

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТРИХЛОРЭТИЛФОСФАТОМ

Акимов А.В.

Херсонская государственная морская академия

Постановка проблемы. С каждым днем во всем мире возрастает объем производства и потребления полимерных материалов. Среди таких материалов достаточно широко распространены и применяются термореактивные полимеры, например – эпоксидные смолы, которые являются одними из важнейших видов синтетических смол благодаря технологическим и эксплуатационным свойствам, а также разнообразию областей применения композитов на их основе. Их используют при получении и производстве как разнообразных лакокрасочных материалов и порошковых красок, электроизоляционных компаундов, так и в качестве связующих для композиционных материалов (эпоксикомпозитов), применяемых для изготовления изделий и защитных покрытий различного функционального назначения [1–3].

Эпоксидные полимеры имеют в наличии реакционноспособные гидроксильные и эпоксидные группы, что дает возможность их модифицировать другими полимерными добавками. В результате использования технологии гидродинамического совмещения компонентов получают пластифицированные связующие, которые отличаются улучшенными реологическими свойствами и пластичностью. Кроме этого, также формируют эпоксидные компаунды, которые в свою очередь характеризуются повышенными показателями физико-механических и теплофизических свойств. Поэтому эпоксидные олигомеры по-прежнему являются наиболее перспективными среди других органических высокомолекулярных веществ [3–5].

Вместе с тем, эпоксидные полимеры имеют недостатки, наиболее существенными из которых являются жесткость и высокая горючесть. Устранение данных недостатков предопределяет цель нашей работы. Несмотря на огромное количество работ, посвященных снижению пожарной опасности эпоксидных полимеров, эта проблема до настоящего времени остается актуальной. Одновременно со снижением горючести эпоксидных полимеров необходимо решить еще одну задачу, связанную с повышением показателей эксплуатационных характеристик эпоксикомпозитов различного функционального назначения [4, 6]. В связи с этим исследования, направленные на создание пожаробезопасных эпоксидных композитов с улучшенными физико-механическими и теплофизическими свойствами для обеспечения оптимального комплекса эксплуатационных характеристик защитных покрытий, являются актуальными.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодня широко и эффективно используют композиционные материалы (КМ) на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587-84) и отвердителя полиэтиленполиамина ПЭПА (ТУ 6-05-241-202-78) [4, 5]. Предварительно установлено, что оптимальная концентрация отвердителя ПЭПА для отверждения ЭД-20 составляет 10 масс.ч. отвердителя на 100 масс.ч. эпоксидиановой смолы [7, 8].

Известно, что прочность эпоксидных КМ составляет $\sigma = 100 \dots 150$ МПа. При этом широкое применение находят эпоксидиановые смолы марок ЭД-14, ЭД-16, ЭД-20, ЭД-22, представляющие собой жидкости желтого цвета различной вязкости. При введении отвердителя при комнатной температуре смола в течение времени $\tau = 2 \dots 4$ ч желатинизируется, а в течение времени $\tau = 8 \dots 12$ ч необратимо затвердевает. Нагревание ускоряет процессы полимеризации и увеличивает степень отверждения эпоксидных КМ. К положительной характеристике эпоксидиановых композитов относят незначительную усадку при отверждении, что повышает прочность и трещиностойкость защитных покрытий.

Для повышения эластичности в эпоксидные связующие вводят пластификаторы, а для снижения горючести – антипирены. Известно, что для снижения горючести эпоксидных полимеров, относящихся к классу карбонизирующихся материалов, в качестве замедлителей горения эффективно используют фосфорсодержащие соединения, инициирующие процессы карбонизации [4, 5]. Как показал проведенный анализ, для решения поставленной проблемы в качестве модифицирующих добавок можно использовать пластификатор-антипирен трихлорэтилфосфат (ТХЭФ), одновременно пластифицирующий эпоксидную матрицу и снижающий ее горючесть. При этом в качестве отвердителя пластифицированного эпоксидного олигомера целесообразно применять полиэтиленполиамин. Наиболее рациональным является содержание, вводимого в эпоксидную композицию, пластификатора ТХЭФ в количестве 10..40 масс.ч., так как при таком его количестве достигают более высокие показатели ударной вязкости, кислородного индекса, что обеспечивает формирование материалов класса трудногораемых [2, 9].

Вместе с тем, в научных литературных источниках отсутствует информация об исследовании тепло- и термостойкости эпоксикомпозитов, пластифицированных трихлорэтилфосфатом, который является для полимерных КМ ингибитором горения – антипиреном. Таким образом, экспериментальные исследования как физико-механических, так и теплофизических свойств таких эпоксикомпозитов и защитных покрытий на их основе имеют значительный теоретический и практический интерес, что позволяет не только расширить область их применения, но и даст возможность прогнозировать в комплексе их эксплуатационные характеристики.

Целью работы является исследование теплофизических свойств эпоксикомпозитов, модифицированных трихлорэтилфосфатом – пластификатором-антипиреном.

Материалы и методы исследования. Исследованы составы на основе эпоксидной диановой смолы марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-93) с молекулярной массой 360...470, содержащей 21,5 % эпоксидных групп. В качестве отвердителя эпоксидного олигомера применяли отвердитель аминного типа – полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ 6-02-594-85), способный формировать трехмерную сетчатую структуру в отсутствие нагрева. Химическая формула ПЭПА – $H_2N(CH_2CH_2NH)_nH$, где $n = 1...4$, динамическая вязкость – 0,9 Па·с.

В качестве пластификатора применяли трихлорэтилфосфат (ТХЭФ) (ТУ 6-05-1611-78). Молекулярная масса ТХЭФ – 285,49; внешний вид – низковязкая прозрачная маслянистая жидкость; химическая формула – $C_6H_{12}Cl_3O_4P$. ТХЭФ – трис-(2-моноклорэтил)фосфат – полный эфир ортофосфорной кислоты и этиленхлоргидрина; эффективный антипирен, значительно улучшающий противопожарные свойства материалов. ТХЭФ образует однородную физическую смесь с полимерами и не вступает с ними в химическую реакцию, что усиливает огнезащитный эффект. ТХЭФ хороший пластификатор, а присутствие атомов хлора в составе трихлорэтилфосфата не уменьшает его совместимость с полимерами. При введении в композицию ТХЭФ получают материал, горение которого быстро прекращается после нивелирования действия открытого пламени.

Эпоксидное связующее формировали по следующей технологии: дозирование компонентов, гидродинамическое совмещение пластификатора и эпоксидной диановой смолы ЭД-20 до получения однородной смеси и последующего полного растворения добавки в течение времени $\tau = 2 \pm 0,1$ мин при комнатной температуре $T = 298 \pm 2$ К, ультразвуковая обработка продолжительностью $\tau = 2 \pm 0,1$ мин, введение отвердителя ПЭПА и гидродинамическое совмещение компонентов в течение времени $\tau = 2 \pm 0,1$ мин, отверждение композиции. Отверждение КМ проводили по экспериментально установленному режиму: формирование образцов и их выдержка в течение $\tau = 12,0 \pm 0,1$ ч при температуре $T = 298 \pm 2$ К, нагрев со скоростью $v = 3$ К/мин до выбранных температур сшивания $T = 393 \pm 2$ К и $T = 413 \pm 2$ К [10] (принято по результатам предварительного

исследования адгезионных и физико-механических свойств исследуемых композитов), выдержка образцов при данной температуре в течение времени $t = 2,0 \pm 0,05$ ч, медленное охлаждение до температуры $T = 298 \pm 2$ К. С целью стабилизации структурных процессов в матрице образцы выдерживали в течение времени $t = 24$ ч на воздухе при температуре $T = 298 \pm 2$ К с последующим проведением экспериментальных исследований.

В работе исследовали теплофизические свойства КМ (теплостойкость по Мартенсу), термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР).

Теплостойкость по Мартенсу КМ определяли согласно ГОСТ 21341-75. Методика исследования заключается в определении температуры, при которой исследуемый образец нагревали со скоростью $v = 3$ К/мин под действием постоянной изгибающей нагрузки $F = 5 \pm 0,5$ МПа, в результате чего он деформируется на заданную величину ($h = 6$ мм).

ТКЛР образцов рассчитывали по кривой зависимости относительной деформации от температуры, аппроксимируя эту зависимость экспоненциальной функцией. Относительную деформацию определяли по изменению длины образца при повышении температуры в стационарных условиях (ГОСТ 15173-70). Размеры образцов для исследования: $65 \times 7 \times 7$ мм, непараллельность шлифованных торцов составляла не более 0,02 мм. Перед исследованием измеряли длину образца с точностью $\pm 0,01$ мм. Скорость подъема температуры составляет $v = 2$ К/мин. Погрешность определения температуры составляла $\Delta T = \pm 1$ К.

Результаты исследований и их обсуждения. На основе результатов экспериментальных исследований физико-механических свойств композитов [10] установлено оптимальное содержание пластификатора-антипирена трихлорэтилфосфата ТХЭФ ($q = 10 \dots 20$ масс.ч.) в эпоксидной матрице с улучшенными физико-механическими свойствами, состоящей из эпоксидного олигомера ЭД-20 (100 масс.ч.), отверждаемой полиэтиленполиамином ПЭПА (10 масс.ч.). В этом случае формируется материал со следующими свойствами: разрушающие напряжения при изгибе $\sigma_{изг} = 54,6 \dots 60,2$ МПа, модуль упругости при изгибе $E = 3,5 \dots 3,7$ ГПа. Дополнительно установлено, что показатели ударной вязкости композитов при введении в эпоксидный олигомер пластификатора ТХЭФ увеличиваются по сравнению с непластифицированной эпоксидной матрицей в 1,3 раза. При этом максимальной способностью противодействовать ударной нагрузке и улучшенной трещиностойкостью отличается КМ, пластифицированный ТХЭФ в количестве $q = 20$ масс.ч. и сформированный при температуре $T = 393 \pm 2$ К. Ударная вязкость такого композита составляет $W = 9,3$ кДж/м². Ввиду незначительной разницы в значениях физико-механических показателей сформированных эпоксиполимеров с содержанием пластификатора $q = 10$ и $q = 20$ масс.ч. в интервале температур сшивания $\Delta T = 373 \dots 453$ К выбрали оптимальную концентрацию ТХЭФ $q = 10$ масс.ч, что позволит сократить затраты на производство пластифицированных полимерных матриц.

Таким образом, исходя из приведенных выше результатов была поставлена задача исследовать теплофизические свойства КМ, сшитых при температурах $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К. При этом КМ формировали на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 ($q = 100$ масс.ч), отвержденной аминным отвердителем ПЭПА ($q = 10$ масс.ч), при введении пластификатора ТХЭФ в диапазоне концентраций $q = 10 \dots 40$ масс.ч.

На первом этапе определяли теплостойкость КМ по Мартенсу при увеличении содержания пластификатора ТХЭФ. Установлено (рис. 1), что значения теплостойкости по Мартенсу при температурах сшивания КМ $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К отличаются незначительно, а общий характер кривых указывает на снижение указанной характеристики с увеличением количества вводимого пластификатора. Доказано, что для КМ с пластификатором в количестве $q = 0 \dots 10$ масс.ч. значения теплостойкости составляют $T_I = 354 \dots 355$ К, а для КМ с пластификатором в количестве $q = 30 \dots 40$ масс.ч. теплостойкость составляет $T_{II} = 336 \dots 343$ К. Однако, в интервале содержаний вводимого в КМ пластификатора $q = 10 \dots 30$ масс.ч. характер зависимости различный – при температуре сшивания КМ $T_1 = 393$ К эта зависимость носит более плавный характер, чем при температуре сшивания КМ $T_2 = 413$ К.

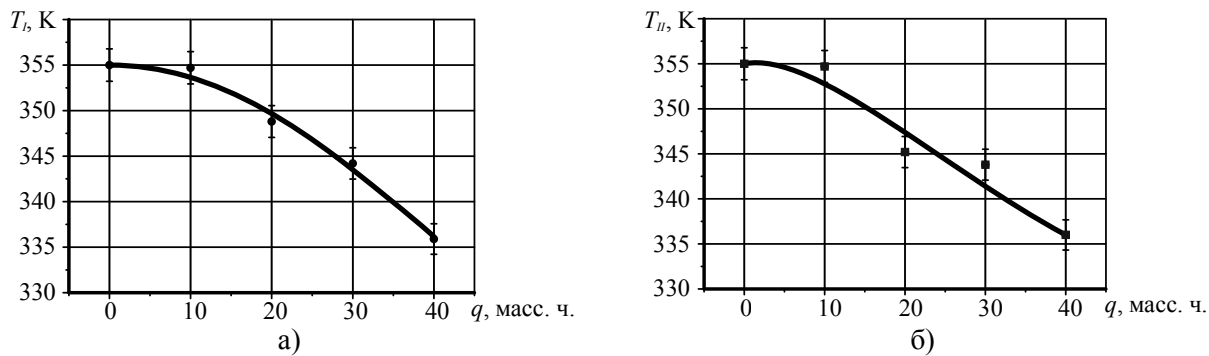


Рисунок 1 – Зависимость теплоустойкости по Мартенсу (T_I и T_{II}) от содержания пластификатора ТХЭФ (q , масс.ч.) в КМ:

а) температура сшивания КМ – $T_1 = 393$ К; б) температура сшивания КМ – $T_2 = 413$ К

Таким образом, для создания матрицы с повышенными показателями теплофизических свойств рекомендуется вводить в эпоксидное связующее пластификатор ТХЭФ в количестве $q = 10$ масс.ч. и отверждать матрицу при температуре $T_1 = 393$ К.

Для более детального анализа процессов структурообразования и, соответственно, для анализа поведения КМ под влиянием теплового поля исследовали термический коэффициент линейного расширения материалов. На основании полученных дилатометрических кривых зависимости деформации от температуры производили расчет ТКЛР КМ в различных диапазонах для температур сшивания КМ $T_1 = 393$ К (рис. 2) и $T_2 = 413$ К (рис. 3).

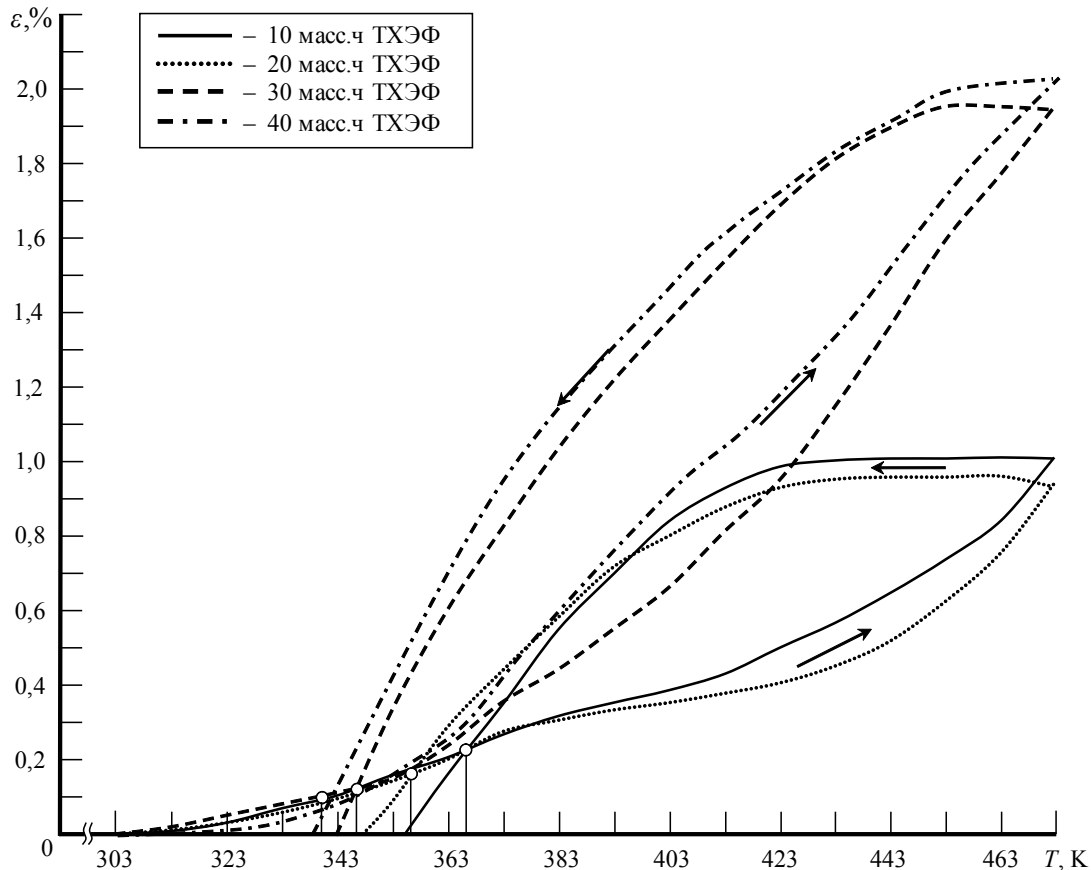


Рисунок 2 – Дилатометрические кривые с различным содержанием пластификатора ТХЭФ (q , масс.ч.) в КМ при температуре сшивания $T_1 = 393$ К

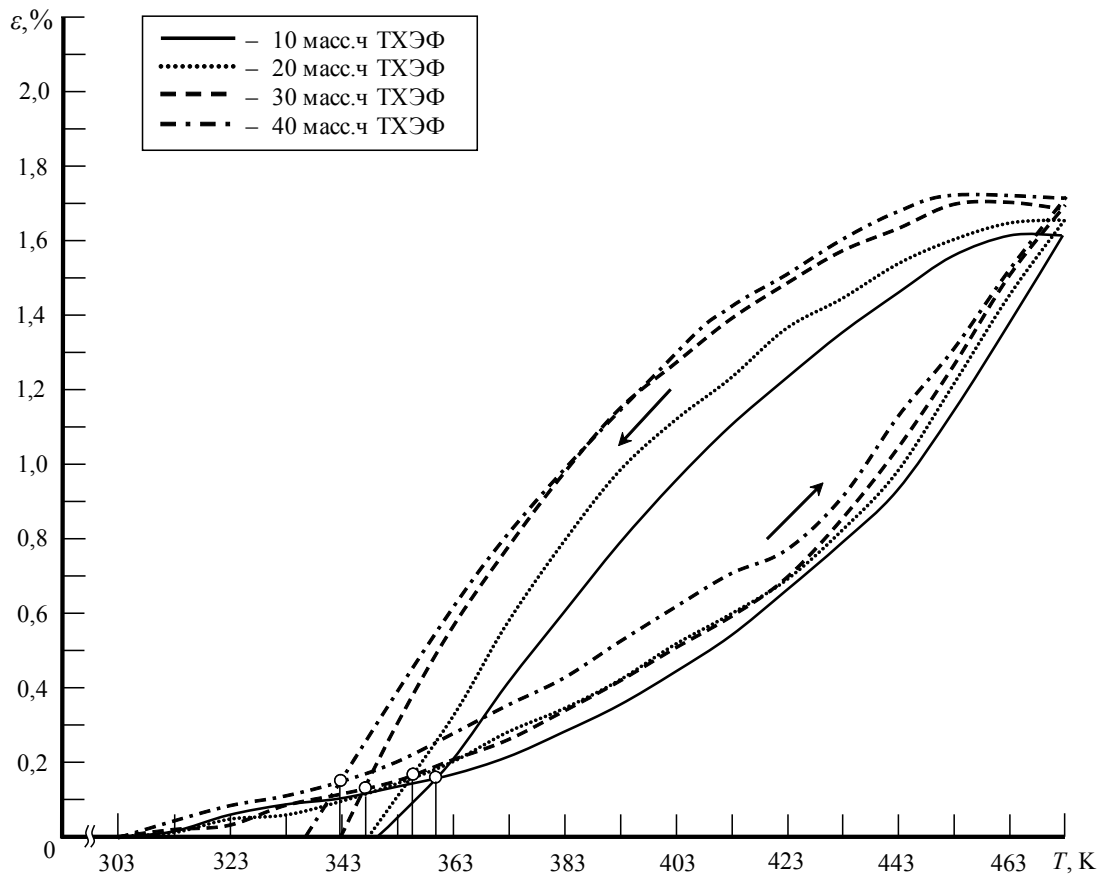


Рисунок 3 – Дилатометрические кривые с различным содержанием пластификатора ТХЭФ (q , масс.ч.) в КМ при температуре сшивания $T_2 = 413$ К

Результаты расчета ТКЛР композитов в различных температурных интервалах исследования приведены в табл. 2. Следует отметить, что при температурах сшивания КМ $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К на различных температурных участках исследования ТКЛР материалов увеличивается с ростом температуры. Следует отметить, что в области линейного расширения $\Delta T = 303 \dots 473$ К при температурах сшивания $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К наименьшим показателем ТКЛР ($\alpha_1 = 9,56 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ и $\alpha_2 = 9,54 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, соответственно) отличается КМ с содержанием пластификатора ТХЭФ в количестве $q = 10$ масс.ч.

Можно предположить, что в КМ с оптимальным содержанием вводимого пластификатора происходит активация физико-химических процессов на границе раздела фаз «связующее – пластификатор», в результате чего формируется материал с меньшей степенью золь-фракции, а следовательно, и улучшенными не только физико-механическими, но и теплофизическими свойствами.

При анализе дилатометрических кривых (рис. 2 и рис. 3) дополнительно установлено, что при термическом нагреве происходит усадка материалов, значение которой приведено в табл. 2. Кроме того, в результате экспериментальных исследований установлено температуру стеклования КМ (табл. 2). Доказано, что среди всех исследуемых композитов материал, пластифицированный ТХЭФ (10 масс.ч.), характеризуется максимальным значением температуры стеклования ($T_{c1} = 367$ К при температуре сшивания $T_1 = 393$ К и $T_{c2} = 360$ К при температуре сшивания КМ $T_2 = 413$ К).

Минимальные значения усадки наблюдаются также при содержании вводимого в КМ пластификатора в количестве $q = 10$ масс.ч. и составляет $\Delta l_1 = 0,81$ % при температуре сшивания КМ $T_1 = 393$ К и $\Delta l_2 = 0,55$ % при температуре сшивания КМ $T_2 = 413$ К. Значение усадки при температуре сшивания КМ $T_1 = 393$ К выше в 1,47 раза по сравнению со значением усадки при температуре сшивания КМ $T_2 = 413$ К, что, по нашему мнению, обусловлено испарением пластификатора при нагреве.

Таблица 1 – Термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР) при различных температурных диапазонах исследований для температур сшивания КМ $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К

Содержание пластификатора ТХЭФ, q , масс.ч.	Термический коэффициент линейного расширения, $\alpha \times 10^{-5}, K^{-1}$			
	Температурные диапазоны исследования, $\Delta T, K$			
	303...323	303...373	303...423	303...473
Температура сшивания КМ $T_1 = 393$ К				
0 (контрольный образец)	2,44	2,79	4,27	8,32
10	2,58	3,82	4,39	9,56
20	2,57	3,85	4,89	9,97
30	2,37	4,96	7,89	11,60
40	2,79	6,97	10,40	12,10
Температура сшивания КМ $T_2 = 413$ К				
0 (контрольный образец)	3,42	3,67	5,62	9,73
10	3,94	3,04	5,51	9,54
20	3,94	4,27	5,64	9,82
30	3,94	4,51	5,78	10,00
40	4,33	4,95	5,91	10,10

Полученные результаты усадки и температуры стеклования коррелируют со значениями показателей теплостойкости, которые при содержании вводимого в КМ пластификатора в количестве $q = 10$ масс.ч. также среди всех исследуемых образцов являются самыми высокими (рис. 1 и табл. 2).

Таблица 2 – Теплофизические свойства КМ

Характеристики	Содержание вводимого в КМ пластификатора ТХЭФ, q , масс.ч.				
	0 (контрольный образец)	10	20	30	40
Температура сшивания КМ $T_1 = 393$ К					
Теплостойкость, T_I, K	355	354,7	348,8	344,7	335,9
Температура стеклования, T_{c1}, K	313	367	357	347	338
Усадка, $\Delta l_1, \%$	0,14	0,81	0,88	1,10	2,06
Температура сшивания КМ $T_2 = 413$ К					
Теплостойкость, T_{II}, K	355	354,7	345,2	343,8	336
Температура стеклования, T_{c2}, K	313	360	356	349	342
Усадка, $\Delta l_2, \%$	0,14	0,55	0,79	0,92	1,02

Выводы. По результатам экспериментальных исследований установлено влияние количества вводимого в эпоксидное связующее пластификатора на теплофизические свойства композитов. На основе экспериментальных исследований разработана пластифицированная эпоксидная матрица с улучшенными теплофизическими свойствами следующего состава: эпоксидиановая смола ЭД-20 – 100 масс.ч., аминный отвердитель – полиэтиленполиамин ПЭПА – 10 масс.ч., пластификатор – трихлорэтилфосфат ТХЭФ – 10 масс.ч. при температуре сшивания $T_2 = 413$ К. Матрица отличается следующими свойствами: теплостойкость по Мартенсу – $T_{II} = 355$ К; термический коэффициент линейного расширения в диапазоне температур $\Delta T = 303...473$ К – $\alpha = 9,54 \times 10^{-5} K^{-1}$. При этом температура стеклования составляет $T_{c2} = 360$ К, а усадка – $\Delta l_2 = 0,55$ %.

На основе проведенных экспериментальных исследований физико-механических и теплофизических свойств можно рекомендовать разработанный материал, в состав которого входит ингибитор горения (антипирен) трихлорэтилфосфат, в виде связующего для покрытия с целью защиты поверхностей деталей энергетического оборудования и механизмов, эксплуатируемых под воздействием открытого пламени, и в зонах с повышенными температурами рабочих поверхностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Buketov A. V. A study of creep of epoxy composites with continuous fibers and modified fine filler in aggressive media / A. V. Buketov, P. D. Stukhlyak, V. V. Levyts'kyi [and etc.] // *Strength of Materials*. – Vol. 43, Number 3. – 2011. – P. 338-346.
2. Федосеев М. С. Влияние природы эпоксидной матрицы, условий ее формирования на термомеханические, термические и адгезионные характеристики полимерного материала / М. С. Федосеев, И. Н. Шардаков, Л. Ф. Державинская, Д. М. Девятериков, Р. В. Цветков // *Перспективные материалы*. – 2013. – № 8. – С. 11-17.
3. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. – 2-е изд. – СПб. : Научные основы и технологии. – 2010. – 822 с. – ISBN 978-5-91703-003-6.
4. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. и др.] ; под ред. Берлина А. А. – [3-е изд.]. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
5. Технология полимерных материалов [А. Ф. Николаев, В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов и др.] ; под общ. ред. В. К. Крыжановского. – СПб. : Профессия, 2008. – 544 с.
6. Букетов А. В. Дослідження фізико-механічних та теплофізичних властивостей епоксикомпозитів із двокомпонентним бідисперсним наповнювачем / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, М. В. Браїло // *Проблемы прочности*. – 2014. – № 5. – С. 160-167.
7. Стухляк П. Д. Структурные уровни разрушения эпоксидных композитных материалов при ударном нагружении / [Стухляк П. Д., А. В. Букетов, С. В. Панин и др.] // *Физическая мезомеханика*. – 2014. – Т. 17. – № 2. – С. 65-83.
8. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький. – Львів : Вид. нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
9. Ширшова Е. С. Изучение влияния модификаторов на свойства эпоксидных композиций / Е. С. Ширшова, Е. А. Татаринцева, Е. В. Плакунова, Л. Г. Панова // *Пластические массы*. – 2006. – № 12. – С. 34-36.
10. Букетов А. В. Исследование физико-механических свойств композитных материалов на основе эпоксидиановой смолы, отвержденной полиэтиленполиамином, с добавлением пластификатора–антипирена трихлорэтилфосфата / А. В. Букетов, А. В. Акимов, Д. А. Зинченко // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2015. – № 5. – С. 126-134.

REFERENCES

1. Buketov A. V. A study of creep of epoxy composites with continuous fibers and modified fine filler in aggressive media / A. V. Buketov, P. D. Stukhlyak, V. V. Levyts'kyi [and etc.] // *Strength of Materials*. – Vol. 43, Number 3. – 2011. – R. 338-346.
2. Fedoseev M. S. Vliyanie prirodnih ehpoksidnoyj matricih, usloviyj ee formirovaniya na termomekhanicheskie, termicheskie i adgezionnihe kharakteristiki polimernogo materiala / M. S. Fedoseev, I. N. Shardakov, L. F. Derzhavinskaya, D. M. Devyaterikov, R. V. Cvetkov // *Perspektivnihe materialih*. – 2013. – № 8. – S. 11-17.
3. Mikhayjlin Yu. A. Konstrukcionnihe polimernihe kompozicionnihe materialih / Yu. A. Mikhayjlin. – 2-e izd. – SPb. : Nauchnihe osnovih i tekhnologii. – 2010. – 822 s. – ISBN 978-5-91703-003-6.
4. Polimernihe kompozicionnihe materialih: struktura, svoystva, tekhnologiya [Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S. i dr.] ; pod red. Berlina A. A. – [3-e izd.]. – SPb. : Professiya, 2008. – 560 s.
5. Tekhnologiya polimernihkh materialov [A. F. Nikolaev, V. K. Krihzhhanovskiyj, V. V. Burlov i dr.] ; pod obth. red. V. K. Krihzhhanovskogo. – SPb. : Professiya, 2008. – 544 s.

6. Buketov A. V. Doslidzhennya fiziko-mekhanichnikh ta teplofizichnikh vlastivostey epoksikompozitiv iz dvokomponentnim bidispersnim napovnyuvachem / A. V. Buketov, O. O. Saprnov, M. V. Braïlo // Problemih prochnosti. – 2014. – № 5. – S. 160-167.

7. Stukhlyak P. D. Strukturnihe urovni razrusheniya ehpoksidnihkh kompozitnihkh materialov pri udarnom nagruzhenni / [Stukhlyak P. D., A. V. Buketov, S. V. Panin i dr.] // Fizicheskaya mezomekhanika. – 2014. – Т. 17. – № 2. – S. 65-83.

8. Tkhir I. G. Fiziko-khimiya polimeriv / I. G. Tkhir, T. V. Gumenecjkiyj. – Ljviv : Vid. nac. univer. «Ljvivsjka politehnika», 2005. – 240 s.

9. Shirshova E. S. Izuchenie vliyaniya modifikatorov na svoystva ehpoksidnihkh kompoziciyj / E. S. Shirshova, E. A. Tatarinceva, E. V. Plakunova, L. G. Panova // Plasticheskie massih. – 2006. – № 12. – С. 34-36.

10. Buketov A. V. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv kompozitnihkh materialov na osnove ehpoksidanovoyj smolih, otverzhennoyj poliehtilenpoliaminom, s dobavleniem plastifikatora–antipirena trikhlorehtilfosfata / A. V. Buketov, A. V. Akimov, D. A. Zinchenko // Visnik Khmeljnicjкого nacionaljnogo universitetu. Tekhnichni nauki. – 2015. – № 5. – S. 126-134.

Акімов О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИКОМПОЗИТИВ, МОДИФІКОВАНИХ ТРИХЛОРЕТИЛФОСФАТОМ

Досліджено залежність вмісту антипірену трихлоретилфосфату, що вводиться в епоксидний композит, на теплофізичні властивості матеріалів для формування захисних покриттів. Установлено, що введення в композицію пластифікатора при оптимальному вмісті забезпечує поліпшення, поряд з фізико-механічними, теплофізичних властивостей покриттів. Оптимальний вміст введеного у епоксикомпозит (ЕД-20 – 100 мас.ч.; твердник ПЕПА – 10 мас.ч) пластифікатора ТХЕФ – 10 мас.ч. При цьому встановлено оптимальний режим формування і температура шивання епоксикомпозиту, яка складає 413 К.

Ключові слова: теплофізичні властивості, захисні покриття, епоксикомпозит, антипірен, трихлоретилфосфат.

Akimov A.V. RESEARCH OF THERMAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES MODIFIED TRICHLOROETHYL PHOSPHATE

The dependence of the content of the fire-retardant agent introduced trichloroethyl phosphate on thermal properties of epoxy composites to form a protective coating. The introduction to the composition at optimal plasticizer content provides improved, along with physical and mechanical properties, thermal properties of the coatings. Optimal content introduced into epoxy composites (ED-20 – 100 parts; curing PEPA – 10 parts) plasticizer (TCEP – 10 parts by weight). At the same time it sets the optimum mode of formation and crosslinking temperature epoxy composites, which is 413 K.

The practical value lies in the fact that based on the carrying out of preliminary experimental studies of physico-mechanical and received thermal properties can be encouraged to develop the material, which includes a fire-retardant agent trichloroethyl, as a binder for coatings to protect surfaces of parts of energy equipment and machinery It operated under the influence of open flame, and in areas with high temperature of the working surfaces.

Keywords: thermal properties, protective coatings, epoxy composite, fire-retardant agent, trichloroethyl phosphate.

© Акімов О. В.

Статтю прийнято
до редакції 02.11.15