

УДК 678

Шафигуллин Л.Н., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

Гумеров И.Ф., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

Шафигуллина Г.Р., инженер 1-й категории научно-исследовательского отдела Набережночелнинского института ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СТЕКЛОНАПОЛНЕННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация: Проведены исследования жесткого стеклонаполненного ПУ, состоящего из полиуретановой системы на основе полиольного компонента А и изоцианатного компонента Б в соотношении компонентов А : Б - 1,8:1. В качестве наполнителя использован стеклоровинг марки EDR 24-2400-386 (2400 tex). Изделия из стеклонаполненного полиуретана изготавливались по технологиям «Fiber Composite Spraying» (FCS) и «Long Fiber Injection» (LFI). Результаты испытаний выявили удовлетворительные значения физико-механических и эксплуатационных свойств стеклонаполненных ПУ. В процессе длительного воздействия ультрафиолетового излучения не происходит значительного изменения предела прочности при изгибе и твердости по Шору D. Технология FCS позволяет получать стеклонаполненные ПУ с удовлетворительными значениями физико-механических свойств, стойких к воздействию УФ излучения в течение всего периода эксплуатации.

Ключевые слова: стеклонаполненные полиуретановые материалы, «Fiber Composite Spraying», «Long Fiber Injection», физико-механические и эксплуатационные свойства

На основе синтетических смол, каучуков и высокомолекулярных соединений созданы сотни марок эластичных и жестких газонаполненных материалов, которые используются во всех отраслях промышленности и строительства [1]. К настоящему времени проведено большое количество исследований по разработке новых составов полиуретанов (ПУ), связанных со

снижением их себестоимости, упрощением технологий, понижением токсичности в производстве, а также возможностью эксплуатации в широком температурном диапазоне. Благодаря большому количеству исходных компонентов можно в широком интервале варьировать свойствами полученных ПУ [2].

Сфера использования полиуретана очень широка. Полиуретаны выполняют различные функции: шумоизоляция, теплоизоляция, обеспечение внутренней и наружной безопасности. Возможно использование полиуретанов в качестве конструкционных материалов, для этого необходимо наполнять ПУ стекловолокном [3].

Стеклонаполненные полиуретаны позволяют изготавливать крупногабаритные элементы с многослойной структурой, составленной из различных комбинаций твердого полиуретана, твердого и пористого полиуретана и коротких стекловолокон для удовлетворения различных функциональных и эстетических требований в разных областях применения. Стеклонаполненные ПУ являются аналогами применяемых в настоящее время стеклопластиков, листов ABS (сополимер акрила, бутадиена и стирола) и акрила (полиметилметакрилат). Возможность исключения мономера стирола и других подобных растворителей в крупносерийном производстве в настоящее время является не только экономическим преимуществом, но также и важным фактором с точки зрения гигиены и охраны труда рабочих и безопасности окружающей среды. Стеклонаполненные ПУ широко применяют в автомобильной отрасли в грузовых и коммерческих автомобилях: каркасы, тепло-шумоизоляционные экраны и т.д. (рис. 1) [3].

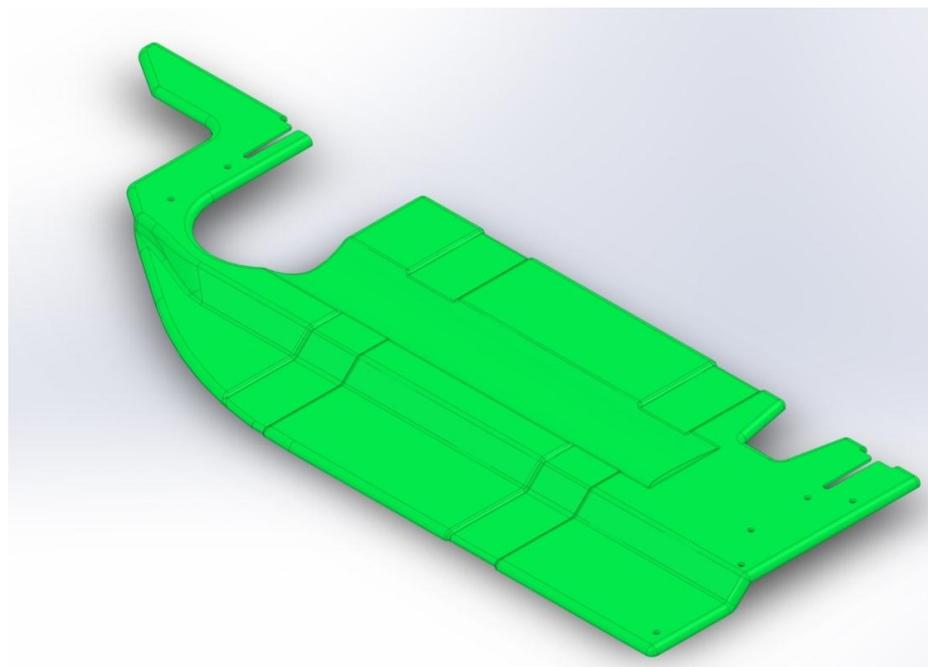


Рис. 1. 3D модель элемента тепло-шумоизоляционного экрана автомобиля КАМАЗ-5490

Тепло - шумоизоляционные экраны автомобилей КАМАЗ позволяют обеспечить достаточную защиту от шумового загрязнения, термоизоляцию силового агрегата, имеют высокую прочность и износостойкость, длительный срок эксплуатации, малый вес, сокращают время сборки автомобиля [3].

Применение экранов из стеклонаполненного ПУ позволяет обеспечить более комфортные условия для управления транспортным средством, уменьшить утомляемость водителей, повысить безопасность дорожного движения.

В соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к шумоизоляционным акустическим экранам автомобилей КАМАЗ, они должны удовлетворять следующим критериям:

- эксплуатация в различных климатических зонах: умеренный климат, тропики, районы Крайнего Севера;
- условия эксплуатации: пыль, грязь, попадание щебня, машинного масла, дизельного топлива;
- химическая стойкость: вода, нефтепродукты, чистящие средства;

- физико-механические свойства: удовлетворительная твердость, стойкость к ударным нагрузкам, исцарапыванию;

- срок эксплуатации - не менее 7 лет в условиях умеренного климата.

Провели исследования жесткого стеклонаполненного ПУ, состоящего из полиуретановой системы на основе полиольного компонента А и изоцианатного компонента Б в соотношении компонентов А : Б - 1,8:1 [4]. В качестве наполнителя использовался стеклоровинг марки EDR 24-2400-386 (2400 tex) [5] в количестве 25 масс.ч. на 100 масс.ч. матричного компонента.

Изделия из стеклонаполненного полиуретана изготавливались по двум технологиям «Fiber Composite Spraying» (FCS) и «Long Fiber Injection» (LFI) [6].

В качестве основного технологического оборудования для производства изделий использовали: робот ABB 721 68; заливочную машину Krauss Maffei; пресс SIEMAG.

Результаты исследований физико-механических и эксплуатационных свойств представлены в таблицах 1-2. Испытания проводили при температуре 21 °С, влажности воздуха 55%.

Результаты испытаний выявили высокие значения свойств. Полученные результаты позволяют рекомендовать использовать стеклонаполненные ПУ в качестве альтернативы традиционным стеклопластиковым материалам.

Применение технологии FCS позволяет повысить гибкость и качество производства, снизить затраты на изготовление изделий, особенно небольших габаритов, за счет низкой стоимости оснастки, высокого качества изготовления и небольшого количества отходов в процессе производства. Относительно низкие расходы на инструмент делают возможным серийное производство мелкими и средними партиями.

Таблица 1

Результаты испытаний физико-механических свойств жестких стеклонаполненных ПУ, изготовленных по технологии FCS

Показатель	Значение	Оборудование
------------	----------	--------------

Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	49,4 ¹	Машина испытательная универсальная LRXplus
Твердость по Шору D	60-69 ²	Твердомер многофункциональный калиброванный DIGITEST (по ШоруD)

¹ - представлены усредненные значения 5 образцов;

² – представлен диапазон изменения твердости.

Таблица 2

Физико-механические и эксплуатационные свойства изделий из
стеклонаполненного ПУ

Наименование показателя	Результат испытания			Методы испытания
	Изделие 1	Изделие 2	Изделие 3	
Разрывная нагрузка лицевого слоя, кгс				ГОСТ 17316 [7]
Продольное направление	45	45	45	
Поперечное направление	43	43	43	
Относительное удлинение лицевого слоя, %				
Продольное направление	237	192	187	ГОСТ 17317 [8]
Поперечное направление	193	180	193	
Прочность связи лицевого слоя с ПЖПУ с армирующим слоем	Отсутствие трещин на поверхности, расслоения детали	-	Отсутствие трещин на поверхности, расслоения детали	ГОСТ 17317 [8]
Устойчивость материала к воздействию температуры: +100 °С в течение 12 ч -45 °С в течение 16 ч	Отсутствие отслоения лицевого слоя, изменения внешнего вида, деформации, расслоения	Отсутствие отслоения лицевого слоя, изменения внешнего вида, деформации, расслоения	Отсутствие отслоения лицевого слоя, изменения внешнего вида, деформации, расслоения	ТТМ 37.102.0026 -2007 методика п.1 [9]
1	2	3	4	5

Морозостойкость -45 °С в течение 6 ч	Отсутствие изменений по внешнему виду	Отсутствие изменений по внешнему виду	Отсутствие изменений по внешнему виду	ТТМ 37.102.0026 -2007 методика п.3 [9]
Теплостойкость (изменение геометрических размеров детали, %)	0,47 отсутствие отслаивания и вздутия лицевого покрытия	0,24 отсутствие отслаивания и вздутия лицевого покрытия	1,01 отсутствие отслаивания и вздутия лицевого покрытия	ТТМ 37.102.0026 – 2007 методика п.2. [9]
Усадка, %	0,22	-	0,16	ТТМ 37.102.0026 – 2007 методика п.5. [9]
Влагостойкость, % масс	0,35 (отсутствие отслаивания и вздутий лицевого слоя)	-	0,35 (отсутствие отслаивания и вздутий лицевого слоя)	ТТМ 37.102.0026 – 2007 методика п.4. [9]
Уровень запаха, балл, не более	1,0 (допускается к использова- нию)	2 (допускается к использова- нию)	1,0 (допускается к использова- нию)	ТТМ 37.102.0026 – 2007 методика п.6. [9]

Применение технологии LFI позволяет повысить гибкость и качество производства, снизить затраты на изготовление изделий, особенно больших габаритов, за счет высокого качества изготовления и небольшого количества отходов в процессе производства.

В процессе эксплуатации тепло-шумоизоляционные экраны автомобилей КАМАЗ испытывают воздействие внешних климатических факторов, в том числе ультрафиолетового излучения (УФ). Определяли изменение физико-механических свойств стеклонаполненных ПУ, изготовленных по технологии FCS, при воздействии ультрафиолетового излучения.

В качестве испытательного оборудования использовали: твердомер многофункциональный DigiTest, электрошкаф сушильный СНОЛ,

штангенциркуль, линейку металлическую ГОСТ 427-75 [10], машину испытательную универсальную LRXplus. Испытания проводили при температуре 21 °С, влажности воздуха 55%. Для определения стойкости к действию ультрафиолетового излучения использовали экспериментальную установку, созданную специалистами Набережночелнинского института КФУ (рис. 2).

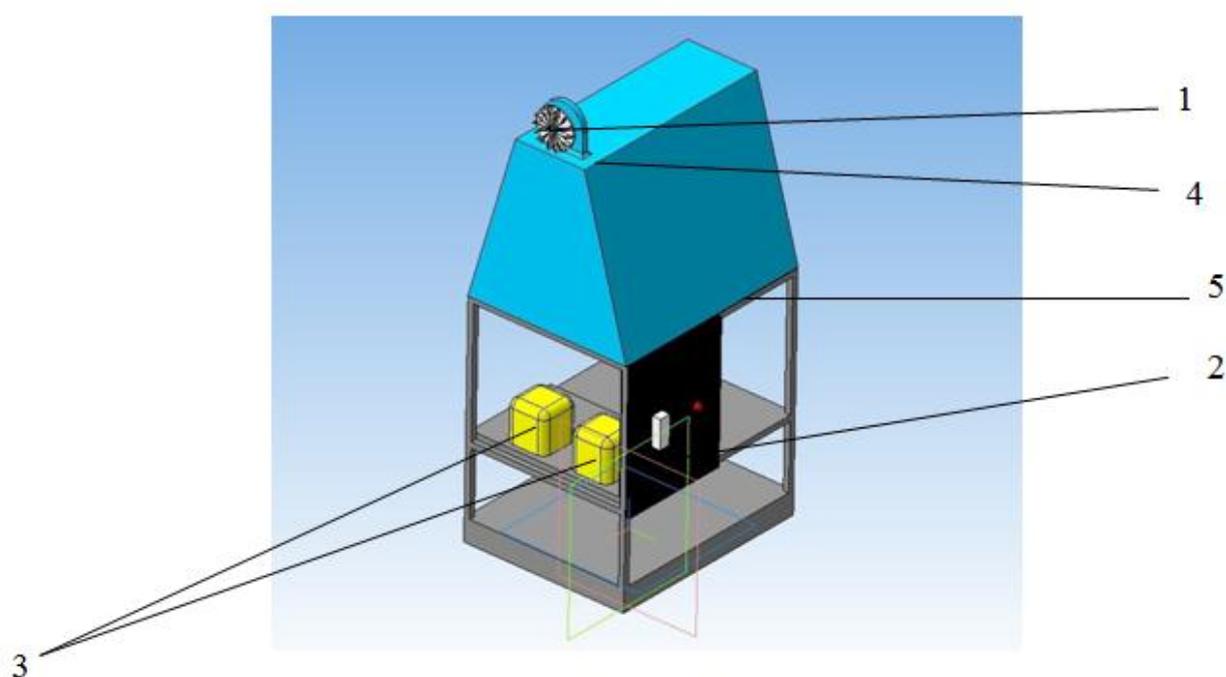


Рис. 2. Общий вид установки по определению светостойкости материалов: 1) вентилятор; 2) реле - автомат; 5А; 3) дроссель 1000 Вт, 220 В; 4) лампа; 5) корпус

В соответствии с ГОСТ 16350-80 «Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей» все климатические зоны бывшего СССР разделены на 12 зон [11]. В случае эксплуатации изделий в условиях средней полосы необходимо использовать климатический район П5 (Умеренный). Суммарная доза солнечной радиации 300-400 нм с учетом потерь за год 148,10 МДж/м². Поток лучистой энергии составляет $P=128$ Вт. С учетом расстояния до испытуемых образцов (250 мм)

время выдержки под лампой с мощностью 1000 Вт эквивалентное 1 году составляет 20 часов 5 минут (рис. 2).

Разрушающее напряжение при изгибе определяли на 5 образцах до и после воздействия ультрафиолетового излучения в течение 140 часов 35 минут, эквивалентное 7 лет эксплуатации в условиях средней полосы РФ (таблица 3). Проводили пять измерений твердости по Шору D в разных местах поверхности образца. Испытывали по 3 образца каждого изделия до и после воздействия ультрафиолетового излучения (таблица 3).

Анализ данных таблицы выявил, что в процессе воздействия ультрафиолетового излучения на стеклонаполненные ПУ происходит:

- уменьшение разрушающего напряжения при изгибе в среднем на 2 МПа;
- увеличение твердости по Шору D в среднем на 7 единиц.

Таблица 3

Результаты испытаний физико-механических свойств жестких
стеклонаполненных ПУ

Показатель	Значение	
	до воздействия УФ излучения	после воздействия УФ излучения (140 часов 35 минут)
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	49,4 ¹	47,5 ¹
Твердость по Шору D	60-69 ²	68-76 ²

1 - представлены усредненные значения пяти испытаний;

2 - представлен диапазон изменения твердости.

Изменение твердости в процессе воздействия УФ излучения происходит из-за доотверждения компонентов ПУ и ускорения процесса полимеризации в поверхностных слоях. Обнаружено изменение цвета поверхностного слоя (рис.

3). На образцах появляется коричневый оттенок, характеризующий термодеструкцию полиуретановой матрицы. Ухудшаются упругие и эластичные свойства материала, приводящие к уменьшению разрушающего напряжения при изгибе.



Рис. 3. Внешний вид стеклонаполненного ПУ: а) до воздействия УФ излучения (x2); б) после воздействия УФ излучения (140 часов 35 минут (эквивалент 7 лет)) (x2)

Результаты испытаний выявили удовлетворительные значения исследуемых свойств стеклонаполненных ПУ. В процессе длительного воздействия ультрафиолетового излучения не происходит значительного изменения предела прочности при изгибе и твердости по Шору D. Технология FCS позволяет получать стеклонаполненные ПУ с удовлетворительными значениями физико-механических свойств, стойких к воздействию УФ излучения в течение всего периода эксплуатации.

Литература

1. Интернет-ресурс: Газонаполненные пластические массы (пенопласты). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chem21.info/info/895542/> (дата обращения: 13.11.2015).

2. Терентьева Н.Н. Лабораторный практикум по дисциплине химия полиуретанов/ Н.Н. Терентьева, В.А. Данилов, М.В. Кузьмин, С.М. Верхунов // учебное пособие. - М.: ЧГУ им. И.Н.Ульянова, 2007. - 97 с.
3. ООО «Автотехник». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://автотехник.net/ru/news/44-osvoeno-novoe-izdelie-2014.html> (дата обращения: 13.11.2015)
4. ДауИзолан. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dow-izolan.com/ru/products/> (дата обращения: 06.07.2016)
5. Poly-tex. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://poly-tex.ru/fiberglass/glass-roving/> (дата обращения: 06.07.2016)
6. Krauss Maffei. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kraussmaffei.com/ru/home.html> (дата обращения: 06.07.2016)
7. ГОСТ 17316 - 71. Кожа искусственная мягкая. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве; Введен с 01.01.1973. М.: Изд-во стандартов, 1972
8. ГОСТ 17317 - 88. Кожа искусственная. Метод определения прочности связи между слоями; Введен с 01.07.1989. М.: Изд-во стандартов, 1988
9. Технические требования на материалы № 37.102.0026 - 2007
10. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия; Введен с 01.01.1977. М.: Стандартиформ, 2007.
11. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей; Введен с 01.07.1981. М.: Изд-во стандартов, 1980.

Shafigullin L.N., candidate of technical Sciences, associate professor of Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Gumerov I.F., candidate of technical Sciences, head of the department "Materials, technology and quality" of Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Shafigullina G.R., engineer of 1 category of the department of scientific and research work, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

RESEARCH OF PHYSICOMECHANICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES
OF GLASS FIBER REINFORCED POLYURETHANE MATERIALS, USED IN
ENGINEERING

Abstract: Researches PU rigid glass fiber consisting of polyurethane systems based on the polyol component A and the isocyanate component B in a ratio of components A: B - 1.8: 1. The filler used glass fiber rovings brand EDR 24-2400-386 (2400 tex). Products from a glass-filled polyurethane manufactured by «Fiber Composite Spraying» Technology (FCS) and «Long Fiber Injection» (LFI). The test results showed satisfactory values of physical, mechanical and performance properties of glass-fiber reinforced PU. During prolonged exposure to ultraviolet radiation, there is a significant change in tensile strength and flexural hardness Shore D. FCS technology allows to obtain a glass-PU satisfactory values of physical and mechanical properties that are resistant to UV radiation during the entire period of operation.

Key words: glass-filled polyurethane material, «Fiber Composite Spraying», «Long Fiber Injection», physical, mechanical and performance properties