

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СМЕСИ ПОЛИАРИЛАТА С ПОЛИАРИЛЕНЭФИРКЕТОНОМ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ**А.Е. Сорокин, А.П. Краснов, В.В. Шапошникова, С.Н. Салазкин, М.В. Горошков, А.В. Наумкин**

Антон Евгеньевич Сорокин*

Лаборатория № 609 «Полимерные материалы со специальными свойствами», Всероссийский институт авиационных материалов, ул. Радио, 17, Москва, Российская Федерация, 105005

E-mail: SorokinAE@viam.ru*

Александр Петрович Краснов, Вера Владимировна Шапошникова, Сергей Николаевич Салазкин, Михаил Владимирович Горошков, Александр Васильевич Наумкин

Группа наполненных полимерных систем, Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, ул. Вавилова, 28, ГСП-1, Москва, Российская Федерация, 119991

E-mail: krasnov@ineos.ac.ru, v-v-sh-2010@yandex.ru, snsal@ineos.ac.ru, naumkin@ineos.ac.ru

В работе рассмотрены способы модификации полиарилата на основе бисфенола А и смеси изо- и терефталевых кислот представителем перспективного класса полимеров – полиариленэфиркетона. Проведены сравнительные термомеханические и термофрикционные испытания двух марок полиариленэфиркетона на основе бисфенола А и 4,4'-дифторбензофенона (ПАЭК-32 и ПАЭК-34). Установлено, что наиболее подходящим для модификации полиарилата является ПАЭК-34, что подтверждается его более высокой температурой размягчения и стабильным коэффициентом трения при повышенных температурах. Проведено исследование термомеханических свойств и молекулярно-массового распределения аморфного полиариленэфиркетона до и после прессования. Установлено, что при переработке у полиариленэфиркетона ПАЭК-34 происходит возрастание молекулярной массы со 123 до 178 тыс. а.е.м с одновременным изменением характера молекулярно-массового распределения от бимодального к одномодальному. При этом наблюдается резкое снижение содержания низкомолекулярной фракции с 23,32 до 7,2 %. Проведено исследование теоретической совместимости полиариленэфиркетона ПАЭК-34 и полиарилата ДВ, основанное на теории растворимости веществ. По результатам расчетов установлено, что смеси этих полимеров совместимы при любом соотношении компонентов. Проведена оценка термомеханических характеристик полученных смесей на основе полиарилата и полиариленэфиркетона. Установлено, что рост теплостойкости смеси при переработке вызван межмолекулярным взаимодействием компонентов с образованием новых химических соединений, имеющих структуру сополимера блочного типа. Это подтверждается изменением характера молекулярно-массового распределения полимерной смеси при переходе температуры прессования от 260 °С к 300 °С. Установлено, что оптимальные условия реализации реакции образования блочного сополимера создаются при 300 °С.

Ключевые слова: полиариленэфиркетон, полиарилат, полимерные смеси, теплостойкость, совместимость

Для цитирования:

Сорокин А.Е., Краснов А.П., Шапошникова В.В., Салазкин С.Н., Горошков М.В., Наумкин А.В. Взаимодействие в смеси полиарилата с полиариленэфиркетонам при высокотемпературной переработке. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 8. С. 147–154

For citation:

Sorokin A.E., Krasnov A.P., Shaposhnikova V.V., Salazkin S.N., Goroshkov M.V., Naumkin A.V. Interaction in polyarylate – poly(arylene ether ketone) mixture at high-temperature processing. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 8. P. 147–154

INTERACTION IN POLYARYLATE – POLY(ARYLENE ETHER KETONE) MIXTURE AT HIGH-TEMPERATURE PROCESSING

A.E. Sorokin, A.P. Krasnov, V.V. Shaposhnikova, S.N. Salazkin, M.V. Goroshkov, A.V. Naumkin

Anton E. Sorokin*

Laboratory 609 “Functional Polymeric Materials”, All-Russian Institute of Aviation Materials, Radio st., 17, Moscow, 105005, Russia

E-mail: SorokinAE@viam.ru*

Alexander P. Krasnov, Vera V. Shaposhnikova, Sergey N. Salazkin, Mikhail V. Gorshkov, Alexander V. Naumkin

Filled Polymer Systems Group, A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds, RAS, Vavilova st., 28, Moscow, 119991, Russia

E-mail: krasnov@ineos.ac.ru, v-v-sh-2010@yandex.ru, snsalsal@ineos.ac.ru, naumkin@ineos.ac.ru

Methods of modifying polyarylate based on bisphenol A and mixture of iso- and terephthalic acids by a representative of a promising class of polymers — polyarylene ether ketone have been discussed in this article. Comparative thermomechanical and thermofriction tests of two grades of poly(arylene ether ketone) based on bisphenol A and 4,4'-difluorobenzophenone (PAEK-32 and PAEK-34) have been carried out. It has been established that PAEK-34 is the most suitable for modifying polyarylate, which is confirmed by its higher softening temperature and stable friction coefficient at elevated temperatures. The thermomechanical properties and molecular mass distribution of amorphous polyarylene ether ketone before and after pressing have been studied. It has been established that during processing of poly(arylene ether ketone) PAEK-34 its molecular weight increases from 123 to 178 thousand a.m.u. with simultaneous change in the character of the molecular mass distribution from bimodal to unimodal. At the same time, there is a sharp decrease in the content of the low molecular weight fraction from 23.32 to 7.2%. Theoretical compatibility of polyarylene ether ketone PAEK-34 and polyarylate DV based on the theory of solubility of substances has been studied. It was established that mixtures of these polymers are compatible for any components' ratio according to the calculation results. The thermomechanical characteristics of the mixtures obtained on the basis of polyarylate and polyarylene ether ketone have been evaluated. It has been established that the growth of heat resistance of the mixture during processing is caused by intermolecular interaction of components with the formation of new chemical compounds having a block-type copolymer structure. This was confirmed by the change in the nature of the molecular-mass distribution of the polymer mixture upon the transition of the pressing temperature from 260 °C to 300 °C. It was established that the optimal conditions for the realization of block-copolymer formation reaction are created at 300 °C.

Key words: poly(arylene ether ketone), polyarylate, polymer mixtures, heat resistance, compatibility

ВВЕДЕНИЕ

Высокотехнологичные отрасли промышленности предъявляют высокие требования к применяемым материалам по атмосферо-, тепло-, термо- и химической стойкости, прочностным, теплофизическим и другим показателям [1-5]. Одним из классов полимеров, обеспечивающих сложный комплекс предъявляемых свойств, являются полиарилаты. Например, композиции на основе полиарилатов ДВ и ФВ нашли применение в высокоскоростных узлах трения специальной техники [6]. Известны и другие композиции полиарилатов с полиэтиленом [7], полиимидом [8], поликарбонатом [9], полифениленсульфидом [10] и полиэфирэфиркетонам [11].

Получение таких полимерных композиций в расплаве осуществляется при воздействии высоких температур и сопровождается протеканием целого ряда химических реакций, приводящих к изменению строения компонентов полимерной смеси [12]. Исследования подобных реакций позволяют в дальнейшем предсказывать, контролировать и регулировать свойства полученных композиций.

Наибольший интерес из комплекса этих химических реакций представляют реакции обмена. Протекание этих реакций приводит к изменению химического строения компонентов полимерной композиции, вплоть до перехода системы к однокомпонентному материалу – сополимеру. В лите-

ратуре [12-14] описаны обменные процессы, протекающие в полимерных системах на основе полиамида. Авторы полагают, что между компонентами полимерной системы протекают реакции аминолита, ацидолиза и амидолиза. Авторы работ [14, 15] показали, что на скорость реакций также оказывает влияние наличие влаги и воздействие кислых сред, которые способствуют протеканию реакций обмена.

Как правило, обменные процессы приводят к усреднению физико-механических, теплофизических, термомеханических и других показателей полимерной смеси. В результате, смеси полиарилата с полиэтиленом, полиамидом, поликарбонатом характеризуются ухудшением прочностных и теплофизических показателей, а с полифениленсульфидом и полиэфирэфиркетонном [11] имеют пониженную технологичность. В связи с этим ведется постоянный поиск модификаторов, обеспечивающих повышенное качество изделий.

Полиариленэфиркетоны обладают рядом ценных свойств: высокими гидролитической и химической устойчивостью, ударными и прочностными показателями, в том числе при повышенных температурах [16, 17]. Было показано, что ПАЭК имеет более высокую гидролитическую устойчивость и стойкость при воздействии концентрированных водных растворов аммиака, гидроксида натрия и органических растворителей по сравнению с ароматическими полисульфонами. При выделении полимера после синтеза в низкомолекулярной фракции содержатся циклические структуры [15, 18].

Использование изделий из стекло-, угле-, органикопластиков на основе ПАЭК в ракетно-космических и авиационных конструкциях [19] позволяет снизить радиолокационную заметность конструкций, а также снизить их массу.

Целью работы является исследование процессов, происходящих в смеси аморфных термопластичных полимеров, полиарилата и полиариленэфиркетона, при высоких температурах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованный полиарилат ДВ синтезирован в ОАО «Полимерсинтез» (г. Владимир) водоземлемой поликонденсацией из бисфенола А и эквимольной смеси хлорангидридов изо- и терефталевых кислот. Полимер представляет собой сложный гетероцепной полиэфир линейного строения. Структурная формула полиарилата ДВ:

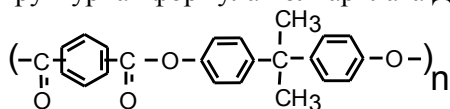


Таблица 1

Некоторые свойства полиарилата ДВ
Table 1. Selected properties of DV polyarylate

№	Наименование показателя	Значение
1	Внешний вид	Мелкодисперсный порошок белого цвета
2	Твердость, кгс/мм ²	9,4
3	Относительное удлинение при разрыве, %	26
4	Предел текучести при растяжении, МПа	74
5	Ударная вязкость образцов с надрезом, кДж/м ²	10,6
6	Прочность при изгибе, МПа	120
7	Коэффициент трения	0,3-0,5
8	Температура размягчения, °С	150-160
9	Индекс расплава, г/10 мин	3,6

Полиариленэфиркетон ПАЭК-34 получали по реакции нуклеофильного замещения из 4,4'-дифторбензофенона и бисфенола А в присутствии K₂CO₃ в ИНЭОС РАН им. А.Н. Несмеянова.

Полимер представляет собой аморфный гетероцепной полиэфир:

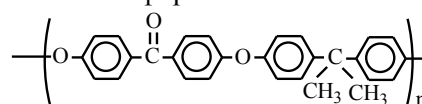


Таблица 2

Свойства полиариленэфиркетона ПАЭК-34
Table 2. Properties of PAEK-34 polyarylene ether ketone

№	Наименование показателя	Значение
1	Внешний вид	Хлопья белого цвета
2	Предел вынужденной эластичности, МПа	73
3	Предел текучести при растяжении, МПа	68
4	Относительное удлинение при разрыве, %	6,8
5	Ударная вязкость образцов с надрезом, кДж/м ²	29
6	Прочность при изгибе, МПа	155
7	Температура стеклования, °С	155
8	Температура переработки, °С	280

Образцы для исследования получали методами прямого компрессионного прессования порошковых полимерных композиций при температуре 330 °С. Термофрикционные исследования проводили на машине торцевого трения типа И-47К54. Исследуемый образец представлял собой диск диаметром D = 22 мм и h = 1,5 мм. Контртело – втулка диаметром D = 22 мм, d = 12 мм и h = 7 мм

из стали 3X13. Температуру измеряли на расстоянии 1 мм от поверхности контртела с помощью термодпары. Условия трения: скорость (V) 0,5 м/с, давление (P_{уд}) 0,05 МПа.

Для термомеханических испытаний полимерных таблеток (D = 6 мм, h ≈ 1 мм) использовали пластометр ПП-1 при давлении 10 МПа и скорости нагрева 10 °С/мин.

Определение параметров молекулярно-массового распределения полиарилатов, растворенных в тетрагидрофуране, проводили методом гель-проникающей хроматографии.

Теоретическую совместимость оценивали расчетным методом, по показателям межфазного натяжения между полимерами (γ), молярного объема (V_n) и параметров растворимости полимеров (δ) [20]. Метод оценки совместимости основан на теории растворимости веществ.

Термогравиметрический анализ проводили на установке для термоанализа фирмы Perkin-Elmer. Навеску образца массой 15±0,1 мг помещали на чашу термовесов и нагревали в диапазоне температур 0-800 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин. В процессе испытания регистрировали изменение массы образца и величину теплового потока. По результатам эксперимента строили зависимость изменения массы и энтальпии от температуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование свойств модифицирующей добавки

С целью определения оптимальных свойств добавок ПАЭК были исследованы две партии полиариленэфиркетона с приведенной вязкостью 0,63 дл/г (ПАЭК-32) и 1,16 дл/г (ПАЭК-34). Проведены термомеханические и термофрикционные испытания отпрессованных изделий.

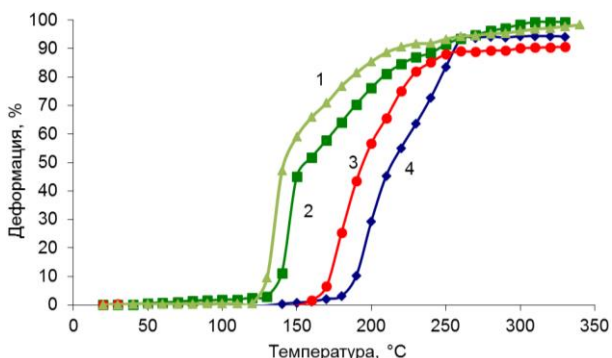


Рис. 1. Термомеханические кривые полиариленэфиркетон: 1 - ПАЭК-32, 2 - ПАЭК-34; 3 - ПАЭ ДВ; 4 - Смесь: 90 % ПАЭ ДВ и 10 % ПАЭК-34

Fig. 1. Thermomechanical curves of polyarylene ether ketones: 1 - PAEK-32, 2 - PAEK-34, 3 - DV Polyarylate, 4 - blend of DV polyarylate (90%) + PAEK-34 (10%)

Термомеханические испытания (рис. 1) показали, что партия ПАЭК-32 с меньшей приведенной вязкостью обладает пониженной температурой размягчения по сравнению с ПАЭК-34.

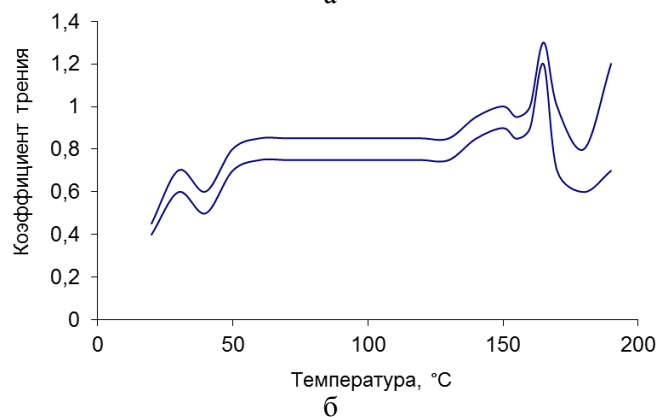
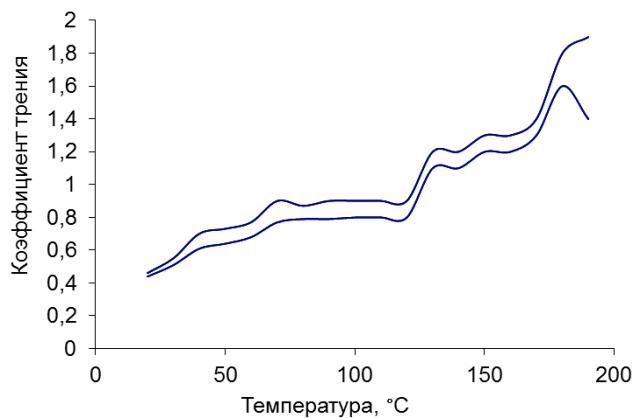


Рис. 2. Термофрикционные кривые: а- полиариленэфиркетон ПАЭК-32; б- полиариленэфиркетон ПАЭК-34

Fig. 2. Thermofrictional curves: а - PAEK-32 polyarylene ether ketone; б - PAEK-34 polyarylene ether ketone

Оба полимера имеют близкие значения коэффициентов трения в зависимости от температуры (рис. 2). Значительное отличие касается поведения полимеров при температурах перехода полимеров ПАЭК в вязкотекучее состояние и при более высоких температурах. У высоковязкой партии выше температуры перехода образуется площадка стабильного коэффициента трения до температуры ~140 °С.

У низкомолекулярного полимера работоспособность ограничена 150 °С, где происходит активное течение в зоне трения, что обусловлено низкомолекулярностью полимера.

В результате далее в качестве модификатора использовали более высоковязкий полимер ПАЭК-34.

Можно видеть (рис. 3), что ПАЭК-34 обладает высокой термостойкостью ~ 500 °С, повышающей интерес к этому полимеру как к компоненту смеси с полиарилатом.

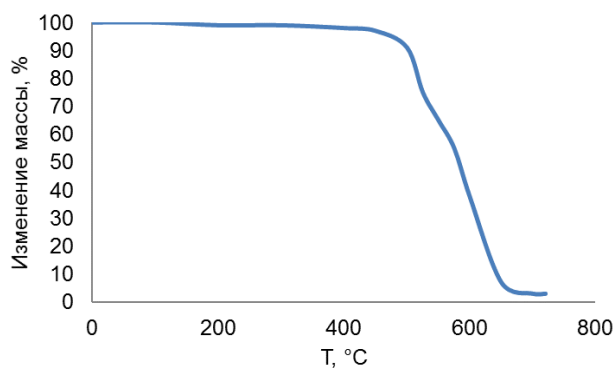


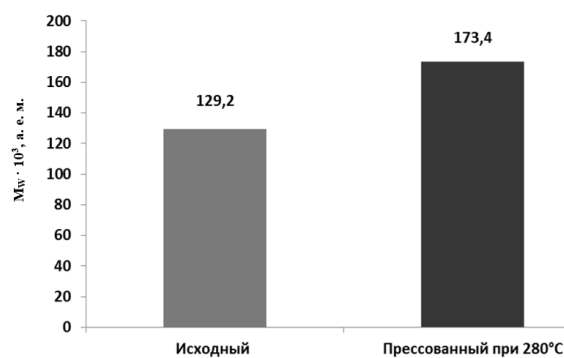
Рис. 3. TGA зависимость ПАЭК-34
Fig. 3. TGA curve for the PAEK-34

В связи с выбором ПАЭК-34 представлялось важным провести исследования характера молекулярно-массового распределения этого полимера в процессе переработки. На диаграмме (рис. 4а) можно видеть, что в процессе переработки прессованием при 280 °С молекулярная масса (M_w) полимера возрастает, что является необычным для полимерных материалов. Процесс переработки термопластов обычно сопровождается снижением молекулярной массы, так как воздействие высоких температур и давлений способствует протеканию термо- и механодеструкции полимера.

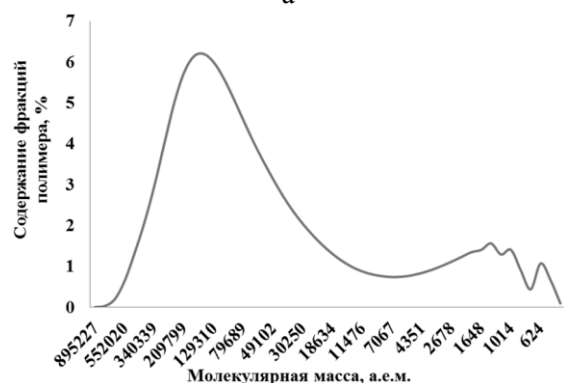
На кривой молекулярно-массового распределения ПАЭК-34 до переработки (рис. 4б) наблюдается бимодальное распределение, причем низкомолекулярная фракция (НМФ), содержащая продукты с ММ до $1 \cdot 10^4$ а.е.м., составляет примерно 19,05 % от общей массы полимера (табл. 3).

В результате прессования ПАЭК-34 при 280 °С кривая ММР (рис. 4в) становится одномодальной, с ростом молекулярной массы со $129 \cdot 10^3$ до $173 \cdot 10^3$ а.е.м. Происходит снижение НМФ примерно в 4 раза, коэффициент полидисперсности понижается в 3 раза. Происходящие процессы роста молекулярной массы и снижения НМФ могут свидетельствовать о взаимодействии макромолекул, вероятнее всего, по концевым группам.

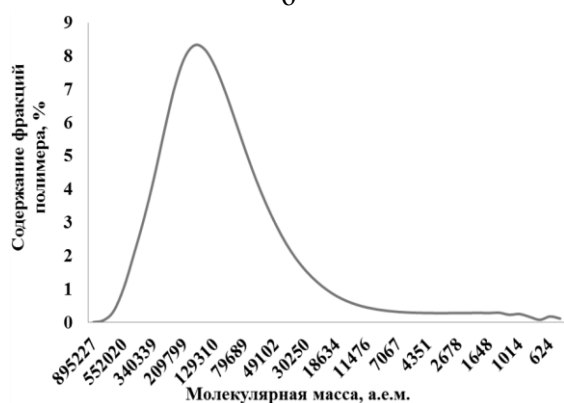
Высокая реакционная способность ПАЭК-34 вызвана наличием в составе значительного количества термически устойчивой НМФ, которая может содержать циклические структуры из 3-6 звеньев полимера [17]. Наличие циклов в ПАЭК было показано ранее на первых этапах исследования этих полимеров [21-23]. Под воздействием высоких температур происходит раскрытие циклов, и образующиеся соединения начинают активно взаимодействовать с более высокомолекулярными фракциями полимера. Это и приводит к повышению молекулярной массы, усреднению ММР и снижению доли НМФ в полимерном материале в процессе



а



б



в

Рис. 4. Значение молекулярных масс (а) и молекулярно-массовые распределения полиариленэфиркетона: б – исходного, в – после прессования

Fig. 4. Average molecular weights (a) and molecular weight distributions for polyarylene ether ketone: б - as synthesized, в - after hot-pressing

Таблица 3

Характеристики молекулярно-массового распределения ПАЭК-34 до и после прессования

Table 3. Parameters of the molecular weight distribution of PAEK-34 before and after hot-pressing

Образец	Исходный ПАЭК-34	Прессованный ПАЭК-34 (280 °С)
$M_w \cdot 10^3$, а.е.м.	129,2	173,4
P	15,9	5,56
Доля НМФ до $1 \cdot 10^4$ а.е.м., %	19,05	4,83
Доля НМФ до $2 \cdot 10^4$ а.е.м., %	23,32	7,2

формования. Таким образом, наличие высокой реакционной способности НМФ создает предпосылки для использования ПАЭК-34 как компонента полимерной смеси полиарилат-полиариленаэфиркетон.

Оценка уровня теоретической совместимости модификатора с полиарилатом ДВ [20] позволила установить, что смеси этих полимеров совместимы при любом соотношении компонентов (табл. 4).

Таблица 4

Оценка совместимости модификаторов с полиарилатом ДВ

Table 4. Estimates of compatibility of modifiers with DV polyarylate

Название модификатора	ПАЭК-34	Полиарилат ДВ
$V_p, \text{ см}^3/\text{моль}$	354,5	393
$\delta, \text{ Дж}/\text{см}^3$	19,2	19,1
$\gamma, \text{ мН}/\text{м}$	32,9	32,2
Критерий совместимости	$0,98 \leq 1,35$	$1,01 \leq 1,35$
Совместимость с полиарилатом ДВ	Полная совместимость	

Исследование композиции полиарилата ДВ с полиариленаэфиркетонном ПАЭК-34

При смешении в растворе хлороформа полиарилата ДВ с ММ $86 \cdot 10^3$ а.е.м. и ПАЭК-34 с ММ $129,3 \cdot 10^3$ а.е.м. в массовом соотношении 9:1 (рис. 5) и высушивании образуется полимерная пленка с молекулярной массой $72 \cdot 10^3$ а.е.м. Исходя из аддитивности, молекулярная масса смеси должна составлять $\sim 91 \cdot 10^3$ а.е.м. (рис. 5а). Доля НМФ у смеси также выше по сравнению с расчетным значением 9,7. Так как у одного компонента смеси (полиарилат ДВ) количество НМФ ниже, чем у смеси, более чем в 2 раза, то можно предположить, что процесс растворения и сушки сопровождается понижением молекулярной массы, что характерно для порошков полиарилатов, претерпевающих процесс быстрого снижения молекулярной массы даже при складском хранении [24].

Далее из полимерной смеси прессованием были изготовлены образцы при различных температурах (260 °C и 300 °C). Прессование смеси полимеров ДВ и ПАЭК при 260 °C приводит к снижению молекулярной массы с 72 до $48,6 \cdot 10^3$ а.е.м. (рис. 5а) и росту НМФ с ~ 19 до $\sim 24\%$, что связано с процессами деструкции полимерной смеси. Это подтверждается сохранением бимодального характера молекулярно-массового распределения у исходной пленки (рис. 5б) и отпрессованного из нее образца (рис. 5в).

При повышении температуры прессования до 300 °C происходит рост молекулярной массы с $48,6$ до $50,1 \cdot 10^3$ а.е.м. (рис. 5) и снижение доли

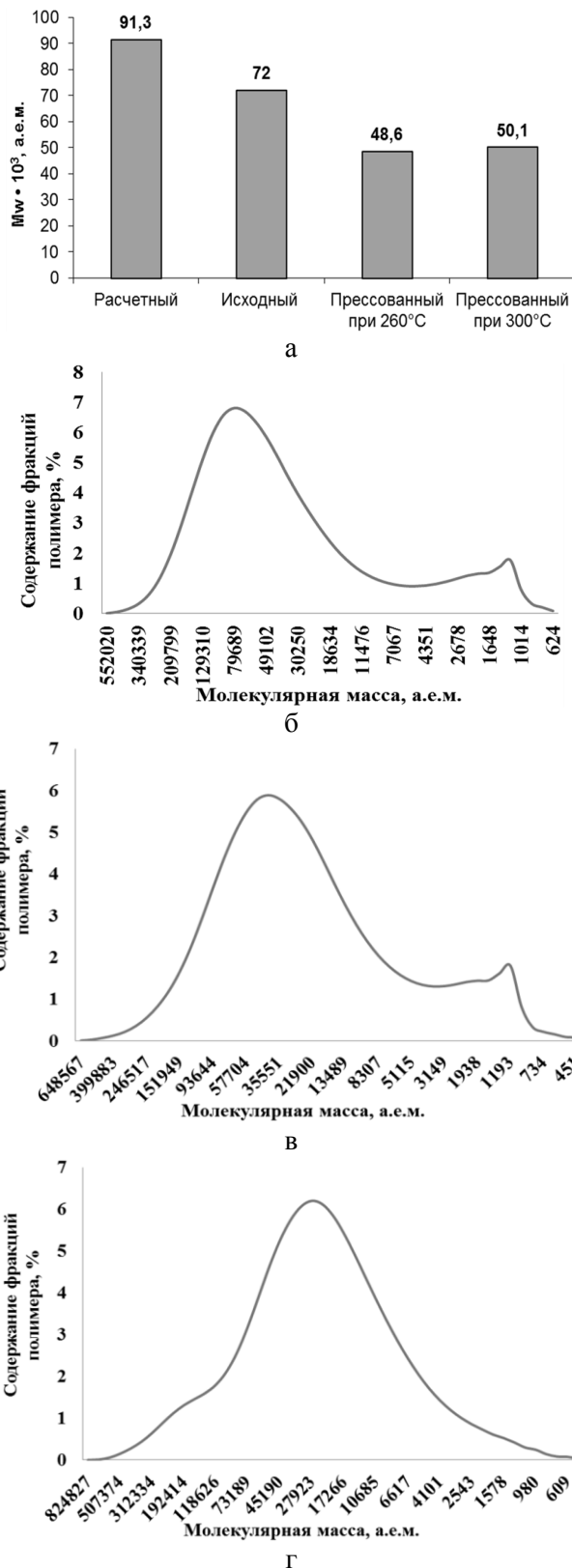


Рис. 5. Молекулярные массы смеси 90%ДВ + 10%ПАЭК-34 (а) и молекулярно-массовые распределения полимерной смеси 90% ПАр ДВ и 10% ПАЭК-34: б – исходная смесь; в – смесь, отпрессованная при 260 °C; г – смесь, отпрессованная при 300 °C
 Fig. 5. Average molecular weights (a) and molecular weight distributions for the blend of 90% DV polyarylate and 10% PAEK-34: б - untreated, в - after hot-pressing at 260 °C, г - after hot-pressing at 300 °C

НМФ по сравнению с результатами, полученными при 260 °С. При повышении температуры прессования до 300 °С снижается вязкость расплава. Это связано, вероятно, с раскрытием низкомолекулярных циклических структур полиариленаэфиркетона ПАЭК-34. Высокие температуры и увеличение числа реакционноспособных центров приводят к резкому усилению обменных реакций и взаимодействию по концевым группам между макромолекулами и раскрывшимися циклическими структурами.

Эти процессы приводят к резкому усилению обменных реакций и реакций по концевым группам между макромолекулами и раскрывшимися циклическими структурами.

В этих процессах участвуют в первую очередь НМФ ПАЭК-34. Во же время, у полиарилата резко понижающаяся молекулярная масса свидетельствует об увеличении реакционноспособных центров цепи, что может приводить к образованию поперечных связей. Это подтверждается, помимо выше приведенных данных о растворимости, изменением характера молекулярно-массового распределения от бимодального у исходной пленки (рис. 5б) и образца, отпрессованного при 260 °С (рис. 5в), к одномодальному, соответствующему образцу, отпрессованному при температуре 300 °С (рис. 5г).

На рис. 1 приведены термомеханические кривые 2, 3, 4 полиарилата ДВ, ПАЭК-34 и их смеси, содержащей 90% ПАр ДВ и 10% ПАЭК-34. Исходные полимеры имеют температуры размягчения 120 и 150 °С для ПАЭК-34 и ПАр ДВ, в то время как у полимерной смеси температура начала размягчения ~ 180 °С. Угол наклона термомеханической кривой полимерной смеси также отличается от наклонов для исходных полимеров, в частности от полиарилата ДВ, содержание в смеси которого 90% масс. Таким образом, в процессе приготовления смеси и ее дальнейшей переработки, вероятно, происходят реакции по функциональным группам, в результате которых формируется сополимер блочного типа, и, одновременно, образуется нерастворимая фракция.

ВЫВОДЫ

Таким образом, исследован путь повышения теплостойкости и улучшения перерабатываемости полиарилата путем совместной переработки с аморфным полиариленаэфиркетонам, вероятно, за счет взаимодействия концевых групп этих полимеров в условиях прессования при высоких температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каблов Е.Н.** Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года. *Авиацион. матер. и технол.* 2012. № 5. С. 7–17.
2. **Каблов Е.Н.** Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года». *Авиацион. матер. и технол.* 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. **Деев И.С., Каблов Е.Н., Кобец Л.П., Чурсова Л.В.** Исследование методом сканирующей электронной микроскопии деформации микрофазовой структуры полимерных матриц при механическом нагружении. *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. № 7. ст. 06 URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 02.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-6-6.
4. **Каблов Е.Н.** Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи. *Авиационные материалы. Избранные труды ВИАМ 1932–2002.* М.: МИСИС – ВИАМ. 2002. С. 23–47.
5. **Петрова Г.Н., Румянцева Т.В., Бейдер Э.Я.** Влияние модифицирующих добавок на пожаробезопасные свойства и технологичность поликарбоната. *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2013. № 6. Ст. 06 URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 02.07.2018).
6. **Сорокин А.Е., Краснов А.П., Наумкин А.В., Зюзина Г.Ф., Щеглов П.А.** Исследование трибологических свойств системы полиарилатов ДВ-ФВ. *Трение и износ.* 2016. № 6 (37). С. 712–720. DOI: 10.3103/S1068366616060143.
7. **Коршак В.В., Грибова И.А., Зюзина Г.Ф., Слонимский Г.Л., Комарова Л.И., Солдатов Е.С., Алексеев А.М., Чудинов М.Г.** О некоторых особенностях трения смесей несовместимых полимеров. *Трение и износ.* 1984. Т. 5. № 3. С. 389–395.
8. **Bastida S., Eguiazabal J.I., Nazabal J.** Improved compatibilization in ternary poly(ether imide)/polyarylate-rodrun blends by

REFERENCES

1. **Kablov E.N.** Strategic directions for development of materials and processing technologies for the period until 2030. *Aviacion. Mater. Tekhnol.* 2012. N S. P. 7–17 (in Russian).
2. **Kablov E.N.** Innovative developments of FSUE “VIAM” on the implementation of “Strategic directions for development of materials and processing technologies for the period until 2030”. *Aviacion. Mater. Tekhnol.* 2015. N 1 (34). P. 3–33 (in Russian). DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. **Deev V.S., Kablov E.N., Kolbesch L.P., Chursova L.V.** Scanning electron microscopy investigation of the deformation of microphase structure of polymers under mechanical stress. *Trudy VIAM: electron. Scientific-technical. Journal.* 2014. N 7. art.06 URL: <http://www.viam-works.ru> (the date of circulation is 02.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-6-6 (in Russian).
4. **Kablov E.N.** Aviation materials science in the XXI century. Perspectives and objectives. *Aviacionn'ie materialy. Selected Proceeding of VIAM 1932–2002.* M.: MISIS – VIAM. 2002. P.23–47 (in Russian).
5. **Petrova G.H., Rumyantzeva T.V., Beyder E.Ya.** Influence of modifiers on flame retardancy and processing of polycarbonate. *Trudy VIAM: electron. nauch.-tehnich. zhurn.* 2013. N 6. Art. 06 URL: <http://www.viam-works.ru> (the date of circulation is 02.07.2018). (in Russian).
6. **Sorokin A.E., Krasnov A.P., Naumkin A.V., Zyuzina G.F., Shcheglov P.A.** Study on tribological properties of polyarylate DV-FV system. *J. Frict. Wear.* 2016. V. 37. N. 6. P. 535–543. DOI: 10.3103/S1068366616060143.
7. **Korshak V.V., Gribova I.A., Zuzina G.F., Slonimskii G. L., Komarova L.I., Soldatov E.S., Alekseev A.M., Chudynov M.G.** On some peculiarities of friction with blends of incompatible polymers. *Trenie Iznos.* 1984. V. 5. N 3. P. 389–395 (in Russian).
8. **Bastida S., Eguiazabal J.I., Nazabal J.** Improved compatibilization in ternary poly(ether imide)/polyarylate-rodrun blends by

- means of interchange reactions. *Polymer*. 2001. V. 42. N 7. P. 3161-3170.
9. **Zyuzina G.F., Gribova A.A., Krasnov A.P., Slonimskii G.L., Askadskii A.A., Dubrovina L.V., Komarova L.I., Nikolskii O.G.** Study of the structure and friction behavior of materials produced from blends of polyarylates and polycarbonates with limited compatibility. *J. Frict. Wear*. 2000. V. 21. N 2. P. 62-70.
 10. **Сорокин А.Е., Баженова В.Б., Клубукова Л.Ф., Краснов А.П.** Трение полимерных смесей на основе полиарилата ДВ. Усп. в химии и хим. технологии. Сб. науч. тр. "МКХТ-2013". 2013. Т. XXVII. С. 104-108.
 11. **Chun Y.S., Han Y.S., Hyun J.C., Kim W.N.** Glass transition temperatures and rigid amorphous fraction of poly(ether ether ketone) and polyarylate blends. *Polymer*. 2000. V. 41. N 24. P. 8717-8720.
 12. **Пол Д.Р., Бакнелл К.Б.** Полимерные смеси. Том I: Систематика. СПб.: Научные основы и технологии. 2009. 618 с.
 13. **Bertia C., Cellia A., Marchesea P., Sullaltia S., Vanninia M., Lorenzettib C.** Transamidations in melt-mixed MXD6 and PA6I-6T polyamides: 1. Determination of the degree of randomness and block length by 1H-NMR analysis. *Eur. Polymer J.* 2012. V. 48. N 11. P. 1923-1931.
 14. **Lake W.B., Kalakkunnath S., Kalika D.S.** Crystallization, melting, and rheology of reactive polyamide blends. *J. Appl. Polymer Sci.* 2004. V. 94. N 3. P. 1245-1252.
 15. **Samperi F., Montaudo M.S., Battiato S., Carbone D., Puglisi C.** Characterization of copolyesteramides from reactive blending of PET and MXD6 in the molten state. *J. Polymer Sci. Part A: Polymer Chem.* 2010. V. 48. N 22. P. 5135-5155.
 16. **Ryabev A.N., Donetskii K.I., Shaposhnikova V.V., Salazkin S.N., Dubrovina L.V., Bragina T.P., Tkachenko A.S.** Homo- and copoly(arylene ether ketones) with side hydroxyl groups. *Polymer Sci. Series B*. 2009. V. 51. N 1-2. P. 27-32.
 17. **Шапошникова В.В., Салазкин С.Н.** исследование синтеза и свойств полиариленэфиркетонов. *Изв. Акад. наук. Сер. химическая*. 2014. № 10. С. 2213-2223.
 18. **Шапошникова В.В., Салазкин С.Н., Сергеев В.А., Благодарских И.В., Дубровина Л.В., Сакупец А.А., Павлова С.С.А.** Закономерности реакции 4,4'-дифторбензофенона с калиевым дифенолятом 2,2-бис (4'-гидроксифенил) пропана. *Изв. Акад. наук. Сер. химическая*. 1996. № 10. С. 2526-2530. DOI: 10.1007/BF01435391.
 19. **Bhatnagar N., Jha S., Bhowmik S.** Application of high performance polymer - polyetheretherketones (PEEK) in aerospace industry. *Inventi Rapid: Tech Research & Reviews, Inventi J.* 2010. V. 1. N 1. Published on Web 18.09.2010.
 20. **Аскадский А.А., Хохлов А.Р.** Введение в физико-химию полимеров. М.: Научный мир. 2009. 380 с.
 21. **Haibo X. Y., Wenhui Z., Yishan C., Shuling W., Guibin Z., Jiang W. Z.** Crosslinkable fully aromatic poly(aryl ether ketone)s bearing macrocycle of aryl ether ketone. *Polymer*. 2007. V. 48. N 16. P. 4715-4722.
 22. **Ben-Haida A., Colquhoun H.M., Hodge Ph., Williams D.J.** Cyclic oligomers of poly(etherketone) (PEK): synthesis, extraction from polymer, fractionation, and characterization of cyclic trimer, tetramer and pentamer. *J. Mater. Chem.* 2000. N 10. P. 2011-2016. DOI: 10.1039/B000738M.
 23. **Zolotukhin M.G., Colquhoun H.M., Sestiaa L.G., Williams D.J., Rueda D.R., Flot D.** Formation of crystalline macrocyclic phases during electrophilic precipitation-polycondensation syntheses of poly(arylene ether ketone)s. *Polymer*. 2004. V. 45. N 3. P. 783-790.
 24. **Сорокин А.Е., Краснов А.П., Зюзина Г.Ф., Щеглов П. А., Клубукова Л.Ф., Афоничева О.В., Баженова В.Б.** Исследование процесса хранения термопластичного полиарилата. *Пласт. массы*. 2013. № 3. С. 51-55.
 9. **Zyuzina G.F., Gribova A.A., Krasnov A.P., Slonimskii G.L., Askadskii A.A., Dubrovina L.V., Komarova L.I., Nikolskii O.G.** Study of the structure and friction behavior of materials produced from blends of polyarylates and polycarbonates with limited compatibility. *J. Frict. Wear*. 2000. V. 21. N 2. P. 62-70.
 10. **Sorokin A.E., Bazhenova V.B., Klubukova L.F., Krasnov A.P.** Friction in polymer blends based on DV polyarylate. *Usp. Khim. Khim. Tekhnol. "MKHT-2013"*. 2013. N XXVII. P. 104-108 (in Russian).
 11. **Chun Y.S., Han Y.S., Hyun J.C., Kim W.N.** Glass transition temperatures and rigid amorphous fraction of poly(ether ether ketone) and polyarylate blends. *Polymer*. 2000. V. 41. N 24. P. 8717-8720.
 12. **Pol D.R., Baknel K.B.** Polymer blends. Part I: Formulation. SPb.: scientific bases and technologies. 2009. 618 p.
 13. **Bertia C., Cellia A., Marchesea P., Sullaltia S., Vanninia M., Lorenzettib C.** Transamidations in melt-mixed MXD6 and PA6I-6T polyamides: 1. Determination of the degree of randomness and block length by 1H-NMR analysis. *Eur. Polymer J.* 2012. V. 48. N 11. P. 1923-1931.
 14. **Lake W.B., Kalakkunnath S., Kalika D.S.** Crystallization, melting, and rheology of reactive polyamide blends. *J. Appl. Polymer Sci.* 2004. V. 94. N 3. P. 1245-1252.
 15. **Samperi F., Montaudo M.S., Battiato S., Carbone D., Puglisi C.** Characterization of copolyesteramides from reactive blending of PET and MXD6 in the molten state. *J. Polymer Sci. Part A: Polymer Chem.* 2010. V. 48. N 22. P. 5135-5155.
 16. **Ryabev A.N., Donetskii K.I., Shaposhnikova V.V., Salazkin S.N., Dubrovina L.V., Bragina T.P., Tkachenko A.S.** Homo- and copoly(arylene ether ketones) with side hydroxyl groups. *Polymer Sci. Series B*. 2009. V. 51. N 1-2. P. 27-32.
 17. **Shaposhnikova V.V., Salazkin S.N.** Synthesis and properties of poly(arylene ether ketones). *Izv. Akad. Nauk. Ser. Khim.* 2014. V. 63. N 10. P. 2213-2223 (in Russian).
 18. **Shaposhnikova V.V., Salazkin S.N., Sergeev V.A., Blagodatkikh I.V., Dubrovina L.V., Sakunts A.A., Pavlova C.-C.** Features of the reaction of 4,4'-difluorobenzophenone with potassium 2,2-bis(4'-hydroxyphenyl)propane diphenolate. *Russ. Chem. Bull.* 1996. N 10. P. 2397-2401. DOI: 10.1007/BF01435391.
 19. **Bhatnagar N., Jha S., Bhowmik S.** Application of high performance polymer - polyetheretherketones (PEEK) in aerospace industry. *Inventi Rapid: Tech Research & Reviews, Inventi J.* 2010. V. 1. N 1. Published on Web 18.09.2010.
 20. **Ascadskiy A.A., Khokhlov A.R.** Introduction to physical chemistry of polymers M.: Nauchnii mir. 2009. 380 p. (in Russian).
 21. **Haibo X. Y., Wenhui Z., Yishan C., Shuling W., Guibin Z., Jiang W. Z.** Crosslinkable fully aromatic poly(aryl ether ketone)s bearing macrocycle of aryl ether ketone. *Polymer*. 2007. V. 48. N 16. P. 4715-4722.
 22. **Ben-Haida A., Colquhoun H.M., Hodge Ph., Williams D.J.** Cyclic oligomers of poly(etherketone) (PEK): synthesis, extraction from polymer, fractionation, and characterization of cyclic trimer, tetramer and pentamer. *J. Mater. Chem.* 2000. N 10. P. 2011-2016. DOI: 10.1039/B000738M.
 23. **Zolotukhin M.G., Colquhoun H.M., Sestiaa L.G., Williams D.J., Rueda D.R., Flot D.** Formation of crystalline macrocyclic phases during electrophilic precipitation-polycondensation syntheses of poly(arylene ether ketone)s. *Polymer*. 2004. V. 45. N 3. P. 783-790.
 - Sorokin A.E., Krasnov A.P., Zyuzina G.F., Shcheglov P.A., Afonicheva O.V., Bazhenova V.B., Klubukova L.F.** Investigation of the storing process of thermoplastic polyarylate. *Plast. Massy*. 2013. N 3. P. 51-55 (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 08.10.2018

Принята к опубликованию (Accepted) 21.05.2019