

УДК 678.675 DOI 10.36910/6775.24153966.2019.68.23

О.П. Чигвинцева, О.С. Кабат, Ю.В. Бойко*Днепровский государственный аграрно-экономический университет***ИЗУЧЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНОПЛАСТИКА НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИАМИДА ФЕНИЛОН С-1**

Проведены трибологические исследования ароматического полиамида фенилон С-1 и органоластика на его основе, армированного арамидным волокном терлон. Исследовано влияние режимов эксплуатации на процессы трения и изнашивания связующего и органоластика на его основе. Показано, что разработанный органопластик при работе в режиме трения без смазки имеет низкий коэффициент трения и высокую износостойкость.

Ключевые слова: ароматический полиамидфенилон, органопластик, коэффициент трения, интенсивность линейного износа

O.P. Chigvintseva, O.S. Kabat, Yu.V. Boyko*Dnipro State University of Agriculture and Economics***STUDY OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ORGANOPLASTIC BASED AROMATIC POLYAMIDES PHENYLONE C-1**

Tribological studies of the aromatic polyamide phenyl C-1 and organoplastic based on it, aramid fiber reinforced terlon in the amount of 15 mas % were carried out. It has been established that reinforcing C-1 phenylone with terlon fiber makes it possible to obtain antifriction material with a low coefficient of friction. In the entire studied load range, the maximum decrease in the coefficient of friction (by 54%) was characteristic of organoplastic, tested at a sliding speed of 1.5 m/s as compared with the binder. The nature of intensity of linear wear change of the materials was identical: at a sliding speed of 1 m/s, the indicator of C-1 phenylone samples and organoplastic increased throughout the load interval, under more stringent tests ($v = 1.5$ m/s, $P = 0.8$ MPa, as well as $v = 2.0$ m/s, $P = 0.5-0.8$ MPa), the polyamide binder and organoplastic catastrophically wore out and lost their performance. In general, the studied materials can be stably operated at sliding speeds of 1 and 1.5 MPa in the load interval 0.2-0.65 MPa.

Key words: aromatic polyamide phenylone, organoplastic, friction coefficient, intensity of linear wear

О.П. Чигвинцева, О.С. Кабат, Ю.В. Бойко*Дніпровський державний аграрно-економічний університет***ВИВЧЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОРГАНОПЛАСТИКА НА ОСНОВІ АРОМАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ ФЕНІЛОН С-1**

Проведені трибологічні дослідження ароматичного поліаміду фенілон С-1 і органоластика на його основі, армованого арамідним волокном терлон. Досліджено вплив режимів експлуатації на процеси тертя і зносу в'язучого і органоластика на його основі. Показано, що розроблений органопластик при роботі в режимі тертя без змащування має низький коефіцієнт тертя і високу зносостійкість.

Ключові слова: ароматичний поліамід фенілон, органопластик, коефіцієнт тертя, інтенсивність лінійного зносу

Развитие современной промышленности неразрывно связано с применением в конструкциях машин и механизмов новых полимерных композиционных материалов. Полимерные композиционные материалы обладают ценным комплексом эксплуатационных характеристик, наиболее важными из которых являются низкая плотность, высокие удельная прочность и жесткость, возможность эксплуатации в широком интервале температур и в условиях действия знакопеременных нагрузок, коррозионная стойкость и способность выдерживать длительные статические и динамические нагрузки.

Наиболее перспективным способом улучшения трибологических свойств полимерных композиционных материалов является армирование их химическими волокнами. Химические волокна обладают высоким модулем упругости, хорошей устойчивостью к воздействию температуры, химически активных сред, высокой усталостной прочностью, низким коэффициентом трения, в связи с чем широко используются для армирования полимеров.

Благодаря ценному комплексу свойств в последнее время для армирования полимерных связующих широко используют высокопрочные арамидные волокна. Указанные волокнистые наполнители отличаются высокой стабильностью размеров (не имеют усадки как в сухом, так и во влажном состоянии вплоть до 160°C), хорошими термическими характеристиками (их можно эксплуатировать при температуре от -100°C до +180°C), в обычных условиях они негорючи и устойчивы к воздействию различных химических веществ. Сочетание высокой прочности, вязкости разрушения, термостойкости с низкой плотностью позволяет использовать эффективно

органопластики на основе арамидных волокон в конструкциях машин и механизмов гражданского и специального назначения [1, 2].

С целью создания органопластика с улучшенными трибологическими свойствами ароматический сополиамидфенилон С-1 (ТУ 6-05-221-10)[3, 4] армировали арамидным волокном марки терлон в количестве 15 мас. %. Арамидное волокно терлон отличается высокими показателями прочности и модуля упругости, способно эксплуатироваться в широком температурном интервале (от 23 до 548 К), имеет высокую удельную прочность на разрыв при малом весе, повышенную устойчивость к многократной деформации, низкую термическую усадку и электропроводность, а также отличную химическую стойкость [5].

Оценка работоспособности полимерных композиционных материалов в условиях трения достаточно сложна в связи с большим разнообразием условий работы подвижных сочленений машин. Данные предварительных трибологических исследований, позволяющие определить степень изменения коэффициента трения и износа материала при различных нагрузках и скоростях скольжения, дает возможность определить оптимальные режимы эксплуатации полимерных композитов.

Изучение процессов трения и износа фенилона С-1 и органопластика на его основе осуществлялось на дисковой машине трения в режиме трения, путь трения составлял 1000 м. В качестве контртела использовали диск, изготовленный из стали 45 (ГОСТ 1050-74), термообработанный до твердости 45-48 HRC с шероховатостью поверхности $R_a = 0,16-0,32$ мкм.

Коэффициент трения f определялся по формуле:

$$f = \frac{(F_1 + F_2)}{N} \quad (1)$$

где N – нормальная нагрузка на образец; F_1 – сила трения исследуемого образца; F_2 – потери, возникающие при повороте рычага в горизонтальной плоскости.

Износ образцов определялся весовым методом на аналитических весах ВЛР-200 с точностью до 0,0001 г. За основную инженерную характеристику процесса износа согласно [6], принимали интенсивность линейного износа I_h , которая рассчитывалась согласно соотношению:

$$I_h = \frac{\lambda}{\rho_T} \cdot \frac{dG}{(A_a \cdot dL_T)} \quad (2)$$

Где G – величина весового износа; L_T – путь трения, м; A_a – номинальная площадь контакта; ρ_T – плотность исследованного образца, $\lambda = A_a / A_m$, A_m – номинальная площадь трения. В ходе исследований принимали $\lambda = 1$, т.е. рассматривали износ тела, все точки которого постоянно находятся в контакте.

Результаты трибологических исследований свидетельствуют о том, что с возрастанием нагрузочного режима от 0,2 до 0,8 МПа коэффициент трения фенилона С-1 и органопластика на его основе снижался при всех исследуемых скоростях скольжения (рис. 1а, б, в). По видимому, это можно объяснить, с одной стороны, сокращением времени фрикционной связи полимерный образец – стальное контртело, а с другой – увеличением тангенциально составляющей скорости скольжения, что обеспечивало эффективное удаление частиц износа из зоны трения [7].

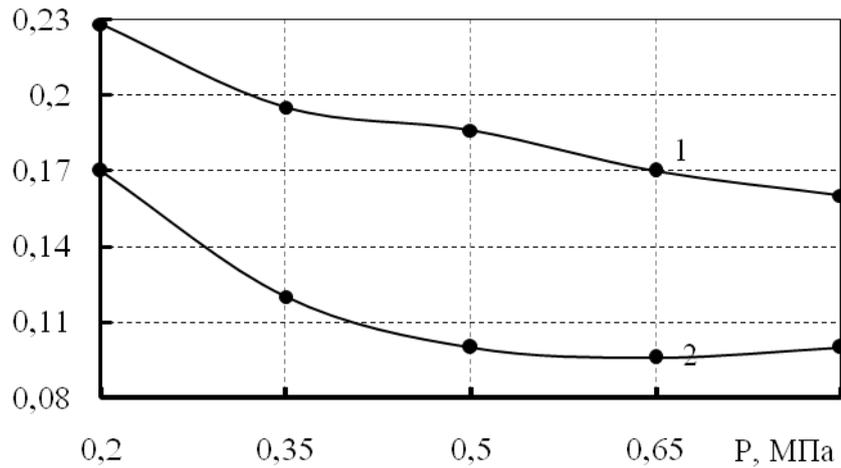
Наиболее работоспособным оказался полимерный образец фенилона С-1, испытанный при минимальном скорости скольжения ($v = 1$ м/с): в этих условиях коэффициент трения материала снизился от 0,23 до 0,16; при скорости скольжения 2 м/с полимер стабильно эксплуатировался только при нагрузках 0,2 и 0,35 МПа, а затем начал катастрофически изнашиваться, вследствие чего коэффициент трения определить не удалось. Аналогичная картина наблюдалась и для органопластика: при испытаниях в условиях скорости скольжения $v = 1$ м/с коэффициент трения снижался от 0,17 до 0,1, а при $v = 2$ м/с, несмотря на низкий коэффициент трения, образец органопластика терял свою работоспособность и разрушался. Таким образом, исследованные материалы могут стабильно эксплуатироваться при скоростях скольжения 1 и 1,5 м/с в интервале нагрузок 0,2-0,65 МПа [8, 9].

Сравнительный анализ результатов трибологических исследований показал, что при испытаниях образцов в условиях скорости скольжения $v = 1$ м/с коэффициент трения органопластика с ростом нагрузки уменьшался более существенно (на 41%) по сравнению с исходным полимером, для которого падение коэффициента трения составило 30% (рис. 1а). Увеличение скорости скольжения до $v = 1,5$ м/с при $P = 0,2-0,8$ МПа (рис. 1б) способствовало существенному снижению коэффициента трения органопластика (на 54%), что было более, чем в 2 раза выше, чем для связующего. При скорости скольжения 2 м/с (рис. 1в) с ужесточением

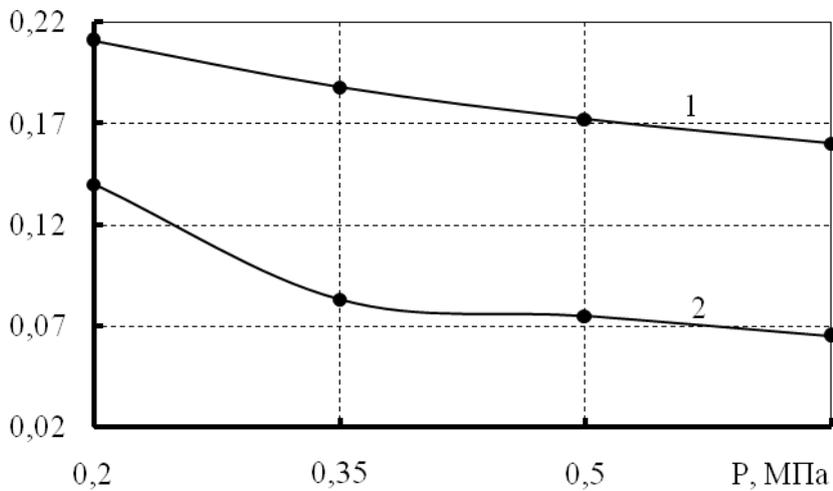
нагрузочного режима коэффициент трения фенилона С-1 изменялся незначительно и находился в пределах 0,18-0,16, в то время как для органопластика он имел значения в 2 раза ниже(0,09-0,08).

В целом, судя по результатам трибологических исследований, следует заключить, что армирование ароматического полиамида фенилон С-1 арамидным волокном терлон позволяет получить материал антифрикционного назначения с низким коэффициентом трения (0,08-0,17) независимо от режимов эксплуатации.

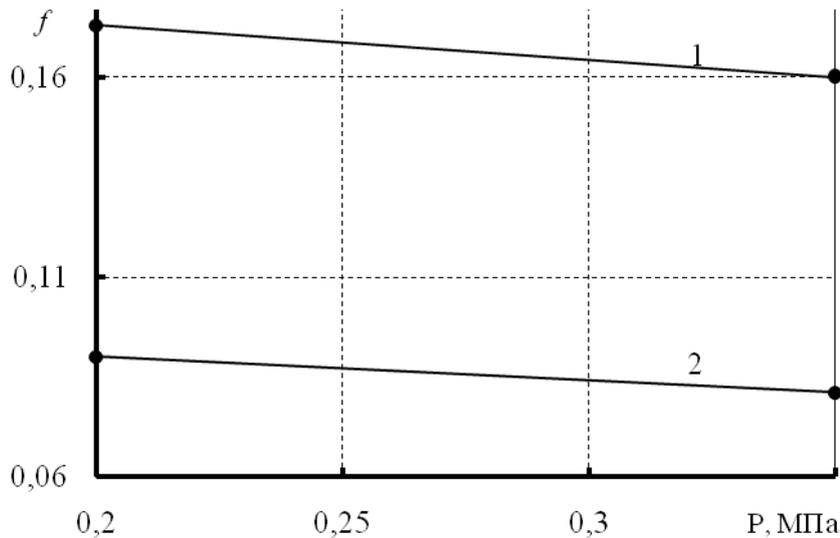
Что касается изменения интенсивности линейного изнашивания(табл. 1), то здесь проявлялась общая тенденция: при скорости скольжения 1 м/с указанный показатель образцов фенилона С-1 и органопластика возрастал во всем интервале нагрузок, в условиях более жестких испытаний



а



б



В

Рис. 1. Влияние удельного давления на коэффициент трения фенилона С-1 (1) и органического пластика на его основе (2), испытанных в условиях сухого трения при скоростях скольжения 1,0 (а), 1,5 (б) и 2 м/с (в)

Таблица 1

Влияние режимов эксплуатации на интенсивность линейного износа ароматического полиамида фенилон С-1 и органического пластика на его основе, $I_h \times 10^{-8}$

Скорость скольжения, м/с	Удельное давление, МПа				
	0,2	0,35	0,5	0,65	0,8
Фенилон С-1					
1,0	1,3	1,9	4,2	5,9	13
1,5	1,5	2,7	5,6	23	–
2,0	1,8	3,0	–	–	–
Органический пластик					
1,0	0,52	0,96	1,7	1,9	18
1,5	0,78	1,41	4,9	12	–
2,0	1,32	2,42	–	–	–

($v = 1,5$ м/с, $P = 0,8$ МПа, а также $v = 2,0$ м/с, $P = 0,5-0,8$ МПа) полиамидное связующее и органический пластик катастрофически изнашивались и теряли свою работоспособность. Последнее, очевидно, можно объяснить тем, что в этих условиях в зоне трения развивается температура, близкая к температуре размягчения полимеров, что приводит к схватыванию полимерных материалов с контртелом и, как следствие, к увеличению коэффициента трения и интенсификации процессов износа пластиков [7]. Обращает на себя внимание тот факт, что если при испытаниях при $P = 0,2-0,65$ МПа в условиях скорости скольжения $v = 1,0$ интенсивность линейного износа связующего и органического пластика увеличилась в среднем в 3,5-4 раза, то при $v = 1,5$ м/с она возросла более, чем в 5 раз.

Анализ поверхности контртела после испытаний образцов фенилона С-1 и органического пластика на его основе свидетельствовал о наличии на ней плотной пленки, состоящей из мелкодисперсных продуктов трибодеструкции. Образование поверхностной пленки, вероятно, было вызвано тем, что в результате повышения температуры в зоне контакта полимерный образец – контртело возросли адгезионные силы между полимерным материалом и стальным диском. В целом, образцы полиамидного связующего и органического пластика изнашивались по псевдоупругому механизму (рис. 2): в процессе износа создавались мелкодисперсные продукты износа, которые накапливались на поверхности стального диска, в результате чего трение полимерных материалов

в процессе исследований осуществлялось не по поверхности стального контртела, а по продуктам износа[8].

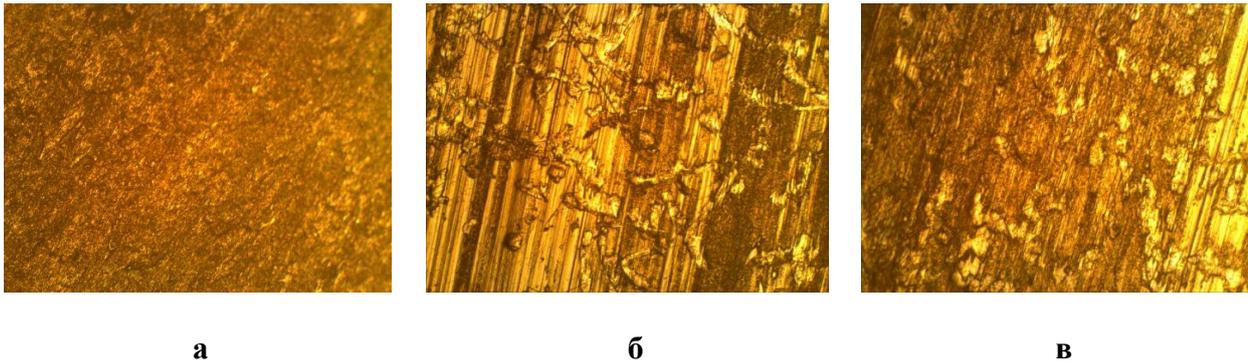


Рис. 2. Микроструктура поверхності трення образців фенілона С-1 (а) і органічного пластику на його основі, армованого 15 мас. % волокна терлон (б), испытанных при скорости скольжения 1 м/с и удельной нагрузке 0,65 МПа. Увеличение × 180

Учитывая вышеизложенное, следует заключить, что армирование ароматического полиамида фенилон С-1 арамидным волокном терлон позволяет получить износостойкий материал антифрикционного назначения.

Максимальное снижение коэффициента трения (на 50%) и интенсивности линейного износа (более, чем в 5 раз) наблюдалось при исследованиях в условиях скорости скольжения 1,5 м/с и нагрузках 0,2-0,65 МПа.

В целом, исследованные материалы могут стабильно эксплуатироваться при скоростях скольжения, не превышающих 2 м/с, и нагрузках – не более 0,65 МПа.

Список использованных источников:

1. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные КМ. СПб: Научные основы и технологии, 2008. – 332 с.
2. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты // СПб: Научные основы и технологии. – 2009. – 380 с.
3. Соколов Л.Б. Термостойкие и высокопрочные полимерные материалы. – М.: Знание, 1984. – 64 с.
4. Соколов Л.Б., Герасимов В.Д., Савинов В.Д., Беляков В.К. Термостойкие ароматические полиамиды. – М.: Химия, 1975. – 256 с.
5. Таблица-вклейка. Термостойкие и жаростойкие волокна // Химические волокна. – 1975. – № 3.
6. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение. – 1968. – 480 с.
7. Бартнев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров. Л.: Химия. – 1972. – 240 с.
8. Чигвинцева О.П., Рула И.В., Бойко Ю.В. Изучение термических и трибологических свойств ароматических полиамидов // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк. – Випуск 65 – 2019 – С. 274-280.
9. Tribological properties of aromatic polyamide phenylon C-1 / O.P.Chigvintseva, O.S. Kabat, I.V. Rula, Yu.V.Boyko // Materials of XIV International Research and Practice Conference “Conduct of Modern Science-2018”, November 30-December 7, 2018, Science and Education Ltd, Sheffield, UK, P. 8-10.

Рецензенты:

А.Д. Деркач, зав. кафедрой “Эксплуатация Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета, к.т.н., доцент машино-тракторного парка”

В.И. Сытар, профессор кафедры инновационной инженерии ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»

Стаття надійшла до редакції 13.12.2019