

УДК 621.822.5

Чекменев Алексей Иванович, магистрант кафедры НЗ «Механика деформируемого твердого тела», БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, город Санкт-Петербург

Федотов Георгий Ильич, магистрант кафедры А9 «Плазмогазодинамика и теплотехника», БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, город Санкт-Петербург

Коряков Дмитрий Алексеевич, магистрант кафедры А9 «Плазмогазодинамика и теплотехника», БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, город Санкт-Петербург

Дмитриев Иван Дмитриевич, магистрант кафедры И2 "Инжиниринг и управление качеством", БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ БАББИТ
Б83 И ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИТ ПСКМ К30ПТ ДЛЯ
ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Аннотация

В рамках проведённой работы был выполнен сравнительный анализ физико-механических и триботехнических характеристик традиционно используемого баббита марки Б83 и перспективного полимерного композиционного материала ПСКМ К30ПТ. Полученные результаты

позволяют сделать вывод о целесообразности замены баббита на указанный полимерный композит. Такая замена обеспечивает существенное повышение нагрузочной способности подшипникового узла, расширение рабочего диапазона температур вплоть до 250°C, а также полное исключение рисков, связанных с эксплуатацией подшипника в условиях потери или дефицита смазочного материала.

Abstract

As part of the work carried out, a comparative analysis of the physico-mechanical and tribotechnical characteristics of the traditionally used babbit grade B83 and the promising polymer composite material PSKM K30PT was performed. The results obtained allow us to conclude that it is advisable to replace babbit with the specified polymer composite. Such a replacement provides a significant increase in the load capacity of the bearing assembly, an expansion of the operating temperature range up to 250 ° C, as well as a complete elimination of the risks associated with the operation of the bearing in conditions of loss or shortage of lubricant.

Ключевые слова: баббит B83, материал, полимерный композит ПСКМ K30ПТ, подшипник скольжения, антифрикционный слой.

Keywords: babbit B83, material, polymer composite PSKM K30PT, slide bearing, antifriction layer, tribology; wear resistance.

1. Введение

Подшипники скольжения являются критическими узлами высокоскоростного оборудования: паровых и газовых турбин, центробежных компрессоров, тяжелых электродвигателей [6, с. 3]. Доминирующим материалом для заливки вкладышей длительное время оставались оловянные баббиты, в частности марка Б83 [4, с. 45].

Однако рост единичных мощностей машин и увеличение окружных скоростей вращения выявили физические ограничения баббитов. Низкая температура плавления и резкая потеря механической прочности при нагреве свыше 100°C становятся причинами аварий [7, с. 112].

В последние годы активно разрабатываются альтернативные материалы на полимерной основе [2, с. 34]. Перспективным решением является антифрикционный полимерный композиционный материал ПСКМ К30ПТ [1]. Данная работа посвящена сравнительному анализу этих двух материалов.

2. Материалы и методы исследования

Объекты исследования. Первый объект – баббит Б83: сплав на основе олова (Sn около 83%), легированный сурьмой (Sb, около 11%) и медью (Cu, около 6%) [5]. Структура сплава представляет собой пластичную оловянную матрицу с армирующими включениями интерметаллидов SnSb и Cu₃Sn [4, с. 47].

Второй объект – полимерный композит ПСКМ К30ПТ на основе связующего высокой прочности, наполненный модифицированным графитом и твердыми смазками [1].

Методика сравнения. Анализ проводился методом сопоставления паспортных характеристик производителя [1] со справочными данными [4, 5] и современными публикациями [2, 3, 8]. Оценка проводилась по четырем группам параметров: термическая стойкость, механическая прочность, антифрикционные свойства, электрическая стойкость.

Наименование	Баббит	К30ПТ
Коррозия и воздействие агрессивных сред	Подвержен	Нет
Усталость	Сильно подвержен	Нет
Термическое фасетирование поверхности	Наблюдается	Нет
Межзерновое растрескивание	Наблюдается	Нет
Кавитационные повреждения	Наблюдается	Нет
Повреждения от индукционных токов	Наблюдается	Нет
Потеря смазки	Критична	Некритична
Задиры шейки ротора	Коксование, фасетирование, коррозия, выплавка	Нет. Выдерживает кратковременные перегревы до 300 °С
Температура изгиба под нагрузкой 1.8 МПа	240 °С	343 °С
Рабочая температура, max	70 °С	250 °С
Удельное рабочее давление, МПа	10-15	20-30
Предел текучести, МПа:	78-79	370
Предел прочности при сжатии, МПа	102 - 105	230
Предел прочности при изгибе, МПа:		290
Твердость по Шору,		85
Плотность, (кг/см ³)	7.35	1.44
Коэффициенты теплопроводности, вдоль потока/средний Вт/(м К)	33.6	2.2/1.3
Удельное электросопротивление, (Ом м)	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
Коэффициенты линейного расширения вдоль потока/средний (α, 1/°С), 10 ⁻⁶	16-31	9/35
Износ при сухом трении по стали, 10 ⁻³ мм ³ /см ² км	1620	4
Коэффициенты трения покоя	0.24-0.38	0.09
Коэффициенты трения скольжения при страгивании	0.28	0.04
Коэффициенты трения скольжения при установившемся режиме сухое/масло	0.09	0.007

Рис. 1. Сравнительные физико-механические характеристики баббита Б83 и полимерного композита ПСКМ К30ПТ (составлено по [1, 4, 5])

3. Результаты исследования

3.1. Термическая стабильность

Баббит Б83 начинает терять несущие свойства при 70°C [4, с. 80]. Дальнейший нагрев ведет к расплавлению структуры и выдавливанию материала из зазора [7, с. 58].

Полимерный композит ПСКМ К30ПТ сохраняет работоспособность до 250°C [1]. Кратковременные перегревы до 300°C, по данным производителя, не вызывают деструктивных изменений [1].

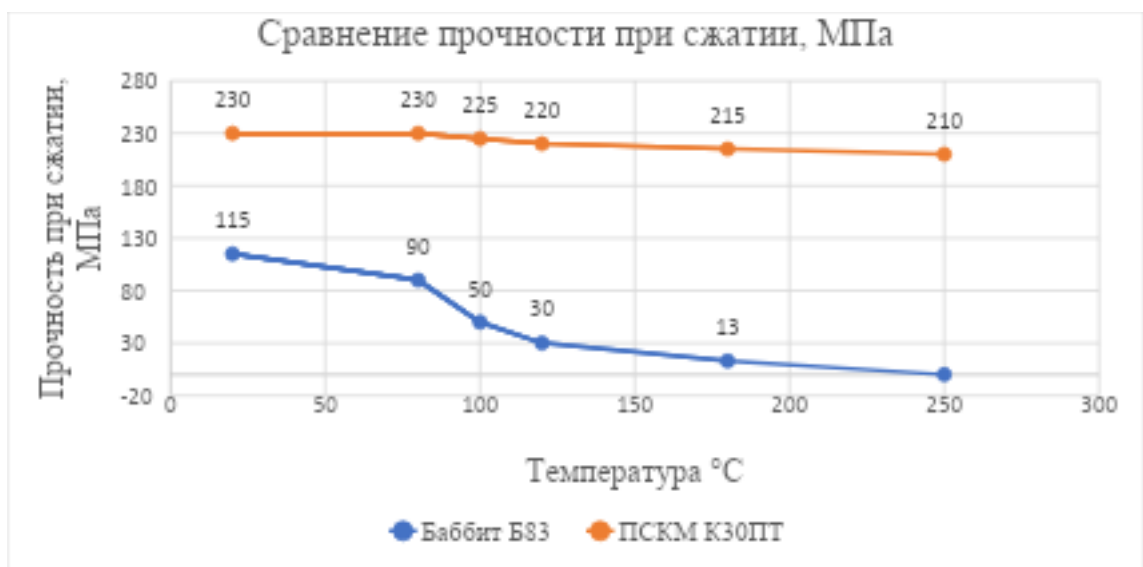


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии от температуры
(построено по [1, 5])

3.2. Механическая прочность

Предел текучести при сжатии у ПСКМ К30ПТ достигает 370 МПа [1], что в 4,5 раза выше, чем у баббита Б83 (78–85 МПа) [4, с. 50]. Для баббита рабочее давление ограничено 10–15 МПа [6, с. 85], тогда как композит допускает давления 20–30 МПа [1].

Расчетная нагрузочная способность определяется PV-фактором. Для баббита Б83:

$$P \cdot V \leq 49 \text{ МПа} \cdot \text{м/с} [6, \text{с. 85}].$$

Для полимерного композита ПСКМ К30ПТ:

$$P \cdot V \leq 120 \text{ МПа} \cdot \text{м/с} [1].$$

3.3. Трибологические характеристики

При отсутствии смазки коэффициент трения для ПСКМ К30ПТ составляет 0,04, что в 7 раз ниже, чем у баббита Б83 (0,28) [1]. В режиме граничной смазки коэффициент трения композита снижается до 0,007 [1].

По износостойкости разница наиболее заметна. При сухом трении износ ПСКМ К30ПТ составил $4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3/(\text{см}^2 \cdot \text{км})$, а баббита – $1620 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3/(\text{см}^2 \cdot \text{км})$ [1]. Полимерный слой изнашивается более чем в 400 раз медленнее (рис. 3).

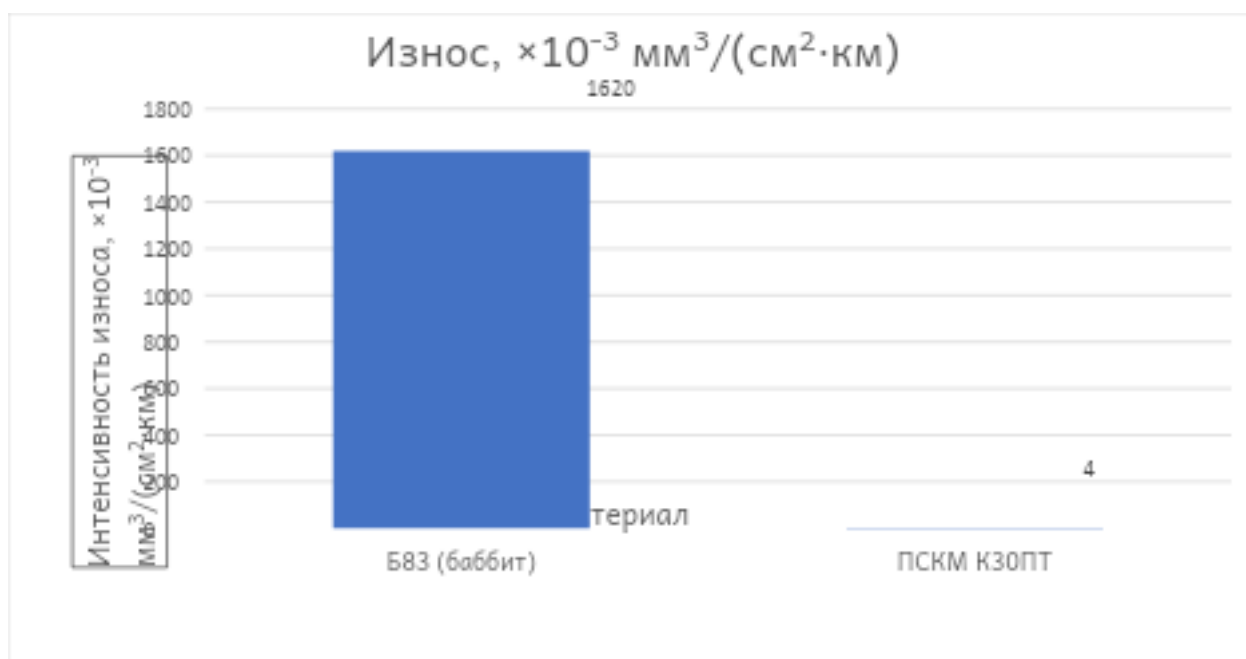


Рис. 3. Интенсивность изнашивания материалов Б83 и К30ПТ при работе без смазки (по данным [1])

3.4. Электрическая изоляция

Баббит Б83 является проводником с удельным сопротивлением порядка $10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ [4, с. 100]. Это делает подшипник уязвимым для пробоя масляной

пленки блуждающими токами, что приводит к намагничиванию вала и электроэрозионному износу подшипника [3, с. 118].

Полимерный композит ПСКМ К30ПТ – диэлектрик с удельным сопротивлением до 10^8 Ом·м [1], что полностью исключает электродуговой эрозии. Кроме того, композит инертен к химическому воздействию и не подвержен кавитации [2, с. 38].

4. Выводы

Полученные результаты демонстрируют смену парадигмы в проектировании тяжелых подшипников скольжения. Использование ПСКМ К30ПТ позволяет поднять температуру с 70°C до 250°C [1], что дает три возможности на выбор конструктора:

- повысить нагрузку на узел в 3–4 раза;
- увеличить окружную скорость в 2–3 раза;
- снизить расход охлаждающего масла в 5–10 раз [2, с. 39].

Однако существует ограничение – теплопроводность. У баббита Б83 она составляет 33,6 Вт/(м·К) [4, с. 105], у полимерного композита – не более 2,2 Вт/(м·К) [1]. Полимерный слой работает как термобарьер, что требует тщательного расчета толщины слоя и усиления охлаждения [8, с. 248].

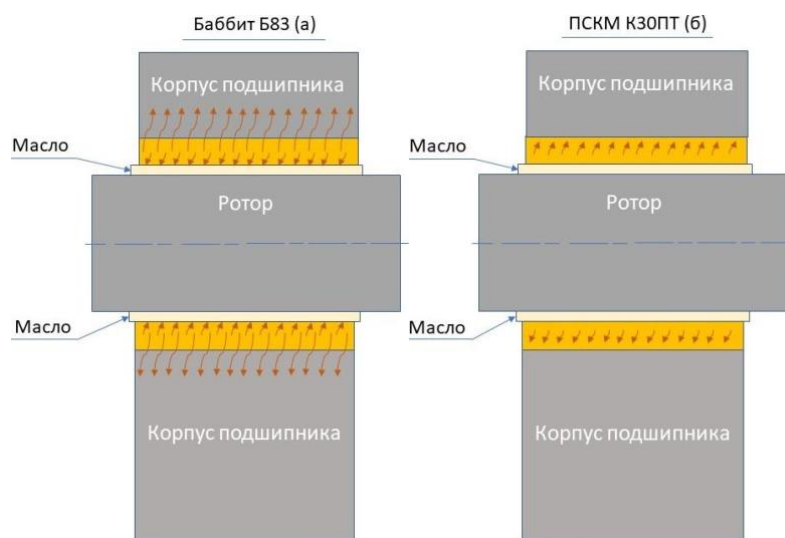


Рис. 4. Схема распределения температур по толщине подшипника для баббита (а) и ПСКМ К30ПТ (б)

5. Заключение

По термической стойкости ПСКМ К30ПТ превосходит баббит Б83: 250°C против 70°C [1, 5].

По пределу текучести при сжатии композит превосходит баббит в 4,5 раза (370 МПа против 85 МПа) [1, 4, с. 50].

По износостойкости в аварийных режимах полимерный композит изнашивается в 405 раз медленнее баббита [1].

В отличие от баббита, композит сохраняет работоспособность при потере смазки и полностью исключает электродуговую эрозию вала благодаря диэлектрическим свойствам [1, 3].

Основное ограничение – низкая теплопроводность композита (менее 2,2 Вт/(м·К)), требующая пересмотра систем охлаждения [8].

В итоге, можно сказать, что ПСКМ К30ПТ рекомендуется для замены баббита Б83 в подшипниках турбокомпрессоров, мощных электродвигателей с высоким риском блуждающих токов и насосов, работающих в условиях пуска под нагрузкой.

Список литературы

1. АО «НПК «Промышленные технологии». Технические характеристики антифрикционного слоя ПСКМ К30ПТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://npkpt.ru/tehnologiya/tehnicheskie-kharakteristiki.html> (дата обращения: 10.05.2026).
2. Белов П.С. Антифрикционные материалы для тяжелонагруженных узлов трения / П.С. Белов, А.А. Соколов // Трение и износ. – 2022. – Т. 43. – № 3. – С. 245–252.
3. Кузьмин Н.М. Электрическая эрозия валов электрических машин / Н.М. Кузьмин. – М.: Энергоатомиздат, 2020. – 160 с.
4. Морозов В.В. Структура и свойства антифрикционных сплавов: учебное пособие / В.В. Морозов. – М.: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2015. – 180 с.
5. ГОСТ 1320-74 (ИСО 4383-91). Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1974. – 12 с.
6. Бушуев В.В. Подшипники скольжения в промышленности: справочник / В.В. Бушуев. – СПб.: Политехника, 2019. – 320 с.
7. Сидоров А.Н. Современные проблемы триботехники в энергетическом машиностроении / А.Н. Сидоров, В.П. Кузнецов // Вестник машиностроения. – 2021. – № 5. – С. 112–119.
8. Федотов И.В. Исследование триботехнических свойств металлополимерных подшипников для энергетического машиностроения / И.В. Федотов, Д.А. Сергеев // Вестник машиностроения. – 2023. – № 8. – С. 34–39.

References

1. JSC NPK Industrial Technologies. Technical characteristics of the PSKM K30PT antifriction layer [Electronic resource]. – Access mode: <https://npkpt.ru/tehnologiya/tehnicheskie-xarakteristiki.html> (date accessed: 10.05.2026).
2. Belov P.S. Antifriction materials for heavily loaded friction units / P.S. Belov, A.A. Sokolov // Friction and wear. – 2022. – Vol. 43. – No. 3. – Pp. 245–252.
3. Kuzmin N.M. Electrical erosion of electrical machine shafts / N.M. Kuzmin. – Moscow: Energoatomizdat, 2020. – 160 p.
4. Morozov V.V. Structure and properties of antifriction alloys: a textbook / V.V. Morozov. - Moscow: Moscow State University named after adm. G.I. Nevelskoy, 2015. - 180 p.
5. GOST 1320-74 (ISO 4383-91). Tin and lead babbitts. Specifications. - Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1974. - 12 p.
6. Bushuev V.V. Plain bearings in industry: a reference book / V.V. Bushuev. - St. Petersburg: Polytechnic, 2019. - 320 p.
7. Sidorov A.N. Modern problems of tribotechnics in power engineering / A.N. Sidorov, V.P. Kuznetsov // Bulletin of mechanical engineering. – 2021. – No. 5. – P. 112–119.
8. Fedotov I.V. Study of tribological properties of metal-polymer bearings for power engineering / I.V. Fedotov, D.A. Sergeev // Bulletin of Mechanical Engineering. – 2023. – No. 8. – P. 34–39.