

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2024-21-33-36>

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КАПРОЛОНА НА СТОЙКОСТЬ К АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ ЗАКРЕПЛЕННЫМ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ

Бирюков В.П., Горюнов Я.А.

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

Ключевые слова: износ, закрепленное абразивное зерно, капролон, износостойкость, потеря массы, микрорезание.

Аннотация. В работе представлены результаты испытаний на абразивное изнашивание закрепленным зерном и морфологических исследований поверхностей трения образцов капролона. Получены закономерности стойкости к абразивному изнашиванию закрепленным абразивным зерном в зависимости от состава капролона. Наибольшая износостойкость зафиксирована у графитонаполненного образца.

INFLUENCE OF CAPROLON COMPOSITION ON RESISTANCE TO ABRASIVE WEAR BY FIXED ABRASIVE GRAIN

Biryukov V.P., Goryunov Ya.A.

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

Keywords: wear, fixed abrasive grain, caprolon, wear resistance, weight loss, micro-cutting.

Abstract. The paper presents the results of abrasive wear tests with fixed grain and morphological studies of friction surfaces and caprolon samples. The regularities of resistance to abrasive wear with fixed abrasive grain depending on the composition of caprolon are obtained. The highest wear resistance is recorded for the graphite-filled sample.

В современном мире, где требования к прочности, износостойкости и долговечности материалов постоянно растут, полимеры получили широкое применение благодаря своим эксплуатационным характеристикам. Среди них особое место занимает капролон (полиамид-6, ПА-6), являющийся универсальным конструкционным высокомолекулярным полимером, совмещающим в себе высокие физико-механическими и триботехнические свойства. Капролон демонстрирует хорошую стойкость к истиранию, что существенно продлевает срок службы изготовленных из него изделий. Его универсальность проявляется не только в широком спектре применения, но и в возможности модификации характеристик с помощью различных наполнителей: графита, стекловолокна, дисульфида молибдена, масла и антипиренов.

Для определения трибологических характеристик, образцы полиамида-46 (ПА-46) и полиамида-66 (ПА-66) [1] с размерами 20×10×3 мм были разделены на несколько групп. В первую группу входили образцы из ненаполненного ПА-46. Вторая группа состояла из образцов ненаполненного

ПА-66. В третью группу входили образцы ПА-46 с добавлением частиц МР1100, в четвертую ПА-46, наполненные частицами МР1200 и в пятую – ПА-46 содержащие частицы МР1600. В шестую группу входили образцы ПА-66 наполненные частицами МР1100. В седьмой группе находились образцы ПА-66 с добавлением МР1200, а в восьмой ПА-66 с добавлением частиц МР1600, соответственно. Испытания для определения триботехнических характеристик проводились по схеме «блок (образец полимера) по кольцу» при нагрузке 2-5 МПа и постоянной скорости скольжения 0,5 м/с в течение 12 часов. Путь трения составил 22 км. Кольцо, диаметром 80 и высотой 13 мм и твердостью 60 HRC, было выполнено из стали 16MnCr5. Наименьший коэффициент трения 0,3 при нагрузке 3 МПа был выявлен у образца (ПА46+МР1100), что в 3,33 раза ниже, чем у ненаполненного образца ПА46 1,0. При этом при нагрузке 5 МПа наименьший коэффициент трения 0,2 показывал образец (ПА46+МР1200). Наименьшая потеря массы 1 мм³ при нагрузке 2 МПа была обнаружена у образца (ПА46+МР1100) за ними по убыванию следовали образцы (ПА66+МР1600) 2 мм³, (ПА66+МР1100) 3 мм³ и (ПА46+МР1200) 3,5 мм³ далее (ПА66+МР1200) 4,5 мм³, затем (ПА46+МР1600) 7 мм³, РА46 8 мм³ и РА66 18,5 мм³, соответственно. Установлено, что добавление частиц МР1100 повышает износостойкость полиамидов.

Образы полимерных материалов [2], диаметром 6 и длиной 15 мм, были подвергнуты триботехническим испытаниям. Первая группа состояла из образцов полиамида-6G (ПА-6G). Во вторую группу входили образцы полиамида-6G с добавлением магния (Mg) (далее ПА6G+Mg), в третью группу входили образцы из полиацетала (РОМ-С), в четвертую – образцы полиэтилентерефталата (ПТФЭ), соответственно. В пятой группе находились образцы полиамида-66, наполненные стекловолокном 30 мас. % (далее ПА-66+СВ30). В шестую группу входили образцы из бакелита. Испытания для определения триботехнических характеристик проводились по схеме «палец (образец полимера)-диск» при нагрузке 2-5 МПа и скорости скольжения 0,4 м/с. Диск диаметром 350 и высотой 13 мм был изготовлен из стали S355. Путь трения составил 1 км. Наименьший коэффициент трения 0,205 был выявлен у образцов ПТФЭ, что в 1,75 раз меньше, чем у образцов бакелита 0,36. Наименьшая глубина изношенной лунки 0,00346 мм также была зафиксирована у образцов ПТФЭ, что в 4,2 раза меньше, чем у образцов бакелита 0,01518 мм. Обнаружено, что образцы ПТФЭ имели лучшую износостойкость в сравнении с образцами из прочих групп.

Образцы полиамида-6 (ПА-6) [3], диаметром 12 и высотой 30 мм, наполненные графитом, были подвергнуты испытаниям для определения влияния состава полимеров на их триботехнические свойства. Образцы разделили на группы. Первая группа состояла из образцов ненаполненного ПА-6. Во второй группе в ПА-6 добавили частицы графита 5 мас. %, в третьей – 10 мас. %, в четвертой – 20 мас. %, в пятой – 30 мас. %, в шестой группе содержание частиц графита составило 40 мас. %. Испытания проводились по

схеме «палец (образец полиамида)-диск (сталь EN31)» при нагрузке 5, 10, 20 и 30 Н и скорости скольжения 5,23, 7,85 и 10 м/с. Наименьший коэффициент трения 0,14 при нагрузке 30 Н был зафиксирован у образца ПА-6 с содержанием частиц графита 20 мас.%, что в 2,28 раз ниже, чем у ненаполненных образцов 0,32. Минимальная скорость изнашивания $3,7 \cdot 10^{-3}$ мм³/Нм выявлена у образца ПА-6 с содержанием частиц графита 20 мас.%, что в 1,83 раза меньше, чем у ненаполненных образцов полиамида $6,8 \cdot 10^{-3}$ мм³/Нм. Меньшую потерю массы 3,32 г также показывал образец ПА-6 с содержанием частиц графита 20 мас.%. Установлено, что добавление частиц графита способствует повышению износостойкости образцов полиамида.

Для проведения испытаний были получены конструкционные полимеры капролона ненаполненного (ПА-6) в виде диска диаметром 80 мм, толщиной 30 мм, и графитонаполненного (ПА-6+Гр) марки К45 в виде втулки диаметром 80 мм с толщиной стенки 20 мм длиной 80 мм, предоставленные ООО НТО «Альвис», г. Тула, которые были фрагментированы на образцы с размерами 70×20×12 мм и были поделены на две группы: первая состояла из ненаполненных образцов (1.1, 1.2, 1.3), во вторую группу входили графитонаполненные образцы (2.1, 2.2, 2.3). Испытания на абразивное изнашивание закрепленным абразивным зерном проводили по схеме: «торец кольцевой оправки с наклеенной наждачной бумагой (P120) – широкая сторона прямоугольного образца (капролон)» при нагрузке 1,6 МПа и скорости скольжения 0,25 м/с. Испытания были выполнены при нормальном атмосферном давлении и температуре. Результаты испытаний на абразивное изнашивание закрепленным абразивным зерном представлены в таблице 1.

Табл. 1. Потеря массы образцов при абразивном изнашивании закрепленным абразивным зерном

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы, г
1.1	18,4022	18,3916	0,0106	0,0149
1.2	18,3916	18,2566	0,0135	
1.3	18,2566	18,2360	0,0206	
2.1	20,2769	20,2644	0,0125	0,0114
2.2	20,2644	20,2556	0,0088	
2.3	20,2556	20,2427	0,0129	

Средняя потеря массы графитонаполненных образцов составляла 0,0114 г, что в 1,3 раза ниже, чем у ненаполненных образцов 0,0149 г.

На рисунке 1 представлены образцы и зоны трения ненаполненного (рис. 1, а) и графитонаполненного капролона (рис. 1, б) после испытаний закрепленным абразивным зерном.

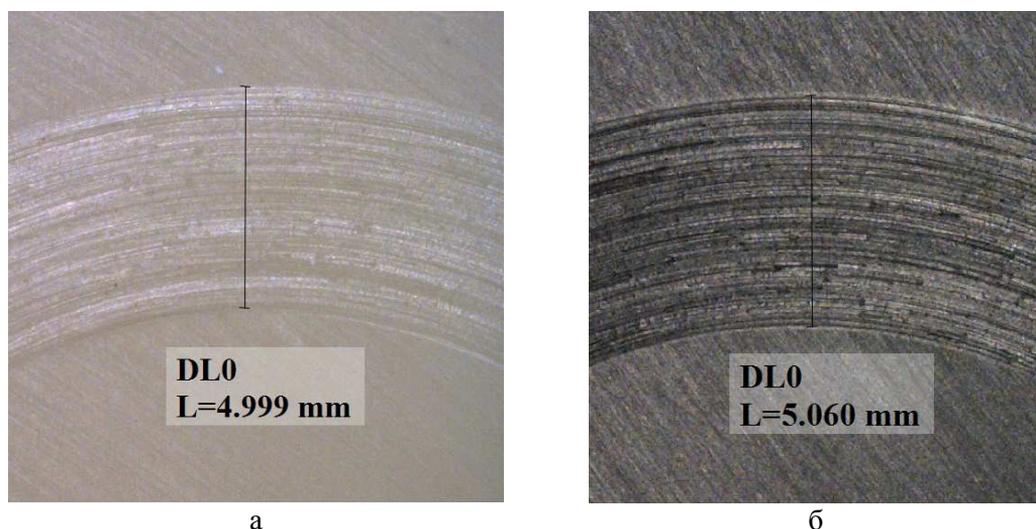


Рис. 1. Общий вид поверхностей трения образцов капролона: а – 1.1, б – 2.1.

Выводы. Проведенные эксперименты показали, что наибольшей износостойкостью при изнашивании закрепленным абразивным зерном обладали графитонаполненные образцы.

Список источников / References

1. Kanga L.S., Nguyen T.D., Emrich S., Oehler M., Schmidt T., Gedan-Smolka M., Kopnarski M., Sauer B. The effect of irradiated PTFE on the friction and wear behavior of chemically bonded PA46-PTFE-cb and PA66-PTFE-cb compounds // *Wear*. 2022, vol. 502-503, p. 204380. DOI: 10.1016/j.wear.2022.204380.
2. Keresztes R., Gabor K., Nagarajan R., Subramanian K., Jacob S., Ismail S.O. Tribological Analysis of Engineering Plastics/Steel Friction Pairs // *Trans Indian Inst Met*. 2021, vol. 74, pp. 1537-1548. DOI: 10.1007/s12666-021-02231-8.
3. Kumar S.S., Kanagaraj G., Investigation on Mechanical and Tribological Behaviors of PA6 and Graphite-Reinforced PA6 Polymer Composites // *Arab J Sci Eng*. 2016, vol. 41(11), p. 4347-4357. DOI: 10.1007/s13369-016-2126-2.

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

Received 19.10.2024