

УДК 62-223.21/.22

В. А. ДАШКОВСКИЙ, аспирант, В. Б. ВРУБЛЕВСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И САМОСМАЗЫВАЮЩЕЙСЯ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Приведены результаты сравнительных триботехнических испытаний различных полимерных материалов и антифрикционного материала на основе прессованной древесины, пропитанной модифицированной смазкой. Исследовано влияние абразива и воды в зоне трения на работоспособность антифрикционной самосмазывающейся прессованной древесины. Показано, что разработанный материал имеет высокую износостойкость при трении на самосмазке.

Современное машиностроение обладает большим выбором различных антифрикционных материалов, среди которых широкое распространение получили полимерные материалы. Благодаря их применению в узлах с небольшими нагрузками (до 1 МПа) повышаются надежность и долговечность узлов трения, удешевляются эксплуатация и ремонт машин и механизмов.

В настоящее время одним из лучших представителей альтернативных антифрикционных самосмазывающихся материалов является антифрикционная самосмазывающаяся прессованная древесина (АСПД), пропитанная модифицированными смазками, которая используется в качестве вкладышей подшипников скольжения самосмазывающихся (ПСС), показывающих высокую работоспособность в абразивно-агрессивных средах, при факторе  $p v \leq 2,5$  МПа · м/с, температурах до +120 °С [1].

При сравнении триботехнических свойств АСПД с другими антифрикционными материалами, в том числе с полимерными, возникает проблема оценки достоверности результатов из-за различных условий и методов исследования. Известно, что процессы, протекающие в зоне фрикционного контакта, существенно зависят от многих факторов: скорости, нагрузки, температуры, схемы фрикционных испытаний, геометрии контактной пары, вида нагружения, типа смазки и даже технологии изготовления образцов [2]. Поэтому результаты триботехнических испытаний, полученные разными авторами, имеют значительные расхождения. Для объективной сравнительной оценки работоспособности ПСС с лучшими антифрикционными полимерами нами проводились испытания в одних и тех же условиях с одинаковыми нагрузочно-скоростными параметрами. Цель работы – исследование триботехнических свойств антифрикционного материала на основе прессованной древесины, пропитанной модифицированной смазкой и его сравнительные испытания с различными полимерными материалами.

**Методика эксперимента.** Исследуемый антифрикционный материал состоит из древесины березы, запрессованной методом торцово-прессового деформирования в металлическую обойму, пропитанную минеральным маслом МС-20, модифицированным полимерными присадками. Степень прессования по внутренней поверхности втулки составляет 58 %.

Исследование триботехнических характеристик проводили на машине трения СМТ-1 по схеме «вращающийся вал – неподвижный вкладыш». Образцы изготавливались в виде втулок с внешним диаметром 40 мм, внутренним – 20 мм, шириной 11,5 мм. Контртелом служила втулка из стали 45, закаленная до твердости 50 HRC. При исследовании определялись: коэффициент трения, температура зоны трения, линейный и массовый износ при работе образцов в режиме самосмазки. Скорость скольжения составляла 0,5 м/с, что обусловлено наибольшим практическим применением в узлах трения машиностроительной и сельскохозяйственной техники. Номинальное давление  $p$  – 0,45; 0,7; 0,9; 1,1; 1,35; 1,5; 1,8; 2 МПа. Время непрерывной работы машины изменялось от 2 до 8 ч. Массовый и линейный износ определяли через 1 ч при постоянной нагрузке  $p = 1,5$  МПа и скорости скольжения  $v = 0,5$  м/с. Температуру зоны трения определяли термопарой и при помощи тепловизора IR Snap Shot.

При абразивном изнашивании использовался кварцевый песок с размером частиц 0,25–1 мм, который в зону трения подавался непрерывно в течение всего эксперимента. Исследования микроструктуры поверхности зоны трения проводили на лазерном конфокальном микроскопе OLIMPUS LEXT ols 3000.

Для сравнения триботехнических характеристик были выбраны: вторичный фторопласт Ф-4, флу-бон-20, Ф4К20, суперфлувис и АСПД.

Потребительские свойства изделий из вторичного фторопласта Ф-4 практически соответствуют его свойствам из первичного фторопласта Ф-4, что по-

зволяет экономить до 40 % средств, не теряя при этом уникальных свойств данного полимерного материала, отличающегося низким и стабильным коэффициентом трения и лучшими смазывающими свойствами среди полимеров. Однако твердость чистого фторопласта невелика, что приводит к интенсивному изнашиванию при трении [3, с. 28].

Материал Ф4К20 по сравнению с фторопластом Ф-4 имеет в 600 раз большую износостойкость и на 30 % выше напряжение сжатия в диапазоне температур от  $-60$  до  $+250$  °С и рекомендуется для изготовления деталей антифрикционного назначения и уплотнительных изделий подвижных соединений (поршневые кольца). Ф4К20 пригоден для работы в условиях высокого вакуума, в среде углеводородных газов, сухого воздуха, жидких углеводородов, растворителей [3].

Флубон-20 – полимерный композиционный материал на основе политетрафторэтилена, сополимеров этилена и тетрафторэтилена и других фторсодержащих полимеров, модифицированных углеродных волокон и других волокнистых и дисперсных наполнителей. Он характеризуется износостойкостью, низким коэффициентом трения, самосмазывающимися и уплотнительными свойствами. Детали из него (подшипники скольжения, уплотнительные кольца, торцевые уплотнения, сепараторы подшипников качения) используются в узлах трения различного назначения [4].

Суперфлувис – новый фторопластовый композит, созданный в Институте механики металлополимерных систем НАН Беларуси. Обладает повышенными показателями твердости (до 65 ед. по Бринеллю), теплопроводности в диапазоне температур  $-125 \dots +250$  °С и прочности, в основном применяется в качестве поршневых колец и торцевых уплотнений в особо ответственных узлах трения, где ресурс работы и надежность оборудования оправдывают использование достаточно дорогого материала [5].

Результаты экспериментов показали, что самый низкий коэффициент трения  $f = 0,06$  наблюдается у прессованной древесины. Среди полимерных материалов лучшую работоспособность и низкий коэффициент трения показал флубон-20 ( $f = 0,087$ ), затем Ф4К20 ( $f = 0,1$ ), вторичный фторопласт Ф-4 ( $f = 0,12$ ), суперфлувис ( $f = 0,14$ ). У прессованной древесины линейный износ не был зафиксирован, при этом массовый износ составил 0,02 г. Сопоставляя полученные данные с наблюдениями во время эксперимента, при которых продукты износа не выделялись, можно утверждать, что изменение массы вкладыша связано с удалением из него остаточной гигроскопической связанной влаги. Среди полимерных материалов наи-

меньший линейный 0,05 мм и массовый 0,05 г износ отмечается у суперфлувиса (вторичный фторопласт Ф-4 – 1,8 мм и 0,75 г, Ф4К20 – 0,2 мм и 0,06 г, флубон-20 – 0,2 мм и 0,14 г) (рисунок 1).

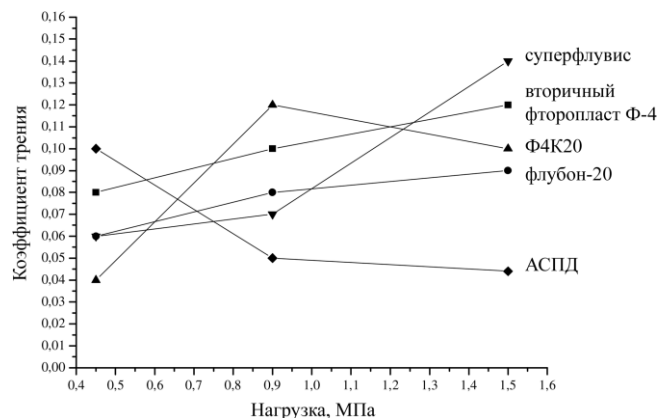


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов трения материалов от нагрузки при  $v = 0,5$  м/с

Также были проведены испытания по определению зависимости коэффициента трения и температуры от нагрузки для АСПД (рисунок 2).

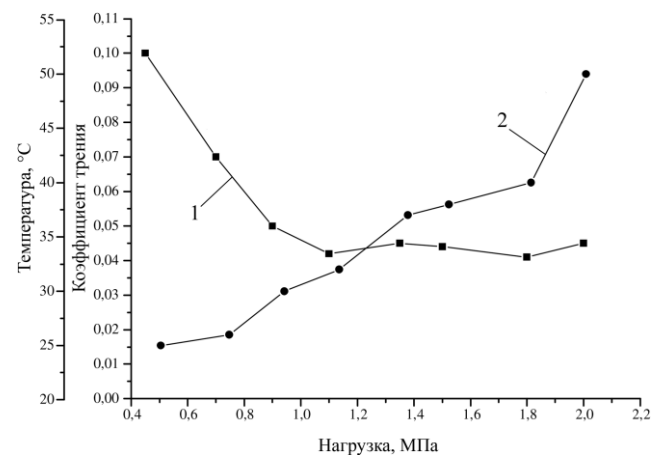


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения (1) и температуры (2) АСПД от нагрузки при  $v = 0,5$  м/с

На начальной стадии испытаний при нагрузке  $p = 0,45$  МПа коэффициент трения  $f$  пары трения составляет 0,1–0,11. При повышении нагрузки на узел трения до  $p = 1,1$  МПа при постоянной скорости  $v = 0,5$  м/с происходит снижение коэффициента трения до величины 0,04–0,05. При дальнейшем увеличении нагрузки коэффициент трения практически не изменяется. Замеры температуры в зоне трения при повышении нагрузки установили постоянный ее рост: при  $p = 2$  МПа температура составила  $t = 50$  °С.

Экспериментальные данные, полученные при постоянной нагрузке 1,5 МПа и скорости скольжения 0,5 м/с за длительный период работы (7,2 ч), указывают на высокие показатели работоспособности прессованной древесины. При этом массовый износ составил  $\Delta m = 0,06$  г, что также свидетельствует о высокой износостойкости ПСС (рисунок 3).

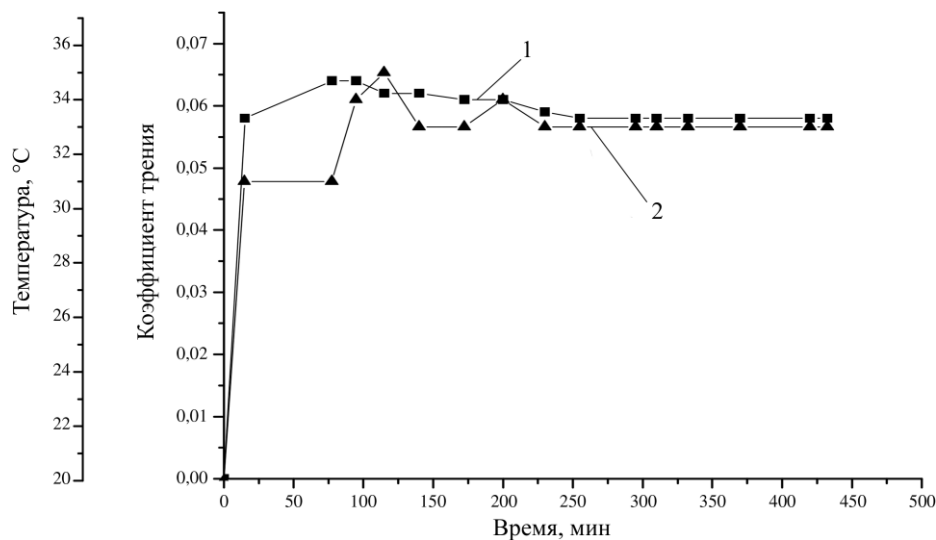


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента трения (1) и температуры зоны трения (2) от времени работы ПСС ( $p = 1,5$  МПа,  $v = 0,5$  м/с)

Также была исследована зависимость влияния наличия абразива и воды в зоне трения на триботехнические характеристики ПСС. В течение 40–50 минут идет интенсивный процесс приработки до установления постоянных значений коэффициента трения и температуры. Далее при подаче абразива в зону трения наблюдается резкий рост триботехнических показателей, которые стабилизируются в течение 30 мин (рисунок 4), при этом массовый износ за 3 часа испытаний составил  $\Delta m = 0,14$  г.

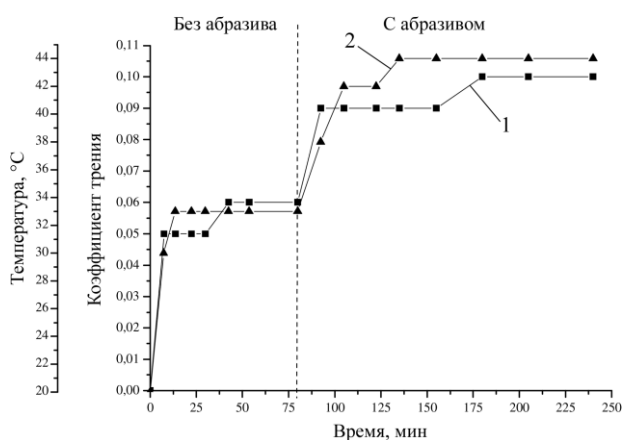


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента трения (1) и температуры зоны трения (2) от времени работы ПСС в среде без абразива и с абразивом ( $p = 1,5$  МПа,  $v = 0,5$  м/с)

При подводе воды наблюдается снижение температуры в зоне трения (с 40 до 27 °C), что вызвано дополнительным отводом тепла и увеличением коэффициента трения с 0,09 до 0,11 (рисунок 5). Это вызвано охлаждением зоны трения, в результате чего происходит загущение пластичной смазки, и поэтому основной смазочной жидкостью выступает вода.

Наблюдения в ходе экспериментов показали, что в процессе трения абразив не задерживается в зоне трения, а выводится из нее, образуя на торцевых поверхностях вкладыша наросты в виде слипшихся абразивных частиц.

Исследования микроструктуры поверхности трения на лазерном микроскопе подтвердили, что поверхность вкладыша остается чистой от абразива (рисунок 6, а). Также исследования микрофотографии поверхности древесного вкладыша показали, что абразивные частицы не проникают в сосуды и капилляры древесины (рисунок 6, б). Это обусловлено следующими аспектами. Степень прессования по внутренней поверхности древесного вкладыша составляет 58 %, при которой все сосуды и большинство капилляров спрессованы, а у оставшейся части диаметры меньше размеров абразивных частиц.

При попадании абразивной частицы в зону трения она продавливается в древесину, и благодаря ее упруго-пластическим деформациям перекатывается к краю зоны трения. Это подтверждают и снимки рабочей поверхности вкладыша, на которых отсутствуют дорожки трения абразива.

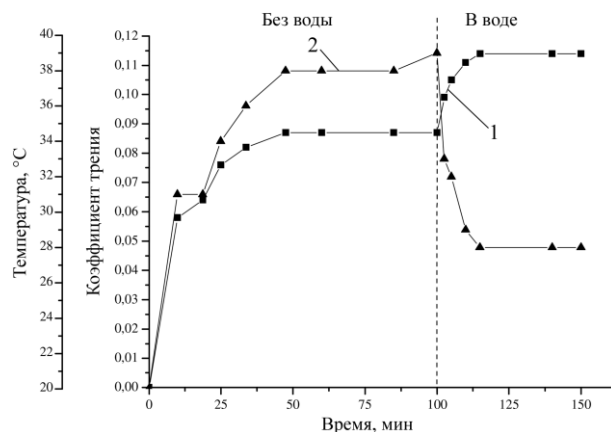


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения (1) и температуры зоны трения (2) от времени работы ПСС на воздухе и в воде ( $p = 1,5$  МПа,  $v = 0,5$  м/с)

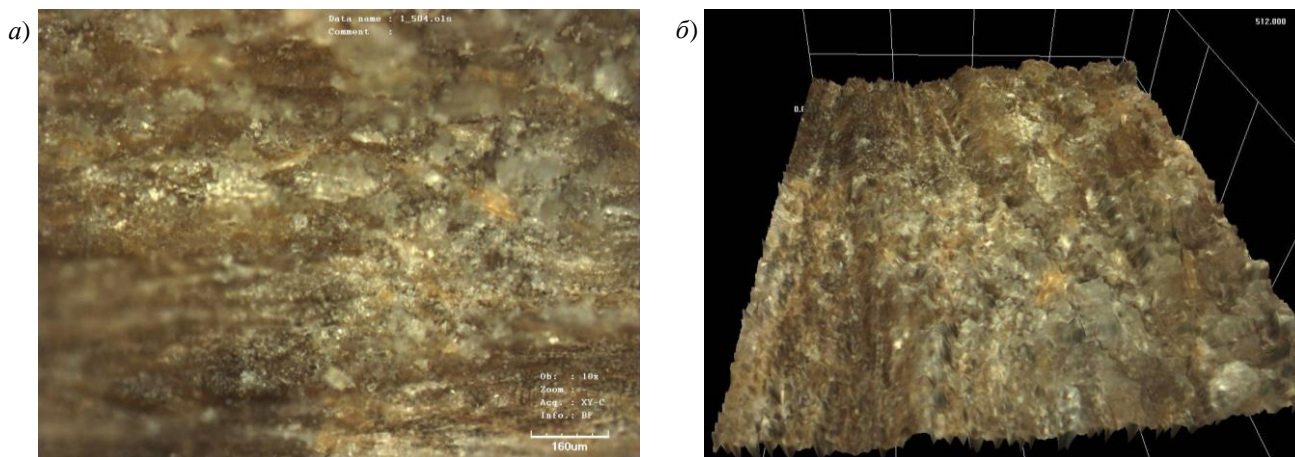


Рисунок 6 – Прессованная древесина, внутренняя поверхность втулки: а) оптическая фотография; б) микрофотография поверхности (увеличение  $\times 100$ )

Смазка, выделяющаяся в зону трения из капиллярно-пористой структуры древесины, способствует продвижению абразивных частиц к краю вкладыша. Она, смешиваясь с абразивом, на воздухе загустевает, образуя наросты с торца вкладыша. При этом они не становятся твердыми и не создают дополнительное трение о вал, так как при соприкосновении с ним осыпаются. Возможно, что абразив интенсифицирует процесс удаления (выноса) смазки из зоны трения, и этим можно объяснить повышение износа ПСС в абразивной среде.

Помимо этого проведены исследования по определению влияния температуры зоны трения на реологические свойства смазки при трении АСПД – сталь ( $p = 2$  МПа,  $v = 0,5$  м/с). При этих режимах установившаяся температура равнялась  $45\text{--}50$  °С. В процессе эксперимента работа узла трения приостанавливалась на 10 мин, затем продолжалось испытание, и в начальный момент времени наблюдалось возрастание коэффициента трения до максимума, после чего он снижался до своих постоянных значений.

Проведенные эксперименты показали, что при трении пары АСПД – сталь образования и наличия на металлической поверхности перенесенного слоя смазочного материала недостаточно для того, чтобы коэффициент трения имел низкое значение. Важным фактором оказывается в этом случае температура в зоне трения, обеспечивающая необходимые реологические характеристики перенесенного слоя и его несущую способность. Отсюда следует, что при трении пары АСПД – сталь оптимальной (когда достигается минимальное значение коэффициента трения) температурой в зоне контакта является  $35\text{--}50$  °С. Она может быть достигнута соответствующим подбором режимов эксплуатации – нагрузки и скорости или, если эти параметры изменять нельзя, улучшением или ухудшением теплоотвода из зоны трения.

Получено 18.02.2009

**V. A. Dashkovski, V. B. Vrublevski.** Analysis to capacity for work antifriction polymeric materials and self-lubricating pressed wood.

There are results of comparative tribotechnical tests different polymeric material and self-lubricating pressed wood. The explored influence of the abrasive and water in zone of friction on capacity for work antifriction lubricating pressed wood. It is show that designed material has high wear capability of friction on self-oiling.

Таким образом, эффективное самосмазывание может быть достигнуто только при определенной температуре в зоне контакта, когда перенесенный слой имеет оптимальное сочетание реологических характеристик и несущей способности. Если условия работы узла трения такие, что температура в зоне контакта оказывается выше оптимальной, то наблюдается прогрессирующий рост температуры. Узел трения утрачивает нормальную работоспособность.

Установлено, что при нагрузках до 1,5 МПа самосмазывающаяся прессованная древесина имеет наилучшие триботехнические характеристики и значительно превосходит полимерные материалы по износостойкости.

Представленный антифрикционный материал рекомендуется использовать в узлах трения машиностроительной и сельскохозяйственной техники, работающих при факторе  $pv \leq 2,5$  МПа · м/с в тяжелых условиях: запыленность помолами зерна, абразивная или влажная среда.

#### Список литературы

- 1 Врублевская, В. И. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них / В. И. Врублевская, А. Б. Невзорова, В. Б. Врублевский. – Гомель, 2000. – 324 с.
- 2 Мышкин, Н. К. Трибология. Принципы и приложения / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец. – Гомель : ИММС НАНБ, 2002. – 310 с.
- 3 Трение и модифицирование материалов трибосистем : учеб. пособие для вузов по специальности "Триботехника" / Ю. К. Машков [и др.]. – М. : Наука, 2000. – 279 с.
- 4 Полимеры в узлах трения машин и приборов : справ. / А. В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.
- 5 Гракович, П. Н. Эффективный антифрикционный материал «Суперфлувис» для использования в компрессоростроении / П. Н. Гракович // Технические газы. – 2006. – № 3. – С. 68–72.