

УДК 547.992

Канд. техн. наук А. И. Буря<sup>1</sup>, А. В. Ерёмченко<sup>1</sup>, канд. техн. наук Н. Т. Арламова<sup>1</sup>, Л. Конг<sup>2</sup><sup>1</sup>Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское<sup>2</sup>Пекинский университет химических технологий, Пекин, Китай

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ПОЛИАРИЛАТА

*Исследован процесс термического разложения органопластиков на основе полиарилата. Экспериментально измерена термостойкость разработанных материалов. По данным термического анализа определены механизм и кинетические параметры процесса термической деструкции полиарилата и органопластиков на его основе с использованием метода Коатса-Редферна. Структурные превращения на молекулярном уровне в органопластиках исследованы методом ИК-спектроскопии.*

**Ключевые слова:** органопластики, полиарилат, волокно, ИК-спектр, термостойкость, кинетические параметры, механизм термодеструкции.

### Введение

Уникальный комплекс свойств полимерных материалов позволяет широко применять их как конструкционные материалы в различных отраслях. Однако долгое время максимальному использованию полимеров препятствовали такие недостатки, как их низкие (по сравнению с марочными сталями) прочность и теплостойкость. Рубеж прочностных свойств удалось преодолеть переходом к полимерным композиционным материалам.

Повышению надежности и долговечности изделий конструкционного назначения в значительной мере способствует применение органопластиков на основе различных полимерных связующих. Свойства органопластиков в значительной степени определяются свойствами входящих в них компонентов - связующего и наполнителя. Высокая термическая устойчивость органопластиков, работающих в условиях повышенных температур, может быть достигнута путем введения в исходный полимер термостойких наполнителей.

### Цель работы

В данной работе представлено исследование процесса термического разложения органопластиков на основе полиарилата.

Полиарилаты являются перспективными термопластичными полимерами [1]. Составленные из жестких макромолекул, насыщенных ароматическими ядрами, они имеют высокие температуры размягчения и в этом отношении часто намного превосходят традиционные, широко используемые полимеры. Высокие температуры размягчения позволяют применять полиарилаты в различных областях, где требуется сочетание достаточ-

но высокой прочности, термо- и химической стойкости, хороших диэлектрических и других характеристик.

### Обзор литературы

Для улучшения свойств органопластиков на основе полиарилата в них вводят наполнители, которые снижают коэффициент трения, повышают износостойкость, придают КМ жесткость, необходимые прочностные и теплофизические свойства [2]. Наряду с этим введение порошкообразных наполнителей сопровождается существенным снижением физико-механических показателей [3]. Поэтому в мировой практике все чаще используют в качестве наполнителей не только углеродные, стеклянные, но и органические волокна.

К числу эффективных методов повышения эксплуатационных характеристик полиарилатов следует отнести армирование их органическими волокнами: высококомодульными термостойкими вниивлон и терлон. Они являются самыми прочными из известных химических волокон, но и относятся к термо- и химстойким волокнам. Эти волокна не плавятся вплоть до температуры разложения; при 673К сохраняют 50 % исходной прочности, превосходя поэтому показателю многие термостойкие волокна, не поддаются усадке ни после выдержки в кипящей воде, ни при нагревании до 573 К. Обладают высокой химической стойкостью к большинству известных реагентов.

### Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследования были выбраны органопластики на основе сложного ароматического полиэфира на основе диана и смеси тере- и изофталевой кислот (при соотношении кислот – 50/50) – полиарилат (ПАР), имеет следующую структурную формулу:

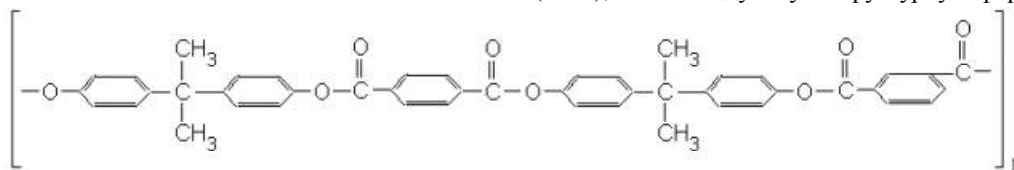


Рис. 1. Структурная формула сложного ароматического полиэфира полиарилата

Волокно Терлон представляет собой ароматический сополиамид на основе парафенилендиамин и терефталевой кислоты, а вниивлонарамидное волокно, получаемое из ароматического жесткоцепного полигетероарилена.

Состав прессккомпозиций на основе полиарилата приведен в табл. 1.

**Таблица 1** – Состав прессккомпозиций

Волокно	Содержание, масс. %	Связующее	Содержание, масс. %
–	–	Полиарилат	100
Вниивлон	25		75
Терлон	25		75

Для проведения термогравиметрических испытаний использовали микротермовесы TG 209 F3 Tarsus производства Германии.

Этот прибор для термогравиметрических измерений работает в диапазоне температур от комнатной до 1000 °С с возможностью выбора скорости нагрева от 0,001 К/мин до 100 К/мин. Точная температура образца определяется встроенной в держатель образца термопарой с прямым контактом с тиглем. Благодаря надежной вертикальной конструкции, верхней загрузке образца и отсутствию хрупких деталей, термовесы просты и надежны в эксплуатации.

Расчетный ДТА-сигнал *c-DTA* идеально подходит для температурной калибровки. При измерениях он является важной информацией как об эндотермических процессах (например, испарение с потерей массы либо плавление без потери массы), так и об экзотермических реакциях.

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 осуществляли 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 сигнал/шум.

**Таблица 2** – Термостойкость материалов, °С

Материал	$T_5$	$T_{10}$	$T_{20}$	$T_{30}$	$T_{экз}$
Полиарилат	411	447	483	497	503; 562
Полиарилат + 25 масс. % волокна Вниивлон	407	442	478	508	590
Полиарилат + 25 масс. % волокна Терлон	415	449	487	513	582

$T_5, T_{10}, T_{20}, T_{30}$  – температуры 5, 10, 20 и 30 % потери массы;  $T_{экз}$  – температура, при которой наблюдается экзотермический пик, соответствующий деполимеризации (в случае полиарилата их два).

## Эксперименты

Термические испытания проводились в воздушной среде в интервале температур 298–1273 К. Скорость подъема температуры – 283 К/мин, в качестве эталонного вещества использовался  $Al_2O_3$ , навеска вещества составляла 200 мг.

Исследования в ИК-спектрометре проводились по следующей схеме: устанавливали спрессованный порошок массой 1 мг (таблетка  $\varnothing$  13 мм: навеска 150 мг KBr) или пленку. Сканировали 16 раз и усредняли результат.

## Результаты

Результаты термического анализа (табл. 2) свидетельствуют о высокой термостойкости как исходного полиарилата, так и композитов на его основе. Анализ зависимости потеря массы–температура для исследованных материалов показал, что процесс разложения композитов протекает подобно исходному полимеру (рис. 1, 2).

Данные термогравиметрического анализа (табл. 2, рис. 2 кривые 1) свидетельствуют о том, что армирование волокном Вниивлон незначительно снижает термостойкость исходного полимерного связующего. Что же касается введения волокна Терлон, то наблюдается повышение термостойкости на 4–13 градусов.

Анализируя общий вид ДТГ (рис. 2, кривые 2), следует отметить, что как в случае исходного ПАР, так и композитов на его основе окислительные процессы, преобладающие при термическом разложении, начинают развиваться при высоких температурах (табл. 2): а в случае исходного ПАР наблюдается два узких интенсивных экзотермических пика, соответствующих процессу деполимеризации.

С целью выбора оптимальной кинетической модели для описания термической деструкции исследуемых органопластиков на основе ПАР по экспериментальным данным была рассмотрена возможность применения математических моделей различных гетерогенных процессов [4, 5].

Результаты расчета кинетических параметров термодеструкции полиарилата: коэффициента корреляции  $R$ , минимума функции  $S$ , энергии активации  $E_{акт}$ , предэкспоненциального множителя  $\lg Z$ , рассчитанные по программе [6, 7], разработанной для IBM, приведены в табл. 3.

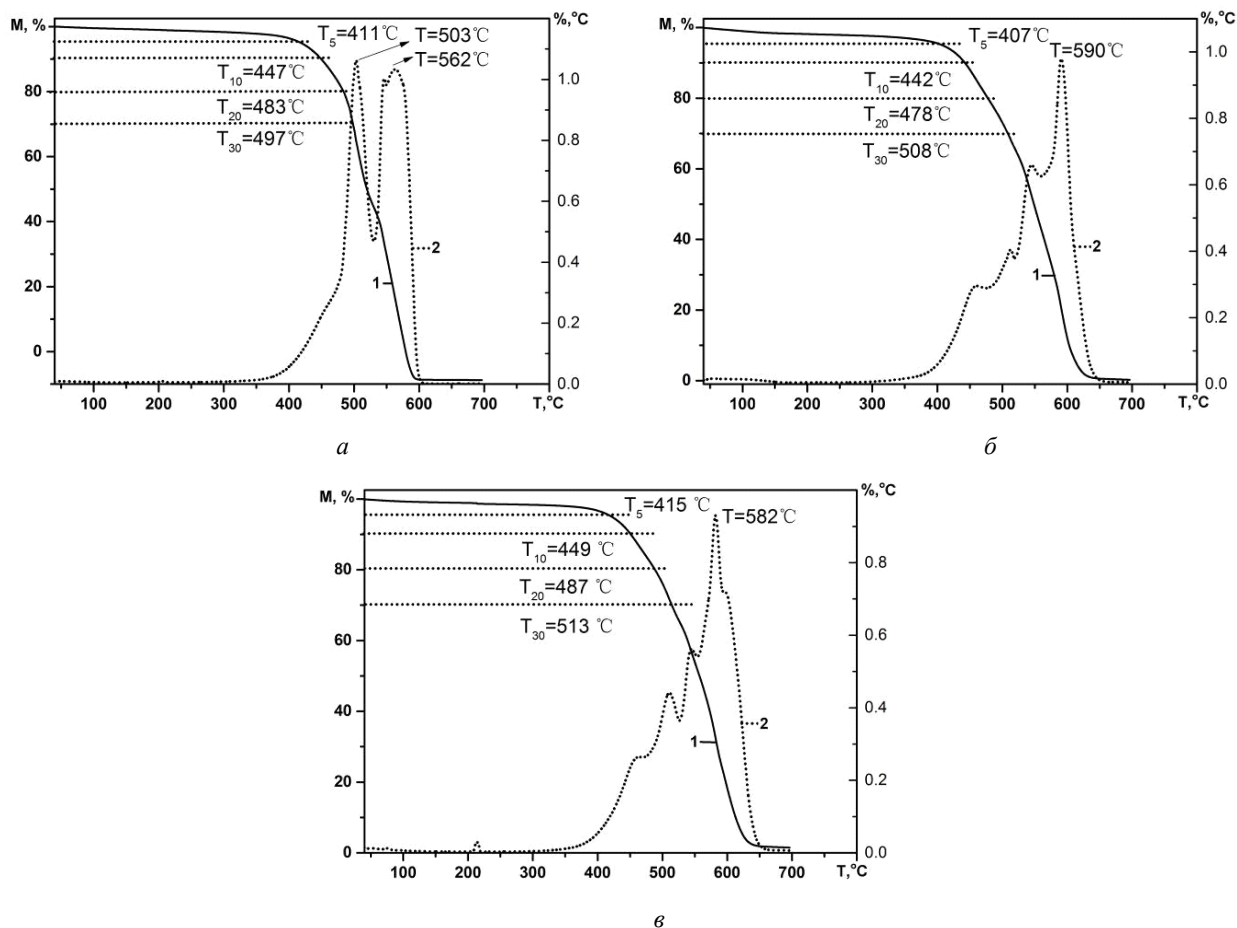


Рис. 2. Кривые термогравиметрического (1) и дифференциально-термогравиметрического (2) анализов полиакрилата (а) и органопластиков на его основе, содержащих 25 масс. % волокна Вниивлон (б) и волокна Терлон (в)

Термодеструкция полимеров, при которой весьма вероятно относительно высокая концентрация свободных радикалов, в большинстве случаев имеет радикально-цепной механизм [4], состоящий из следующих стадий: I – иницирование; II – развитие цепи; III – передача цепи; IV – обрыв цепи.

Высокие значения коэффициента корреляции (табл. 3) получены по кинетическим уравнениям (1)–(3), (9)–(12). Поэтому в качестве основного критерия выбора оптимальной математической модели процесса термодеструкции использовали минимальное значение  $S$ . Таким образом, исходя из данных табл. 4, установлено, что наилучшим образом процесс термодеструкции полиакрилата описывает уравнение реакции 1-го порядка (1), которое с учетом  $\Delta T$  принимает вид:

$$Z \exp\left[\frac{E_{акт}}{R(T \pm \Delta T)}\right] \tau = -\ln(1 - \alpha), \quad (1)$$

где  $+\Delta T$  и  $-\Delta T$  соответствуют отклонениям температуры при экзо- и эндотермических физико-химических превращениях в процессе термодеструкции материала. Аналогичным образом  $\Delta T$  учитывалось в расчетах по всем представленным (1)–(12) уравнениям.

Как известно [8], при термической деструкции полимеров, содержащих в цепи ароматические ядра, ос-

новной является стадия иницирования цепи. Это подтвердилось и в результате расчета, так как кинетическое уравнение (1) описывает процесс зародышеобразования: ПАР претерпевает мономолекулярные превращения, в результате которых из валентно-насыщенных молекул образуются радикалы, обладающие сравнительно малой реакционной способностью.

Адекватно отражает процесс и математическая модель [9], характеризующая процесс одномерной диффузии – частицы цилиндрической формы диффундируют к слою золы, накапливающейся по мере сгорания ПАР. Очевидно, это наиболее медленный процесс, так как он требует большой энергии активации (табл. 3).

Аналогичным образом был проведен расчет кинетических параметров органопластиков на основе ПАР (табл. 4).

Как и следовало ожидать, термодеструкцию органопластиков адекватно описывают те же математические модели, что и в случае исходного полиакрилата. Исходя из результатов установлено, что введение 25 масс. % волокна Терлон приводит к увеличению энергии активации процесса термодеструкции на 10 %, что и коррелирует с данными табл. 2.

**Таблица 3** – Расчетные кинетические параметры термодеструкции ПАР

Математическая модель процесса	$R$	$S \cdot 10^{-2}$	$E_{акт.}$ , кДж/моль	$\lg Z$
$K\tau = \alpha$ (1)	0,998	0,683	70,242	-1,79
$K\tau = 2\alpha^{1/2}$ (2)	0,996	0,684	30,086	-0,87
$K\tau = 2[1 - (1 - \alpha)^{1/2}]$ (3)	0,992	1,290	112,674	5,13
$K\tau = 3[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]$ (4)	0,989	1,520	130,550	6,52
$K\tau = -\ln(1 - \alpha)$ (5)	0,982	1,960	172,446	9,79
$K\tau = 2[-\ln(1 - \alpha)]^{1/2}$ (6)	0,980	17,40	82,210	3,13
$K\tau = 3[-\ln(1 - \alpha)]$ (7)	0,977	23,90	50,754	6,98
$K\tau = 4[-\ln(1 - \alpha)]^{1/4}$ (8)	0,973	26,14	35,525	6,05
$K\tau = 1/2 \alpha^2$ (9)	0,998	0,685	150,607	7,42
$K\tau = (1 - \alpha)\ln(1 - \alpha) + \alpha$ (10)	0,996	3,86	198,298	11,18
$K\tau = 3/2[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$ (11)	0,990	36,0	271,230	16,41
$K\tau = 3/2[(1 - 2/3\alpha) - (1 - \alpha)^{2/3}]$ (12)	0,994	2,66	221,834	12,55

$R$  – коэффициент корреляции;  $E_{акт.}$  – энергия активации;  $Z$  – предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса;  $S$  – минимум функции

**Таблица 4** – Кинетические параметры термолитиза композитов на основе полиарилата

Математическая модель процесса	$R$	$S \cdot 10^{-1}$	$E_{акт.}$ , кДж/моль	$\lg Z$
Полиарилат + 25 масс. % волокна Вниивлон				
(1)	0,991	0,130	43,434	0,22
(2)	0,987	0,131	19,199	1,65
(3)	0,978	0,214	78,753	2,67
(4)	0,973	0,240	91,489	3,69
(5)	0,963	0,292	121,28	6,09
(6)	0,956	1,74	55,597	1,28
(7)	0,948	2,39	33,723	-0,24
(8)	0,937	2,64	22,763	-0,97
(9)	0,993	0,132	106,692	4,27
(10)	0,987	0,539	141,126	7,05
(11)	0,976	3,60	193,021	10,75
(12)	0,93	2,68	157,892	7,93
Полиарилат + 25 масс. % волокна Терлон				
(1)	0,998	0,0475	77,10	2,28
(2)	0,999	0,0470	33,53	-0,62
(3)	0,991	0,135	123,02	5,89
(4)	0,988	0,162	142,30	7,36
(5)	0,979	0,214	187,55	10,85
(6)	0,977	1,73	88,745	3,66
(7)	0,975	2,39	55,794	1,34
(8)	0,971	2,64	33,34	9,22
(9)	0,999	0,047	164,39	8,40
(10)	0,996	0,335	215,98	12,43
(11)	0,988	3,60	294,72	18,07
(12)	0,993	2,66	241,42	13,93

Обсуждение результатов

Анализ ИК-спектра исходного связующего показали (табл. 5, рис. 3, кр. 1), что в полиарилате имеются небольшие участки фрагмента *m*, *p*-сопряжения. Концевые группы связаны внутримолекулярной Н-связью или находятся в виде карбоксилат-иона. Активные характеристические группы –  $\nu_{(C=O)} = 1734\text{см}^{-1}$ ;  $\nu_{(C-O-C)} = 1197, 1295\text{см}^{-1}$ .

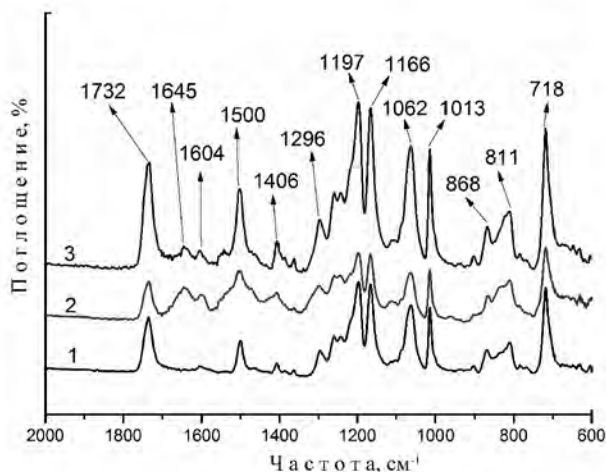


Рис. 3. ИК-спектры полиарилата (1) и органопластиков на его основе, содержащих 25 масс. % волокна Внивлон (2) и волокна Терлон (3)

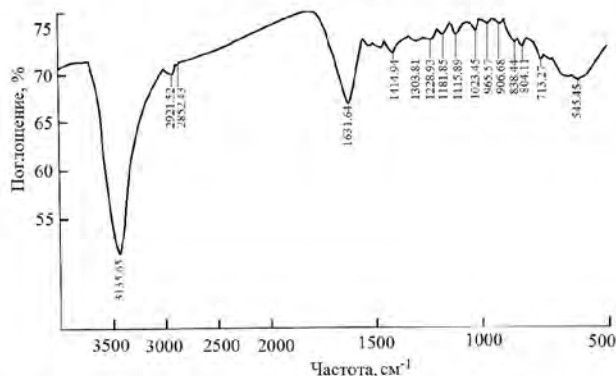


Рис. 4. ИК-спектр арамидного волокна Внивлон

Это взаимодействие происходит за счет:

- сопряженных в пара-положении эстерных и амидных групп: уменьшается интенсивность  $\nu_{(пара-эстерных\ групп)} = 810\text{см}^{-1}$ ; появляется новое колебание  $\nu = 868\text{см}^{-1}$  (связанная амидная группа в пара-положении);
- проявляется колебание  $\nu_{(C=N)}$  и  $\nu_{(C-N)}$  в Амидной полосе II  $\nu_{(C-N)} = 1408\text{см}^{-1}$ ;
- пропадают полосы деформационных колебаний  $\delta_{(O-H)}$  в –COOH, что свидетельствует о взаимодействии концевых –COOH групп;
- изменяется тип ассоциации амидных и аминокрупп в волокне, а именно: в области колебаний ассоциированной C=O-группы в амидной полосе I (с 1631,6  $\text{см}^{-1}$  до 1645 $\text{см}^{-1}$ ) и появляются колебания  $\delta_{(N-H)}$  в аминокгруппе при 3300  $\text{см}^{-1}$ ;

Таблица 5 – Отнесение полос в ИК-спектре чистого полиарилата (ПАР)

$\nu_{(C=O)}$ (с.) [9]	Сложноэфирная ароматическая связь Ar-O-Ar		Изопропилиный фрагмент	Бензольные кольцо	1,4-замещение	1,3-замещение	Концевые группы*	
	$\nu_{(C=O)}$ , $\nu_{(C-O)}$ сопряж. ас. s свободная	$\nu_{(C-O-C)}$ (оч. с., шир.) [9] при наличии сопряжения [9]					$\delta_{(O-H)}$ в COOH или в карбоксилат-ионе	$\delta_{(OH)}$ в ArOH
свободная 1735	$\nu_{(C=O)}$ ас = 1062 $\nu_{(C-O)}$ s = 1166	1260, 1200 1300-1050 (с.) – при наличии сопряжения [9]	$\delta/\nu$ $\delta_{(C(CH_3)_2)}$ - дублет 1385, 1370 (ср.) 1145, 1170 (ср.) [9]	пульсационные колебан. $\nu(C=C)_{ар}$ $\nu(C-C)_{ар}$ 1600 $\text{см}^{-1}$ 1500 $\text{см}^{-1}$ [9]	840-810 [9]	810-750 710-690 [9]	$\delta_{(OH)}$ в ArOH $\nu_{(OH)}$ = 3600, $\nu_{(C-O)}$ = 1200 $\nu_{(OH)}$ = 1410-1310	
свободная 1734 (мета-)	сопряж. $\nu_{(C=O)s}$ = 1062 (с.) $\nu_{(C-O)}$ ас = 1166 (оч. с.) (пара-)	1197 (оч.с., узк.) 1295 (ср., узк.)	$\delta$ : деформационные колебания 1370 (сл.), 1166 (с.) $\delta$ : валентные колебания $\nu_{(CH_3)ас}$ = 2962 (с.) $\nu_{(CH_3)s}$ = 2872 (с.) 2972 (сл.); 2929 (сл.)	1605* (ср.) 1500(ср.)	810 868	810 718	1197* 1406 1295**	

\* накладки колебаний: 1,4- и 1,3-замещений сложноэфирной группы в пара- и мета-положениях (что свидетельствует о сопряжении пара-групп с ароматическими фрагментами полиэфира  $\nu_{(C-O-C)} = 1197\text{см}^{-1}$ , а также  $\nu_{(O-H)}$  в концевых карбоксильных групп и фенольных гидроксильных  $\nu = 1197\text{см}^{-1}$ ).

\*\*свидетельствует о сопряжении эфирного атома кислорода с дианом, так как идет накладка  $\nu_{(C-O-C)}$  и  $\delta_{(O-H)}$  а также пульсационных колебаний бензольного кольца 1605  $\text{см}^{-1}$  с валентными колебаниями  $(C-O-C)$  сложноэфирной связи.

- появляются межмолекулярные межполимерные Н-связи  $\delta_{(N-H)}$ , связанные с тах при  $3300\text{см}^{-1}$  (сл., шир.) в области колебаний концевых аминогрупп.

- уменьшается интенсивность колебаний изопропильного фрагмента, что свидетельствует об его экранировании.

Таким образом, в органопластиках на основе полиарилатного связующего (75 масс.%) и волокна Вниивлон (25 масс.%) есть взаимодействие. Причем, большее – со стороны волокна. Взаимодействие происходит по цепям сопряжений и по концевым группам (-COOH, -NH<sub>2</sub>), фенольный гидроксил не принимает участие в этом взаимодействии. Возникают также межполимерные Н-связи и ионные взаимодействия между -NH<sub>3</sub><sup>+</sup> и -COO<sup>-</sup>. Возможно также гидрофобное взаимодействие изопропильных радикалов.

ИК-спектр волокна Терлон и органопластиков на основе полиарилата, армированного им представлен соответственно на рис. 5 и 3 (кр. 3), а отнесение полос – в табл. 8.

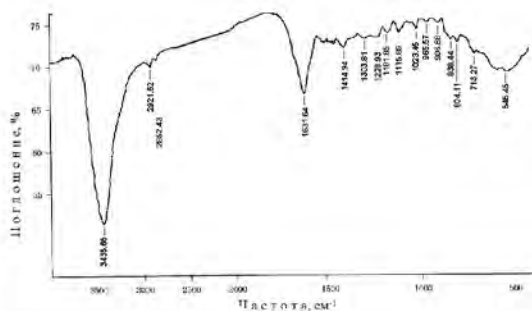


Рис. 5. ИК-спектр органического волокна Терлон

Взаимодействие в органопластике на основе полиарилата и органического волокна Терлон происходит на уровне амидных и аминогрупп: исчезают внутримолекулярные Н-связи в Терлоне и заряженные концевые группы. Возникает единое  $\pi$ -электронное облако за счет  $p$ ,  $\pi$ - и  $\pi$ ,  $\pi$ -сопряжений, прерываемое изопропильным фрагментом. Возникают также межмолекулярные Н-связи между -NH<sub>2</sub>, -NH-группами Терлона и эстерными группами ПАР. Терлон как бы пластифицируется пара-замещенными фрагментами полиарилата. Вероятно, изменение надмолекулярной структуры молекул волокна Терлон.

Таблица 6 – Отнесение полос в ИК-спектре арамидного волокна Вниивлон

Содержание волокна Вниивлон, масс. %	Амидные полосы, $\text{см}^{-1}$			$\nu_{(N-H)}$ и $\delta_{(N-H)}$ в ближней (3500-2500) и дальней* (900-450) областях		Замещения в бензольном кольце		Примечание:
	Амид I (с.) $\nu_{(C=O)}$	Амид II (с.) $\delta_{(N-H)}$	Амид III $\nu_{(C-N)}$	Свободная	Ассоциированная	1,3- замещения	1,4- замещения	
100	Свободная форма 1705-1665, 1650 (с.)	Свободная форма 1530, 1260 1550 -	Амид II форма 1420-1405 1300-1250	Свободная форма 3440, 3460, 3320	Ассоциированная форма 3300, 3300-3070	810-760, 710-690, 3-4 положения с плечом	840-810 2 полосы, полоса 840>810	713,27 (оч. сл., узк.) 545,45 (ср., шир.) → 600-450

Обозначения колебаний: с – сильная; ср. – средняя; сл. – слабая; оч. сл. – очень слабая; оч. с. – очень сильная. Другие обозначения: шир. – широкая; узк. – узкая; п. – переменная.  $\nu$  – валентные колебания;  $\delta$  – деформационные колебания. \*Дальняя область колебаний  $\nu_{(N-H)}$  перекрывается с дальней областью  $\delta_{(N-H)}$  в амидах, аминах, а также  $\nu_{s(\delta=O)}$ ,  $\delta_{(C-H)}$  в алкенах  $\nu_{(C=C)}$  и  $1500-1450\text{см}^{-1}$ , причём  $1500\text{см}^{-1}$  интенсивней, чем линия  $1600\text{см}^{-1}$ , есть сопряжения, то интенсивность – увеличивается, а частота – понижается. В области  $1690-1635\text{см}^{-1}$  (пер.) и  $1665-1630\text{см}^{-1}$  могут также быть и  $\nu_{(C=N)}$

Таблиця 7 – Отношение полос в ИК-спектре органоластика на основе полиарилата и арамидного волокна Внивилон

ϕ, масс. % Полиарилат / Внивилон	Связующее ПАР				Волокно Внивилон				Примечания		
	Эстерная связь связующего, $\nu_{(C=O)}$ (с., шир.) свободная (мета-)	$\nu_{(C-O-C)}$ (с.), $\nu_{(C-O)}$ сопряженн. (пара-) $\nu_{(C-O)}$	$\nu_{(C-O-C)}$ (оч. с., шир.) 1260; 1200 (свободная) 1300-1050 (сопряж.)	Амид I, $\nu_{(C=O)}$		Амидные полосы		Амид III, $\nu_{(C-N)}$ перекрытые полосы Амид II и Амид III		свободная форма	$\nu_{(C=N)}$ и $\delta_{(NH)}$ ассоциирован- ная форма
				своб. ф.	ассоц. ф.	своб. ф.	ассоц. ф.				
75 / 25	1734 (ср., узк.)	$\nu_{as}=1166$ (с., узк.) 1063 (ср., узк.)	1297 (ср., узк.) 1197 (с., узк.)	1645 (ср., узк.) дублет 1601	1601 R-NH <sub>2</sub>	1408 (сл., шир.) 1297 (сл., узк.)	+ (не идеен- тифич., сл. шир.)	3300 (сл., шир.)	<sup>1</sup> Пропадает $\delta_{(OH)}$ в чистом полиарилате <sup>2</sup> Появляется связанная С=О в амидной группе <sup>3</sup> Проявляется $\nu_{(C-N)}=1408\text{см}^{-1}$		
100 / 0	1734 (с., узк.)	$\nu_{as}=1166$ (оч. с., узк.) $\nu_g=1062$ (с., узк.)	1295 (ср., узк.) 1197 (оч. с., узк.)	1631,6 (ср., шир.)	+ (оч. сл., не шир., не идеен-тифич.)	1414,9 (сл., шир.) 1303,8 (оч. сл., шир.)	+ (сл., шир., не идеен-тифич.)	3440, 3460, 3320	-		
0 / 100	-	-	-	1631,6 (ср., шир.)	+ (оч. сл., не шир., не идеен-тифич.)	1414,9 (сл., шир.) 1303,8 (оч. сл., шир.)	3435,6	3300, 3300-3070	-		

**Таблица 8** – Отнесение полос в ИК-спектре органоластика на основе связующего полиарилата и волокна Терлон

Полиарилат / Терлон $\phi$ , масс. %	Эстерная связь ПАР, $\text{см}^{-1}$				Замещ. в бенз.	Амидные полосы, $\text{см}^{-1}$						1,4-замещ. в бенз. кольце $\delta_{\text{C-H}}, \delta_{\text{N-H}}$	
	$\nu_{\text{C=O}}$ (с.), $\nu_{\text{C-O}}$		$\nu_{\text{C-O-C}}$ (оч. с., шир.)			Амид I, $\nu_{\text{C=O}}$		Амид II, $\delta_{\text{N-H}}$		Амид III, $\nu_{\text{C-N}}$			Амино: $\nu_{\text{NH}}$ , $\delta_{\text{NH}}$ в ближней и дальней области
	свободная (метя-)	ассоциров. (пара-)	свобод. форма	ассоц. форма		свобод. форма	ассоц. форма	свобод. форма	ассоц. форма	свобод. форма	ассоц. форма		
	1735	$\nu_{\text{as}}$ 1100-1000	1260, 1200	1300-1050	810	1705-1650 (с.)	1530, 1260, 1550	1570, 1300-1250, 1515 (ср.)	перекр. с полосой Амид II, 1420-1405, 1300-1250	3440, 3460, 3320	3300-3070, 500-450		
0 / 100	-	-	-	-	-	1631,6	+ не идентифици (оч. сл., шир.)	1303,81	1415 (сл.шир) 1303,8 (сл.,шир.)	3435,6 (с., шир.)	838,4 804,1 713,27 (сл.шир) 545,15 (ср.шир.)	шир., ср. полоса с max при 545,15	
100 / 0	1734 (с., узк.)	$\nu_{\text{as}}$ =1166 (оч. с., узк.) $\nu_s$ =1062 (с., узк.)	-	1295 (ср., узк.) 1197 (оч., узк.) (оч.с., узк.)	718 810 868	-	-	-	-	-	-	804 810 868	
75 / 25	1732	$\nu_{\text{as}}$ =1166 (оч. с., узк.) $\nu_s$ =1062 (с., узк.)	-	1295 (ср., узк.) 1197 (оч. с., узк.)	718 (с., узк.) 811 (ср., узк.) 868 (сл., узк.)	1645 (оч. сл., узк.)	-	-	-	+ сл., оч. шир. обл. от 3400 до 1800 $\text{см}^{-1}$ л, л-сопр., прерванное изопренил. радикалом	-	718 (с., узк.) -1,3 - замещ. 811 (ср., узк.) 868 (сл., узк.)	

## Выводы

В результате проведенных исследований изучен процесс термического разложения органоластиков состава: полиарилат - органическое волокно. Установлено, что изучаемые органоластики имеют достаточно высокую термостойкость и энергию активации процесса термодеструкции.

По результатам термического анализа определены механизм и кинетические параметры процесса термической деструкции исследуемых материалов с использованием метода Коатса-Редферна.

Методом ИК-спектроскопии установлено, что в органоластиках на основе полиарилатного связующего (75 масс. %) и волокна Внивлон (25 масс. %) есть взаимодействие, причем, большее – со стороны волокна. Взаимодействие происходит по цепям сопряжений и по концевым группам (-COOH, -NH<sub>2</sub>), фенольный гидроксил не принимает участие в этом взаимодействии. Возникают также межполимерные Н-связи и ионные взаимодействия между -NH<sub>3</sub><sup>E</sup> и -COO<sup>E</sup>. Взаимодействие между связующим полиарилатом и волокном Терлон происходит на уровне амидных и амино-групп. Вероятно, вследствие изменения надмолекулярной структуры молекул волокна Терлон.

## Список литературы

1. Буря А.И. Полиарилаты. Синтез, свойства, композиционные материалы / Буря А.И., Чигвинцева О.П., Сучилина-Соколенко С.П. – Днепропетровск : Наука и освіти, 2001. – 152 с.
2. Буря А. И. Разработка способа получения и исследование свойств армированных пластиков / А. И. Буря, О. И. Пилипенко, Т. И. Рыбак // VI Konferencja Naukowo-Techniczna [«Nowe kierunki modyfikacji i zastosowan tworzyw sztucznych»], (Rydzyzna, 15–17 мая 1995 г.). – 1995. – С.44–53.
3. Липатов Ю. С. Физическая химия наполненных полимеров / Липатов Ю. С. – М. : Химия, 1977. – 99 с.
4. Шестак Я. Теория термического анализа : пер. с англ. / Шестак Я. – М. : Мир, 1987. – 456 с.
5. Zuru A.A. A new technique for determination of the possible reaction mechanism from non-isothermal thermogravimetric data / Zuru A.A., Whitehead R., Criffiths D.L. // Thermochim. Acta, 164, 1990. – P. 285–305.
6. Исследование термодеструкции фенилона и углепластиков на его основе / Буря А.И., Арламова Н.Т., Холодилов О.В., Сытник С.В. // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2001. – Том 6, № 1. – С. 58–61.
7. Эмануэль Н.М. Курс химической кинетики / Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. – М. : Высшая школа, 1969. – 432 с.



8. Коршак В. В. Химическое строение и температурные характеристики полимеров / Коршак В.В. – М. : Наука, 1970. – 367 с. нове полисульфонамида, армированного волокном Кевлар / Буря А.И., Арламова Н.Т., Ван Сюйфэнь и др. // Полімерний журнал. – 2015. – 37, №4. – С. 387–395.
9. Гордон А. Спутник химика : пер. с англ. / Гордон А., Форд Р. – М. : Мир, 1976. – 541 с. Одержано 21.06.2017
10. Исследование термостойкости органопластиков на ос-

**Буря О.І., Єрмоєнко О.В., Арламова Н.Т., Конг Л. Дослідження впливу органічних волокон на термостійкість поліарилату**

*Досліджено процес термічного розкладу органопластиків на основі поліарилату. Експериментально виміряна термостійкість розроблених матеріалів. За даними термічного аналізу визначено механізм і кінетичні параметри процесу термічної деструкції органопластиків на його основі з використанням методу Коатса-Редферна. Структурні перетворення на молекулярному рівні в органопластиках досліджені методом ІЧ-спектроскопії.*

**Ключові слова:** органопластики, поліарилат, волокно, ІЧ-спектр, термостійкість, кінетичні параметри, механізм термодеструкції.

**Burya A., Yeromenko A., Arlamova N., Kong L. Investigation the influence of the organic fibers by thermo resistant of polyarilate**

*The process of thermal destruction of organic plastics based on polyarilate was investigated. Thermal resistant of the developed materials was experimentally measured. According to the thermal analysis mechanism and kinetic parameters of thermal destruction process of organic plastics using by Coates-Redfern method were identified. Structural transformations at the molecular level in organic plastics were studied using by IR-spectroscopy.*

**Key words:** organic plastics, polyarilate, fiber, IR- spectrum, thermal resistant, kinetic parameters, thermal destruction mechanism.

---