

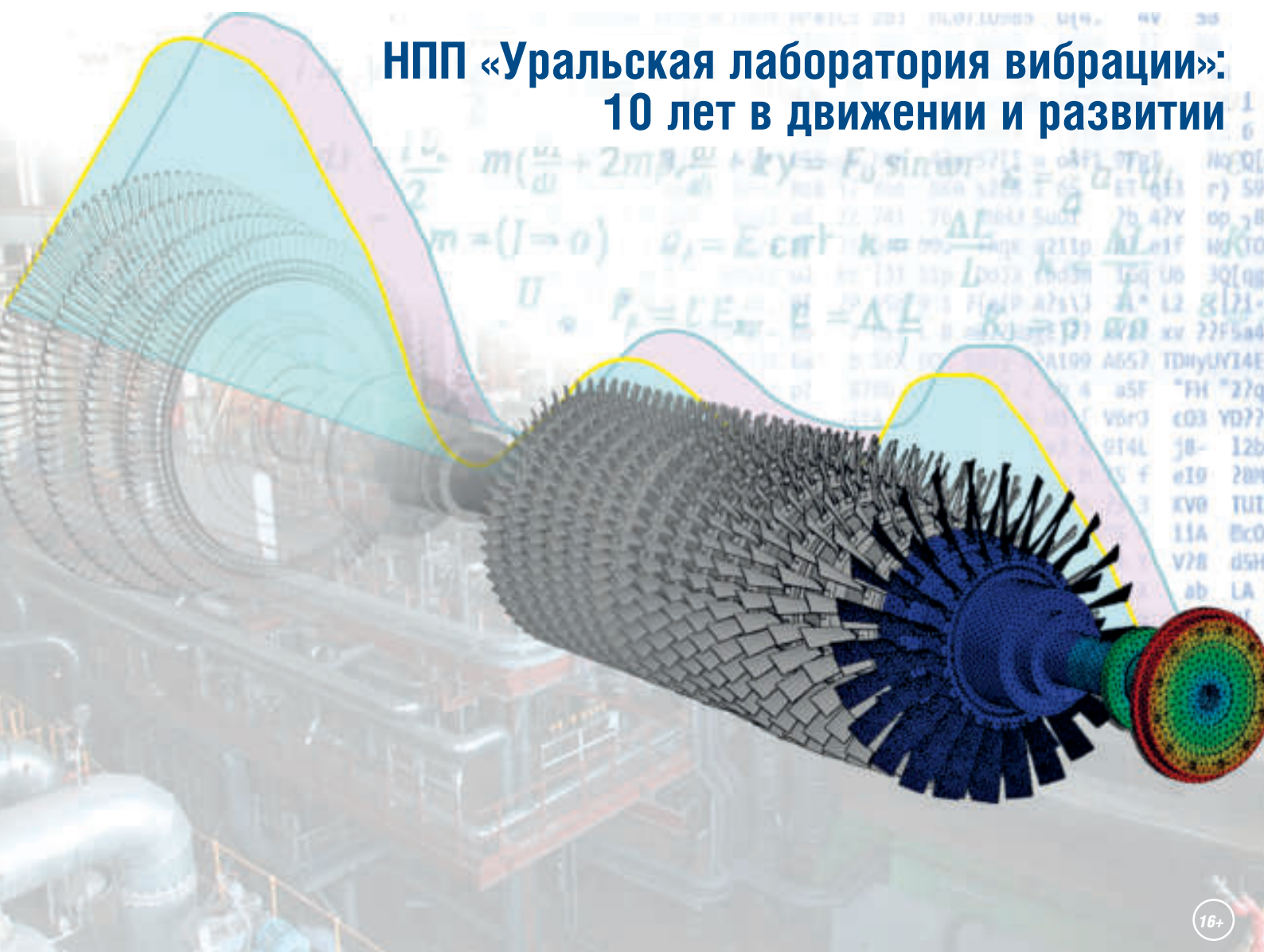
ИЮЛЬ
АВГУСТ
2025

Турбины и Дизели

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№4 (121)

НПП «Уральская лаборатория вибрации»: 10 лет в движении и развитии



16+



Технические условия на ГПА серии «Иртыш» мощностью 16 МВт утверждены ПАО «Газпром»

Энергетические агрегаты «Урал-6000» для Средне-Назымского НГКМ

Анализ механических свойств антифрикционных материалов

для гидродинамических подшипников скольжения

**Н. Ю. Овчаренко – заместитель генерального директора, td@npk-promtech.ru
АО «НПК «Промышленные технологии»**

Ключевые слова:

антифрикционные материалы, узлы трения, подшипники скольжения, полимерные композиционные материалы, баббитовые сплавы, термомеханические исследования, испытания на растяжение, испытания на сжатие, предельная рабочая температура

Аннотация

В условиях ухода из России западных сервисных компаний, а также недостатка достоверной информации о свойствах традиционных баббитовых сплавов обострилась проблема выбора надежных подшипниковых материалов для эксплуатации оборудования при повышенных нагрузках и температурах. Использование распространенных отечественных марок баббитов (Б83, Б16 и др.) часто не обеспечивает требуемого уровня надежности: сплавы склонны к перегреву, пластической деформации и преждевременному износу.

Альтернативой являются полимерные композиционные материалы (ПКМ), характеризующиеся высокой износостойкостью, стабильностью свойств и расширенным диапазоном рабочих температур (до 250 °С). В статье приведены результаты сравнительных исследований механических свойств промышленных

ПКМ и баббитов (Б83 и Б16 и иностранного аналога TEGOSTAR 738) в диапазоне температур 80...180 °С.

Результаты показали, что ПКМ существенно превосходят баббиты по всем исследованным показателям. Анализ импортного TEGOSTAR 738 подтвердил отсутствие его принципиальных преимуществ перед отечественными сплавами, что ставит под сомнение целесообразность его применения в условиях высокой стоимости и ограниченной доступности.

Для практического использования предложены коэффициенты превышения прочностных и твердостных характеристик ПКМ относительно баббита Б83, а также определены эквивалентные температуры, при которых материалы демонстрируют равные значения прочности и твердости.

Analysis of mechanical properties of anti-friction materials

for hydrodynamic plain bearings

**N. Yu. Ovcharenko – Deputy Director General, td@npk-promtech.ru
NPK Industrial Technologies JSC**

Key words:

antifriction materials, tribological units, sliding bearings, polymer composite materials, babbitt alloys, thermomechanical testing, tensile tests, compression tests, operating temperature

Abstract

With Western service companies leaving Russia and a lack of reliable information about the properties of traditional Babbitt alloys, the problem of selecting reliable bearing materials for equipment operation under increased loads and temperatures has become more acute. The use of common domestic Babbitt brands (B83, B16, etc.) often does not provide the required level of reliability: the alloys are prone to overheating, plastic deformation, and premature wear.

An alternative is polymer composite materials (PCM), which are characterized by high wear resistance, stable properties, and an extended operating temperature range (up to 250 °C). The article presents the results of comparative studies of the mechanical

properties of industrial PCMs and babbitt alloys (B83 and B16 and the foreign analogue TEGOSTAR 738) in the temperature range 80...180 °C.

The results showed that PCMs significantly outperform babbitt alloys in all studied indicators. Analysis of the imported TEGOSTAR 738 confirmed the absence of fundamental advantages over domestic alloys, which calls into question the advisability of its use given its high cost and limited availability.

For practical use, coefficients of excess strength and hardness characteristics of PCM relative to B83 babbitt have been proposed, and equivalent temperatures at which the materials demonstrate equal strength and hardness values have been determined.

В последние годы на фоне ухода западных сервисных компаний и общего дефицита экспертизы в области эксплуатации и ремонта подшипников скольжения возникла острая необходимость в разработке и использовании надежных подшипниковых материалов. Это особенно актуально для оборудования импортного производства, рассчитанного на работу при повышенных нагрузках и температурах.

Использование отечественных марок баббитов, таких как Б83, Б16 и другие, часто не обеспечивает необходимого уровня надежности: в условиях эксплуатации при повышенных нагрузках подшипники склонны к перегреву, преждевременному износу и выходу из строя. Правильный подбор отечественных баббитов для работы при повышенных температурах осложняется значительным статистическим разбросом сведений о физико-механических свойствах этих материалов в литературе. Такой разброс обусловлен различиями в методиках испытаний, особенностями нагрузочной истории образцов и другими факторами, что затрудняет объективную оценку предельно допустимых рабочих температур баббитов (табл. 1) [1–4, 12–17].

На фоне дефицита достоверной информации и технически обоснованных решений по обеспечению необходимых нагрузочных характеристик новых и ремонтируемых подшипников, в последнее время на рынке появились так называемые «высокотемпературные» баббиты, позиционируемые как аналоги импортных сплавов (например, TEGOSTAR 738). Однако следует отметить, что термин «высокотемпературный баббит» отсутствует в зарубежной научной и технической литературе и носит преимущественно коммерческий характер, что вызывает вопросы о корректности подобной классификации (например, сравните № 1 и № 5 в табл. 1 – марка баббита Grade 2 ASTM B-23, содержащая меньше тугоплавких компонентов, применяется при более высоких рабочих температурах, чем отечественный Б83, табл. 2).

Более того, при применении импортных баббитов остаются недостаточно раскрытыми ключевые технологические аспекты: параметры производства, методы нанесения и контроля качества, а также достоверные сведения о поведении материалов при температурах выше 120 °С. Несмотря на это, в консервативной инженерной практике по-прежнему часто отдают предпочтение импортным баббитовым сплавам либо их аналогам сомнительного качества. Такой выбор неред-

Параметр	Значение				
	1	2	3	4	5
№					
Марка баббита	Б83	Б16	TEGOSTAR 738	White Metal Bearing Alloys (Sn89...)	Grade 2 ASTM B-23
Предельные рабочие температуры, °С	115	110	100	96	–
	117	117	110	107	129
	120	120	114	–	130

Табл. 1.
Предельные рабочие температуры баббитов Б83, Б16 и иностранных марок

ко приводит к неоправданному завышению допустимых нагрузок и рабочих температур подшипников, что вызывает нарушение условий смазки в режиме гидродинамического трения, ухудшение характеристик рабочего слоя на переходных режимах (пуск, выбег, останов) и, как следствие, повышает риск отказов и снижает ресурс роторного оборудования.

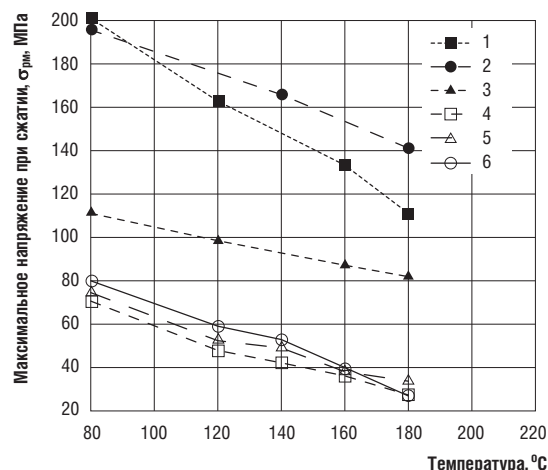
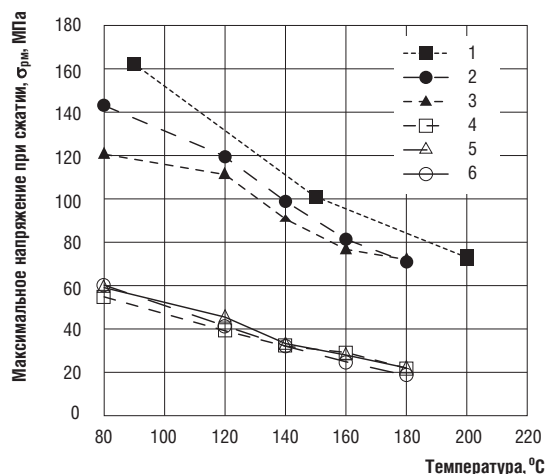
Действенной альтернативой баббитовым сплавам в настоящее время являются полимерные антифрикционные композиционные материалы (ПКМ), которые активно внедряются во все отрасли промышленности, удовлетворяют большинству требований к подшипниковым материалам и характеризуются расширенным температурным диапазоном эксплуатации – вплоть до 250 °С [5–8]. В условиях граничного и сухого трения, характерных для переходных режимов работы агрегатов, контактные значения давления и температуры существенно возрастают, нередко достигая пределов прочности и температуры плавления баббитовых материалов. Это приводит к локальным повреждениям и ускоренному износу. Для ПКМ такие процессы выражены значительно слабее благодаря более высоким значениям физико-механических свойств и температур размягчения. В условиях гидродинамического трения ПКМ демонстрируют лучшую устойчивость к динамической нагрузке (pv), которая одновременно отражает как тепловое, так и механическое воздействие в зоне контакта.

Параметр	Значение	
Марка	Б83	Grade 2 ASTM B-23
Sn	81,5...84,5	88...90
Sb	10...12	7...8
Cu	5,5...6,5	3...4
Pb	<0,35	<0,35
Fe	<0,1	<0,08
As	–	<0,1
Bi	<0,05	<0,08
Zn	<0,004	<0,005
Al	<0,005	<0,005
Cd	–	<0,05
Ni	–	<0,001

Табл. 2.
Химический состав баббита Б83 ГОСТ 1320-74 и Grade 2 ASTM B-23

Рис. 1.

Значения прочности ПКМ и баббитов при растяжении (слева) и сжатии (справа) при различных температурах



Отличительной чертой ПКМ является более эффективное противостояние негативным последствиям неравномерного распределения нагрузки и температуры: в подшипниках разброс контактных параметров может достигать значительных величин – локальное давление превышает среднее расчетное до 20 раз, а локальная температура может быть выше на 10...15 °С. При этом подшипники из ПКМ характеризуются более равномерным распределением нагрузок и температур по площади контакта, что снижает риск локальных перегрузок и термических повреждений.

Несмотря на очевидные преимущества, более широкое внедрение ПКМ сдерживается инерционностью инженерной практики и ограниченной информированностью специалистов о технических возможностях современных подшипниковых материалов. В этой связи особую актуальность приобретает сравнительная оценка применимости различных подшипниковых материалов при повышенных нагрузках и температурах. Приоритетными критериями выступают температурные зависимости механических свойств, прежде всего пределов прочности, определяющих запас прочности для пиковых нагрузок, а также характеристик, влияющих на трибологическое поведение и износостойкость – твердость и предел текучести.

Табл. 3.

Состав и производитель исследуемых материалов

Параметр	Значение											
	1	2	3	4						5	6	
№ образца	1	2	3	4						5	6	
Обозначение	330CA30	324UG30	К30ПТ	TEGOSTAR 738						Б16	Б83	
Состав	РЕЕК + 30 % CF	РЕЕК + 30 % CF	РЕЕК + антифрикционные добавки	Sn 81,24 %	Sb 12,03 %	Cu 5,91 %	Zn 0,6 %	Ag 0,11 %	Fe 0,09 %	Pb 0,02 %	ГОСТ 1320–74	ГОСТ 1320–74
Производитель	Jilin Joinature Polymer Co., Ltd (Китай)	ООО «ТД Пластмасс групп» (РФ)	АО НПК «Промышленные технологии» (РФ)	ООО «НПО Феникс» (РФ, С.-Петербург)						ООО «НПО Феникс» (РФ, С.-Петербург)	ООО «Стронгмет» (РФ, С.-Петербург)	

В статье представлен сравнительный обзор механических характеристик промышленных ПКМ и традиционных баббитовых сплавов в диапазоне температур 80...180 °С. Кроме того, оценивается возможность повышения допустимой температуры эксплуатации гидродинамических подшипников скольжения за счет замены традиционных баббитов на ПКМ, что может способствовать увеличению долговечности и надежности подшипниковых узлов.

В рамках работ рассматривались следующие механические свойства материалов:

- пределы прочности на растяжение и сжатие, ГОСТ 1497–2023, ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012), ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002);
- условный предел текучести с допуском на величину остаточной деформации 0,2 %, ГОСТ 1497–2023, ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012), ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002);
- твердость по Шору шкала D, ГОСТ 24621-2015 (ISO 868:2003);
- твердость по Бринеллю, ГОСТ 9012-59 (ISO 410-82, ISO 6506-81).

Материалы для исследований:

- промышленно изготавливаемые и доступные на рынке ПКМ;
- распространенные отечественные баббиты марок Б83 и Б16 (ГОСТ 1320–74 и ISO 4383–91).

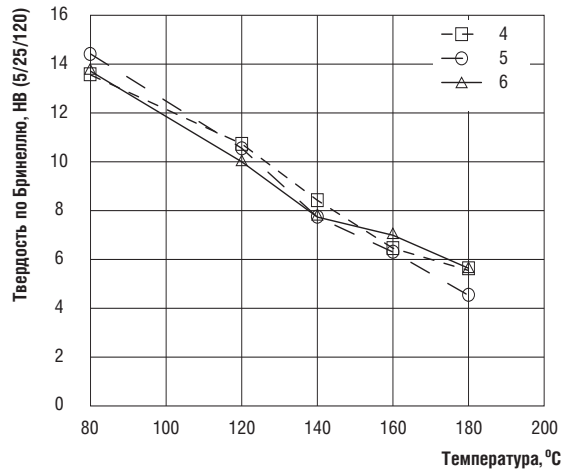
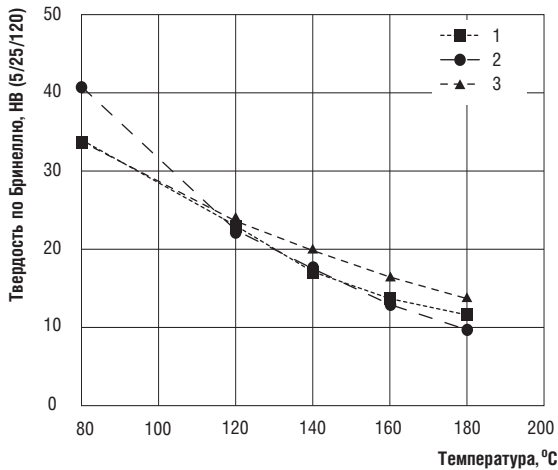


Рис. 2.
Значения показателей твердости материалов, измеренных по методу Бринелля, для ПКМ (слева) и баббитов (справа) при различных температурах

В качестве образца баббитов иностранных марок исследовался сплав, аналогичный по химическому составу марке TEGOSTAR 738 (европейский патент: Bearing alloy. № EP 0717121B1 Рег. №: 95117032.3), производимый компанией ESKA Granulate Essen GmbH (Германия). В технической документации приведено вариативное описание химического состава: сплав на основе олова с сурьмой и медью состоящий из 6...15 мас. % сурьмы, 3...10 мас. % меди, 0,05... 1 мас. % серебра и 0,1...2 мас. % цинка, остальное – олово, с вариантами содержания серебра 0,1 мас. % или от 0,05 до 0,15 мас. %, цинка 0,6 мас. % или от 0,5 до 0,7 мас. %. Марка TEGOSTAR 738 заявляется производителем как баббит с самой высокой статической грузоподъемностью, вплоть до высоких скоростей гидродинамического скольжения, высокой устойчивостью к динамическим напряжениям, низкой ползучестью, хорошей стабильностью формы. Однако, как отмечено в [2], заявляемая производителем повышенная несущая способность подшипников, залитых баббитом TEGOSTAR 738, не была подтверждена в ходе натурных испытаний на стендах НПО «ЦКТИ», и диапазон рабочих температур (110 °C) практически не отличается от баббита Б83.

Состав и производитель исследуемых образцов материалов приведены в табл. 3.

На рис. 1, 2 представлены полученные значения прочности при растяжении, максимального напряжения при сжатии, твердости по Бринеллю для исследуемых материалов в диапазоне температур 80...180 °C. Номера образцов в табл. 3.

Из анализа данных следует, что ПКМ существенно превосходят баббитовые сплавы по всем представленным механическим показателям, особенно при температурах выше 80 °C. Наблюдается не только превышение значений твердости у ПКМ по сравнению с баббитами, но и более высокая стабильность показателей (меньшая деградация твердости) при повышении температуры, обусловленная высокой термостойкостью полимерной матрицы и эффективным распределением нагрузки через армирующую фазу. В то же время баббиты демонстрируют выраженное снижение предельных напряжений, что связано с описанными в литературе механизмами интенсификации при 60...120 °C диффузионных процессов, недостаточным сопротивлением ползучести и размягчением эвтектических структур, а при температурах близких к 200 °C – ухудшением микроструктур, коагуляции фаз и переходом материала в вязкотекучее состояние.

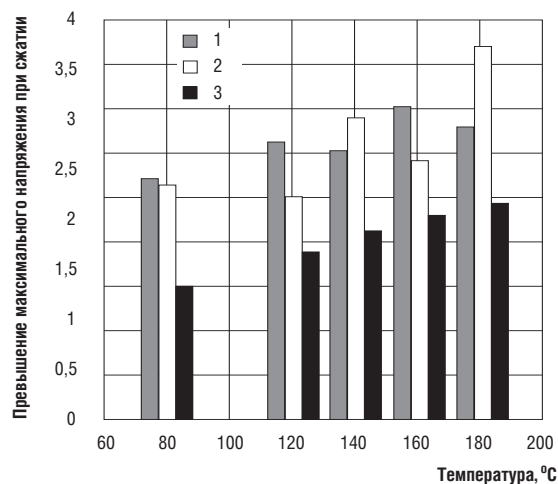
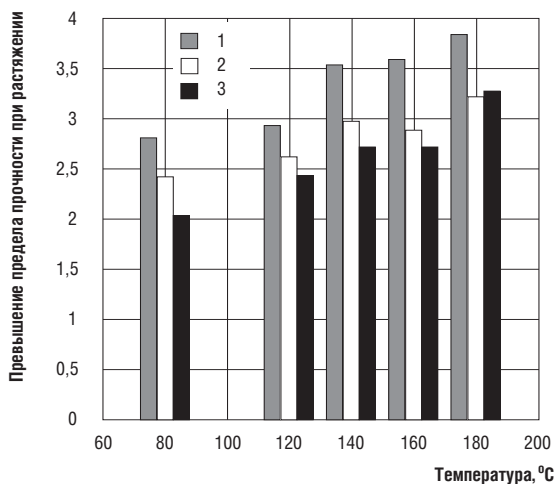


Рис. 3.
Коэффициент превышения прочности ПКМ (образцы № 1-3) по сравнению с баббитом марки Б83 при растяжении (слева) и сжатии (справа) при различных температурах

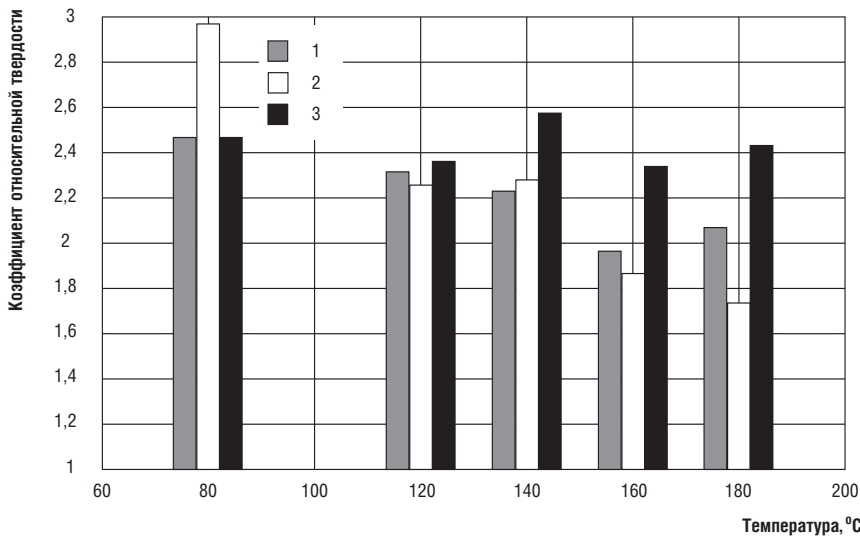


Рис. 4.
Относительная твердость по Бринеллю для ПКМ по отношению к баббиту Б83 при различных температурах

В процессе проведенных исследований не было выявлено существенно более высоких показателей механических свойств аналога баббита TEGOSTAR 738 по сравнению с другими исследованными марками баббитов (рис. 1, 2, образцы №№ 4–6). Полученные результаты подтверждают данные предыдущих исследований [2], указывающих на сопоставимость характеристик импортных и отечественных баббитов при аналогичном химическом составе.

Для практической оценки применимости различных подшипниковых материалов целесообразно сравнить значения их механических свойств при одинаковых температурах и определить коэффициенты запаса прочности (превышения значений по сравнению с базовыми материалами) при их замене. Результаты представлены ниже в пунктах 1, 2.

1. Коэффициент превышения значения прочности ПКМ относительно баббитового сплава Б83 в качестве базового. Позволяет количественно оценить увеличение запаса прочности подшипника при одних и тех же температурах в условиях разрушающих

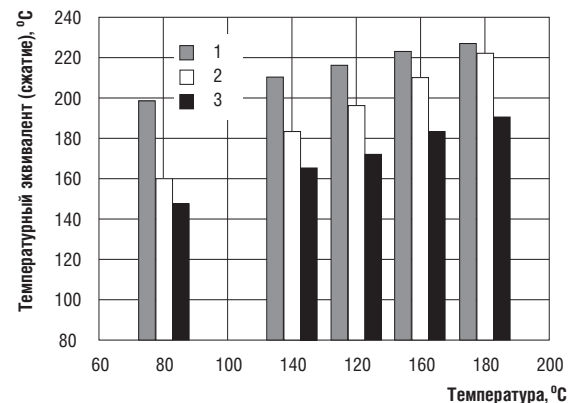
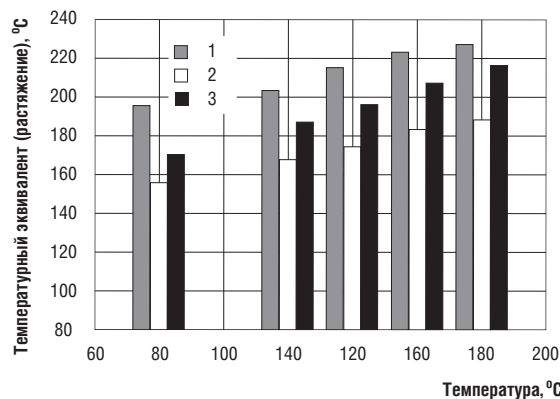
нагрузок при замене базового материала на ПКМ. Данные показатели для ПКМ №№ 1–3 по сравнению баббитом марки Б83 представлены на рис. 3 и дают значения от 1,5 до 4, существенно увеличиваясь с ростом температуры.

2. Коэффициент превышения значения твердости ПКМ относительно базового материала (баббита марки Б83). Сравнительный анализ показывает, что ПКМ демонстрируют относительное превышение твердости от 1,7 до 3 раз по отношению к базисным значениям для Б83 (рис. 4). Такой «запас твердости» предполагает существенно более высокую нагрузочную способность и повышенную износостойкость ПКМ по сравнению с традиционными баббитами, в т.ч. аналогами импортных.

Для практической оценки диапазонов допустимых рабочих температур целесообразно сравнить температурные значения (эквивалентные температуры), при которых механические свойства антифрикционных материалов совпадают. Результаты для исследуемых ПКМ и баббитов представлены ниже.

3. Эквивалентные значения рабочих температур, при которых ПКМ и баббиты имеют равные показатели условного предела текучести. Позволяют оценить, до каких значений можно увеличить рабочие температуры для ПКМ по сравнению с баббитом, при которых материалы остаются в зоне упругих деформаций и сохраняют равными свои прочностные эксплуатационные характеристики. Данные показатели увеличения рабочих температур для ПКМ №№ 1 – 3 (по оси ординат) относительно выбранных температур баббита марки Б83 (по оси абсцисс) представлен на рис. 5. Можно отметить, что рабочие нагрузки, допустимые для баббитовых сплавов при их максимальной температуре эксплуатации 120 °С, могут быть приложены к подшипникам на основе ПКМ при температурах, превышающих 200 °С.

Рис. 5.
Эквивалентные температуры равных значений условного предела текучести ПКМ (образцы № 1-3) и баббита марки Б83 при растяжении (слева) и сжатии (справа) при различных температурах



4. Эквивалентные температуры равных значений твердости. Принимая во внимание, что в отдельных конструкторских решениях подшипниковый материал может сохранять работоспособность даже при снижении твердости ниже рекомендуемого предела в 12 НВ [9], представляется возможным использовать твердость как ориентир для оценки предельно допустимой рабочей температуры. Такой подход позволяет определить, при каких температурах исследуемые материалы сохраняют остаточную прочность и износостойкость, достаточные для продолжения эксплуатации подшипника при выбранных значениях твердости. На рис. 6 приведена оценка температурных значений, при которых различные материалы достигают одинаковых значений твердости. Эти значения могут быть интерпретированы как предельные рабочие температуры при заданном уровне допустимой твердости. График служит основанием для сравнительной оценки термической устойчивости подшипниковых материалов, позволяя прогнозировать температурные границы их надежной эксплуатации.

Выводы

1. Представленные данные о механических свойствах антифрикционных материалов при температурах выше 80 °С демонстрируют существенные различия между промышленно изготавливаемыми ПКМ и традиционными баббитовыми сплавами. Это обусловлено принципиально различными структурными механизмами обеспечения прочностных характеристик и поведения материалов в условиях повышенных температур.

2. ПКМ обладают значительно более высокими значениями прочности, условного предела текучести и твердости по сравнению с баббитами. При температурах выше 100 °С прочность баббитов при растяжении снижается до уровня, близкого к пределу текучести, что существенно ограничивает их несущую способность. Несмотря на высокую пластичность, обеспечивающую устойчивость к ударным нагрузкам, именно она часто становится причиной аварийных разрушений подшипников при перегревах и деформациях.

3. При температурах свыше 120 °С применение баббитов становится все менее обоснованным из-за выраженной термической деградации прочностных характеристик, в первую очередь – пределов прочности и текучести. Указанные свойства подробно исследованы и подтверждаются настоящим исследованием и многочисленными научными данными, начиная с 1930-х годов [10]. Это связано с эвтектической структурой баббитов и склонностью к размягчению при нагреве.

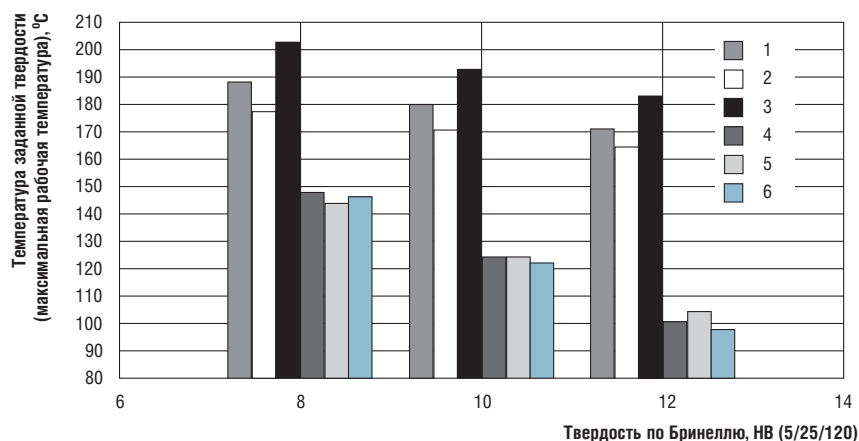


Рис. 6.

Значения температур (по оси ординат), при которых твердость по Бринеллю у материалов принимает заданные значения (по оси абсцисс)

4. Анализ свойств импортной марки баббита TEGOSTAR 738 показывает, что она не превосходит по прочности и твердости аналогичные оловянные отечественные баббиты, такие как, например, Б83, и представляет собой лишь незначительно химически модифицированный вариант стандартных отечественных баббитов (сравните табл. 2 и 3). Это указывает на отсутствие существенных эксплуатационных преимуществ при использовании импортных решений, особенно с учетом их высокой стоимости и ограниченной доступности. Среди баббитов отечественные марки сохраняют конкурентоспособность по критерию «цена–качество».

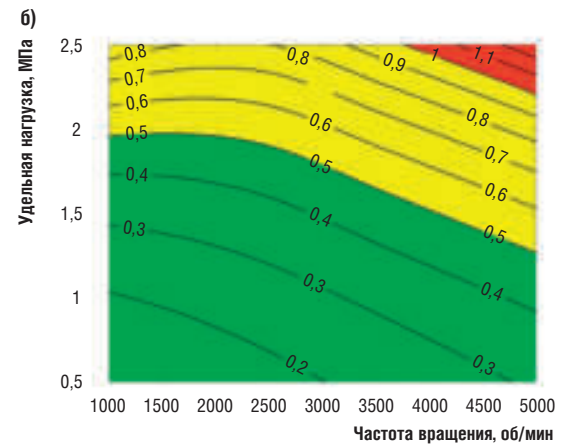
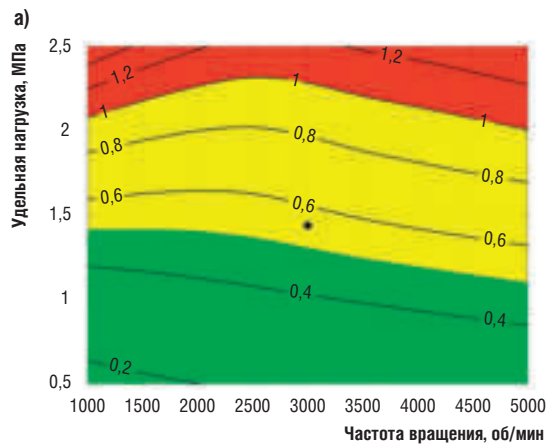
5. В отличие от баббитов, армированные углеродными волокнами и другими упрочняющими добавками ПКМ демонстрируют более высокую и стабильную прочность при температурах выше 80 °С благодаря термостойкой полимерной матрице и эффективной передаче нагрузок через армирующую фазу вещества. Данные свойства ПКМ позволяют существенно расширять рабочий диапазон эксплуатации подшипников (рис. 7) [11].

6. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о преимуществах ПКМ, доступных на российском рынке, для применения в подшипниках скольжения, по сравнению с баббитовыми материалами отечественного и импортного производства. ПКМ обладают значительным технологическим и эксплуатационным потенциалом и могут рассматриваться в качестве эффективной альтернативы баббитовым сплавам при необходимости повышения допустимых рабочих температур подшипниковых узлов. Это открывает возможности для технически реализуемой и экономически целесообразной замены баббитов на ПКМ с целью увеличения термической надежности узлов трения.

7. В настоящее время в НПК «Промышленные технологии» ведутся дальнейшие исследования с целью получения новых данных, в том числе:



Рис. 7.
Рабочий диапазон
эксплуатации сегментного
радиального подшипника:
а) из баббита;
б) из ПЭК



- расширенный комплекс механических и трибологических испытаний материалов и конструкций из них, включая оценку прочности соединений, износостойкости, теплопроводности и взаимодействия материалов с различными типами смазок;
- разработка новых составов ПКМ, адаптированных под различные режимы эксплуатации подшипников скольжения. **ТД**

Список использованных источников

1. Воскресенский В. А., Дьяков В. И. Расчет и проектирование опор скольжения. – М.: Машиностроение, 1980 г. – 223 с.
2. Эсперов Д. Г. Совершенствование конструкций опорных подшипников скольжения паровых турбин на основании экспериментальных исследований: дис. ...к.т.н. – С.-Петербург: ОАО «НПО ЦКТИ», 2015. – 192 с.
3. Машков Ю. К., Полещенко К. Н., Поворознюк С. Н., Орлов П. В. Трение и модифицирование материалов трибосистем. – М.: Наука, 2000 г. – 280 с.
4. Elwell R. C. Thrust Bearing Temperature. Parts 1 & 2 // Machine Design. – 1971. – 24 June. – Pp. 79-81; 8 July. – Pp. 91-94.
5. Овчаренко Н. Ю. Термоустойчивые материалы в опорах стационарных газотурбинных установок / Н. Ю. Овчаренко, М. Ю. Егорушков, П. Г. Романенков, А. Е. Константинов // Турбины и дизели. – 2024. – № 1 (112). – С. 98-103.
6. Смирнов Е. А. Применение антифрикционных материалов в подшипниках скольжения центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов / Е. А. Смирнов, Ю. Ю. Толстихин, А. В. Шишов [и др.] // Газовая промышленность. – 2023. – № 4 (857). – С. 74-81.
7. Овчаренко Н. Ю. Технический прогресс в разработке новых подшипниковых материалов узлов трения / Н. Ю. Овчаренко, С. В. Ладенко, М. Ю. Егорушков // Турбины и дизели. – 2023. – № 4 (109). – С. 16–18.

8. Бронников А. Н. Применение подшипников скольжения с полимерным антифрикционным покрытием на газоперекачивающем агрегате ГТК-10М / А. Н. Бронников, Н. Н. Забелин, Ш. Г. Шарипов [и др.] // Газовая промышленность. – 2024. – № 4 (864). – С. 84-89.

9. Воскресенский В. А., Дьяков В. И. Расчет и проектирование опор скольжения. – М.: Машиностроение, 1980. – 223 с.

10. Herschman H. K., Basil J. L. Mechanical properties of white metal bearing alloys at different temperatures. Proceedings of the American Society for Testing Materials, 1932. – 32(Part 2). – 536 p.

11. Chatterton S. Investigation of PEEK Lined Pads for Tilting-Pad Journal Bearings / S. Chatterton, E. Gheller, A. Vania [et al.] // Machines, 2022. – V.10. DOI: 10.3390/machines10020125.

12. ГОСТ 1320–74. Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 8 с.

13. Gleitlagertechnik Essen GmbH. Официальный сайт [Электрон. ресурс]. – URL: <https://gleitlagertechnik-essen.de/> (дата обращения: 03.05.2025).

14. Kingsbury, Inc. BPG Catalog. Manual [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kingsbury.com/pdf/BPG-Catalog.pdf> (дата обращения: 03.05.2025).

15. ESKA Granulate Essen GmbH. Технический паспорт [Электрон. ресурс]. – URL: <https://kymerainternational.com/> (дата обращения: 03.05.2025).

16. Babbitt Repair. Babbitt information [Электрон. ресурс]. – URL: <https://babbittrepair.com/babbitt/babbitt-information/> (дата обращения: 03.05.2025).

17. Waukesha Bearings. Fluid film bearings: Babbitt bearings [Электрон. ресурс]. – URL: <https://www.waukbearing.com/en/products/fluid-film-bearings/babbitt-bearings.html> (дата обращения: 03.05.2025).

