

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ФОТОПОЛИМЕРОВ НА МОМЕНТ ТРЕНИЯ СО СТАЛЬЮ 40X

Бирюков В.П., Горюнов Я.А.

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

Ключевые слова: фотополимер, момент трения, нагрузка, коэффициент трения, машина трения, аддитивные технологии.

Аннотация. Работа посвящена определению моментов трения при испытании образцов фотополимеров со сталью 40X. Установлены закономерности изменения моментов трения в зависимости от времени полимеризации. Результаты проведенных испытаний показали, что наименьшим моментом обладал образец, подвергшийся дополнительному облучению прямыми лучами ультрафиолетового излучения в паре трения со стальной втулкой, обработанной на наждачной бумаге зернистостью P1200.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ULTRAVIOLET IRRADIATION OF PHOTOPOLYMER SAMPLES ON THE MOMENT OF FRICTION WITH 40CR STEEL

Biryukov V.P., Goryunov Ya.A.

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

Keywords: photopolymer, friction moment, load, friction coefficient, friction machine, additive technologies.

Abstract. The work is devoted to determining the friction moments when testing photopolymer samples with 40X steel. The patterns of friction moment changes depending on the polymerization time are established. The results of the tests showed that the smallest moment was possessed by the sample subjected to additional irradiation with direct ultraviolet rays in a friction pair with a steel bushing processed on sandpaper with a grain size of P1200.

Аддитивные технологии находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности во всем мире. В авиастроении данная технология может применяться при создании более экономичных и лёгких по весу деталей авиатранспорта с сохранением аэродинамических свойств. В машиностроении данная технология применяется для быстрого и точного прототипирования деталей транспорта. В медицине с помощью аддитивных технологий стала возможной быстрая и точная печать органов, что снизило количество негативных последствий среди пациентов.

В экспериментах сравнивались триботехнические характеристики образцов [1] длиной 15,2 и диаметром 8 мм, выращенных из фотоотверждаемой смолы методом цифровой проекции света (DLP) и полученных экструзией термопластичного пластика на основе полилактида (PLA) методом послойного наплавления (FDM). Все образцы были

напечатаны под углом 0° , 45° и 90° относительно плоскости печатной платформы. Испытания для определения трибологических характеристик проводились по схеме «образующая цилиндрического полимерного образца – плоскость стальной пластины» при нагрузке 200 Н с частотой 10 Гц и длиной хода 6 мм. Наибольшее значение коэффициента трения 0,79 наблюдалось у образца, напечатанного методом FDM под углом 0° . Наименьший коэффициент трения 0,53 был зафиксирован у образца, напечатанного методом FDM под углом 45° . У образца, напечатанного методом DLP, коэффициент трения составлял 0,73. Наибольшая глубина износа 0,011 мм отмечалась у образца, напечатанного методом DLP. При этом наименьшая зафиксированная глубина износа 0,0103 мм наблюдалась у образца, напечатанного методом FDM под углом 45° . Выявлено, что наилучше показания коэффициента трения и глубины износа были достигнуты у образцов, напечатанных методом FDM под углом 45° относительно плоскости печатной платформы.

Исследование проводилось на образцах [2] из фотоотверждаемой смолы на основе полиуретандиакрилата с добавлением политетрафторэтилена (ПТФЭ). Толщина отвержденных слоев составляла 25 мкм. Образцы крепились на подложку из стали AISI-1045 с размерами $12,35 \times 12,35 \times 19$ мм. Микротвердость покрытия составляла 98 МПа. Испытания по определению триботехнических характеристик проводили по схеме: «шар-плоскость» при нагрузке 2...20 Н. Шар диаметром 10 мм и твердостью 58-61 HRC, изготовленный из стали AISI-52100, совершал возвратно-поступательные движения с частотой 3...9 Гц и длиной хода 2,5 мм. Путь трения составлял 300 м. Наибольший коэффициент трения 0,27 обнаружен у образцов из чистой фотоотверждаемой смолы. Наибольшая скорость изнашивания $5,4 \cdot 10^{-4}$ мм³/Нм была получена при испытании образцов из фотоотверждаемой смолы без добавления политетрафторэтилена. Установлено, что образцы с добавлением политетрафторэтилена (ПТФЭ) имели наименьшие показатели коэффициента трения и скорости изнашивания.

При проведении экспериментов образцы [3] были изготовлены из полиуретанаакрилатной смолы и крепились на подложку из стали AISI-1045. Первая партия образцов состояла из чистой смолы, вторая партия была выполнена с добавлением LaF₃. Толщина отвержденного слоя составляла 30 мкм. Микротвердость покрытия при нагрузке 10 г составляла 57 МПа у образцов из чистой смолы и 146 МПа у образцов с добавлением LaF₃. Испытания по определению триботехнических характеристик проводили по схеме: «шар-плоскость» при нагрузке 5 Н. Шар диаметром 10 мм и твердостью 58...61 HRC был изготовлен из стали AISI-52100, совершал возвратно-поступательные движения со скоростью скольжения 9 см/с и длиной хода 2,5 мм. Путь трения составлял 300 м. Наибольший коэффициент трения 0,22...0,38 обнаружен у образцов из чистой смолы. Наибольшая скорость изнашивания $1,0 \cdot 10^{-4}$ мм³/Нм была получена при испытании образцов из чистой смолы. Установлено, что образцы с добавлением LaF₃ имели минимальные показатели коэффициента трения и скорости изнашивания.

Целью данного исследования является определение влияния времени дополнительного облучения на момент трения при испытании закрепленным абразивом образцов, изготовленных из фотополимерного материала при помощи технологии 3D-печати.

Испытания проводили на образцах фотополимеров с размерами $70 \times 20 \times 10$ мм, изготовленных по технологии цифровой проекции света (DLP). Для выращивания была использована смола Anycubic ECO UV Resin на основе эпоксидированного соевого масла. Первая серия образцов 1.1, 1.2, 1.3 испытывалась после обработки в изопропиловом спирте и сушки при комнатной температуре, вторая серия образцов 2.1, 2.2, 2.3 подвергалась дополнительному облучению ультрафиолетовым излучением в течение 5 минут. Цикл опытов на абразивное изнашивание закрепленным зерном выполняли с помощью машины трения с вертикальной осью вращения шпинделя по схеме: «торец кольцевой поверхности втулки контрообразца (сталь 40X, 48...52 HRC) – широкая сторона образца фотополимера» при постоянной нагрузке 1 МПа и скорости скольжения 0,25 м/с. Для придания шероховатости поверхности, торец контрообразца (стальной втулки) обрабатывали на наждачной бумаге карбида кремния с зернистостью P180, P600 и P1200. Момент трения и нагрузку на образцы определяли с помощью тензометрических датчиков, размещенных в машине трения, в непрерывном режиме.

В ходе испытаний контрообразцом, предварительно обработанным на наждачной бумаге зернистостью P180, зафиксировано, что момент трения образцов, дополнительно обработанных ультрафиолетовым излучением, составил около 0,59 Нм. В то время как необработанные образцы показали момент трения 0,77 Нм. При обработке стальной втулки наждачной бумагой P600 было выявлено незначительное снижение момента трения до 0,56 Нм у образцов, обработанных ультрафиолетовым излучением, и 0,75 Нм у необработанных образцов. Минимальный момент трения 0,4 Нм был зафиксирован при испытании образцов, отвержденных ультрафиолетовым излучением, контрообразцом, обработанным на наждачной бумаге с зернистостью P1200. При этом момент трения необработанного образца составлял 0,5 Нм.

На рисунках 1-3 представлены графики моментов трения и нагрузка на образцы фотополимера.

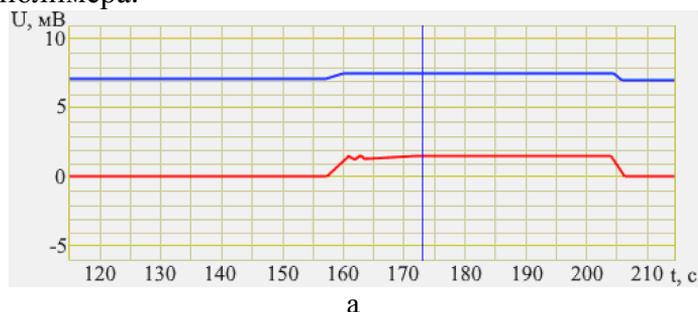


Рис. 1. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой P180 на образцы фотополимера: а – первой серии

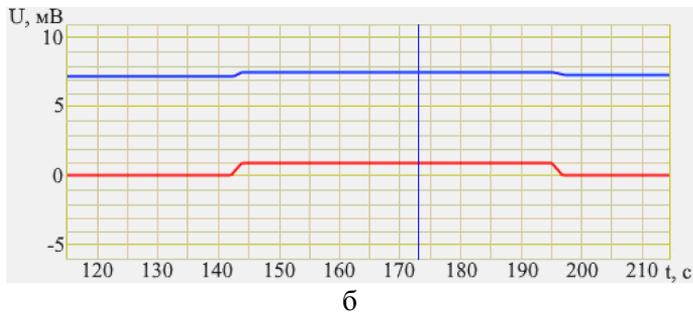


Рис. 1. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой P180 на образцы фотополимера: б – второй серии

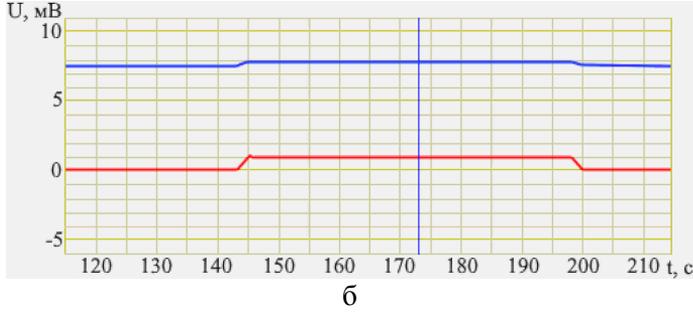
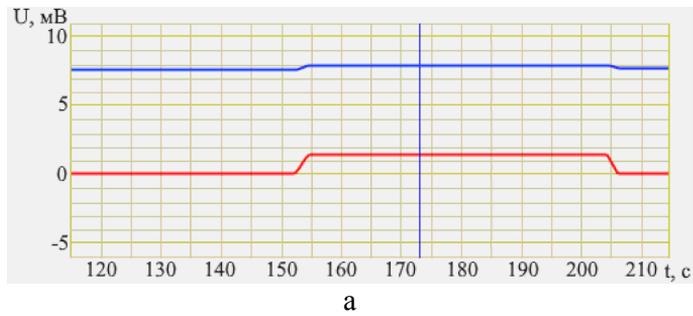


Рис. 2. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой P600 на образцы фотополимера: а – первой серии, б – второй серии

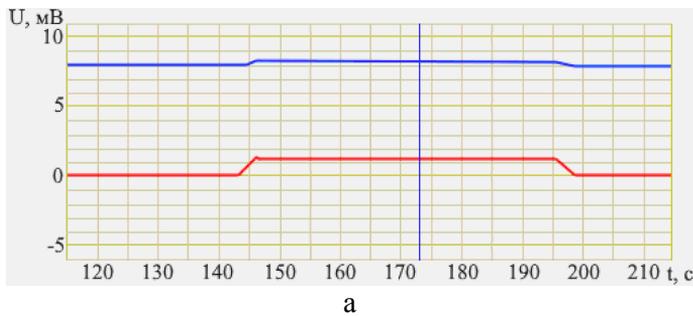


Рис. 3. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой P1200 на образцы фотополимера: а – первой серии

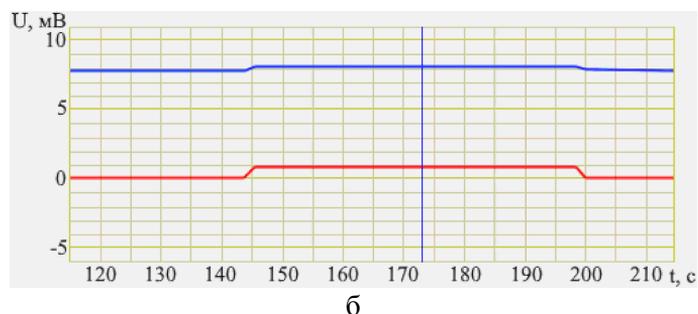


Рис. 3. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой P1200 на образцы фотополимера: б – второй серии

Выводы. Определено влияние времени дополнительного облучения на момент трения при испытании со сталью 40X. Установлено, что наименьшим моментом трения обладал облученный в течение 5 минут образец, в паре трения с торцом стальной втулки, обработанным на наждачной бумаге зернистостью P1200.

Список литературы / References

1. Hanon M.M., Zsidai L. Sliding surface structure comparison of 3D printed polymers using FDM and DLP technologies // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020, vol. 749, pp. 012015. DOI: 10.1088/1757-899X/749/1/012015.
2. Ma Y., Chen L., Ye Y., Wan H., Zhou H., Chen J. Preparation and tribological behaviors of a novel organic-inorganic hybrid resin bonded solid lubricating coating cured by ultraviolet radiation // Progress in Organic Coatings. 2019, vol. 127, pp. 348-358. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.11.032.
3. Yanjun M., Yinping Y., Hongqi W., Lei C., Huidi Z., Jianmin C. Tribological behaviors of the UV curing polyurethane acrylate resin-polytetrafluoroethylene bonded solid lubricating coatings filled with LaF₃ // Progress in Organic Coatings. 2018, vol. 121, pp. 218-225. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.04.035.

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
Laser-52@yandex.ru	

Received 14.08.2024