

**ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИЕ-ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА
ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ (ВПС)****Улмасов Тулкун Усманович**

*д-р. техн. наук, философии (PhD) ГУП “Фан ва тараққиёт”,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Негматов Сайибжан Садиқович

*академик АН Республики Узбекистан,
д-р. техн. наук, профессор, ГУП “Фан ва тараққиёт”,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Абед Ноди́ра Сойибжановна

*д-р. техн. наук, профессор, ГУП “Фан ва тараққиёт”,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Наврузов Фарход Маматқулович

*докторант (PhD) ГУП “Фан ва тараққиёт”,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Бозорбоев Шухрат Абдурахимович

*д-р. техн. наук, философии (PhD) ГУП “Фан ва тараққиёт”,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: bozorboyev1983@mail.ru*

Жавлиев Сирожиддин Суёнович

*д-р. техн. наук, философии (PhD) ГУП “Фан ва тараққиёт”,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Махаммаджонов Зоҳидулло Улғубек угли

*докторант (PhD) ГУП “Фан ва тараққиёт”,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**VIBRATION DAMPING-VISCOELASTIC PROPERTIES
OF INTER-PENETRATION POLYMER SYSTEMS (IPS)****Tulkun Ulmasov**

*Doctor of technical philosophy, SUE “Fan va tarakkiyot”,
Tashkent state technical university,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Sayibjan Negmatov

*Academician of the AS RepUz,
doctor of technical sciences, professor, SUE “Fan va tarakkiyot”,
Tashkent state technical university,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Nodira Abed

*Doctor of technical sciences, professor,
SUE "Fan va tarakkiyot",
Tashkent state technical university,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Farkhod Navruzov

*Doctoral student SUE "Fan va tarakkiyot",
Tashkent State technical university,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Shuhrat Bozorboyev

*Doctor of technical philosophy, SUE "Fan va tarakkiyot",
Tashkent state technical university,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Sirojiddin Javliyev

*Doctor of technical philosophy, SUE "Fan va tarakkiyot",
Tashkent state technical university,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Zokhidullo Makhammadjonov

*Doctoral student SUE "Fan va tarakkiyot",
Tashkent State technical university,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

В работе приводятся результаты исследования температурной зависимости вибродемпфирующих вязкоупругих свойств и характеристики эпоксидных композиций и термопластичного полиуретана.

Установлено, что вязкоупругие свойства термопластичного полиуретана УК -1 обладают высоким коэффициентом механических потерь η в области температуры стеклования, но сравнительно низким модулем упругости при нормальной температуре.

Столь высокие значения коэффициента механических потерь (η -1,08) обусловлено наличием различных функциональных групп (уретановых, мочевиновых, аллофанатных) в структуре полиуретана.

Таким образом, выявлено, что эпоксидный полимер из олигомера ЭД-16, отвержденный ПЭПА, имеет сравнительно низкий коэффициент механических потерь, но высокий модуль упругости E' . Полиуретан, наоборот, обладает высоким значением коэффициента механических потерь, но умеренным модулем упругости при нормальной температуре. Следовательно, можно ожидать, что смеси на основе этих гомополимеров должны обладать высокими вязкоупругими показателями.

ABSTRACT

The results of the study of the temperature dependence of vibration-damping-viscoelastic properties and characteristics of epoxy compositions and thermoplastic polyurethane are presented.

It has been established that the viscoelastic properties of thermo-plastic polyurethane UK 1 has a high coefficient of mechanical losses η in the glass transition temperature range, but a relatively low modulus of elasticity at normal temperature.

Such high values of the mechanical loss coefficient (η -1.08) are due to the presence of various functional groups (urethane, urea, allophanate) in the polyurethane structure.

Thus, it was revealed that the epoxy polymer from the ED-16 oligomer, cured with PEPA, has a relatively low coefficient of mechanical losses, but a high modulus of elasticity E' . Polyurethane, on the other hand, has a high mechanical loss coefficient, but a moderate modulus of elasticity at normal temperatures. Therefore, it can be expected that a mixture based on these homopolymers should have high viscoelastic properties.

Ключевые слова: вибропоглощающий, взаимопроникающая полимерная сетка, вязкоупругие свойства, модуль упругости.

Keywords: vibration-absorbing, interpenetrating polymer mesh, viscoelastic properties, modulus of elasticity.

Введение. Одним из основных вопросов при изучении вязкоупругих и физико-механических свойств двухкомпонентных систем, в том числе взаимопроникающих полимерных сеток, является вза-

имодействие компонентов, обусловленное их совместимостью [1-5]. Особенно это взаимодействие сильно проявляется в той области температур, где протекают интенсивные релаксационные процессы.

Вследствие этого даже в термодинамических несовместимых системах взаимодействие между макромолекулами может оказывать существенное влияние на вязкоупругое поведение полимерных смесей.

Совместимость полимеров не является постоянной величиной для конкретной пары полимеров и зависит от условия получения смеси полимеров, молекулярной массы и от присутствия в системе других ингредиентов [6-10]. К критериям совместимости относят механическую однофазность, оптическую прозрачность, наличие одной температуры стеклования (T_g) и гомогенность на субмикронном уровне. В настоящее время относительно развитой является термодинамическая теория совместимости. Анализ влияния совместимости на морфологию, физико-механические и вязкоупругие свойства взаимопроникающих полимерных систем показали, что этот параметр является определяющим фактором свойств системы. Полная совместимость не является обязательной для достижения полного смешения фаз, поскольку устойчивее переплетение макромолекул может эффективно предотвращать разделение фаз. В промежуточных состояниях совместимости, т.е. в случаях частичной совместимости, наблюдается ярко выраженное вязкоупругое поведение смесей полимеров.

Анализ литературных данных показал, что наполнители, введенные в взаимопроникающие полимерные сетки (ВПС), существенным образом влияют на характер протекания релаксационных процессов в системе. Так, при введении в ВПС на основе полиуретана (ПУ) и полимитоилэтаноламид (ПЭА) аэросила, окиси алюминия и отвержденный дисперсный поливинилацетат (ПВА) [10-12] независимо от их природы наблюдается единственный максимум механических потерь, значительно расширенный и

расположенный между переходами индивидуальных сеток.

Объект и методика исследования. В настоящее время все большее применение в различных отраслях промышленности находят термопластичные полиуретаны, продукты взаимодействия простых и сложных полиэфиров с различными диизоцианатами. По своим характеристикам они близки к высокомолекулярным резиноподобным материалам и обладают высокой гибкостью цепей и особенно высоким коэффициентом механических потерь ($\eta > 1,0$ при температуре стеклования). К недостаткам следует отнести их умеренный динамический модуль упругости.

Использование терморезистивных эпоксидных полимеров в паре с термопластичным полимером, в частности, полиуретаном придает композиции на их основе высокие физико-механические и особенно вязкоупругие свойства и позволяет получить из них эффективные вибропоглощающие, звукоизолирующие и демпфирующие материалы [13, 14].

Исходя из вышеизложенного, в качестве объекта исследования были выбраны ВПС на основе эпоксидиановых полимеров (из эпоксидных олигомеров ЭД-16, ЭД-20 (ГОСТ 10587-76), ЭИС-1 (ТУ38 1091 76), отвержденных малеиновым ангидридом (ГОСТ 57-58-78) и термопластичные полиуретаны УК-1 и термоэластопласт марки ПР (ТУ38-103-185 -92). Выбор отвердителя малеинового ангидрида обусловлен высокотемпературным отверждением эпоксидных олигомеров в присутствии в системе термопластичного полиуретана. Полиуретан растворяется в эпоксидных олигомерах при повышенных температурах, т.е. необходима энергия извне для преодоления энергии межмолекулярного взаимодействия. Физико-механические характеристики составляющих компонентов объекта исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика объекта исследования

Свойства	ВПС на основе				
	Эпоксидная, олигомеров			Полиуретан УК-1	Термоэласта пласт
	ЭД-16	ЭД-20	ЭИС-1		
Коэффициент механических потерь, ζ	0,022	0,018	0,028	0,682	0,52
Динамический модуль упругости E' , 10^{13} , МПа	3,800	4,100	3,400	1,050	0,80
Модуль потерь E'' , 10^{13} , МПа	0,084	0,073	0,095	0,716	0,416
Температура стеклования, T_g , К	370	390	340	350	250
Плотность ρ , г/см ³	1,250	1,260	1,230	1,200	1,20
Адгезионная прочность b_A , МПа	30	36	23	18	14
Ударная прочность $b_{уд}$, Н/м	1,20	1,21	1,26	2,90	4,0

В качестве наполнителей были выбраны каолин (ГОСТ 6138-76) Ангрэнского месторождения, тальк (ГОСТ 879-76) Завальевского месторождения и графит (ГОСТ 44404-78), имеющий пластинчатую структуру, которые способствуют повышению механических

потерь вследствие внутреннего трения между частицами и приводят к значительному снижению стоимости композиции. Некоторые характеристики выбранных наполнителей приведены в таблице 2.

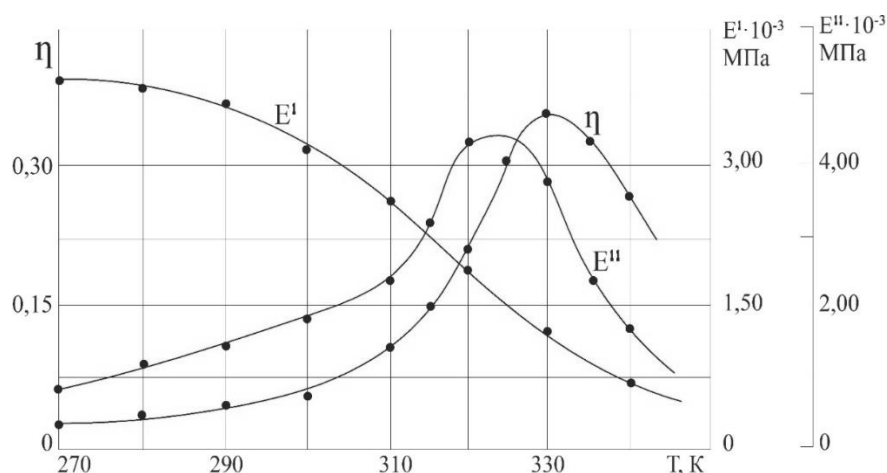
Таблица 2.

Характеристика наполнителей

Наименование	Плотность, г/см	Форма частиц
Каолин	2,58	пластинчатый
Тальк	2,80	пластинчатый
Графит	2,26	пластинчатый

Результаты исследования. Нами были изучены вязкоупругие свойства эпоксидной композиции на основе олигомера ЭД-16, пластификатора ДБФ и отвердителя ПЭПА в зависимости от температуры

(рис. 1). ДБФ был введен в состав композиции с целью снижения внутренних напряжений в термоактивном полимере.



Состав композиции: ЭД 16 – 100 м.ч., ДБФ – 25 м.ч. и ПЭПА - 10 м.ч.

Рисунок 1. Температурная зависимость демпфирующих-вязкоупругих свойств эпоксидной композиции

Как видно из рис.1, при температуре 330 К коэффициент механических потерь имеет максимум, соответствующий релаксационному процессу, связанному сегментальной подвижностью цепи. Динамический модуль упругости композиции монотонно уменьшается с повышением температуры. Если учесть, что температура стеклования эпоксидного полимера без ДБФ равняется 355-360 К, то ДБФ в количестве 25 массовых частей снижает температуру стеклования композиции на 25-30 К. При этом величина коэффициента механических потерь снижается 0,58 до 0,36 при соответствующих температурах стеклования. Ширина максимума значительно

растет благодаря увеличению гибкости цепи в присутствии композиции ДБФ. Дальнейшее увеличение содержания ДБФ нецелесообразно, так как его предел совместимости ЭД-16 составляет до 25 массовых частей.

Физическая модификация эпоксидного олигомера с наполнителями существенно влияет на ее вязкоупругие свойства разрабатываемых полимерных материалов [16]. В первую очередь нами были исследованы влияния органоминеральных наполнителей на демпфирующие вязкоупругие свойства эпоксидных композиций. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3.

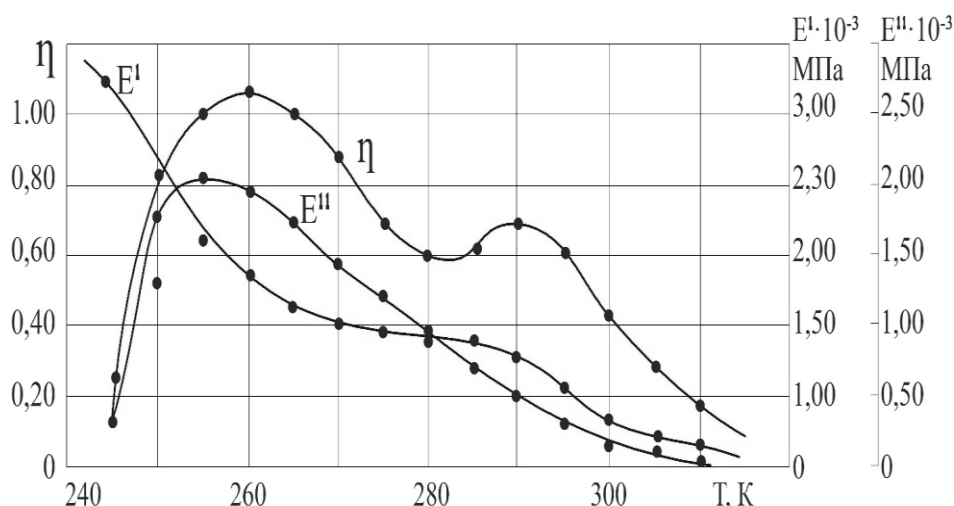
Демпфирующие вязкоупругие характеристики эпоксидных композиций

№	Состав композиции	H	$E' \cdot 10^{-3}$ МПа	$E'' \cdot 10^{-3}$ МПа
1.	ЭД-16 - 100 м. ч.			
	ДБФ - 25 м. ч.			
	ПЭПА - 10 м. ч.	0,031	3,66	0,114
2.	ЭД-16-100 м. ч.			
	ДБФ - 25 м. ч.			
	ПЭПА — 10 м. ч.			
	Каолин - 20 м. ч.	0,033	3,68	0,120
3.	ЭД-16 - 100 м. ч.			
	ДБФ — 25 м. ч.			
	ПЭПА - 10 м. ч.			
	Тальк - 20 м. ч.	0,035	3,70	0,130

№	Состав композиции	H	$E' \cdot 10^{-3}$ МПа	$E'' \cdot 10^{-3}$ МПа
4.	ЭД-16- 100 м. ч.			
	ДБФ - 25 м. ч.			
	ПЭПА - 10 м. ч.			
	Графит - 20 м. ч.	0,041	3,72	0,154

Как видно из таблицы 3, во всех случаях наполнители, особенно чешуйчатый графит, увеличивает

величину коэффициента механических потерь композиции.



Состав композиции: ЭД 16 – 100м.ч., ДБФ – 25м.ч. и ПЭПА - 10 м.ч.

Рисунок 2. Температурная зависимость демпфирующих-вязкоупругих свойств полиуретана УК 1

Заключение. Установлено, что для получения композиционных полимерных материалов с высокими вибродемпфирующими-вязкоупругими свойствами необходимо увеличить полудисперсность макромолекул полимеров не только химическим способом, но и физическим путем. К таким полимерным системам относятся различные полимерные системы, в том числе взаимопроникающие полимерные системы – ВПС. Выявлено, что эпоксидные полимеры из олигомера ЭД-16, отвержденный ПЭПА, имеет сравнительно низкий коэффициент механических потерь, но высокий модуль упругости E' . Полиуретан, наоборот, обладает высоким значением

коэффициента механических потерь, но умеренным модулем упругости при нормальной температуре. Следовательно, можно ожидать, что смесь на основе этих гомополимеров должны обладать высокими вязкоупругими показателями. Следовательно, можно отметить, что эпоксидный олигомер из ЭД-16 отвержденный отвердителем полиэтиленполиамидом – ПЭПА, имеет сравнительно низкий коэффициент механических потерь, но высокий модуль упругости E' . Полиуретан, наоборот обладает высоким значением коэффициента механических потерь, но умеренным модулем упругости к нормальной температуре.

Список литературы:

1. Bosser L., Poisson E., Davies P., 'Bio-sourced Epoxydesmoll sandwich materials for marine applications', JEC Composites Magazine, 75, (August - September 2012), 25p.
2. Cozien-Cazuc S., 'Recycled and flax-reinforced composites for the LolaDrayson prototype', JEC Composites Magazine, 74, (July 2012), pp.34-35.
3. 'Flax fibre, balsa and biosourced resin for an electric catamaran ferry', JEC Composites Magazine, 93, (December 2014), 43.p.
4. Gajlewicz I., Lenartowicz M., 'Additives for plastics used in the automotive industry', PlastNews, (2'2013), pp. 34-38.
5. Gibas E., 'Plastics in the automotive industry can help reduce the weight of the car', PlastNews, (2'2013), pp. 29-31.
6. Ghilai G., Green A.K., Leibovich H., Miller Z., 'Low-cost composite structures: how to avoid pitfalls', JEC Composites Magazine, (July 2012, 41). pp.74-78.
7. Grealish B., Gray N., 'World Rally Champion's super-car benefits from lightweight composite body panels', JEC Composites Magazine, 82, (July 2013), pp.36-37.
8. <http://www.jecomposites.com/news/composites-news/hexmc-arbonfib-reepoxy-moulded-parts-boeing~787-0>, Date of use: 07.06.2015.

9. <http://www.hexcel.com/Products/PublishingImages/ANHexMCParts4.jpg>, Date of use: 07.06.2015.
10. http://media.gottraffic.net/images/iGlgg_TO_jaU/v3/1200x-1.jpg, Date of use: 07.06.2015.
11. Jia Z.N., Hao C.Z., Yang Y.L. Tribological performance of hybrid PMMD/serpentine composites reinforced with nanoparticles. *Tribol. Mater. Surf. Interface*. 2014;8: pp 139-145.
12. Негматов, Н.С. Абед, Р.Х. Сайдахмедов, Т.У. Улмасов, А.Я. Григорьев, В.П. Сергиенко, К.С. Негматова, С.С. Жовлиев, Ж.Н. Негматов, М.М. Содикова, М.Н. Негматова, О.Х. Абдуллаев, Ф.М. Наврузов. “Исследование вязкоупругих и адгезионно-прочностных свойств и разработка эффективных вибропоглощающих композиционных полимерных материалов и покрытий машиностроительного назначения.” // Пластические массы научно-технический журнал. г. Москва 2020 г. Стр.32.
13. S. Negmatov, T. Ulmasov, M. Karshiyev, Z. Makhhammadjonov O. Abdulayev, and M. Matsharipova “Adhesion-strength and tribotechnical properties of machine-building composite polymer coatings” // E3S Web of Conferences 264, 05032 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405032> CONMECHYDRO - 2021.
14. Soyibjon Negmatov, T Ulmasov, Farxod Navruzov and S Jovliyev “Vibration damping composition polymer materials and coatings for engineering purpose” // E3S Web of Conferences 264, 05034 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405034> CONMECHYDRO – 2021.
15. Lakes RS. High damping composite materials: effect of structural hierarchy. *J Compos Mater*. 2002;36, pp.287-297.
16. Lu P., Friedrich K. On sliding friction and wear of peek and its composites. *Wear*. 1995, 181: pp. 624-631.