

## Исследование ударной вязкости полиуретанов холодного отверждения, используемых при изготовлении деталей электротранспорта

Томило В. А., Гладинев А. Д.  
Белорусский национальный технический университет

Выбор полимерных материалов, используемых при изготовлении деталей электротранспорта, зависит от их механических свойств, обусловленных типом полимерной матрицы, составом и концентрацией наполнителей. В связи с интенсивными динамическими нагрузками одной из основных характеристик деталей электротранспорта является ударная вязкость, которая определяет степень их сопротивления импульсным ударным нагрузкам и измеряется отношением затраченной работы на разрушение к площади поверхности, образовавшейся в результате ударного воздействия [1]. Исследование ударной вязкости особенно важно при выборе материалов для изготовления безвоздушных шин, поскольку при движении электротранспорта колесас безвоздушными шинами испытывают высоко-частотные ударные нагрузки при преодолении различных препятствий — ям, бордюров и др.

Наиболее широкое распространение для исследования ударной вязкости нашли методы испытания с поперечным ударом образцов, реализуемым на маятниковых копрах. Так, наибольшее распространение получили методы исследования ударной вязкости по Шарпи и Изоду [2, 3].

Настоящая работа является продолжением исследований механических свойств полиуретанов холодного отверждения [4] и в ней приведены результаты исследований ударной вязкости полиуретанов, относящихся к эластомерам, которые наиболее перспективны для использования в качестве матрицы композиционных полимерных материалов для электротранспорта. Технические характеристики полиуретана холодного отверждения марки Smooth-Cast 300 Series и размеры образцов приведены в таблицах 1, 2 [5]. Образцы для исследования ударной вязкости методом по Шарпи» изготавливали по ГОСТ 4647-2015 «Пластмассы [6].

Таблица 1 – Технические характеристики литьевого полиуретана Smooth-Cast 300 Series [5]

Технические характеристики	Ед. измер.	Smooth-Cast 300	Smooth-Cast 305	Smooth-Cast 310
Плотность	г/см <sup>3</sup>	1,05		
Удельный объем	см <sup>3</sup> /г	0,95		
Предел прочности на разрыв	МПа	20,7		
Модуль упругости на растяжение	МПа	963	924	
Удлинение при разрыве	%	5	7,5	
Предел прочности на изгиб	МПа	31	27,6	
Модуль упругости на изгиб	МПа	882	814	
Предел прочности на сжатие	МПа	27,6	26,2	
Модуль упругости на сжатие	МПа	316	310	
Температура тепловой деформации	°С	50		
Усадка	%	2,54		

Таблица 2 – Геометрические размеры образцов на ударную вязкость ГОСТ 4647-2015

Длина $l$ , мм	Ширина $b$ , мм	Толщина $h$ , мм
120±2	15,0±0,5	10,0±0,5

Исследование ударной вязкости проводилось на маятниковом копре с компьютерным управлением Kason XJ-50Z [7]. Копер работает полуавтоматически и применяется при испытаниях на удар неметаллических материалов, таких как пластик, армированный волокнистый

композит, нейлон, стекловолокно, керамика, а также изоляционных материалов. Он получил широкое распространение в учебных заведениях и в испытательных центрах.

Копер Kason XJ-50Z соответствует следующим нормативно-правовым актам (НПА):

- Международному: ISO 179. Метод испытания на ударную вязкость по Шарпи;
- Национальному: GB / T1043. Метод испытания на удар по Шарпи из закаленного

пластика;

- Промышленному стандарту: JB / T8762. Машина для испытания пластика на удар.

Общий вид установки представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид маятникового копра

Технические параметры установки для исследования ударной вязкости по Шарпи представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики исследования ударной вязкости по шарпи

Технические параметры		Значение
1	Скорость удара	2,9 м / с, 3,8 м / с
2	Угол подъема	160 °
3	Полудиаметр удара (от осей до ударной кромки)	221 мм / 380 мм
4	Опорный радиус ножа	R = 1 мм
5	Угол ударной кромки	30°
6	Полудиаметр ударной кромки	R = 2 мм
7	Опорный пролет для образцов	70 мм
8	Энергия удара	4 Дж
9	Момент удара	2,062 Н·м

После проведения испытаний ударной вязкости по Шарпи исследовали характер вязкого или хрупкого излома образцов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Вид излома образца полиуретана после испытания на ударную вязкость

Первоначально проведено макроскопическое изучение поверхности излома образцов из полиуретана, в ходе которого выявлен общий характер строения излома.

Исходя из теории прочности, можно сделать вывод о разрушении образца путем отрыва или скола (под действием растягивающих напряжений). Отрыв происходит без сколько-нибудь заметной предварительной пластической деформации. Отсутствуют значительные изменения площади сечения образца, при этом наблюдается распространение трещин в месте удара (рисунок 2). Из вышеизложенного становится ясно, что неармированная полиуретановая матрица не обладает достаточными релаксационными свойствами для поглощения механической энергии.

Исследование образцов из полиуретана марки Smooth-Cast 300 Series на оптическом микроскопе (рисунок 3) показало, что размеры структурных составляющих, по которым происходит хрупкое разрушение, соответствуют размерам кристаллических фасеток в изломе. Поскольку хрупкие разрушения весьма чувствительны к концентраторам напряжений, располагающимся большей частью на поверхности деталей, очаг хрупкого излома также обычно расположен у поверхности. Хрупкий излом покрыт рубцами, расходящимися веерообразно из очага разрушения в направлении развития трещины. В месте возникновения разрушения рубцы мелкие и тонкие.

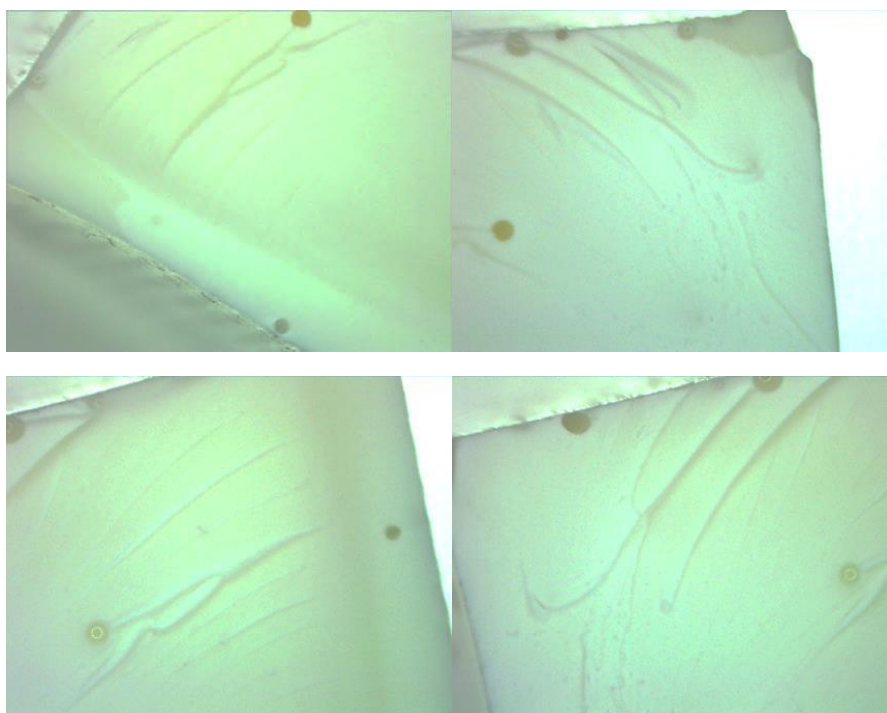


Рисунок 3 – Вид излома образца полиуретана при увеличении×50

Результаты исследования ударной вязкости образцов приведены в таблице 4.

Таблица 4– Механические свойства образцов полиуретана

№ образца	Поглощенная энергия (Дж)	Среднее значение поглощенной энергии (Дж)	Сила удара (кДж/м <sup>2</sup> )	Среднее значение ударной вязкости (кДж/м <sup>2</sup> )
1	7,010	6,823	41,725	39,772
2	6,396		36,340	
3	7,063		41,253	

Среднее значение поглощенной энергии образцов соответствует 6,8 Дж, при этом среднее значение ударной вязкости литого полиуретана составляет 39,8 кДж/м<sup>2</sup>.

Полученные результаты исследований ударной вязкости полиуретана послужат отправной точкой при исследовании влияния введения армирующих материалов на ударную вязкость композиционных полимерных материалов на основе полиуретана. Данные результаты важны с точки зрения воздействия ударных нагрузок на безвоздушные шины персонального электротранспорта при его эксплуатации.

### Литература

1. Кулезнев, В.Н. Химия и физика полимеров / В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнев. – М.: Колос, 2007. – 367 с.
2. Промышленные полимерные композиционные материалы /Пер. с англ.; Под ред. И. Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1980. – 472 с.
3. Шевченко, В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / В.Г. Шевченко. – М.: Изд-во Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, 2010. – 98 с.
4. Янкевич, С.Н. Механические свойства композиционных материалов на основе полиуретанов = Mechanical properties of composite polyurethane-based materials / С.Н. Янкевич, А. Д. Гладинов // Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов: / редкол.: И. А. Иванов (гл. ред) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – Вып. 43. – С. 173-184.
5. Полиуретановые пластики для литья с низкой вязкостью [Электронный ресурс]. – URL: <http://alcorplast.com/files/205e1c26-0dcf-435d-8525-e112b89c1f56.pdf> (дата обращения 15.04.2023).
6. ГОСТ 4647-2015 (ISO 179-1:2010, NEQ) Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 25 с.
7. Маятниковый копер с компьютерным управлением Kason XJ-50Z. Руководство по эксплуатации. – Китай: Jinan Kason Testing Equipment Co., Ltd.