

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-34-13-16>

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА НА АБРАЗИВНОЕ ИЗНАШИВАНИЕ

Бирюков В.П.¹, Горюнов Я.А.², Двоглазов А.А.², Якубовский А.А.¹

¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия;*

²*Российский университет транспорта, Москва, Россия*

Ключевые слова: полимеры, дисульфид молибдена, абразивный износ.

Аннотация. Работа посвящена определению стойкости к абразивному изнашиванию незакрепленным зерном кварцевого песка полимеров ПА-6, и с добавками дисульфида молибдена, графита в сравнении с эталоном резиной, бутадиен нитрильным каучуком. Получены закономерности изменения величины абразивного изнашивания от состава полимеров. Наибольшей стойкостью обладали образцы ПА-6 с дисульфидом молибдена. Полученные результаты исследований послужат основой для возможной замены резиновых элементов в узлах трения транспорта на полимерные материалы.

INFLUENCE OF THE POLYMER MATERIAL COMPOSITION ON ABRASIVE WEAR

Biryukov V.P.¹, Goryunov Ya.A.², Dvoeglazov A.A.², Yakubovsky A.A.¹

¹*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia;*

²*Russian University of Transport, Moscow, Russia*

Keywords: polymers, molybdenum disulfide, abrasive wear.

Abstract. The work is devoted to determining the resistance to abrasive wear by loose quartz sand grains of PA-6 polymers, and with additives of molybdenum disulfide, graphite in comparison with the standard rubber, nitrile butadiene rubber. The regularities of changes in the amount of abrasive wear from the composition of polymers are obtained. PA-6 samples with molybdenum disulfide had the greatest resistance. The obtained research results will serve as a basis for the possible replacement of rubber elements in the friction units of transport with polymer materials.

Модельные образцы из термопластичного полиуретана [1] (ТПУ) были приготовлены с разной молекулярной массой и помечены как TPU-1, TPU-2 и TPU-3, в порядке от высокой к низкой молекулярной массе. Образцы были отлиты под давлением в виде пластин толщиной 10 мм. После получения образцы сушили в вакуумной печи при 80°C в течение 6 ч для устранения влаги и остаточного напряжения. Для испытания образцов на износ пластины были разрезаны на штифты диаметром 25,4 мм и толщиной 10 мм. Для измерения коэффициентов трения между образцами из нержавеющей стали и модельного ТПУ применяли стандартизированный метод по ASTM / ISO с использованием скретч-машины. Чтобы избежать чрезмерной деформации образцы изготавливали с размерами 10×10 мм в поперечном сечении. Для испытания применяли нагрузку на образец 3 Н (0,03 МПа). Испытания на царапание проводились с использованием линейно возрастающей нормальной

нагрузки 1-200 Н на длине 100 мм при постоянной скорости 200 мм/с. Для проведения теста на царапание использовали скребковый наконечник конической формы из нержавеющей стали. Для испытаний на абразивный износ использовали схему трения «штифт (образцы ТПУ) – вращающийся диск (нержавеющая сталь с Ra 6,54 мкм и Rq 8,19 мкм). Для проведения испытаний на износ при трении скольжения использовалась линейная возвратно-поступательная траектория движения с длиной хода 50 мм, при скорости 200 мм/с нормальной нагрузкой 500 Н (1 МПа). Полиуретановый эластомер с более высокой прочностью на растяжение обладал лучшей устойчивостью, как к появлению царапин при растрескивании и удалении материала, так и при потере объема при абразивном износе. Удельные скорости износа модельных образцов TPU в этом исследовании находились в диапазоне от 4×10^{-3} до 9×10^{-3} мм³.

Образцы из полиэтилена [2] Elvaloy AC-3427 NCs были изготовлены с использованием двухшнекового экструдера. Применялось литье под давлением, при этом температура поддерживалась в диапазоне от 170°C до 190°C. Для проведения трибологических исследований, основанных на испытании на абразивный износ по схеме «штифт (полимер) – диск (сталь с наждачной бумагой) по стандарту ASTM G-99-05. Верхняя часть стального диска была покрыта наждачной бумагой с зернистостью P320. Испытания выполняли при скорости скольжения 0,5 м/с. Результаты испытаний на абразивный износ показали меньшее повреждение изнашиваемых поверхностей при введении добавок в количестве 5 мас. %.

Образцы изготавливали из порошков политетрафторэтилена [3] (ПТФЭ) с размером частиц 35 мкм и бронзы 15 об% с размером частиц 10-30 мкм в высокоскоростном механическом миксере. Затем порошок подвергали холодному прессованию в течение 20 мин в цилиндрической форме диаметром 10 мм при давлении 60 МПа. После прессования образцы извлекали из формы и спекали на окружающем воздухе при температуре 365°C в течение 2 ч с нагревом 80°C/ч, а затем охлаждали до комнатной температуры. Штифты были изготовлены из произведенных композитов с диаметром 4,9 мм длиной 13 мм. В качестве контрольных образцов использовали наждачные бумаги с различной зернистостью карбида кремния марок (P320, P600, P1000, P1500, P2000, P3000, P5000). Нагрузки на образцы составляли 10 Н (около 0,17 МПа), 20 Н (около 0,34 МПа) и 30 Н (приблизительно 0,51 МПа) с учетом условий эксплуатации, при которых композит используется в качестве сальника трансмиссии. Скорости скольжения были установлены на уровне 0,1, 0,2 и 0,3 м/с, а путь трения варьировался от 1,45 до 43,35 м. Полученные результаты можно разделить на группы А, Б и С по размерам абразивных зерен 18-42, 10-12,6 и 5-7 мкм соответственно. Износ зернами типа А увеличивался с уменьшением размера зерна. При размере зерен типа Б износ не зависел от размера зерна. Что касается износа при зернистости типа С, то количество частиц износа бронзы в парах трения было достаточно велико и это приводило к снижению абразивного изнашивания.

Целью нашей работы было определение величины изнашивания полимерных материалов в сравнении с эталоном резиной, бутадиен нитрильным каучуком (БНК).

Для исследований были изготовлены образцы полимеров ПА-6 (70×20×2 мм) (1), ПА-6, маслonaполненные с дисульфидом молибдена, (70×20×10 мм) (2), ПА-6 с графитом (70×20×10 мм) (3), полиуретан литейный СКУ 7Л (4) и БНК (70×20×2 мм) (5), технические характеристики которых представлены в таблице 1. Образцы полимеров и БНК толщиной 2 мм наклеивались на подложку с размерами 70×20×10 мм. Испытания на абразивное изнашивание незакрепленным зерном выполняли по схеме: «образующая поверхность резинового диска – образец (полимер, БНК)». В зону трения, через калиброванное отверстие в дозаторе гравитационно подавался кварцевый песок с размером частиц 0,2-0,6 мм. Нагрузка на образец составляла 15 Н, время испытаний 5 минут.

Результаты испытаний на абразивное изнашивание по трем образцам представлены в таблице 2.

Табл. 1. Характеристики полимерных материалов и БНК

Марка материала	Твердость, Шор	Плотность, г/см ³	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Капролон ПА-6	84 D	1,145	80,0	22
Капролон ПА-6 маслonaполненный с MoS ₂	84 D	1,145	85,0	22
Капролон с графитом	75 D	1,17	75	5
Полиуретан литейной СКУ 7Л	80 А	1,2	42	600
Резина БНК	75 А	1,3	25	425

Табл. 2. Результаты испытаний на абразивное изнашивание

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
1.1	9,6325	9,5671	0,0654	0,0702
1.2	9,2396	9,1718	0,0678	
1.3	9,9916	9,3884	0,0776	
2.1	16,6092	16,6052	0,0040	0,0040
2.2	16,4423	16,4371	0,0052	
2.3	16,3376	16,3347	0,0029	
3.1	19,0853	19,081	0,0043	0,0061
3.2	20,4314	20,4246	0,0068	
3.3	19,8375	19,8302	0,0073	

Табл. 2. Продолжение

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
4.1	11,5339	11,4651	0,0688	0,0847
4.2	11,8196	11,7317	0,0879	
4.3	11,2298	11,1324	0,0974	
5.1	10,5622	10,0883	0,4739	0,4740
5.2	10,8661	10,3922	0,4826	
5.3	10,0580	9,5925	0,4655	

Анализ результатов испытаний на абразивное изнашивание показывает, что максимальная потеря массы получена на эталонных образцах БНК, полиуретановые образцы имели потерю массы в 5,6 раза меньше. Минимальная потеря массы получена на образцах ПА-6 маслonaполненного с дисульфидом молибдена. Образцы ПА-6 без добавок изнашивались в 6,75 раза меньше, чем БНК. На основании проведенных исследований будут разработаны рекомендации для замены деталей транспортных средств из резины БНК на полимерные материалы.

Выводы

Проведенные исследования показали, что максимальной стойкостью к абразивному изнашиванию незакрепленным абразивным зерном обладали образцы ПА-6 маслonaполненного с добавкой дисульфида молибдена, далее по убыванию следовали образцы ПА-6 с графитом, ПА-6, полиуретана СКУ 7Л соответственно.

Список литературы / References

1. Xiao S., Sue H. J. Effect of molecular weight on scratch and abrasive wear behaviors of thermoplastic polyurethane elastomers // *Polymer*. 2019, vol. 169, pp. 124-130. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.02.059>.
2. Chockalingam S. Subramanian G. G., Bisen A. et al. Optimization of Abrasive Wear Characteristics of Polyethylene / Acrylate Copolymer Nanocomposites // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6110591>.
3. Lin Z., Gao B., Li X., Yu K. Effect of abrasive grain size on surface particle deposition behaviour of PTFE/bronze composites during abrasive wear // *Tribology International*. 2019, vol/139, pp. 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.06.027>.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, Leading Researcher
Горюнов Ярослав Алексеевич – студент	Goryunov Jaroslav Alekseevich – student
Двоглазов Андрей Алексеевич – студент	Dvoeglazov Andrey Alekseevich – student
Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник	Yakubovsky Anton Alekseevich – junior research assistant
laser-52@yandex.ru	

Received 27.01.2023