

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2024-20-29-32>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ ПОЛИУРЕТАНОВ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ

Бирюков В.П., Горюнов Я.А., Якубовский А.А.

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

Ключевые слова: полиуретан, морфология поверхности трения, твердость, потеря массы, свободное абразивное зерно, износостойкость.

Аннотация. Работа посвящена определению износостойкости при изнашивании свободным абразивным зерном образцов полиуретана с различной твердостью. Испытания проводили по схеме: «широкая сторона плоского образца полиуретана – образующая поверхность резинового диска». В зону трения с помощью дозатора через калиброванное сопло подавался кварцевый песок с размером частиц 0,2-0,6 мм. Наибольшей износостойкостью обладали образцы с большей твердостью. Результаты исследований могут быть использованы для замены резиновых деталей в транспортном машиностроении.

DETERMINATION OF THE ABRASION RESISTANCE OF POLYURETHANES BY FREE ABRASIVE GRAIN

Biryukov V.P., Goryunov Ya.A., Yakubovsky A.A.

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

Keywords: polyurethane, friction surface morphology, hardness, mass loss, free abrasive grain, wear resistance.

Abstract. The work is devoted to the determination of wear resistance during wear by a free abrasive grain of polyurethane samples with different hardness. The tests were carried out according to the scheme: "wide side a flat polyurethane sample is the forming surface of a rubber disc". Quartz sand with a particle size of 0.2-0.6 mm was fed into the friction zone using a dispenser through a calibrated nozzle. The samples with higher hardness had the greatest wear resistance. The research results can be used to replace rubber parts in transport engineering.

В качестве полимерной матрицы [1] были выбраны коммерчески доступный полиэфир эфир кетон (ПЕЕК S00), который использовался в качестве эталонного материала, смесь состоящая из 10 мас.% ПЕЕК, армированного коротким углеродным волокном (КУВ), и 10 мас.% графитовой твердой смазки (ПЕЕК S01) и самосмазывающийся композит, состоящий из ПЕЕК с содержанием 10 мас.% политетрафторэтилена (ПТФЭ)+10 мас.% графита + 10 масс% КУВ (ПЕЕК-Е02). Для исследований были изготовлены образцы полимера и композитов с размерами 40×40×4 мм. Характеристики трения и износа полимера и композитов были определены при возвратно-поступательном движении в паре со стальным шаром 100Cr6 в качестве контрообразца. Установлено, что твердые смазочные материалы достаточно эффективны для снижения коэффициента трения, но не скорости износа. Самый низкий коэффициент трения 0,028 был получен на ПЕЕК-Е02 в

результате самосмазывания пленкой фторопласта. Образование пленки переноса (вторичного слоя) в основном наблюдалось при скользящем контакте полимерной матрицы ПEEK-S00, которая обеспечивала защитный эффект от повреждений, повышая, таким образом, износостойкость материала. Изменение геометрии поверхности образцов было основным механизмом изнашивания материалов, наполненных КУВ, ПТФЭ и графитом. Графит и ПТФЭ известны своими защитными свойствами по снижению адгезии между полимерными материалами и стальными поверхностями. Топография поверхности показала наплывы до 18 мкм и царапины глубиной до 1 мкм и подтвердила основные механизмы адгезионного и абразивного изнашивания образцов.

Изучены характеристики абразивного [2] износа технических полимеров из алифатического поликетона (АПК), полиоксиметилена (ПОМ), полиэтилена сверхвысокой молекулярной массы (СВМПЭ), полиамида 66 (ПА66) и 30% полифениленсульфида, армированного стекловолокном при комнатной температуре. Испытания на износ по схеме: «штифт (полимерный образец) – диск» проводились при скорости 1 м/с и нагрузке 10 Н на пути трения скольжения 50, 100, 150 и 200 м. На поверхность стального диска наклеивали наждачную бумагу зернистостью от P150 до P1200. После каждого испытания регистрировали потерю массы штифта. Результаты испытаний показали, что наибольшая скорость износа наблюдалась у ПОМ – $8,5 \times 10^{-4}$ мм³/н·м, а наименьшая у СВМПЭ – $3,36 \times 10^{-5}$ мм³/н·м. Кроме того, для всех материалов потеря массы линейно возрастала с увеличением пути трения.

Образцы полиуретанов были изготовлены с разной молекулярной массой и обозначены как ТПУ-1, ТПУ-2 и ТПУ-3 в порядке от высокой к низкой молекулярной массе. Они были отлиты методом литья под давлением в пластины толщиной 10 мм. После получения образцы высушивали в вакуумной печи при температуре 80°C в течение 6 ч для устранения влаги и остаточного напряжения. Для испытания на износ пластины были нарезаны на штифты диаметром 25,4 мм и толщиной и 10 мм. Для исследования характеристик абразивного износа модельных образцов из ТПУ были проведены испытания на износ при скольжении с использованием многоосевого трибометра по схеме: «штифт (образец полиуретана) – плоскость (нержавеющая сталь с шероховатостью 6,54 мкм с перемещением по двум осям). Линейный износ определяли при возвратно-поступательном движении контробразца из стали относительно неподвижного полиуретанового образца. Абразивный износ полимеров возникал в результате проникновения и непрерывного скольжения неровностей по поверхности полимера. Длина хода составляла 50 мм, при скорости скольжения 200 мм/с и нормальной нагрузке 500 Н (1 МПа для штифтов) на пути трения 300 м. Для каждого нового испытания использовалась новая дорожка на поверхности контробразца, чтобы убедиться, что каждый образец ТПУ прошел проверку с одинаковыми исходными характеристиками поверхности. Увеличение молекулярной массы повышало устойчивость ТПУ к появлению царапин, растрескиванию и потере объема при абразивном изнашивании.

Целью нашей работы было определение абразивной стойкости полиуретанов с различной твердостью при гравитационной подаче кварцевого песка в зону трения.

Для проведения экспериментальных работ из листового литого полиуретана ЭП СКУ ПТ-74 вырезали образцы с различной твердостью по убыванию ПУ1, ПУ2, ПУ3, ПУ4, ПУ5, с размерами 70×20×10 мм. Их технические характеристики представлены в таблице 1.

Испытания на абразивное изнашивание свободным абразивным зерном выполняли по схеме: «образующая поверхность резинового диска - широкая сторона плоского образца (полиуретан)». В качестве абразива использовали кварцевый песок с размером частиц 0,2-0,6 мм. Подачу песка осуществляли с помощью дозатора через калиброванное отверстие гравитационным способом. Нагрузка на образец была 15 Н. Продолжительность испытаний составляла 5 минут. Результаты испытаний на абразивное изнашивание свободным абразивным зерном представлены в таблице 2.

Табл. 1. Технические характеристики полиуретанов

№ образца	Условная прочность при растяжении, МПа	Условное напряжение при 100% удлинении, МПа	Твердость по Шору А
ПУ1	38	9	98
ПУ2	30	9	93-95
ПУ3	20	5	85-88
ПУ4	13	2	70-75
ПУ5	5	1,1	60-65

Табл. 2. Потеря массы образцов при испытании свободным абразивным зерном

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
1.1	15,7296	15,7248	0,0048	0,00467
1.2	15,7248	15,7198	0,005	
1.3	15,3214	15,3172	0,0042	
2.1	16,7506	16,7444	0,0062	0,0066
2.2	16,7444	16,7378	0,0066	
2.3	16,4612	16,4542	0,007	
3.1	16,1807	16,1705	0,0102	0,00997
3.2	16,1705	16,1601	0,0104	
3.3	16,8905	16,8812	0,0093	
4.1	15,0588	15,0444	0,0144	0,01407
4.2	15,0444	15,0296	0,0148	
4.3	15,4856	15,4726	0,013	
5.1	15,5019	15,2515	0,2504	0,25087
5.2	15,2515	15,0004	0,2511	
5.3	15,6987	15,4476	0,2511	

1. Морфология поверхностей трения полиуретана представлена на рисунке

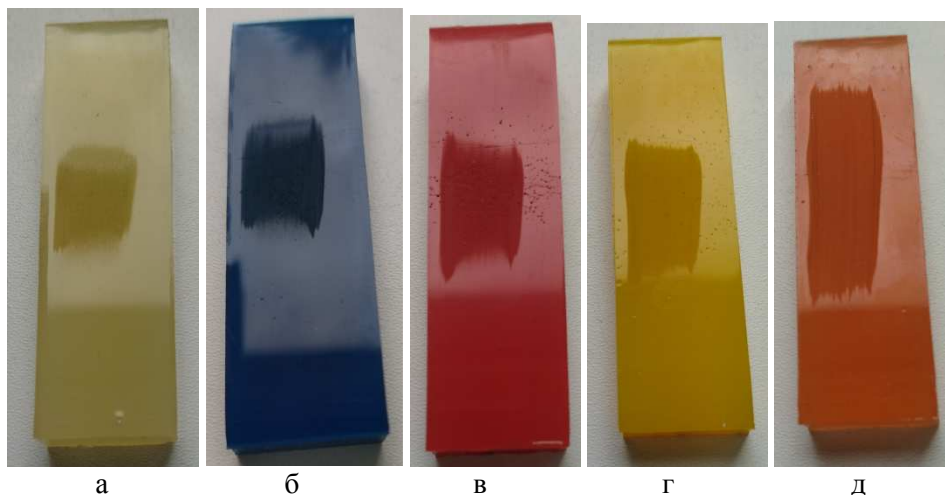


Рис. 1. Морфология поверхностей полиуретана:
а – ПУ1, б – ПУ2, в – ПУ3, г – ПУ4, д – ПУ5

Площадь поверхности трения и глубина лунки износа увеличивается с уменьшением твердости полиуретана. Основной механизм изнашивания микрорезание.

Выводы. Определено влияние твердости на потерю массы свободным абразивным зерном полиуретановых образцов. Установлено, что наибольшей стойкостью к абразивному износу обладали образцы ПУ1, за ними по возрастанию потери массы следовали образцы ПУ2, ПУ3, ПУ4 и ПУ5.

Список литературы / References

1. Rodriguez V., Sukumaran J., Schlarb A.K., De Baets P. Influence of solid lubricants on tribological properties of polyetheretherketone (PEEK) // Tribology International. 2016, vol. 103, pp. 45-57. DOI: 10.1016/j.triboint.2016.06.037.
2. Unal H., Sen U., Mimaroglu A. Abrasive wear behaviour of polymeric materials // Materials and Design. 2005, vol. 26(8), pp. 705-710. DOI: 10.1016/j.matdes.2004.09.004.
3. 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. DOI: 10.1016/j.polymer.2019.02.059.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
Горюнов Ярослав Алексеевич – младший научный сотрудник	Goryunov Yaroslav Alekseevich – junior researcher
Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник	Yakubovsky Anton Alekseevich – junior researcher
Laser-52@yandex.ru	

Received 13.05.2024