

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*Бреки А.Д.<sup>1,2</sup>, Иванова Г.В.<sup>1</sup>, Тарасенко Е.А.<sup>1</sup>, Золотарев К.И.<sup>1</sup>, Ли Сянжуй<sup>1</sup>,  
Лян Хуаньюй<sup>1</sup>, Ли Юаньлин<sup>1</sup>, Сунь Вэньцзун<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;*

<sup>2</sup>*Институт проблем машиноведения Российской академии наук,  
Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** аддитивное производство, метод послойного наплавления, 3D печать, испытание материалов.

**Аннотация.** В работе представлены результаты испытаний и лабораторных исследований образцов из материалов для изготовления изделий с использованием аддитивных технологий. Испытания выполнены на машине трения PBD-40. Приведена схема испытаний для определения момента трения и износа образцов в зависимости от нагрузки и времени, полученных при различных способах 3D печати, микротвердость, шероховатость, деформации поверхности образцов.

## INVESTIGATION OF FRICTION OF POLYMER MATERIALS FOR ADDITIVE MANUFACTURE

*Breki A.D.<sup>1,2</sup>, Ivanova G.V.<sup>1</sup>, Tarasenko E.A.<sup>1</sup>, Zolotarev K.I.<sup>1</sup>, Li Xiangrui<sup>1</sup>,  
Liang Huanyu<sup>1</sup>, Li Yuanlin<sup>1</sup>, Sun Wenzong<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University;*

<sup>2</sup>*Institute of Mechanical Engineering Problems of the Russian Academy of Sciences,  
Saint-Petersburg*

**Keywords:** additive manufacturing, fusing method, 3D printing, material testing.

**Abstract.** The paper presents the results of tests and laboratory studies of samples from materials for the manufacture of products using additive technologies. The tests were carried out on a friction machine PBD-40. A test scheme is given to determine the moment of friction and wear of samples depending on the load and time obtained with various 3D printing methods, microhardness, roughness, surface deformation of the samples.

Надежность и долговечность работы устройств зависят от состояния контактных рабочих поверхностей пар трибосопряжений, а в условиях интенсификации нагрузок и скоростей в технологических процессах проблемы снижения износа встают особенно остро. В связи с этим, исследование механизма процесса изнашивания и снижение износа рабочих поверхностей оборудования является актуальной задачей, которую в настоящее время позволяют успешно решать за счет внедрения и использования технологий цифрового производства практически во всех отраслях промышленности. Использование аддитивных технологий при изготовлении деталей для замены износившихся, нанесение покрытий на поверхности деталей при их восстановлении и с целью повышения их износостойкости [1, 2]. Однако основным препятствием для внедрения аддитивных технологий является ряд нерешенных проблем по обеспечению

механических свойств, точности формы и размеров при изготовлении, качества поверхности деталей после изготовления, а также ресурса изделия [3, 4].

Данная работа посвящена исследованию материалов, используемых при изготовлении деталей с применением аддитивных технологий на 3D принтере на базе лаборатории МНОЦ «BaltTribo-Polytechnic» ФГАОУ ВО «СПбПУ» ИММиТ.

Испытания проводились для материалов разных производителей: ABS (REC), PETG (Syntech, BestFilament, PrintProduct), PLA (FDPlast, Geekfilament), PLA+ (ESUN). Образцы изготовлены размером 50x50 мм и толщиной 5 мм. Пример фото поверхности образцов, выполненных на инвертированном микроскопе IM7000, представлены на рисунке 1.

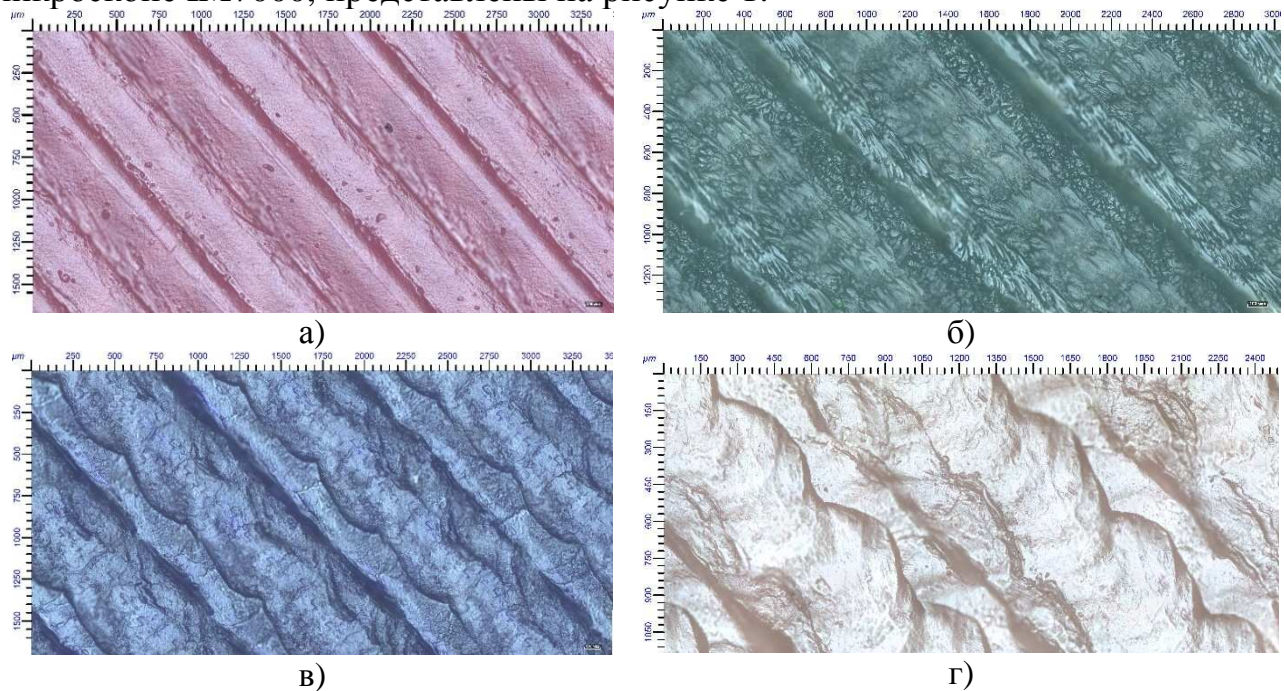


Рис. 1. Поверхности образцов для испытаний: а) ABS (REC); б) PETG (BestFilament); в) PLA (FDPlast); г) PLA+ (г) ESUN

Лабораторные испытания проводились на машине трения PBD-40, представленной на рисунке 2. В качестве истирающего тела использовался шарик диаметром 12,6 мм, выполненный из стали ШХ15, который зажимался в патроне и опускался до соприкосновения с образцом полимера, зафиксированным на рабочем столе машины.

Испытания для материалов PLA проводились при нагрузке 15 кгс, для PLA+, ABS, PETG 60 кгс при частоте вращения 500 об/мин в течение 5 минут. Ввиду того, что пластмассы из полилактида (PLA) обладают более низкой температурой плавления по



Рис. 2. Общий вид установки PBD – 40

сравнению с акрилонитрил-бутадиен-стирольным кополимером (ABS), полиэтилентерефталат-гликолем (PETG) и модифицированным полилактидом (PLA+), было принято решение о сокращении приложенной нагрузки для образцов из PLA. Испытания проводились для образцов из материала PLA+, изготовленных вертикальным PLA+(в) и горизонтальным PLA+(г) способом печати.

Графики зависимости момента трения материалов от времени при различных уровнях нагружения для образцов, изготовленных вертикальным PLA+(в) и горизонтальным PLA+(г) способом печати показаны на рисунке 3, момент трения образцов из пластика PETG и ABS от времени и нагрузки для образцов из материала – на рисунке 4.

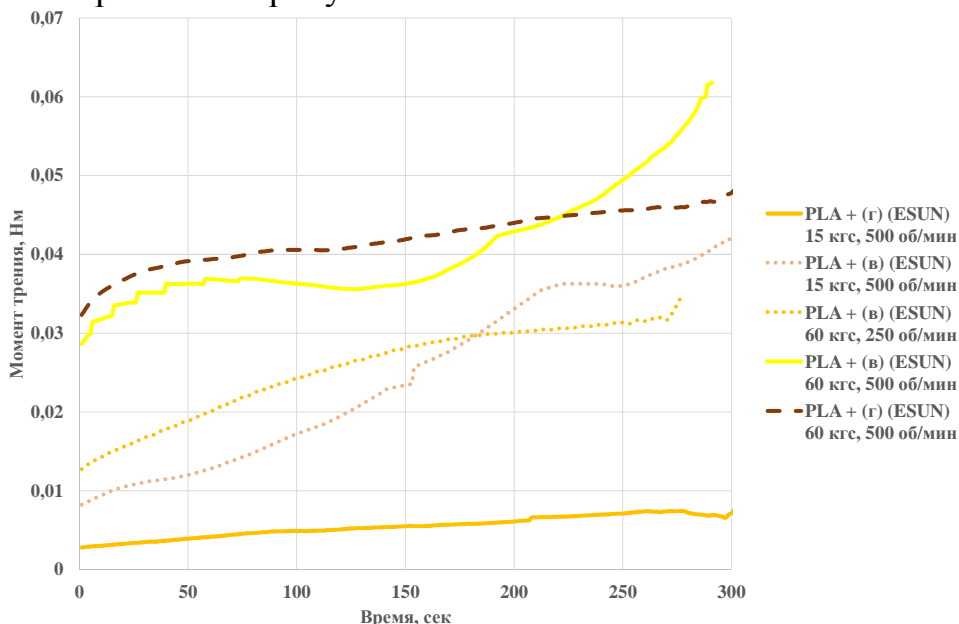


Рис. 3. Зависимости момента трения от времени, образцы из пластика PLA+

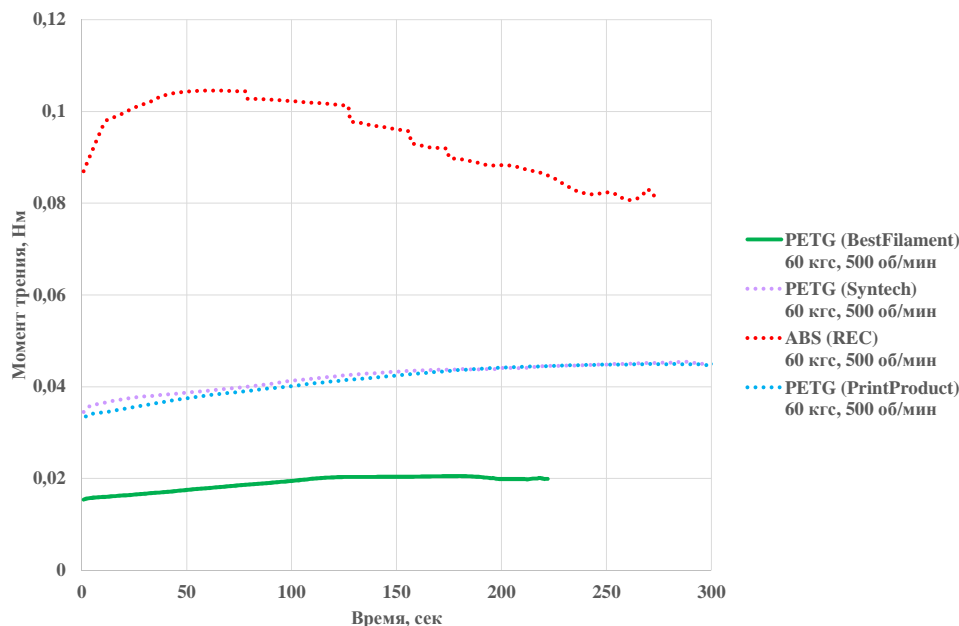


Рис. 4. Зависимости момента трения от времени, образцы из пластика PETG и ABS

Анализ полученных результатов показал, что при приложении нагрузки 60 кгс образец, изготовленный с использованием вертикальной печати, обладает более высокими характеристиками, чем горизонтально напечатанный образец.

Таким образом, можно сделать вывод о более качественном спекании слоев в вертикальном направлении, обеспечивающем более высокую стойкость к нагрузкам при трении.

При испытании образца из ABS пластика произошло нагревание и налипание материала на стальной шарик, при этом, образец, выполненный из PETG (BestFilament) пластика продемонстрировал наименьший момент трения, соответственно проявив наилучшие характеристики.

Вид образцов после испытаний при нагрузке 60 кгс, 500 об/мин показаны на рисунках 5. Диаметр отпечатка PLA+(г) (ESUN) – 4,200 мм, а PETG (BestFilament) – 4,337 мм.

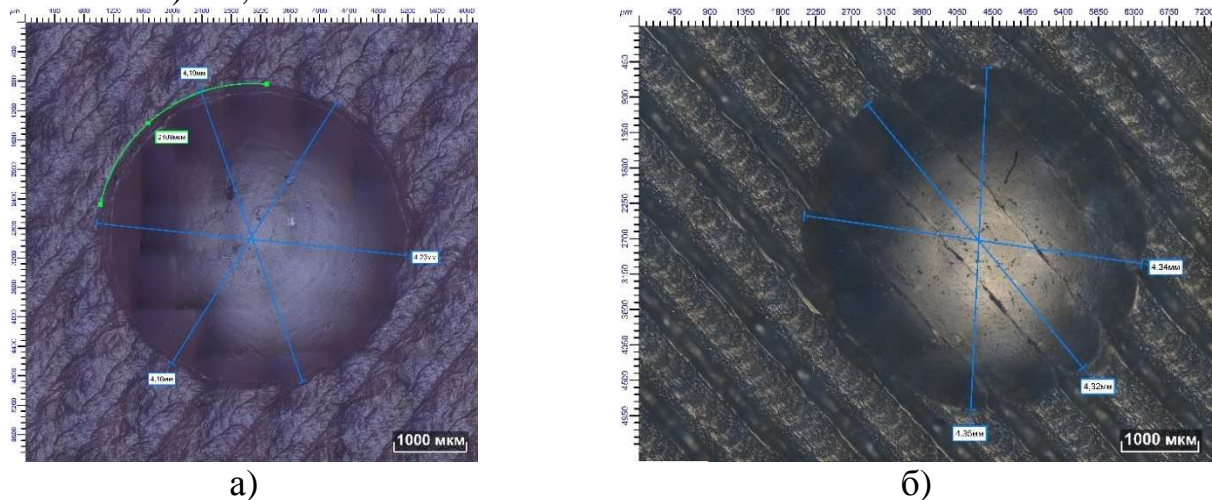


Рис. 5. Образцы после испытаний на машине трения PBD-40 (60 кгс 500, об/мин, 5 мин):  
а) PLA+ (г) (ESUN); б) PETG (BestFilament)

Шероховатость измерялась профилометром портативным MarSurf PS1. Наибольшее значение имеет PETG (Syntech) Rz 25,32 мкм, наибольшее PLA (FDPlast) Rz 40,90 мкм.

Испытание материалов для аддитивного производства деталей позволяет изучить более глубоко механизм процесса изнашивания и разработать новые технические решения, направленные на снижение износа рабочих поверхностей оборудования.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда по приоритетному направлению деятельности Российского научного фонда «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» научного проекта: "Применение цифрового моделирования и больших данных для повышения эффективности механической обработки титановых лопаток паровых турбин и их эксплуатации в условиях каплеударной эрозии № 22-19-00178».

#### Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 № 1913-р «Об утверждении Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года» // Собрание законодательства Российской Федерации от 2021. № 30 ст.5818.25.

2. Лейбов А.М., Каменев Р.В., Осокина О.М. Применение технологий 3D-прототипирования в образовательном процессе // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №5. – С. 93.
3. Сычев М.М., Лебедев Л.А., Дьяченко С.В., Нефедова Л.А., Байгильдин В.А. Аддитивные технологии: учебное пособие. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2018. – 35 с.
4. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении: учеб. пособие. – СПб.: СПбПУ, 2013. – 222 с.

Сведения об авторах:

*Бреки Александр Джалюльевич* – д.т.н., профессор Высшей школы машиностроения Института машиностроения, материалов и транспорта, ведущий научный сотрудник лаборатории трения и износа;

*Иванова Галина Валерьевна* – старший преподаватель Высшей школы машиностроения Института машиностроения, материалов и транспорта», старший научный сотрудник международного научно-образовательного центра «BaltTribo-Polytechnic»;

*Тарасенко Елена Александровна* – к.т.н., доцент Высшей школы машиностроения Института машиностроения, материалов и транспорта;

*Золотарев Константин Иванович* – студент;

*Ли Сянжуй* – магистрант;

*Лян Хуаньюй* – магистрант;

*Ли Юаньлин* – магистрант;

*Сунь Вэньцзун* – магистрант;