстерные связи: $\begin{matrix} O \\ | \\ -C - N - \\ | \\ R \end{matrix}$, $\begin{matrix} O \\ \parallel \\ -C - O - CO - R \end{matrix}$ [5; 6; 7].

Поэтому, межцепные взаимодействия в КМ между волокном и пластиком на основе фенилона С-1 наиболее существенны со стороны волокна.

Количество и размер волокон наполнителя по отношению к матрице С-1 будет играть существенную роль. Аналитическое сравнение ИК-спектров волокна и КМ, содержащих 5 % волокна с различной длиной (1, мм) волокна фенилон и матрицы С-1 (рис. 2), представленной в табл. 2. Наибольший сдвиг ароматической полосы ν(C₆H₄)=1474,21см⁻¹ фенилона происходит в ИК-спектре при содержании 5 масс.% волокна длиной 1 мм (ν(C₆H₄)=1481,96 см⁻¹).

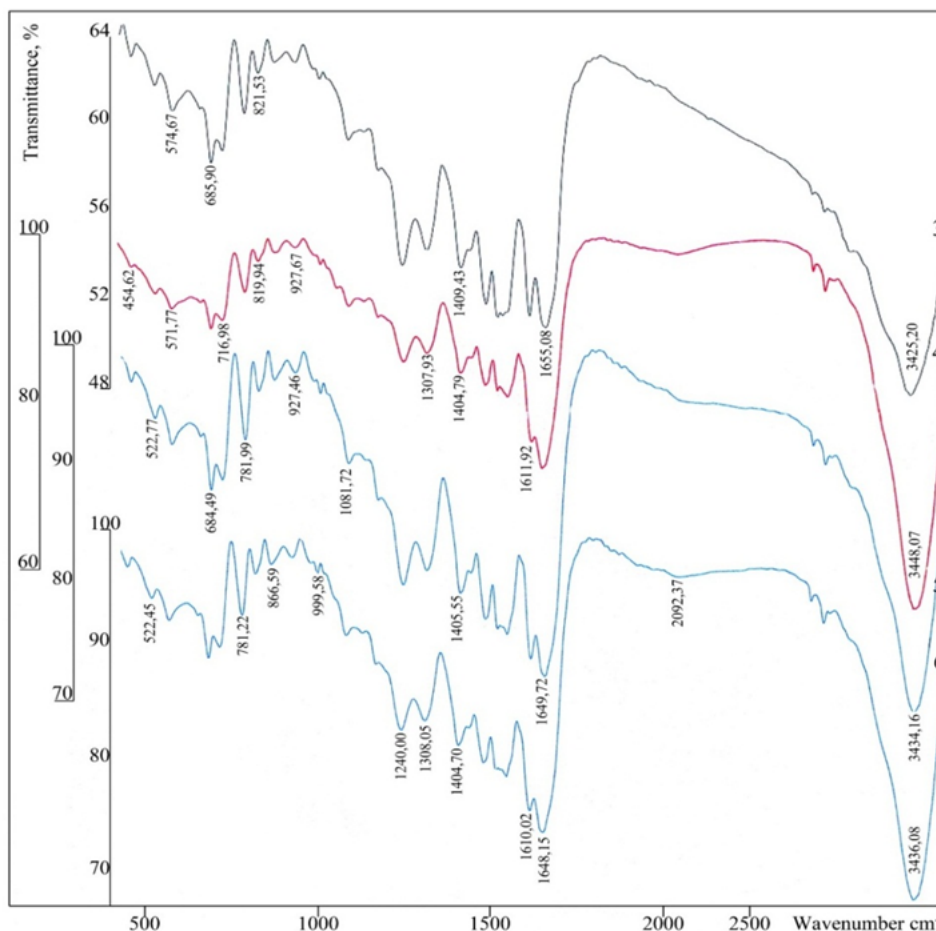


Рис. 2. ИК-спектры органопластиков, содержащих 5 мас.% волокна, длиной 1(3); 3(4); 5 (5); 7(6) мм

Появление новых полос при $1300\text{--}1308\text{ см}^{-1}$ (от слабой до средней интенсивности), $1082,22\text{ см}^{-1}$ (средняя, узкая), $981,74$ и $999,58$ (очень слабых, узких) свидетельствует о наличии связи $\text{C} - \text{O}$ в спиртах, этерах, карбоксильных остатках (например, в эстерах), а также $\nu(\text{C} - \text{N})$ в аминах и амидах ($\nu=1300\text{--}1000\text{ см}^{-1}$).

При сравнении ИК-спектра с содержанием 5 % волокна и длиной 1 мм со спектрами чистого фенилона наблюдается следующее:

- полоса в области колебаний $\nu(\text{N-H})$ групп сдвигается в более ближнюю область по сравнению с фенилоном; причем она становится значительно шире. Эти изменения свидетельствуют о взаимодействии волокна с полиамидной матрицей – возникновении межполимерных водородных связей;

- появление новых $1514,99$ (с., шир.) и $1481,96$ (ср.) полос свидетельствует об освобождении амидных связей в волокне от своих внутри полимерных H -связей, так как эти колебания соответствуют полосе Амид II, а также о возможном химическом взаимодействии с возникновением межполимерных связей $\text{N}=\text{N}$ в транс- ($1481,96\text{ см}^{-1}$) и цис- ($1514,99\text{ см}^{-1}$) – формах;

- появление полос в области Амид II свидетельствует также об образовании новых амидных (межполимерных) связей, а интенсивность полосы при 1515 см^{-1} может служить критерием межполимерного взаимодействия между волокном и матрицей. Отсутствие широкой полосы в ИК-спектрах (рис. 2 (4, 5)) ОП с 5 % волокна ($l = 3$ и 5 мм) в области $2700\text{--}1650\text{ см}^{-1}$ дает основание заключить, что активные центры матрицы и волокна находятся в наибольшем взаимодействии вблизи «эвтектической» точки.

Наиболее полное взаимодействие по типу образования эфирных связей для ОП с содержанием волокна 5 мас. % и длиной 3 и 5 мм (рис. 2).

Таблица 2

ИК-спектры самоармированных пластиков на основе матрицы фенилона C-1 * и волокна фенилон

№ п/п, ИК-спектра	Содержание и длина волокна фенилон (масс.%; ω%; и l, мм)	Амидные полосы, см ⁻¹			Колебания N-H (ср.) см ⁻¹ в областях:		Колебания замещения в бензольном кольце		Примечания
		Амид I (с.) ν(C=O) 1650 см ⁻¹ - ассоц. форма. 1690 см ⁻¹ - свободная форма	Амид II (с.) δ(N-H)=1640 см ⁻¹ - ассоц. форма. 1600 см ⁻¹ - свободная форма	Амид III (ср.сл.) ν(C-N) 1420-1405 см ⁻¹ ? 1300-1250 см ⁻¹ ν(C=N)	Ближней 3500-2500 см ⁻¹ , ν(N-H)	Дальней 900-450 см ⁻¹ , δ(N-H)	1,3- замещен- ный (мета-) 810- 750 см ⁻¹ и 710- 690 см ⁻¹	1,4- замещенный (пара-) 840-810 см ⁻¹	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1637,44 (ср. ш.) ассоц. форма с плечом	1610,22 (ср. узк.) ассоц. форма	1405,74 (с.); 1236,97 (с.)	3431,51 (оч.с. узк.)	925,60 (оч.сл.); 865,37 (оч.сл.); 714,75 (оч.сл.); 568,61 (оч.сл.); 521,53 (оч.сл.); 452,35 (оч.сл.);	779,48(сл.); 682,96(сл.);	819,30 (сл.узк.);	ν= 1474,21 см ⁻¹ , 1292,84 см ⁻¹ ; свидетельствует о наличии сопряжений между бенз. кольцом и (C=N) - Амид III в 1,4-замещении, эстерные связи ν (C-O) = 1080,94 см ⁻¹ **
2	100	1642,35 (с.) ассоц. и своб. форма	1599,36 (с.) свободная форма	1401,27 (сл.); 1235,64 (сл.)	3425,18 (с.,ш.) в обл. 2750- 1650 см ⁻¹	930,64 (сл.); 856,82 (сл.); 716,82 (ср.); 568,5 (ср.); 512,71 (сл.); 455,19 (сл.);	779,23 (ср.,узк.); 682,01 (ср.,узк.);		1513,49 (с.) карбоксилат- амид; 1077,40 (с.); 2257,01 (ср.,ш.)*** - что свидетельствует о наличии кратных связей, наличии первых -NH ₃ [⊕] - групп в протонир. состоянии
3	5(l=1 мм)	1655,08 (с.)	1608,02 (с.узк.)	1409,43 (ср.)	3425,20 (оч.с.,шир)	574, 67 (сл.), дублет 685,90(ср.)	781,87(ср.) 685,90(ср.узк. дублет)	821,53(сл.)	Возникают межполимерные Н-связи по NH ₂ -группам в пара-замещении;** новые полосы
4	5(l=3 мм) *	1642,20 (ср. ш.) с плечом	1611,92 (ср.,узк)	1404,79(сл. узк.); 1240,63 (ср. узк.)	3448,07 (оч.с., узк.) нет широкой полосы в обл. 2750-1650 см ⁻¹	927,67 (оч.сл.); 868,48 (оч.сл.); 781,28 (оч.сл.); 716,98 (оч.сл.); 571,77 (оч.сл.); 523,85 (оч.сл.); 454,32 (оч.сл.)	781,26 (сл.,узк.); 684,34 (сл.,узк.);	819,94 (сл., узк.)	1307,93 см ⁻¹ (сл.узк.) нет широкой полосы в обл. 2700-1650 см ⁻¹
5	5(l=5 мм)	1649,72 (с.узк.) с плечом	1609,26 (ср. узк.)	1405,55 (ср.узк.); 1240,17 (ср.узк.)	3434,16 (оч.с.,узк.) нет широкой полосы в обл. 2750-1650 см ⁻¹	927,46 (сл.,узк.); 866,87 (сл.,узк.); 781,99 (сл.,узк.); 717,01 (сл.,узк.); 572,19 (сл.,узк.); 522,77 (сл.,узк.); 453,72 (сл.,узк.);	781,99 (сл.,узк.); 684,49 (сл.,узк.);		1308,26 см ⁻¹ (ср. узк.), новая полоса 1081,72 см ⁻¹ (оч.сл.узк.), нет широкой полосы в обл. 2700-1650 см ⁻¹
6	5(l=7 мм)	1648,15 (с.узк.)	1610,02 (ср.узк.)	1404,70 (ср.узк.); 1240,00 (ср.узк.)	3436,08 (оч.с.,узк.) 2092,37 (оч.с.,ш.) появляется шир. полоса 2065,35	927,24 (оч.сл.); 866,59 (оч.сл.); 716,67 (оч.сл.); 571,67 (оч.сл.); 522,45 (оч.сл.); 452,74 (оч.сл.);	781,22 (сл.,узк.); 684,15 (сл.,узк.)	820,67 (оч.сл, узк.)	Новые полосы: 1308,05 (ср.узк.), 981,74 (оч.сл.); 999,58 (оч.сл.); 1082,22 (сл.узк.); 2092,37 (оч.сл.ш.) см ⁻¹ ; появляется оч.сл. полоса в обл. 2750-1650 см ⁻¹

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	10(1=1 мм)	1640,13 (ср. узк.)	-	1406,33 (оч. сл. ш.); 1242,32 (оч. сл.)	3465,25 (оч. сл. ш.) 2852,38 (оч. сл.) 2921,76 дублет появл. ш. поло- са 2065,35	866,84(оч. сл.); 715,44(оч. сл.); обл. 670- 573,46 - сл. ш., с тонкой структурой	780,48(оч. сл.); 684,43(оч. сл.);	818,4(оч. сл., узк.)	1542,55(сл. ш.); 1477,42; 1436,03 см ⁻¹ (оч. сл. ш., - дублет); 1309,13 см ⁻¹ (оч. сл. ш.) появляется оч. сл. полоса в обл. 2750-1650 см ⁻¹
8	10(1=3 мм)	1639,71 (ср.)	1609,46 (ср.)	1405,67 (сл.)	3431,23 (оч. с.)	451,26 + 522,39 + 569,09 (шир. триплет)	779,87 (ср.); 683,24 (ср. узк.)	819,34 (сл.)	Новая полоса: 1510,97 см ⁻¹ (ср. шир.), более низкая интенсивность
9	10(1=5 мм)	1637,17 (ср.)	+ не идент.	+ не идент.	3434,63 (оч. с.)	570,68 (ср. шир.)	не идент.	не идент.	Спектр очень похож на спектр воло- кна. Сильные водородные связи. Гомогенизация по типу волокна
10	15(1=1 мм)	1647,49 (ср. ш.)	1607,21 (с. узк.)	1406,11 (с.)	3427,31 (оч. с. ш.)	571,20+451,86 (сл.) три- плет	780,19 (ср. узк.) 684,07 (ср. узк. дубл.)	819,92 (сл.)	Новые полосы: 1515,14 см ⁻¹ (ср. шир.) усиление 1236,23 см ⁻¹ (ср.)= $\nu(\text{C-N})$ в первичных аминах, <i>H</i> -связи межполимерные
11	15(1=3 мм)	1640,17 (ср. узк.)	-	1405,19 (оч. сл. узк.) 1242,02 (сл. ш.)	3465,04 (оч. с. ш.) 2065,77 (оч. сл. ш.)	930,28(оч. сл.); 876,36(оч. сл.); 819,31(оч. сл.); 716,11(оч. сл.); 573,35(оч. сл. ш. с тонкой структурой);	780,84(оч. сл.); 684,66 (оч. сл. узк.)	819,34 (оч. сл. узк.)	1542,79 (сл. ш.); 1478,99 (сл. ш.); 1310,07 (сл. ш.); 1081,10 (оч. сл. ш.); 1044,93 (оч. сл. ш.); 999,42 (оч. сл. узк.); 876,36 (оч. сл.); 2065,77 (оч. сл. ш) см ⁻¹ ; появляется ш. полоса в обл. 2750- 1650 см ⁻¹

* состав фенилона С-1(сополиамд): $\omega(\text{m-ФДА})=75\%$; $\omega(\text{n-ФДА})=25\%$; где m-ФДА- мета- фенилендиамин (1,3-замещение); n-ФДА- пара-фенилендиамин (1,4-замещение);

** наличие полос при 1474,21 и 1080,94 см⁻¹ свидетельствует о наличии таутомерных форм амидных групп и O сопряжений (II) в паре положении с бензольными кольцами (π, π - сопряжений);

*** свидетельствует о наличии: а) кумулированных двойных связей; б) тройных связей; в) енольных и ениминных структур; г) углекислого газа CO₂; д) карбоксилат-ионов.

Для других ОП отмечается появление широкой полосы в области $2750-1650\text{ см}^{-1}$ с тах от $2257,01$ (средняя) (рис. 1, чистое волокно) до $2065,77\text{ см}^{-1}$ (слабая) (рис. 3, 10 мас. % волокна) и $2089,94\text{ см}^{-1}$ (слабая) (рис. 4, 15 мас. % волокна), что вкладывается в колебания кумулированных двойных связей $C = C = C$; $C = C = O$; $-N = C = C$; $-N = C = O-CO_2$, причем для чистого волокна именно изоцианаты ($-N = C = O$) имеют наиболее близкий диапазон ($\nu(-N = C = O) = 2240-2275\text{ см}^{-1}$), а для ОП (рис. 4) – для «иммониевой полосы» ($\nu = 2200-1800$ (средняя)) [5; 6; 7]. Такой сдвиг тах широкой слабой полосы в ОП свидетельствует об изменении механизма взаимодействия между матрицей и волокном, причем уменьшается количество оксогрупп. Для ОП (рис. 3) с 10 мас.% волокна, длиной 3 мм - тах более выражен, поэтому надо предположить, что в этом случае, учитывая изменение механизма, взаимодействие между волокном и матрицей более сильное.

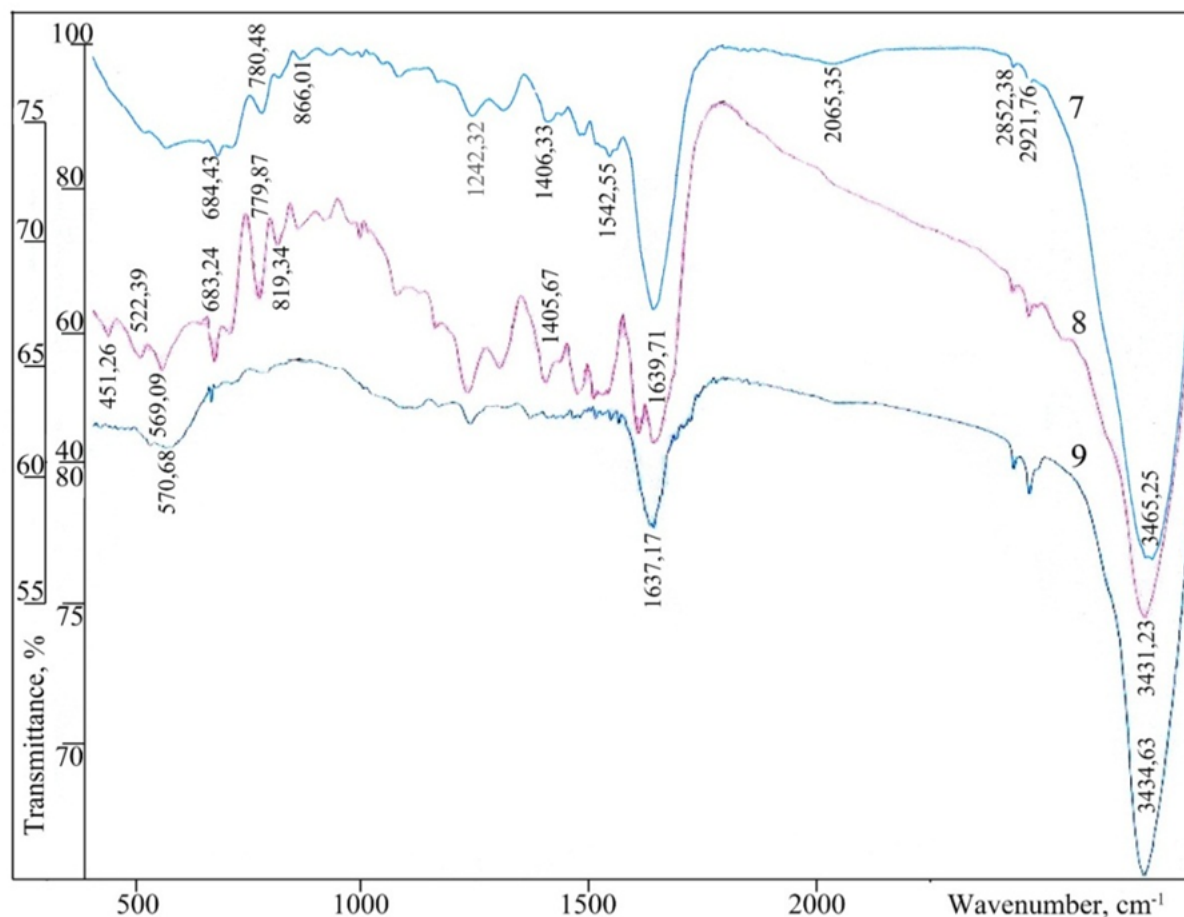


Рис. 3. ИК-спектры органопластиков, содержащих 10 мас. % волокна, длиной 1(7); 3(8); 5 (9) мм

Со стороны волокна фенилон наиболее сильное взаимодействие, включая образование как сложноэфирных связей, так и иминиевых катионов, наблюдается для образца (рис. 3), содержащего 10 мас. % волокна, длиной 3 мм.

Кроме того, нельзя в волокне исключить и наличие тройных связей типа $-C \equiv C -$; $-C \equiv N$; $-N \equiv C$; $N \equiv N$; валентные колебания, которые проявляются при $\nu = 2400-2100\text{ см}^{-1}$.

А ИК-спектр органопластика, содержащего 10 мас. % волокна, длиной 5 мм, подобен спектру чистого волокна. Наиболее высокая интенсивность полосы 1515 см^{-1} наблюдается в ИК спектре органопластика, содержащего 15 мас. % волокна, длиной 5 мм.

ИК-спектры ОП, содержащего 5, 10, 15 мас. % волокна, отличаются незначительно (рис. 2-4). Сравнение ИК-спектров чистого С-1 (рис. 1) и ОП (рис. 2-4) показывает, что со стороны матрицы наблюдается:

- разрушение *H*-связей;
- уменьшение количества *NH*₂ и *N-H* групп, особенно, в 1,3-замещении (мета);
- изменение π, π -сопряжения;
- уменьшение количества ассоциированных оксо-групп;
- возникают новые *H*-связи [5; 6; 7].

Наименьшее взаимодействие между матрицей и волокном наблюдается в ОП, содержащих 5 мас. % волокна, длиной 5 и 7 мм (рис. 2 (5, 6)), а наибольшее взаимодействие в ОП с содержанием 10 мас. % волокна, длиной 1 и 3 мм (рис. 3 (7, 8)).

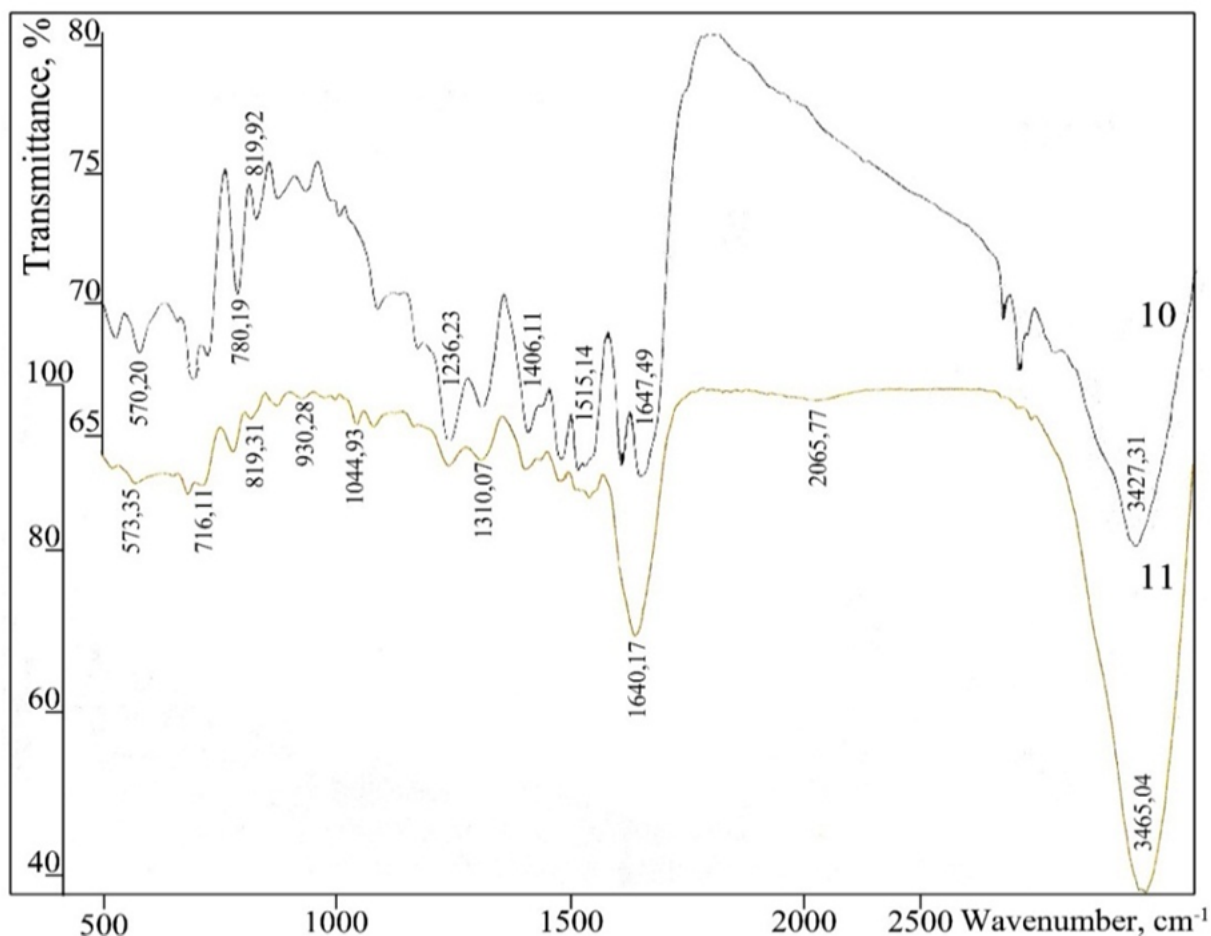


Рис. 4. ИК-спектры органопластиков, содержащих 15 мас. % волокна, длиной 5 (10); 7 (11) мм

Выводы.

1. ИК-спектры (химическое строение) матрицы фенилона С-1 и волокна фенилон – различны: волокно несет больше реакционноспособных центров ионов COO^{\ominus} , $-\text{NH}_3^{\oplus}$; $= \text{NH}_2^{\oplus}$; эфирных, ениминных, енольных групп; кумулированных двойных связей, возможно тройных связей; матрица С-1 несет больше водородных связей, π, π -сопряжения электронных блоков, концевых первичных аминогрупп.

2. В самоармированных пластиках происходит межполимерное взаимодействие между волокном и матрицей зависящее от длины волокна и его массового содержания. Количество, размер волокон влияют на механизм взаимодействия.

Взаимодействие это связано:

- во-первых, с разрушением водородных связей в волокне и матрице;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

– во-вторых, с образованием новых (межполимерных) H -связей, амидных связей или $N=N$ -связей;

– в-третьих, с изменением протяженности сопряженного электронного облака вдоль молекул и волокна, и матрицы в местах 1,4-замещения в бензольных кольцах и образованием единого π -облака (межполимерного).

3. Наименьшее взаимодействие со стороны матрицы наблюдается в ОП содержащих 5 мас. % волокна, длиной 5 и 7 мм, наибольшее в ОП содержащих 10 мас.% волокна, длиной 1 и 3 мм, включая различные механизмы.

4. Наибольшее взаимодействие как со стороны волокна, так и со стороны матрицы наблюдается в ОП содержащих 10 мас. % волокна, длиной 3 мм, вне зависимости от механизма взаимодействий. При этом в матрице разрушаются старые водородные связи, образуются новые H -связи, а также в образовании межполимерных связей участвуют первичные NH_2 -концевые группы и оксогруппы амидных групп.

Список использованных источников

1. Ющенко Д. А. Перспективы применения полимерных композиционных материалов / Д. А. Ющенко, Е. М. Кузнецова // Механика XXI века. – 2015. – № 14. – С 194–195.

2. Карпова Е. В. Определение содержания карбоксиметильных групп в карбоксиметилированной древесине методом ИК-спектроскопии / Е. В. Карпова, Н. Г. Базарнова, В. И. Маматиук // Химия растительного сырья. – 2002. – № 2. – С. 33–38.

3. Влияние технологии совмещения на свойства полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и флогопита / М. М. Макаров, С. А. Слепцова, Л. В. Москвитина, Ю. В. Капитонова // Вестник СВФУ. – 2016. – № 2 (52). – С. 76–86.

4. Инфракрасные спектры аморфных нанокompозитов и их межатомные взаимодействия / А. В. Щекочихин, Э. П. Домашевская, С. И. Карпов, О. В. Стогней // Конденсированные среды и межфазные границы – 2009. – Т. 11, № 1. – С. 78–83.

5. Коршак В. В. Термостойкие полимеры / В. В. Коршак ; АН СССР, Ин-т элементоорганич. соединений. – М. : Наука, 1969. – 411 с.

6. Термостойкие ароматические полиамиды / Л. Б. Соколов, В. Д. Герасимов, В. М. Савинов, В. К. Беляков. – М. : Химия, 1975. – 256 с.

7. Беллами Л. Дж. Инфракрасные спектры сложных молекул / Л. Дж. Беллами ; пер. с англ. под ред. Ю. А. Пентина. – М. : Изд-во Иностранной литературы, 1963. – 592 с.

References

1. Iushchenkova, D.A. & Kuznetsova, E.M. (2015). Perspektivy primeneniia polimernykh kompozitsionnykh materialov [Prospects of application of polymeric composite materials]. *Mekhaniki XXI veka – Mechanics XXI century*, no. 14, pp. 194–195 (in Russia).

2. Karpova, E.V., Bazarnova, N.G. & Mamatiuk, V.I. (2002). Opredelenie soderzhaniia karboksimetilnykh grupp v karboksimetilirovannoi drevesine metodom IK-spektroskopii [Determination of carboxymethyl groups in carboxymethyl timber by IR spectroscopy]. *Khimiia rastitel'nogo syria – Chemistry of plant raw materials*, no. 2, pp. 33–38 (in Russia).

3. Makarov, M.M., Sleptsova, S.A., Moskvitina, L.V. & Kapitonova, Iu.V. (2016). Vliianie tekhnologii sovmeshcheniia na svoistva polimernykh kompozitov na osnove politetraftoretilena i flogopita [Impact of Combining Technologies on the Structure and Properties of Composites Based on Polytetrafluoroethylene and Phlogopite]. *Vestnik SVFU – Vestnik of NEFU*, no. 2 (52), pp. 76–86 (in Russia).

4. Shechekochikhin, A.V., Domashevskaiia, E.P., Karpov, S.I. & Stognei, O.V. (2009). Infkrasnye spektry amorfnykh nanokompозитов i ikh mezhatomnye vzaimodeistviia [Infrared spectrums in amorphous nanocomposites and interatomic interaction]. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy – Condensed matter and interphases*, vol. 11, no. 1, pp. 78–83 (in Russia).

5. Korshak, V.V. (1969). *Termostoikiie polimery [Heat resistant polymers]*. Moscow: Nauka (in Russia).

6. Sokolov, L.B., Gerasimov, V.D., Savinov, V.M., Beliakov, V.K. (1975). *Termostoikiie aromatischeeskie poliamidy [Heat resistant aromatic polyamides]*. Moscow: Khimiia (in Russia).

7. Bellami, L.Dzh. (1963). *Infrakrasnye spektry slozhnykh molekul [The infrared spectra of complex molecules]* (Pentina Iu.A., Trans.). Moscow: Izdatelstvo Inostrannoi literatury (in Russia).

Буря Александр Иванович – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры физики конденсированного состояния, Днепродзержинский государственный технический университет (ул. Днепростроевская, 2, г. Камянское, 51918, Украина).

Буря Олександр Іванович – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри фізики конденсованого стану, Дніпродзержинський державний технічний університет (вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна).

Burya Aleksandr – PhD in Technical Sciences, Professor, Professor of Department of the Condensed Matter Physics, Dneprodzerzhinsk State Technical University (2 Dniprobudivska Str., 51918 Kamianske, Ukraine).

E-mail: ol.burya@gmail.com

Набережная Ольга Александровна – аспирант, младший научный сотрудник кафедры физики конденсированного состояния, Днепродзержинский государственный технический университет (ул. Днепростроевская, 2, г. Камянское, 51918, Украина).

Набережна Ольга Олександрівна – аспірант, молодший науковий співробітник кафедри фізики конденсованого стану, Дніпродзержинський державний технічний університет (вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна).

Naberezhnaya Olga – Phd student, Junior Researcher of Department of the Condensed Matter Physics, Dneprodzerzhinsk State Technical University (2 Dniprobudivska Str., 51918 Kamianske, Ukraine).

E-mail: olckina@inbox.ru

Сучилина-Соколенко Светлана Петровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории композитных материалов Днепропетровского государственного технического университета (ул. Днепростроевская, 2, г. Камянское, 51918, Украина).

Сучилина-Соколенко Світлана Петрівна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник лабораторії композитних матеріалів, Дніпровський державний технічний університет (вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна).

Suchylina-Sokolenko Svetlana – PhD in Chemical Sciences, Senior Researcher Laboratory of Composite Materials, Dniprovskiy State Technical University (2 Dniprobudivska Str., 51918 Kamianske, Ukraine).

E-mail: radis14@ukr.net