

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-44-50-53>

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КАПРОЛОНА НА СТОЙКОСТЬ К АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ

*Бирюков В.П., Горюнов Я.А.*

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

**Ключевые слова:** капролон, полиамид, свободное абразивное зерно, износ, износостойкость, потеря массы, микрорезание.

**Аннотация.** В работе приведены результаты испытаний на абразивное изнашивание свободным абразивным зерном и морфологических исследований поверхностей трения образцов капролона. Получены закономерности стойкости к абразивному изнашиванию свободным абразивом в зависимости от состава капролона. Наибольшая износостойкость зафиксирована у ненаполненного 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:** caprolon, polyamide, free abrasive grain, wear, wear resistance, weight loss, micro-cutting.

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

Капролон (полиамид-6, ПА-6) является распространенным конструкционным полимером, работающим в различных условиях. Из-за низкого коэффициента трения, капролон становится отличным материалом для изготовления подшипников скольжения, шестерен, зубчатых колес, направляющих и других деталей, испытывающих интенсивное трение. Трибологические свойства полиамидов считаются хорошими, но для того, чтобы улучшить их характеристики в парах трения, в капролон добавляются различные наполнители, такие как графит, стекловолокно, дисульфид молибдена, масла, антипирены, углеродное волокно, политетрафторэтилен (ПТФЭ) и т.д. Углеродные волокна также обладают хорошей жесткостью, прочностью, поэтому их можно использовать для снижения интенсивности изнашивания. ПТФЭ используется для уменьшения коэффициента трения.

Образцы полиамида-66 (ПА-66) [1] диаметром 5 мм и высотой 50 мм были подвергнуты триботехническим испытаниям, предварительно разделенные на несколько групп. Первая группа состояла из образцов ПА-66 в

исходном состоянии. Во вторую группу входили образцы ПА-66, наполненные частицами углеродного волокна 30 мас. % (далее ПА-6630УВ), в третью – образцы ПА-6630УВ с добавлением 0,5 мас. % многослойных углеродных нанотрубок (далее ПА-6630УВ+0,5МНТ) соответственно. Испытания для определения триботехнических характеристик проводили по схеме «палец (полиамид) – диск (сталь AISI 1040)» при нагрузках 20, 30 и 40 Н и скоростях скольжения 0,4; 0,8 и 1,2 м/с. Стальной диск, диаметром 60 мм и высотой 10 мм, имел твердость 50-55 HRC. Путь трения составлял 1 км. Наименьший коэффициент трения 0,2319 при нагрузке 20 Н был выявлен при испытании образцов ПА-6630УВ+0,5МНТ, что в 1,5 раза ниже, чем у образцов полиамида в исходном состоянии 0,3493. Также минимальную удельную интенсивность изнашивания  $7,10 \times 10^{-11}$  мм<sup>3</sup>/Нм показывали образцы ПА-6630УВ+0,5МНТ, что в 3 раза меньше, чем у образцов ненаполненного ПА-66  $2,15 \times 10^{-10}$  мм<sup>3</sup>/Нм. Установлено, что добавление частиц углеродного волокна 30 мас. % и многослойных углеродных нанотрубок 0,5 мас. % в исходный полиамид-66 способствовало увеличению износостойкости.

Циклу испытаний для определения износостойкости подвергались образцы полиамида-66 (ПА-66) [2] с размерами 15×15×4 мм, предварительно разделенные на несколько партий. Первая партия состояла из образцов ненаполненного ПА-66. Во второй партии находились образцы ПА-66 с добавлением 10 мас. % стекловолокна, в третьей – ПА-66 с добавлением 20 мас. % стекловолокна и в четвертой – ПА-66 с добавлением 30 мас. % стекловолокна соответственно. Перед испытанием все образцы были подвергнуты термической обработке в печи при температуре 70°С в течение 24 часов, а затем охлаждались до комнатной температуры. Испытания для определения триботехнических характеристик были проведены по схеме «шар (сталь 100Cr6) – плоскость образца (полиамид)» при нагрузке 22,4; 62,4 и 65,6 Н. Образцы полиамида двигались возвратно-поступательно относительно зафиксированного шара диаметром 20 мм с частотой 1 Гц при скорости скольжения 0,01 и 0,056 м/с. Длина хода составляла 10 и 56 мм. Наименьший коэффициент трения 0,21 был выявлен у образцов ПА-66 с добавлением 30 мас. % стекловолокна, что в 2,85 раза ниже, чем у образцов ненаполненного полиамида 0,6. Найдено, что добавление 30 мас. % частиц стекловолокна значительно снижает коэффициент трения полиамида.

Испытанию для определения влияния состава на износостойкость были подвергнуты образцы полиамида-66 (ПА-66) [3] диаметром 8 мм и высотой 30 мм, разделенные на несколько групп. В первой группе находились образцы ПА-66 с добавлением 10 мас. % углеродного волокна (ПА-6610УВ). Во второй группе состояли образцы ПА-66 с добавлением 15 мас. % углеродного волокна и 20 мас. % политетрафторэтилена (ПА-6615УВ+20ПТФЭ), в третьей группе – образцы ПА-66 с добавлением 25 мас. % углеродного волокна и 20 мас. % политетрафторэтилена (ПА-6625УВ+20ПТФЭ), в четвертой – образцы ПА-66 с добавлением 30 мас. % углеродного волокна и 20 мас. % политетрафторэтилена (ПА-6630УВ+20ПТФЭ). Испытания для определения

триботехнических характеристик проводились по схеме «палец (полиамид) – диск (сталь AISI SS 304)» при нагрузке 100,9 и 117,1 Н и скорости скольжения 0,11 и 0,13 м/с в течение 80 минут. Наименьший коэффициент трения 0,0324 при нагрузке 100,9 Н зафиксирован у образцов ПА-6630УВ+20ПТФЭ, что в 2,3 раза ниже, чем у образцов ПА-6610УВ 0,0745. Минимальная глубина изношенной лунки 7 мкм наблюдалась у образцов ПА-6630УВ+20ПТФЭ, что в 2,14 раз меньше, чем у образцов ПА-66 с добавлением 10 мас. % углеродного волокна 15 мкм. Определено, что добавление 30 мас. % углеродного волокна и 20 мас. % политетрафторэтилена повышает износостойкость полиамида-66.

Для проведения испытаний были получены конструкционные полимеры капролона ненаполненного (ПА-6), и графитонаполненного (ПА-6+Гр) марки К45 с размерами 70×20×12 мм, предоставленные ООО НТО «Альвис», г.Тула. Образцы были поделены на две партии: первая состояла из ненаполненных (1.1, 1.2, 1.3), во вторую входили графитонаполненные образцы (2.1, 2.2, 2.3). Испытания на абразивное изнашивание свободным абразивным зерном выполняли по схеме: «образующая поверхность резинового диска – широкая сторона образца (капролон)» при нагрузке 15 Н, нормальном атмосферном давлении и температуре в течение 5 минут. 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. Результаты испытаний на абразивное изнашивание свободным абразивным зерном приведены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, средняя потеря массы ненаполненных 0, г меньше в 1,038 раз, чем графитонаполненных образцов 0,0109 г.

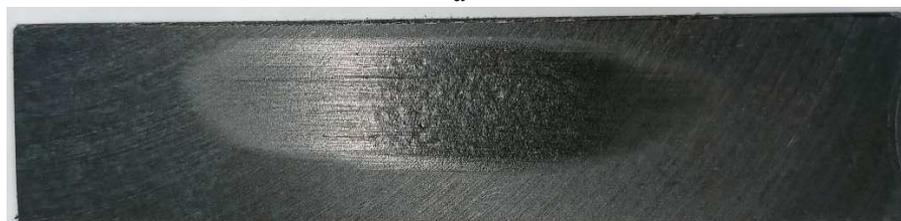
Табл. 1. Испытание на абразивное изнашивание свободным абразивным зерном

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы, г
1.1	18,3403	18,3311	0,0092	0,0105
1.2	18,3311	18,3193	0,0118	
1.3	18,3193	18,3086	0,0107	
2.1	20,3357	20,3257	0,0100	0,0109
2.2	20,3257	20,3149	0,0108	
2.3	20,3149	20,3030	0,0119	

На рисунке 1 представлен общий вид образцов ненаполненного (рис. 1, а) и графитонаполненного капролона (рис. 1, б) после испытаний свободным абразивом.



а



б

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

Как видно из рисунка 1, площадь поверхности трения и глубина лунки износа у образцов капролона были идентичными. Установлено, что основной механизм изнашивания – микрорезание.

**Выводы.** Проведенные эксперименты показали, что наибольшей износостойкостью при изнашивании свободным абразивным зерном обладали ненаполненные образцы.

#### Список источников // References

1. Ozsarikaya B., Yetgin S.H., Unal H., Tribological properties of carbon fiber and multiwalled carbon nanotube filled polyamide 66 composites // Proceedings of 10th International Scientific Conference BALTRIB 2019. 2019, pp. 33-41. DOI: 10.15544/baltrib.2019.07.
2. Autay R., Njeh A., Dammak F., Effect of thermal aging on mechanical and tribological behaviors of short glass fiber–reinforced PA66 // Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2018, vol. 33, pp. 1-15. DOI: 10.1177/0892705718807961.
3. Shelke S.D., Pawar D.S., Tribological Behavior of Polyamide 66 Blend with CF & PTFE // International Journal for Scientific Research & Development. 2017, vol. 5(5), pp. 237-242.

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

*Received 21.10.2024*