

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОННО-АРМИРОВАННЫХ ППА-КОМПОЗИТОВ ПРИ ЛИНЕЙНОМ ТРИБОКОНТАКТЕ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ И СМАЗКИ

Ю. ШЭНЬ¹, Д. Г. БУСЛОВИЧ², С. В. ПАНИН^{1,2}

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: shenyy1118@mail.ru

Введение

Полифталамид (ППА) – это новый тип термостойкого полуароматического полиамида (ПА), получаемого из терефталевой или изофталевой кислоты [1]. Благодаря прививке ароматических колец к молекулярной основе полимера, ППА обладает лучшей термической стабильностью, чем алифатические ПА, с температурой плавления более 280 °С. В то же время метиленовые группы тесно связаны с ППА, а полимерная цепь придает матрице способность к переработке в расплаве и гибкость. Хорошо известно, что добавление углеродных волокон значительно повышает износостойкость композитов на основе термопластичных полимеров [2]. Это связано с высокой прочностью и жесткостью армирующих волокон, которые могут эффективно воспринимать нагрузки и снижать деформацию и износ матрицы. Добавление волокон в нейлоновый материал может эффективно предотвратить перенос полимера на контртело [3]. Однако разрушенные фрагменты волокон, образующиеся при износе, могут оказывать микроабразивное воздействие на поверхность трения композита, а армирующие волокна, выступающие из этой поверхности, часто царапают поверхность контртела [4]. При использовании композитов с высоким содержанием армирующих волокон в узле трения проблема может быть решена за счет использования смазочной среды. Поэтому представляется ценным исследовать трибологические свойства композитов с волокнами ППА в условиях масляной смазки, однако в настоящее время эта область не является интенсивно изученной.

Целью данной работы является сравнение трибологических свойств композитов на основе ППА, армированных волокнами, при линейном трибоконтакте в условиях сухого трения и масляной смазки для металло- и керамо-полимерных трибосопряжений при различных скоростях скольжения.

Материалы и методики

Для изготовления образцов использовали гранулы ППА с 40 вес. % УВ (Xiamen Keyuan Plastic Co. Xiamen, China). Образцы для испытания изготавливались методом литья под давлением. Испытания по определению износостойкости проводились на машине трения 2070 CMT-1 (ПО «Точприбор», г. Иваново) по схеме «вал-колодка» в соответствии со стандартом ASTM G 77–98. На образец действовала постоянная нагрузка $P = 60$ Н, а скорость скольжения задавалась равной $V = 0,3–0,7$ м/с. Контртелом в форме вала был подшипник из стали ШХ15 и керамики Al_2O_3 диаметром 35 мм. В качестве смазки использовали электроизоляционное синтетическое масло МДПН-С.

Объемный износ оценивали по профилю дорожки трения при помощи профилометра Alpha-Step IQ (KLA-Tencor, США). Топографию поверхностей триботреков изучали с помощью оптического микроскопа "Neophot 2" (Carl Zeiss, Германия), оборудованного цифровой камерой "Canon EOS 550D" ("Canon Inc.", Токио, Япония).

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 показаны трибологические свойства ППА/40УВ для металло- и керамо-полимерных трибосопряжений при сухом трении и масляной смазки при давлении 60 Н и скорости 0,3–0,7 м/с. Видно, что при сухом трении в керамо-полимерных трибосопряжениях с увеличением скорости скольжения, коэффициент трения и интенсивность изнашивания композитов уменьшились с $0,13 \pm 0,02$ до $0,06 \pm 0,01$ и с $1,07 \pm 0,2 \cdot 10^{-6}$ до $0,37 \pm 0,05 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н-м соответственно. Кроме того, средняя температура керамического контртела увеличивается с 40 ± 2 °С до 49 ± 4 °С (рисунок 1, с), что может быть связано с низкой теплопроводностью керамики.

Вследствие высокой температуры в точке контакта керамо-полимерного трибосопряжения интенсивности изнашивания образцов не показала значительного снижения в случае легкого скольжения (коэффициент трения около 0,1). При масляной смазке, масло снижает влияние фрикционного нагрева на трибологические свойства композита, коэффициент трения и интенсивность изнашивания показывают линейное снижение с увеличением скорости скольжения. Наилучшие трибологические характеристики ППА/УВ40 были достигнуты при скорости скольжения 0,7 м/с, коэффициент трения и интенсивность изнашивания составляет $0,014 \pm 0,01$ и $0,05 \pm 0,01 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м, соответственно.

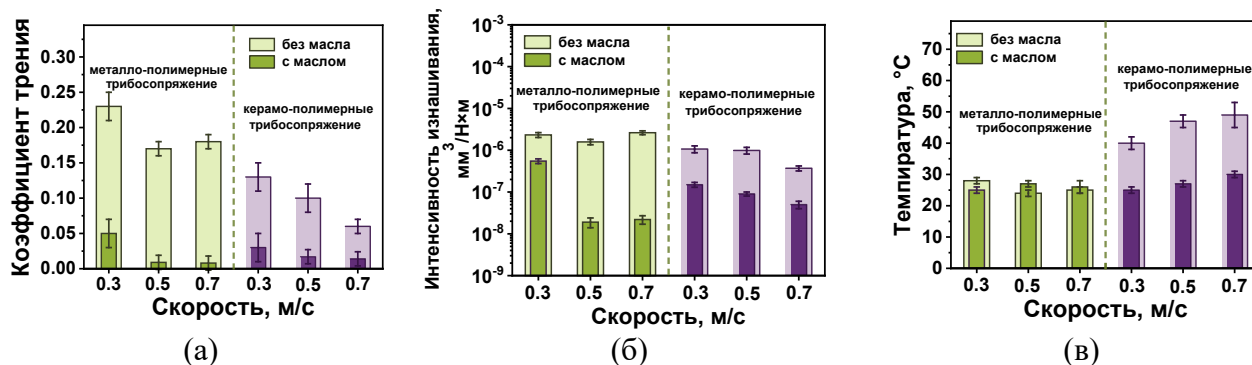


Рисунок 1. Трибологические свойства композита ППА/40 УВ в условиях сухого трения и масляной смазки при различной скорости; металл- и керамо-полимерные трибосопряжения
(а) Диаграммы коэффициента трения, (б) интенсивности изнашивания, (в) температуры контртела

По сравнению с керамико-полимерным трибосопряжением трибологические свойства ППА/УВ40 на металло-полимерной трибосопряжением несущественно изменяются в зависимости от скорости скольжения. Видно, что в условиях сухого трения при увеличении скорости скольжения с 0,3 до 0,5 м/с коэффициент трения и интенсивность изнашивания композита уменьшаются с $0,23 \pm 0,02$ и $2,33 \pm 0,31 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м до $0,17 \pm 0,01$ и $1,58 \pm 0,23 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м соответственно (рисунок 1 а–б). На рисунке 2 а видно, что при скорости скольжения 0,3 м/с на поверхности дорожки трения покрывают слой разрушенных углеродных волокон и продукты износа, что делает поверхности дорожки трения гладкой (рисунок 2, д), и поэтому получается небольшой износ. При увеличении скорости скольжения до 0,5 м/с поверхность дорожки трения становится шероховатой, а глубина выше, чем при 0,3 м/с. На поверхности композита появляются разрушенные волокна и прикрепляются некоторые продукты износа, т.е. он находится в начале формирования слоя. При дальнейшем увеличении скорости скольжения до 0,7 м/с трибологические свойства композита ухудшаются, коэффициент трения остается на уровне 0,18. Но интенсивность изнашивания была выше, составляет $2,63 \pm 0,28 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м, при этом глубина износа была меньше, чем при меньших скоростях скольжения, что может быть связано с тем, что на поверхности дорожки трения совсем не наблюдался слой, образованный прикреплением продуктов износа. При масляной смазке, с увеличением скорости скольжения с 0,3 до 0,5 м/с, коэффициент трения и интенсивность изнашивания композитов резко снижаются с $0,05 \pm 0,02$ и $0,55 \pm 0,07 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м до $0,009 \pm 0,01$ и $0,019 \pm 0,01 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м, соответственно, можно считать, что износ практически не образуется. При увеличении скорости скольжения до 0,7 м/с коэффициент трения и интенсивность изнашивания композитов практически не меняется, и составляет $0,008 \pm 0,01$ и $0,022 \pm 0,01 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м, соответственно. На поверхностях дорожек трения наблюдались только шлифованные поверхности, разрушение волокон практически не происходило.

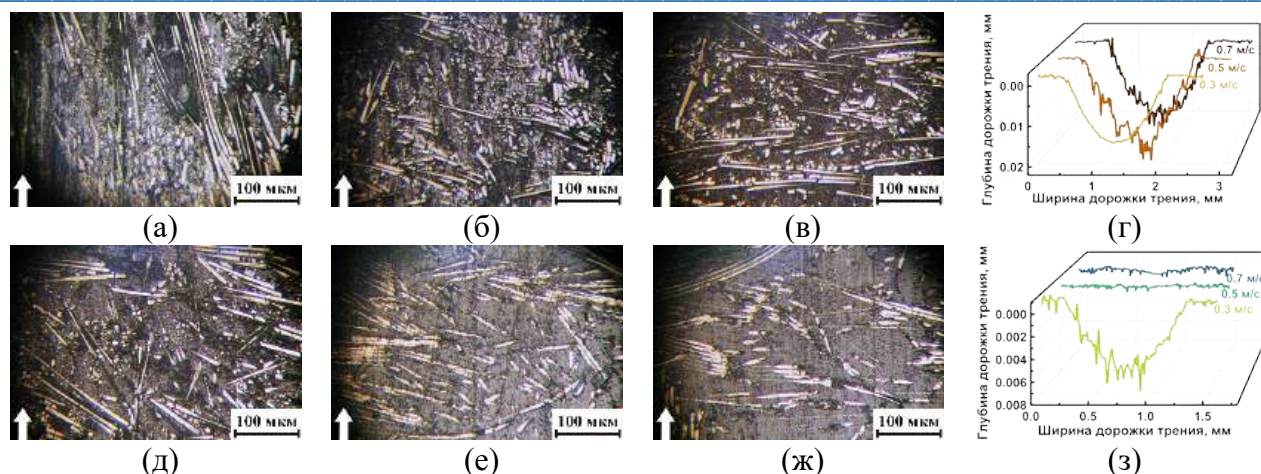


Рисунок 2. Оптические фотографии поверхности дорожки трения в условиях сухого трения (а–в) и в условиях масляной смазки (д–ж) и профили дорожек износа в условиях сухого трения (г) и в условиях масляной смазки (з) после трибологических испытаний, ППА/УВ40. Линейный трибологический контакт. $P = 60 \text{ Н}$, $V = 0,3\text{--}0,7 \text{ м/с}$.

Заключение

В работе исследовано влияние скорости скольжения на трибологические свойства композитов ППА/УВ40 в металл- и керамо-полимерных трибосопряжениях при сухом трении и масляной смазке в условиях линейного трибоконтакта.

Установлено, что в керамико-полимерных трибосопряжениях в условиях сухого трения интенсивность изнашивания композитов не уменьшается с увеличением скорости скольжения из-за высоких температур в точке контакта, вызванных низкой теплопроводностью керамики.

Показано, что в металл-полимерных трибосопряжениях в условиях сухого трения на поверхности дорожки трения при скорости скольжения $0,3 \text{ м/с}$ образуется слой разрушенных волокон и продуктов износа, что делает дорожку трения гладкой и эффективно снижает скорость изнашивания. В то время как в условиях масляной смазки при увеличении скорости скольжения до $0,5 \text{ м/с}$ износ практически не образовывался.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0010.

Список литературы

1. Gonzalez de Gortari, M., Misra, M. and Mohanty, A.K. Polyphthalamide polymers: A review on synthesis, properties, and advance manufacturing and emerging applications // Journal of Applied Polymer Science. – 139. – 40. – 2022. – С. 52965.
2. Lin L, and Alois K.S. Recycled carbon fibers as reinforcements for hybrid PEEK composites with excellent friction and wear performance // Wear. – 432. – 2019. – С. 202928.
3. Shin M. W., Kim S. S., and Jang H. Friction and wear of polyamide 66 with different weight average molar mass // Tribology letters. – 44 – 2011. – С. 151–158
4. Zhang Y. Y., Sun Z., Huang P. и др. Experimental and numerical investigations of wear behaviors of short-carbon-fiber reinforced polyetherimide composite // Composite Structures. – 270. – 2021. – С.114057.