

УДК: 620.168 : 620.178.16

А. И. БУРЯ<sup>1</sup>, Е. А. ЕРЁМИНА<sup>1</sup>, В. И. СЫТАР<sup>2</sup>, С. В. КАЛИНИЧЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Днепропетровский государственный технический университет, Украина

<sup>2</sup>Украинский государственный химико-технологический университет, Украина

## ТРЕНИЕ И ИЗНОС ПРИ СМАЗКЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРА НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА НАПОЛНЕННОГО БРОНЗОЙ

*Статья посвящена поиску рациональных композиций для подшипников скольжения взамен остродефицитных металлов и сплавов. Показано, что использование металлополимера на основе ароматического полиамида фенилон и бронзы не только значительно повышает износостойкость деталей, но и уменьшает износ металлического контртела, работающего в паре с ним. Применение металлополимеров в прокатном производстве способно привести к увеличению межремонтных периодов и количества выпускаемого проката.*

**Ключевые слова:** металлополимер, фенилон, бронза, трение, износ, смазка маслом.

**Введение.** Сегодня полимерные композитные материалы (ПКМ) из скромных заменителей некоторых природных металлов превратились в самостоятельные и широко используемые материалы. Они не являются универсальным заменителем металлов, но во многих случаях их применение вполне оправдано как технически, так и экономически, ведь внедрение ПКМ позволяет решать важные технические проблемы, приводит к экономии труда и материалов, к снижению веса и стоимости машин и механизмов при одновременном улучшении их свойств.

**Состояние проблемы.** Во многих отраслях техники ПКМ уже вытеснили дорогостоящие и остродефицитные цветные металлы и их сплавы. Однако в металлургии для изготовления подшипников скольжения до сих пор применяются медь, латунь, бронза, баббит и т.д. Эти металлы и сплавы, изнашиваясь, безвозвратно теряются, создавая одну из важнейших научно-технических проблем современности – уменьшение потерь остродефицитных металлов. От ее решения зависит увеличение производительности машин и нагрузки на отдельные узлы и детали и, следовательно, уменьшение их габаритов и веса, снижение расхода запасных частей и времени простоя, удлинение межремонтных сроков и т.д.

В решении этой проблемы большое значение имеет применение различных антифрикционных ПКМ. Во-первых, они выступают полноценными заменителями металлов в узлах трения и, во-вторых, обладая лучшими антифрикционными свойствами, позволяют повысить износостойкость деталей и долговечность машин при одновременном снижении расхода энергии на их эксплуатацию.

Так, широкое применение получили подшипники из текстолита, однако их стойкость колеблется в весьма широких пределах. Например, текстолитовые вкладыши работают от 3 – 5 до 60 суток на мелкосортных станах и 30 – 60 суток – на крупносортных. Такой разброс приводит к внеплановым остановкам стана, дополнительным переделкам и настройкам клетей из-за несоответствия межперевалочному периоду. Многочисленные попытки модернизировать текстолитовые подшипники или улучшить их качество, в основном, не привели к существенному увеличению ресурса и надежности их работы. В связи с чем, невзирая на лучшие технические характеристики текстолитовых подшипников, многие

производства так и не отказались от использования подшипников из бронзы, баббита и других дефицитных металлов.

**Цель и задание исследования.** В связи с этим данная работа была направлена на изыскание рациональных композиций для подшипников скольжения, взамен остродефицитным металлам и их сплавам.

**Объекты и методы исследования.** Известно, что от характера связующего в значительной степени зависят теплостойкость, механические и антифрикционные свойства композитов. В связи с чем, в качестве связующего был выбран термостойкий ароматический полиамид фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71) – один из перспективных термостойких полимеров, работоспособный до температуры 533 К и уступающий по прочности только лучшим маркам армированных пластиков.

В качестве наполнителей использовали дисперсный порошок бронзы (Br O5Ц5С5, ГОСТ 613-79) [1]. Степень наполнения составляла 15 масс. %. Основные свойства пресс-порошков приведены в табл. 1.

Пресскомпозиции состава: фенилон С-1 + 15 масс.% дисперсного металлического наполнителя готовили путём смешения компонентов во вращающемся электромагнитном поле в присутствии ферромагнитных частиц. Приготовленные таким образом смеси таблетировали на гидравлическом прессе при комнатной температуре и давлении – 40 МПа, после чего таблетированные образцы сушили в термошкафу при температуре 473 – 523 К, т. к. переработка невысушенного фенилона ухудшает его прочностные характеристики и приводит к поверхностным дефектам [2]. Высушенные и таблетированные заготовки перерабатывали в изделия методом компрессионного прессования при температуре 593 К и давлении – 40 МПа, выдержка при этой температуре составляла 5 минут.

Таблица 1

### Основные свойства пресспорошков

Символ	Цвет пресс-порошка	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура плавления, К	Размер частиц, мкм
С-1	розовый	1350	200 – 300	543*	35 – 50
Br	золотистый	8800	3700 – 4700	1203 – 1373	43 – 90

\*Температура размягчения по Вика

Изучение износостойкости и коэффициента трения подшипников при смазке маслом проводили на трехпозиционной машине трения [3], общий вид которой приведен на рис. 1.

Испытуемые вкладыши имели наружный диаметр 63 мм, внутренний – 50 мм, отношение  $l/d = 1$ . Для приближения лабораторных испытаний к заводским условиям эксплуатации прокатных станков, угол охвата вала подшипником составлял 120°. Количество испытуемых образцов составляло не менее трех для получения усредненных результатов. Рабочие валы на испытательной машине изготовлены из стали 45, закаленной до твердости 45 – 50 HRC, и отшлифованной до шероховатости  $R_a 0,16 – 0,32$ . Смазка опытного вкладыша маслом «Индустриальное 50» осуществлялась под давлением 0,8 – 1 кг / см по манометру. Расход масла составлял 0,4 л/мин на один испытуемый вкладыш, причем, все время подавалось очищенное масло. Время испытаний в опытах составляло 12 часов.

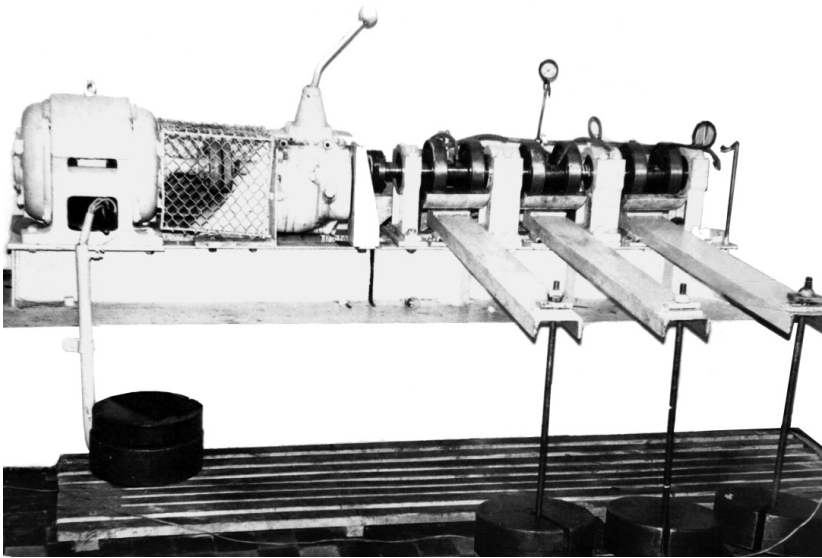


Рис. 1. Трехпозиционная машина трения

Износ вкладышей после испытаний определяли на приборе ИМП-2 с точностью до 0,5 мкм. Для определения износа валов использовали прибор УПОИ-6, в основу которого положен принцип искусственных баз (вырезанных лунок). Коэффициент трения определяли по формуле:

$$f = (M_1 + M_2) / P \cdot r_6,$$

где  $M_1$ ,  $M_2$  – моменты трения подшипников скольжения и качения, соответственно, кг/см;  $P$  – общая нагрузка на опытный подшипник, кг;  $r_6$  – радиус вала, см.

**Результаты и их обсуждение.** Из приведенных в табл. 2 технических характеристик разработанных материалов и текстолита (ПТК) видно, что новые материалы по плотности практически аналогичны текстолиту, но превосходят его по триботехническим свойствам, максимально допустимой температуре надежной эксплуатации и коэффициенту термического линейного расширения, что делает их использование в качестве подшипников скольжения рациональным.

Таблица 2

#### Сравнительные характеристики металлополимера [4] и текстолита [5]

Свойства	С-1+Бр	ПТК
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,55	1,4
Максимальная температура эксплуатации, К	674	423
Коэффициент термического линейного расширения при 353 К, $\alpha \cdot 10^{-5}$ , К <sup>-1</sup>	2,5	4,0
Коэффициент трения без смазки	0,27	0,32
Коэффициент трения со смазкой	0,038	0,1

\*Свойства определялись согласно ГОСТам для пластмасс

Перед проведением основных испытаний образцы проходили приработку, которая заключалась в установлении постоянного коэффициента трения. Затем вкладыши вынимались – визуально проверялась степень приработки (приработанная поверхность приобретает характерный зеркальный блеск – полируется).

По окончании приработки проводили основные опыты при разных скоростях и давлениях, результаты которых приведены на рис. 2, 3.

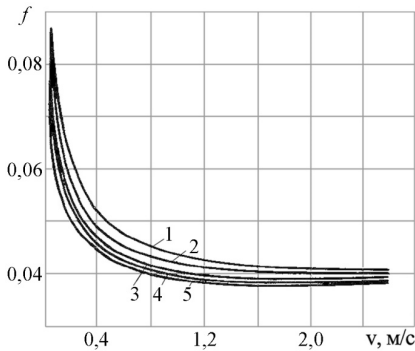


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения металлополимера от скорости скольжения и давления: 1 (1), 2 (2), 3 (3), 4 (4), 5 (5) МПа

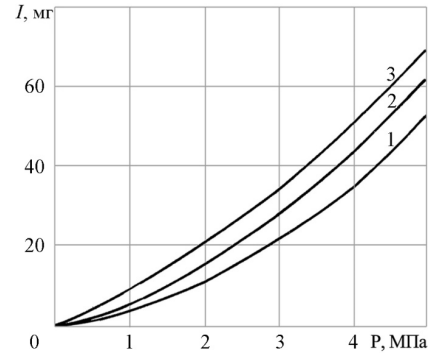


Рис. 3. Зависимость износа металлополимера от давления и скорости скольжения: 0,85 (1), 1,55 (2), 2,6 (3), м/с

Анализ полученных результатов (рис. 2, 3) показал, что коэффициент трения с увеличением нагрузки и скорости падает, а износ – возрастает. Стабильное снижение коэффициента трения свидетельствует об устойчивости масляного гидроклина и отсутствии размягчения поверхности трения. Касательно износа металлополимера, то за пройденный путь 3900 км рабочей поверхностью вала (при переменной нагрузке и скорости) максимальный износ вкладышей составил 4 мкм.

При смазке подшипников бак с маслом, на протяжении всего времени, охлаждался проточной водой. Однако, при больших скоростях и давлениях, выделялось такое количество тепла, что масло не успевало полностью охладиться. Характер изменения температуры подшипника во время опытов представлен на рис. 4.

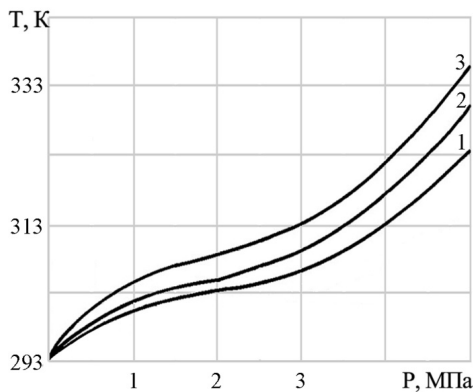


Рис. 4. Зависимость изменения температуры подшипника от давления и скорости скольжения: 0,85 (1), 1,55 (2), 2,6 (3) м/с

С целью получения сравнительных характеристик были испытаны вкладыши из бронзы О5Ц5С5. При нагрузке 2 МПа, скорости 0,6 м/с за путь трения  $8 \cdot 10^4$  м средний износ бронзовых вкладышей составлял 60 – 70 мкм, вкладышей из металлополимера – 1,5 – 2 мкм.

В процессе испытаний металлополимера, как подшипникового материала, установлено, что при переменных нагрузках и скоростях скольжения он полирует шейку вала, в результате чего устанавливается оптимальная шероховатость поверхности – 0,16 – 0,32 мкм. Бронзовые же вкладыши в этих условиях образуют надрывы и задиры на стальной поверхности. Что объясняется схватыванием бронзы со сталью. Износ вала в сопряжении с бронзовыми вкладышами за  $8 \cdot 10^4$  м составлял 2 – 3 мкм, а при работе с металлополимерными вкладышами – не обнаруживался. В связи с этим, путь трения был увеличен до  $32 \cdot 10^4$  м, после чего износ вала составил 1,5 – 2 мкм.

Положительные результаты лабораторных исследований металлополимера на основе фенилона позволили перейти к завершающему этапу исследований – опытно-промышленным испытаниям. Объектом для исследования были выбраны подшипники скольжения прокатных станов. Ведь именно подшипники относятся к числу важнейших узлов прокатных станов, обеспечивающих восприятие высоких удельных нагрузок и получение проката с необходимой точностью размеров.

Предварительную оценку возможностей использования металлополимера в прокатном производстве проводили на станах ХПТ-32 и ХПТ-55, заменяя бронзовые и текстолитовые втулки проушин рабочей клетки на металлополимерные. После прокатки 1250 т заготовок из углеродистых и легированных сталей было установлено, что износ опытных подшипников в 3 – 4 раза меньше, чем текстолитовых и в 8 – 9 раз – бронзовых. Следует отметить, что в заводских условиях, как и в лабораторных, износ вала практически не удалось обнаружить.

Таким образом, установлено, что применение металлополимера на основе фенилона и бронзы для подшипников скольжения прокатных станов значительно повышает износостойкость деталей. Это приводит к увеличению сроков межремонтных периодов и увеличению количества выпускаемого проката. Обнаружено, что детали из металлополимера снижают износ металлического контртела, работающего в паре с ними.

### Список литературы

1. Полімерна композиція: пат. України на корисну модель № 101108. Бюл. – 2015, № 16 / О. І. Буря, К. А. Єр'оміна.
2. Буря А.И. Влияние режимов сушки на свойства фенилона / А.И. Буря, Н.Т. Арламова, С.Б. Лебедь// Україна наукова 2001: Матеріали Першої всеукраїнської науково-практичної конференції; Дніпропетровськ – Дніпродзержинськ – Донецьк – Слов'янськ, 25-27 червня 2001. – Том 3, Технічні та фізико-математичні науки. – С. 25 – 26.
3. Заводская лаборатория / Фомичев И.А., Трофимович А.Н. – Т. 30, № 3. – М.: Металлургиздат, 1964. – С. 351.
4. Буря А.И. Разработка, исследование свойств и применение металлополимеров на основе фенилона / А.И. Буря, Е.А. Ер'оміна. – VIII Відкрита українська конференція молодих вчених з високомолекулярних сполук: Тези доповідей. – Київ, Україна, 20 – 21 жовтня 2016 р. – С. 66 – 68.
5. Эксплуатационные свойства и сфера применения листового текстолита [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://promresursy.com/materialy/polimery/kompozitnye-materialy/listovoy-tekstolit.html>.

*A. I. БУРЯ, К. А. ЄРЬОМІНА, В. І. СИТАР, С. В. КАЛІНІЧЕНКО*

### **ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ МЕТАЛОПОЛІМЕРНА НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ ТА БРОНЗИ ПРИ ЗМАЩУВАННІ**

Стаття присвячена пошуку раціональних композицій для підшипників ковзання замість гостродефіцитних металів і сплавів. Показано, що використання металополімерів на основі ароматичного поліаміду фенілон і бронзи не тільки значно підвищує зносостійкість деталей, але й зменшує зношуваність металічного контртіла, що працює в парі з ним. Застосування металополімерів в прокатному виробництві здатне привести до збільшення міжремонтних періодів і кількості виробленого прокату.

**Ключові слова:** металополімер, фенілон, бронза, тертя, зношування, змащення маслом.

*A. I. BURYA, YE. A. YERIOMINA, V. I. SYTAR, S. V. KALINICHENKO*

### **FRICITION AND WEAR IN LUBRICATION METAL-CONTAINING POLYMER BASED ON PHENYLONE FILLED BRONZE**

The article is devoted to the search of rational compositions for bearings instead of scarce metals and alloys. It is shown that using of metal-containing polymer based on aromatic polyamide phenylone and bronze not only significantly increases the wear resistance of parts, but also reduces the wear metal counterbody, which works in tandem with him. The use of metal-containing polymers in the rolling production may lead to increase of overhaul periods and quantity of output rolled.

**Keywords:** metal-containing polymer, phenylone, bronze, friction, wear, lubrication oil.

**Буря Александр Иванович** – профессор, канд. техн. наук., профессор кафедры Физика конденсированного состояния, Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, ул. Днепропетровская, 2, 51918.

**Ерёмина Екатерина Андреевна** – аспирант, Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, ул. Днепропетровская, 2, 51918.

**Сытар Владимир Иванович** – зав. каф. машиностроения и инженерной механики; кандидат технических наук, профессор, Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепро, просп. Гагарина, 8, 49005.

**Калиниченко Сергей Владимирович** – ассистент кафедры технологии машиностроения, аспирант, Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, ул. Днепропетровская, 2, 51918.