



ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ОТВЕРЖДЕННОГО ПОЛИМАТРИЧНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Снежана Александровна Хапёрских¹, Елена Сергеевна Ананьева²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ Якутский научный центр Сибирского отделения Российской Академии наук, Якутск, Россия

² Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

¹ snezhana_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2204-3469>

² eleana2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5768-3912>

Аннотация. Проектирование изделий из полимерных композиционных материалов предполагает постоянную работу над оптимизацией компонентного состава, приводящей снижению затрат на производство ПКМ при сохранении или повышении эксплуатационных характеристик.

Эпоксидно-диановое связующее, используемое при производстве продукции, является дорогостоящим компонентом. С целью снижения себестоимости готового продукта авторами предложено разработать полиматричный материал путем замещения части эпоксидно-дианового связующего полиэфирным.

Снижение стоимости материала, расширение перечня полезных свойств, снижение плотности, увеличение прочностных характеристик – это не полный перечень положительных моментов при создании гибридного (полиматричного) материала, в том числе и при создании полиматричных структур. Авторами данной статьи был проведен анализ полиматричных структур на основе эпоксидно-дианового и полиэфирного связующих. В качестве объекта исследования был выбран полиматричный материал на основе ЭДИ (на ангидридном отвердителе) с полиэфирной смолой, в качестве отвердителя к которой был использован трет-бутилпероксибензоат.

В качестве показателя оценки эффективности работы полиматричного связующего была выбрана ударная вязкость, как наиболее чувствительная характеристика к структурным изменениям на уровне химической сетки и степени отверждения.

Проведенный анализ экспериментальных данных позволил вывести корреляционное уравнение, позволяющее теоретически рассчитать конечный результат на ударную вязкость полиматричного материала с учетом объемной доли заместителя – полиэфирной смолы. По результатам исследования даны рекомендации по использованию данной зависимости. Статья обобщает полученный опыт авторов и требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: эпоксидно-диановая смола, изометилтетрагидрофталевый ангидрид, трет-бутилпероксибензоат, полиэфирная смола, полиматричный материал, полимер, ударная вязкость, метод Шарпи.

Для цитирования: Хапёрских С. А., Ананьева Е. С. Влияние компонентного состава на ударную вязкость отвержденного полиматричного связующего // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т. 2. С. 184–192. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.023. EDN: <https://elibrary.ru/NIYNWI>.

Original article

EFFECT OF THE COMPONENT COMPOSITION ON THE IMPACT STRENGTH OF THE CURED POLYMATRIC BINDER

Snezhana A. Khaperskikh ¹, Elena S. Anan'eva ²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

¹ snezhana_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2204-3469>

² eleana2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5768-3912>

Abstract. *The design of products made of polymer composite materials involves constant work on optimizing the component composition, leading to a reduction in the cost of manufacturing PCM while maintaining or improving operational characteristics.*

The epoxy-diane binder used in the production of products is an expensive component. In order to reduce the cost of the finished product, the authors proposed to develop a polymatric material by replacing part of the epoxy-diane binder with polyester.

Reducing the cost of the material, expanding the list of useful properties, reducing density, increasing strength characteristics – this is not a complete list of positive moments when creating a hybrid (polymatric) material, including when creating polymatric structures. The authors of this article analyzed poly-matrix structures based on epoxy-diane and polyester binders. A polymatric material based on EDI (on an anhydride hardener) with a polyester resin was selected as the object of the study, tert-butyl peroxybenzoate was used as a hardener to which.

As an indicator of evaluating the effectiveness of the polymatric binder, the impact strength was chosen as the most sensitive characteristic to structural changes at the level of the chemical mesh and the degree of curing.

The analysis of experimental data made it possible to derive a correlation equation that allows theoretically calculating the final result for the impact strength of a polymatric material, taking into account the volume fraction of the substituent – polyester resin. Based on the results of the study, recommendations on the use of this dependence are given. The article summarizes the authors' experience and requires further study.

Keywords: *epoxy-diane resin, isomethyltetrahydrophthalic anhydride, tert-butyl peroxybenzoate, polyester resin, polymatric material, polymer, impact strength, Sharpie method.*

For citation: Khaperskikh, S. A. & Anan'eva, E. S. (2022). Effect of the component composition on the impact strength of the cured polymatric binder. *Polzunovskiy vestnik*, 4(2), 184-192. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.023. EDN: <https://elibrary.ru/NIYNWI>.

Полимаатричные структуры определенного типа и состава могут использоваться в разных областях производства, в том числе и для производства конструкционных армированных и наполненных композиционных материалов.

Они применимы для широкого круга областей использования (машино-, авиа-, приборостроение, производство труб и пр.). Эти смолы обладают оптимальным набором фи-

зико-механических характеристик, но это довольно дорого.

Использование эпоксидных смол при производстве волокнисто-наполненных материалов может быть использовано при производстве стекло-базальтопластиков и прочих изделий.

Анализируя недостатки эпоксидно-диановых связующих на основе аминного отвердителя [1] в области модифицирования эпоксидного связующего [2], выявлена низкая

технологичность вследствие необходимости доотверждения при более высоких температурах. Еще одним недостатком такого эпоксиодно-дианового связующего является длительность процесса отверждения [3]. К прочим недостаткам можно отнести: сравнительно низкую деформационную теплостойкость, низкие прочностные характеристики отвержденного материала, низкие физико-механические свойства.

В виду того, что полиматричная структура – это структура, состоящая из двух и более матриц (связующих), то вторым связующим предложено использовать полиэфирное связующее (ПЭС). Были проанализированы некоторые полиэфирные смолы, в результате чего выбрана литьевая ортофталевая полиэфирная смола.

Эта смола является нетиксотропной, среднереактивной, средневязкой, ненасыщенной полиэфирной смолой, имеющей низкую усадку.

В целом, использование продукции на основе полиматричных структур предполагает воздействие на них внешних сил: статических и динамических нагрузок. Статические нагрузки обусловлены постоянным давлени-

ем, действующим на изделие (например, посредством слоя грунта или опор, на которых размещена труба). Динамические нагрузки – действием различных сил кратковременного характера (например, удар по трубе вследствие неправильной эксплуатации).

В данной статье авторами рассматривается действие динамических нагрузок на изготовленные образцы, полученные путем замещения массовой доли эпоксиодно-дианового связующего (ЭДИ) от 1 до 10 % на полиэфирное. Было изготовлено 10 партий образцов.

В результате отбора проб выбран оптимальный полиматричный композит в соотношении 100:4(5) ЭДИ на изометилтетрагидрофталевом ангидриде [4] и ПЭС на третбутилпероксibenзоате.

Рецептура компонентного состава полиматричных структур представлена в таблице 1. Процесс отверждения – горячее ступенчатое отверждение по следующим параметрам:

- 1 ступень: нагрев до $T = 80$ °С в течение времени $t = 180$ минут;
- 2 ступень: нагрев до $T = 110$ °С в течение времени $t = 180$ минут;
- 3 ступень: нагрев до $T = 150$ °С в течение времени $t = 180$ минут.

Таблица 1 – Компонентный состав ПЭС на 100 м.ч. ЭДИ [2, 4, 7]

Table 1 - Component composition [2, 4, 7]

Компонентный состав ПЭС	Номер рецептуры									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение показателя	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %

Смешение компонентов матриц производится следующим образом: ЭД-20 смешивается с отвердителем Изо-МТГФА и ускорителем УП-606, одновременно с этим происходит смешение полиэфирной смолы с отвердителем EFOX30 в отдельных емкостях в течение 5 минут. Далее в эпоксидную смолу в зависимости от ее массового содержания добавляется выбранная концентрация полиэфирного связующего (1–10 % от массы эпоксиодно-дианового связующего).

Анализ результатов испытаний показал влияние введенного полиэфирного связующего в эпоксидное. В результате чего авторами было установлено оптимальное введение полиэфирного связующего в эпоксидное, оно составило около 5 %. Кроме того, выявлена полиномиальная зависимость объемной

доли полиэфирного связующего в общей массе композита. В результате чего авторами было выведено корреляционное уравнение, позволяющее произвести теоретический расчет величины ударной вязкости от содержания полиэфирного связующего в эпоксидном и заранее спрогнозировать будущие свойства материала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Некоторые материалы, предметы быта, даже не предназначенные для работы с нагрузками, тоже могут ломаться и чаще всего от случайных ударов. Следовательно, необходимо провести ударные испытания изготовленных композиционных материалов. На сегодняшний день существуют различного рода методики проведения испытаний на

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ОТВЕРЖДЕННОГО ПОЛИМАТРИЧНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

ударную вязкость. В нашем случае применим ГОСТ 4647-2015 [5] на определение ударной вязкости пластмасс, в том числе полимерных материалов. Оборудование для проведения испытаний – маятниковый копер.

Испытания проведены при нормальных условиях. Ударную вязкость по Шарпи, согласно ГОСТ 4647-2015, образца без надреза можно вычислить по следующей формуле, кДж/м² [5]:

$$a = \frac{A_n}{b \cdot h} \cdot 10^3, \quad (1)$$

где A_n – энергия удара, затраченная на разрушение образца без надреза, Дж;
 b – ширина образца, мм;
 h – толщина образца, мм.

Энергия удара, которая была затрачена на разрушение образца рассчитывается по формуле, Дж [6]:

$$A_n = G \cdot l(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1), \quad (2)$$

где G – масса молота, кг;
 l – длина подвески, м;
 α_1 – угол подъема молота, град;
 α_2 – угол отклонения молота, град.



Рисунок 1 – Внешний вид образцов для испытаний на ударную вязкость

Figure 1 - Appearance of impact strength test samples

Стоит учесть то, что в теории образец в первую очередь деформируется, затем появляется трещина, которая в идеале прорастает через все тело образца, на что также затрачивается энергия. Эксперименты по записи деформационных кривых зачастую не оценивают работу на развитие трещины, потому как после ее образования она в большинстве случаев распространяется посредством накопленной ранее упругой энергии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изготовленные образцы (рисунок 1) исследовали на ударную вязкость сразу после отверждения (таблица 2). Угол подъема маятника $\alpha_1 = 160^\circ$, длина маятника 0,22 м.

При проведении эксперимента учитывались образцы, которые обеспечили однородность выборки эксперимента. Образцы,

Внешний вид образцов представлен на рисунке 1. Образцы получены отливкой в силиконовую форму, что позволило добиться чистоты поверхности, снижения шероховатости, снижения поверхностных дефектов и концентраторов напряжений.

После выемки из формы образцы не требовали дополнительной механической обработки. Кроме того, испытания проводились на образцах без надреза. В виду того, что образцы являются достаточно хрупкими, исключена деформация в образце. Само по себе хрупкое разрушение – достаточно опасный вид разрушения материалов. Оно заключается в мгновенном разрушении материала без какой-либо пластической деформации. В свою очередь, происходит моментальный рост трещины, а скорость ее распространения приблизительно равна скорости звука в материале.

Перед испытанием образцы кондиционируют при комнатной температуре (20–22 °С), постоянном давлении и проводят замеры ширины и толщины образцов микрометром, согласно ГОСТ 6507-90 [7].

не удовлетворяющие выборке, не принимались к расчету ударной вязкости. Погрешность эксперимента определения работы разрушения не более 2 %.

Ниже на рисунке 4 представлена графическая зависимость величины работы разрушения от массового содержания полиэфирного связующего (ПЭС) в эпоксидно-диановом связующем (ЭДИ).

Анализируя работу разрушения испытанных полимерных композиционных материалов, наблюдается превышение величины показателя работы разрушения чистого полиэфирного композита (0,53 Дж) над чистым эпоксидно-диановым композитом (0,22 Дж). То есть величина работы разрушения полимера на основе полиэфирной смолы практически в 2,5 раза превышает работу разрушения полимера на основе ЭД.

Также стоит отметить, что введение в эпоксидно-диановое связующее даже небольшой доли (около 1 %) полиэфирного, повышает работу разрушения образца с 0,22 Дж до 0,42 Дж (рост показателя практически в 2 раза).

Повышая массовую долю полиэфирного связующего в эпоксидном, происходит постепенный рост работы разрушения. В свою очередь, рост значений работы разрушения свидетельствует о повышении пластичности этих материалов. Пластичность материала способствует пластическому разрушению образца, а вызвано это прежде всего тем, что слои атомов в кристаллических решетках полимера способны скользить относительно друг друга. Дислокация при таком скольжении не только обеспечивает про-

скользывание слоев, но и способствует поглощению энергии. В результате таких сдвигов в кристаллических решетках материал обретает способность к формоизменению и поглощению упругой энергии.

Анализируя графическую часть зависимости величины работы разрушения полиматричного материала (рисунок 2), стоит отметить две характерные прямые параллельные оси абсцисс, обозначенных синим и красным цветами. Эти линии являются асимптотами работы разрушения для «чистых» связующих, то есть для 100 % ПЭС и ЭДИ соответственно. Область, расположенная между этими асимптотами, – пространство ограничения, характерное для связующих ЭДИ и ПЭС.

Таблица 2 – Значение показателя ударной вязкости

Table 2 - The value of the impact strength index

Компонентный состав, %		Работа разрушения, Дж	Ударная вязкость, Дж/м ²
ПЭС	ЭДИ		
100	0	0,53	160,34
100	0	0,22	54,43
99	1	0,42	95,25
98	2	0,44	107,47
97	3	0,46	109,54
96	4	0,48	112,96
95	5	0,49	122,01
94	6	0,51	125,62
93	7	0,51	127,25
92	8	0,52	129,37
91	9	0,52	129,12
90	10	0,53	130,85

Процесс изучения прочностных свойств выбранных композиций (рисунок 2) говорит о том, что оптимальная величина полиэфирного связующего в эпоксидном – до 5%. Чем больше доля полиэфирного связующего, тем больше работа разрушения образца. Величина показателя с массовой долей более 5 % стабилизируется и кардинальных изменений не претерпевает, соответственно, и на величину ударной вязкости тоже не повлияет.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что для повышения упругих и прочностных

свойств полиматричного композиционного материала необходимо оптимальное содержание вводимого компонента (ПЭС), при котором структурные участки в составе полиматричного композита могут выступать в качестве локальных релаксаторов внутренних напряжений. То есть наличие такой структурной микронеоднородности непосредственно определено именно концентрацией полиэфирного связующего.

Далее рассмотрим графическую зависимость ударной вязкости исследуемых образцов от массового содержания полиэфирного связующего в эпоксидном (рисунок 3).

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ОТВЕРЖДЕННОГО ПОЛИМАТРИЧНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

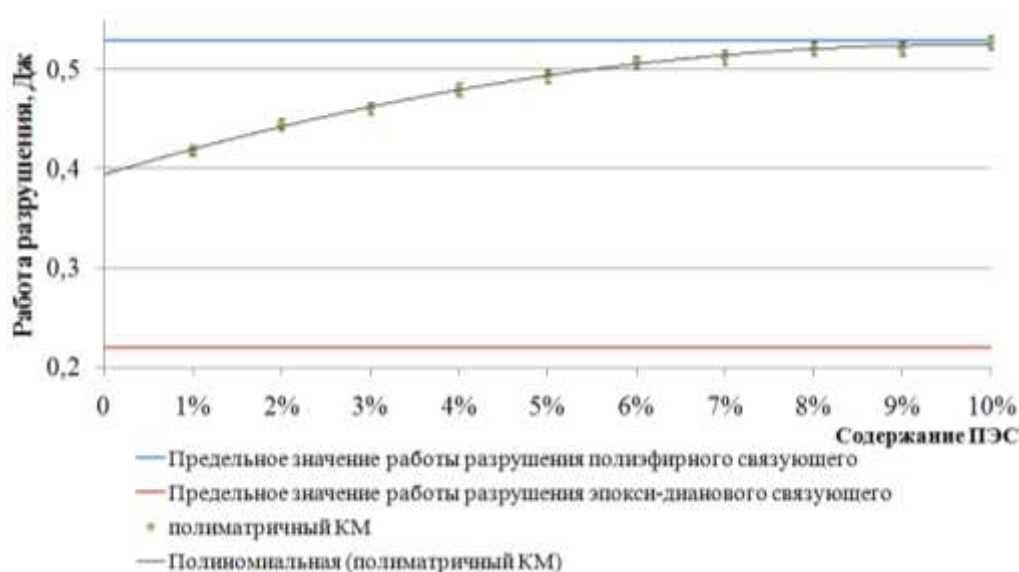


Рисунок 2 – Зависимость величины работы разрушения от массового содержания полиэфирного связующего в эпоксидно-диановом связующем

Picture 2 - The dependence of the magnitude of the destruction work on the mass content of the polyester binder in the epoxy-diane binder

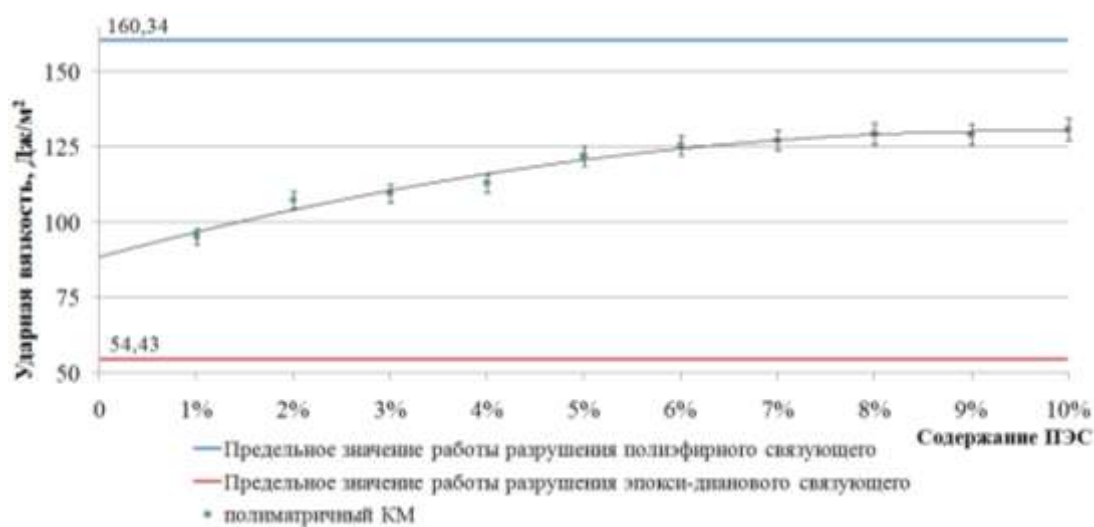


Рисунок 3 – Зависимость величины ударной вязкости образцов от массового содержания полиэфирного связующего в эпоксидно-диановом связующем

Picture 3 - Dependence of the impact strength of samples on the mass content of polyester binder in epoxy-diane binder

Графическая интерпретация основных результатов отбора проб на ударную вязкость представлена на рисунке 3. Анализируя рисунок 3, наблюдается следующее: композиционный материал на основе полимерной матрицы, наполненной полиэфирным связующим в массовой доле от 1 до 10 %, отвержден и имеет значения показателей ударной вязкости ниже исходных, а именно: значение ударной вязкости поли-

эфирного отвержденного композита составило около 160 Дж/м², а композита на основе ЭДИ – около 54,5 Дж/м², что указывает на различие в величинах показателей ударной вязкости практически в 3 раза.

Как видно из рисунка 3, при отверждении эпоксидно-дианового связующего с полиэфирным получены наиболее ударопрочные полимерные материалы (по сравнению с эпоксидным). Введение в эпоксидное свя-

зующее 1 % полиэфирного позволяет добиться роста величины показателя ударной вязкости на 40,8 Дж/м², или в 1,8 раза, но до наполняемости в 5 %, далее – рост незначителен. Оптимальное 5-процентное наполнение обеспечивает рост показателя ударной вязкости на 67,6 Дж/м², или в 2,2 раза.

Таким образом, полученные результаты показывают, что на основе эпоксидно-дианового связующего, модифицированного полиэфирным связующим, возможно получить полимерные композиционные материалы с повышенной ударной вязкостью.

Авторами данной статьи проведен анализ полученных данных. В результате чего наблюдается зависимость показателя ударной вязкости от объемной доли полиэфирного связующего. С учетом рассмотренного материала, в нашем случае – это единственный показатель, который влияет на конечный результат анализируемого показателя. Таким образом, для интерпретации полученных результатов использовалась корреляционная зависимость объемной доли полиэфирного связующего. Формула для определения теоретических значений ударной вязкости для данных условий будет

иметь вид полиномиальной зависимости, а именно:

$$\varepsilon = 8,8X - 0,5X^2, \quad (3)$$

где X – содержание полиэфирного связующего, %.

Используя данную математическую модель, можно производить прогнозирование свойств будущего композиционного материала на основе полиматричных структур.

Данной зависимостью можно объяснить и тот факт, что нет необходимости введения больших объемов полиэфирного связующего (ПЭС) в эпоксидное. Используя данную формулу (3), авторами статьи также было выявлено, что при 10 % ПЭС величина ударной вязкости имеет максимальное значение. При увеличении доли ПЭС выше 10 % ударная вязкость начинает снижаться в той же зависимости. Так, при вводе 15 % ПЭС в ЭДИ теоретическое значение ударной вязкости составит 117 Дж/м², что свидетельствует о снижении показателя.

Прогнозирование ударной вязкости по используемой методике анализа представлено на рисунке 4.

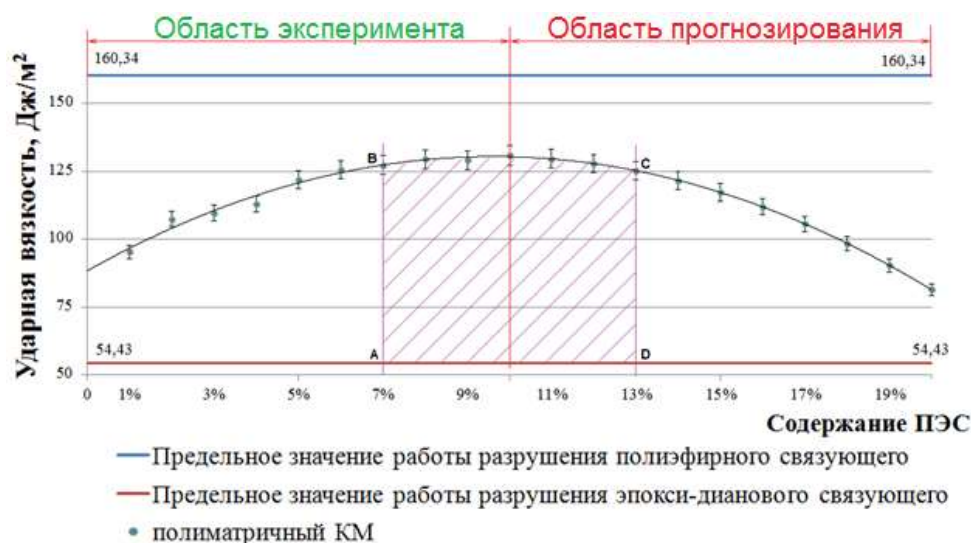


Рисунок 4 – Прогнозирование свойств ударной вязкости образцов от массового содержания полиэфирной связующего в эпоксидно-диановом связующем

Picture 4 - Prediction of impact strength properties of samples from the mass content of the polyester binder in the epoxy-diane binder

В целом формула показывает отсутствие необходимости введения излишней доли ПЭС в эпоксидно-диановое связующее, потому как при определенных моментах будет наблюдаться обратный эффект, что противоречит цели исследования – повышение

ударной вязкости композита и снижение затрат на его производство.

Таким образом, результаты свойств полиматричного материала, по данным рисунка 4, определяют две области анализа полученных полиматричных КМ – эксперимен-

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ОТВЕРЖДЕННОГО ПОЛИМАТРИЧНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

тальную и прогнозируемую. Внешний вид полиномиальной зависимости свидетельствует о том, что на графике присутствует определенная область, характерная как для экспериментальной части работы, так и для прогнозной. Эта область соответствует фигуре ABCD. То есть оптимальными значениями концентрации ПЭС в ЭДИ будет удовлетворять промежутки от 7 % до 13 % ПЭС. Использование ПЭС в малых (до 7 %) или больших (более 13 %) концентрациях приведет к снижению показателя ударной вязкости полиматричного КМ. Результаты, полученные опытным путем, соответствуют погрешности измерений не более 3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что при анализе полиматричных КМ на основе эпоксидно-дианового связующего (ЭДИ) и полиэфирного (ПЭС) важным параметром при изготовлении ударопрочного композита будет являться объемная доля модификатора – полиэфирного связующего. Именно поэтому были проанализированы образцы с различной долей модификатора.

В результате отбора проб выбран оптимальный полиматричный состав – 100:7(13) ЭДИ с ангидридным отвердителем и ПЭС с отвердителем – трет-бутилпероксibenзоат соответственно, а также проведен анализ ударной вязкости. Анализ полученных данных свидетельствует о получении материалов с наиболее ударопрочными характеристиками (по сравнению с эпоксидными).

Кроме того, определена зависимость показателя ударной вязкости от объемной доли полиэфирного связующего, что позволяет производить прогнозирование свойств будущего полиматричного материала на основе ЭДИ и ПЭС.

Также определено максимальное наполнение ЭДИ. Доля ПЭС в составе полиматричного ПКМ не должна превышать 13 %. Введение излишней доли ПЭС в эпоксидно-диановое связующее (ЭДИ) снижает ударную вязкость ПКМ согласно полиномиальной зависимости.

Таким образом, рост доли модификатора в виде ПЭС в полиматричной структуре может способствовать увеличению ударной вязкости композита. Соответственно, рост ударной вязкости способствует поглощению механической энергии в процессе деформации и разрушения материала. А использование выведенного в работе корреляционного соотношения позволит сократить время по прове-

дению испытаний на ударную вязкость. Но стоит учесть, что это только лишь предположение, которое требует практического подтверждения. В целом, используя данные приведенные в работе, можно сделать вывод, что задача полностью не раскрыта и требует дальнейшего ее изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наномодифицированное эпоксидное связующее для композиционных материалов: пат.2584013 Рос. Федерация № 2014153347/05; заявл. 29.12.2014; опубл. 20.05.2016, Бюл. № 14. – 7 с.
2. ГОСТ Р 56211-2014. Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 ноября 2014 г. № 1500-ст : дата введения 2016-01-01. – Москва : Изд-во Стандартиформ, 2015. – 14 с.
3. Эпоксидное связующее для стеклопластиков: пат. 2270213 Рос. Федерация № 2004138515/04; заявл. 28.12.2004; опубл. 20.02.2006, Бюл № 5. – 5 с.
4. ГОСТ Р 25523-82 Отвердители ангидридные для эпоксидных смол. Методы определения общего кислотного числа, кислотного числа кислоты и их соотношения от 26 ноября 1982 № 4467 : дата введения 1984-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 6 с.
5. ГОСТ Р 4647-2015 Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи от 12 ноября 2015 г. № 85-П : дата введения 2017-01-01. – Москва : Изд-во Стандартиформ, 2016. – 25 с.
6. Бердыченко, А.А. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Материаловедение и технология современных и перспективных материалов» ; АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул : АлтГТУ, 2015. – 76 с.
7. ГОСТ Р 6507-90 Микрометры. Технические условия от 25 января 1990 г. № 86 : дата введения 1991-01-01. – Москва : Издательство Стандартов, 1990. – 12 с.

Информация об авторах

С. А. Халёрских – старший преподаватель, аспирант 3 курса кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Е. С. Ананьева – кандидат технических наук, доцент кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

REFERENCES

1. Kosolapov, A.F., Bal, M.B. & Natrusov, V.I. (2016). Nano modified epoxy binder for composite materi-

als. Pat. 2584013. Russian Federation, published on 20.05.2016. Bull. No. 14. (In Russ.).

2. Interstate council for standardization, metrology and certification (2014). Uncured epoxy-diane resins. Technical conditions (HOST R 56211-2014). Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200115430>. (In Russ.).

3. Ogrel, L.Y., Yastrebinskaya, A.V. (2006). Epoxy binder for fiberglass. Pat. 2270213. Russian Federation, published on 20.02.2006. Bull. No. 5. (In Russ.).

4. Interstate council for standardization, metrology and certification. (1982). Anhydride hardeners for epoxy resins. Methods for determining the total acid number, acid number of acids and their ratio (HOST R 25523-82). Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200020942>. (In Russ.).

5. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2015). Plastics. The method of determining the impact strength of the Sharpie. HOST R 4647-2015. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200127778>. (In Russ.).

6. Berdychenko, A.A. (2015). Methodical instructions for practical exercises for the course "materials Science and technology of advanced materials". Barnaul: AltSTU, P. 76. (In Russ.).

7. Interstate council for standardization, metrology and certification (1990). Micrometers. Technical conditions (HOST R 6507-90). Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200023923>. (In Russ.).

Information about the authors

S. A. Khaperskikh - Senior Lecturer, 3rd year postgraduate student of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

E. S. Anan'eva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 10.10.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 15.12.2022.

The article was received by the editorial board on 10 Oct 2022; approved after editing on 30 Nov 2022; accepted for publication on 15 Dec 2022.