

УДК 621.822.1:621.893.012 (476)

В.С. Францкевич¹, П.С. Гребенчук¹, А.В. Поспелов¹, А.С. Агейчик²¹УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Беларусь²ООО «Ньютерм», д. Озерцо, Минская область, Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ НАСОСОВ

Аннотация. В статье проанализированы возможности использования современных материалов на основе графита в парах трения химического оборудования. Проведены разносторонние исследования двух вариантов вкладышей подшипников скольжения химических насосов с целью определения их химической стойкости в щелочной среде. Представлены увеличенные изображения поверхностей образцов до и после воздействия среды. Проанализированы данные сканирующей электронной микроскопии, термогравиметрического и рентгенофазного анализа исследуемых образцов, проведенных с целью определения их химического состава и содержания соединений углерода. Даны рекомендации по применению исследуемых материалов для вкладышей подшипников скольжения, работающих в щелочной среде.

Ключевые слова: насос, щелочь, подшипник, вкладыш, пара трения, графит, карбид кремния, состав, аналог, химическая стойкость.

V.S. Frantskevich¹, P.S. Grebenchuk¹, A.V. Pospelov¹, A.S. Ageichik²¹Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus²LLC "Newterm", Ozertso village, Minsk region, Belarus

APPLICATION OF MODERN ANTI-FRICTION MATERIAS IN SLIDING BEARINGS OF CHEMICAL PUMPS

Abstract. The article analyzes the possibilities of using modern graphite-based materials in friction pairs of chemical equipment. A comprehensive study of two variants of sliding bearing liners for chemical pumps have been carried out in order to determine their chemical resistance in an alkaline environment. Zoomed in images of sample surfaces before and after exposure to the environment are presented. Data from scanning electron microscopy, thermogravimetric and X-ray phase analysis of the studied samples were analyzed to determine their chemical composition and content of carbon compounds. Recommendations on the use of the studied materials for the sliding bearing liners operating in an alkaline environment are given.

Keywords: pump, alkali, bearing, liner, friction pair, graphite, silicon carbide, composition, analogue, chemical resistance.

Введение

Графит применяется вместо жидких смазочных масел в качестве смазочного материала, из него производят поршневые кольца, кольца торцевых и сальниковых уплотнений, а также графитовые подшипники. Кроме этого, изделия из графита используют в цепных, решетчатых механических топках, регуляторах тяги в жаровых трубах, печах и конвейерах, в глубинных моторах [1].

Графитовые подшипники могут работать при температуре от 18 °С до 400 °С в окислительной среде без охлаждения. При изменениях температуры линейные размеры графитовых подшипников и втулок практически не изменяются. Коэффициент трения

таких подшипников равен 0,1 – 0,25 и зависит от числа оборотов, нагрузки, условий работы и степени загрязненности среды.

В последние годы разработаны углеродные материалы со связующими (смолами) – углепластики, используемые для подшипников без смазки. В настоящее время резко возрастает значение графита в машиностроении и химическом аппаратостроении. Графит является незаменимым антифрикционным материалом, заменяющим жидкое смазочное масло в условиях работы машин как при высоких, так и при особо низких температурах и при больших скоростях. В мире производится свыше 80 видов этих материалов, специализированных по областям применения.

Объектом исследований является материал подшипников скольжения химических насосов. ОАО «Завод горного воска» предоставило для изучения углеродистые втулки подшипников скольжения двух производителей: Китай и РФ (в дальнейшем образцы 1 и 2 соответственно).

Цель работы – определение элементного состава материала вкладышей подшипников скольжения центробежных насосов и их химической стойкости в щелочной среде.

Результаты исследований

Исследования элементного состава предоставленных образцов и их минерального наполнителя проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV, оснащенного системой элементного анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония).

Определение содержания минеральной (неорганической) составляющей предоставленных образцов проводили термогравиметрическим методом с помощью TGA/DSC-1/1600 HF (METTLER TOLEDO Instruments, Швейцария). Термический анализ проводили при следующих условиях: температура 1000 ± 1 °C; время – 120 минут.

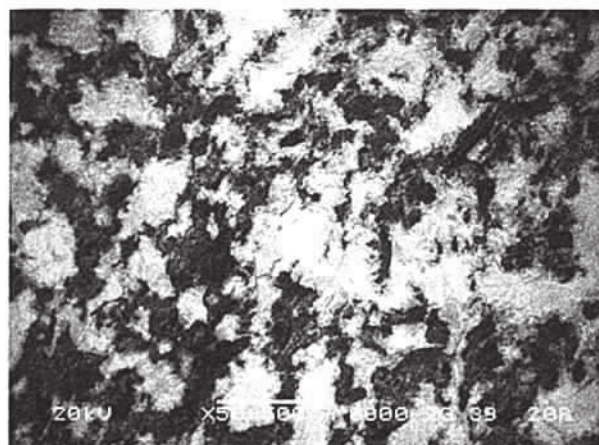
Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов проводили с помощью рентгеновского дифрактометра D8 Advance Bruker AXS. Обработку полученных дифрактограмм осуществляли в программном обеспечении Match! с использованием эталонной базы COD (Crystallography Open Database).

В таблице 1 приведены методы исследования предоставленных образцов [2], [3].

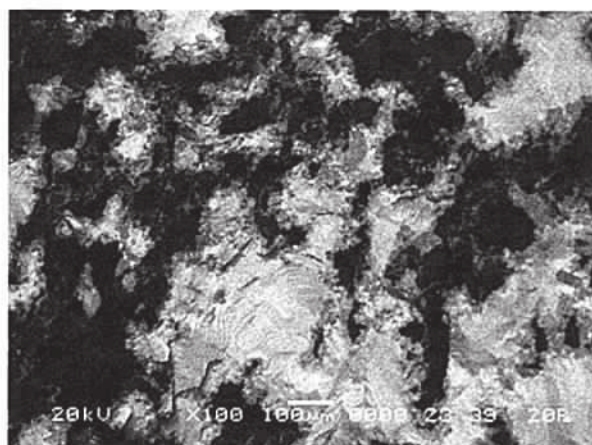
Таблица 1 – Методы исследования

Методы	Применение
Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) с электронно-зондовым химическим анализом (EDX)	Исследование химического состава неорганических веществ. Качественный и количественный элементный состав предоставленных образцов и их минерального наполнителя
Термогравиметрический анализ (ТГ)	Определение количества минерального наполнителя (зольного остатка)
Рентгенофазовый анализ (РФА)	Исследование химического состава неорганических веществ. Обработку полученных дифрактограмм осуществляли в программном обеспечении Match! с использованием эталонной базы COD (Crystallography Open Database)

Исследования элементного состава предоставленных образцов (втулка вала углеродистая: 1 – Китай; 2 – СССР) и их минерального наполнителя проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с электронно-зондовым химическим анализом (EDX). С помощью метода СЭМ получены изображения поверхности графитовых подшипников (рисунки 1 и 2).

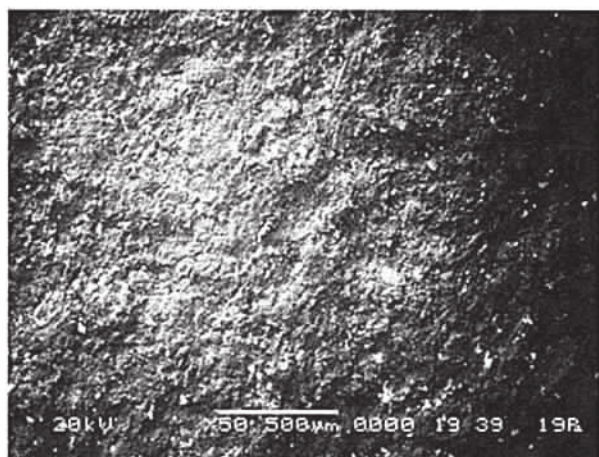


Увеличение ×50 раз

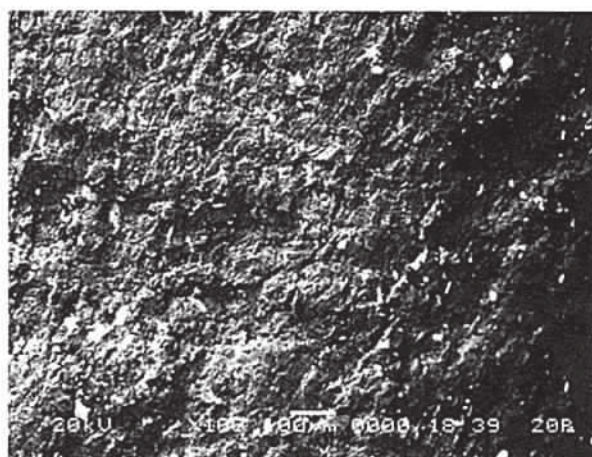


Увеличение ×100 раз

Рисунок 1 – СЭМ изображения поверхности образца № 1



Увеличение ×50 раз



Увеличение ×100 раз

Рисунок 2 – СЭМ изображения поверхности образца № 2

Анализ изображений, полученных с помощью СЭМ, показал, что поверхность образца № 1 характеризуется областями различной контрастности, что может свидетельствовать о наличии неоднородности состава. В отличие от образца № 1 на СЭМ изображениях поверхности образца № 2 контрастные области наблюдаются в меньшей степени, что может указывать на более однородный состав.

С помощью электронно-зондового химического анализа исследовали элементный (оксидный) состав предоставленных образцов. Результаты исследования (EDX анализ) химического состава поверхности предоставленных образцов представлены в таблице 2.

Его результаты показали, что зольный остаток составил 69,88 мас. % и 3,79 мас. % для образцов № 1 и № 2 соответственно.

Для установления содержания минеральной (неорганической) составляющей применяли термогравиметрический (ТГ) метод анализа. Он установил, что зольный остаток образца № 1 составил 69,88 мас. %, образца № 2 – 3,79 мас. %. Из полученных данных можно выдвинуть предположение, что при проведении термогравиметрического анализа произошло выгорание углерода, содержащегося в исследуемых образцах.

Данное предположение подтверждается результатами EDX анализа, с помощью которого исследовали элементный (оксидный) состав зольного остатка образцов графитовых подшипников. По результатам EDX анализа в составе зольного остатка исследуемых образцов углерода не обнаружено (таблица 3).

Таблица 2 – Результат химического анализа (EDX анализ) поверхности образцов (химический состав в пересчете на оксиды, нормализация на 100 %)

Элементы (оксиды)	№ образца	
	1	2
	Содержание, мас. %	
C	37,4	98,2
MgO	-	0,7
Al ₂ O ₃	1,2	-
SiO ₂	61,4	0,6
SO ₃	-	0,1
K ₂ O	-	0,3
FeO	-	0,1
Итого:	100,0	100,0

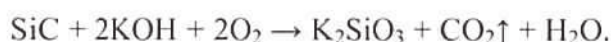
Таблица 3 – Результат химического анализа (EDX анализ) зольного остатка образцов (химический состав в пересчете на оксиды, нормализация на 100 %)

Элементы (оксиды)	№ образца	
	1	2
	Содержание, мас. %	
C	-	-
MgO	-	23,1
Al ₂ O ₃	0,8	9,0
SiO ₂	99,2	49,1
SO ₃	-	5,1
K ₂ O	-	6,9
FeO	-	6,8
Итого:	100,0	100,0

Согласно анализу EDX, содержание углерода в исследуемых образцах отличалось приблизительно в 2,6 раза.

Рентгенофазовый анализ образца № 1 показал наличие дифракционных максимумов, соответствующих фазам: карбид кремния (SiC, Moissanite), оксид кремния (SiO₂), графит (C), гидрат силиката калия (K₂Si₁₄O₂₉·xH₂O) и кремний (Si).

Известно, что представленные графитовые подшипники используются в химических насосах, перемещающих 30 %-й раствор гидроксида калия (KOH). Следовательно, образование фазы силиката калия можно объяснить механизмом:



Стоит отметить, что силикат калия хорошо растворим в воде, и при промывке насоса в подшипнике образуются микротрещины, вследствие этого происходит нарушение целостности, и последующий запуск насоса приводит к разрушению подшипника [4].

Рентгенофазовый анализ образца № 2 показал наличие дифракционных максимумов, соответствующих фазам: гидрокарбонат калия (KHCO₃, Kalicinite), графит (C) и гидроксид калия (KOH).

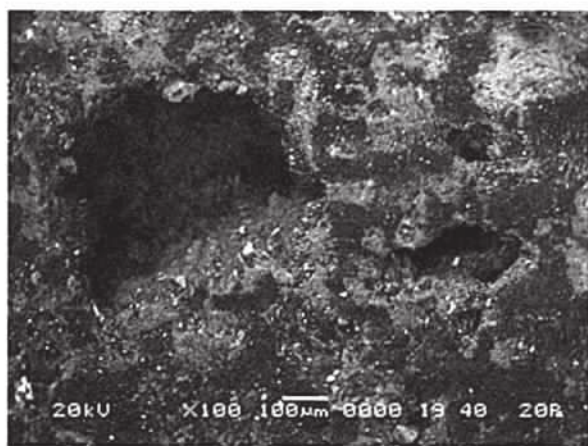
На поверхности образца № 2 наблюдается белесый налет, предположительно, данный налет и характеризуется фазами гидрокарбоната и гидроксида калия. При удалении налета с поверхности образца № 2 методом смыва и проведении повторного РФА анализа установлено, что дифракционные максимумы ранее обнаруженных фаз гидрокарбоната и гидроксида калия отсутствуют.

Анализируя полученную информацию, можно сделать вывод, что гидрокарбонат и гидроксид калия не входят в структуру материала подшипника.

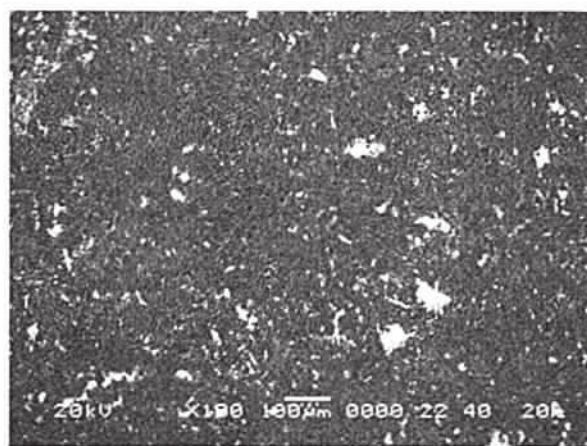
Для определения химической стойкости предоставленных образцов графитовых подшипников скольжения был проведен натуралистический эксперимент: в химический стакан (250 мл) помещали куски графитовых подшипников и заливали 30 %-м раствором гидроксида калия. Объем раствора составил 100 мл. Далее стакан помещали

в термостат на 14 дней при температуре $90 \pm 2^\circ\text{C}$. По истечении 14 дней образцы извлекали из раствора и промывали в проточной воде. Изменение морфологии поверхности исследуемых образцов оценивали с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Морфология поверхности исследуемых образцов после экспозиции в растворе гидроксида калия представлена на рисунке 3. Согласно полученным СЭМ изображениям, после экспозиции в 30 %-м растворе гидроксида калия установили, что происходит локальное растворение образца № 1. На поверхности образца № 2 областей растворения не наблюдается. Таким образом, китайский образец показывает гораздо меньшую стойкость в щелочной среде по сравнению с образцом производства РФ.



Образец № 1



Образец № 2

Рисунок 3 – СЭМ изображения поверхности образцов после воздействия щелочной среды

Выводы

В результате исследования поверхности образцов графитовых подшипников методом СЭМ установлено, что поверхность образца № 1 имеет неоднородный состав, тогда как поверхность образца № 2 характеризуется более однородным составом.

В результате EDX анализа был установлен элементный состав предоставленных образцов. Согласно данным элементного анализа, образец № 1 состоит из углерода и кремния; образец № 2 – преимущественно из углерода. Согласно анализу EDX, содержание углерода в исследуемых образцах отличается примерно в 2,6 раза.

В результате термогравиметрического анализа установлено, что минеральная (неорганическая) составляющая образца № 1 – 69,88 мас. %; образца № 2 – 3,79 мас. %. Данные ТГ анализа указывают на то, что произошло полное выгорание углерода, что подтверждено данными EDX анализа зольного остатка.

В результате РФА анализа исследуемых образцов подшипников установлено, что образцы состоят из следующих фаз:

- образец № 1: карбид кремния (SiC , Moissanite), оксид кремния (SiO_2), графит (C), гидрат силиката калия ($\text{K}_2\text{Si}_{14}\text{O}_{29} \cdot x\text{H}_2\text{O}$) и кремний (Si);
- образец № 2: графит (C).

В результате исследований химической стойкости предоставленных образцов установлено, что образец № 1 частично растворяется, что свидетельствует о его низкой химической стойкости в щелочной среде. После исследований химической стойкости образца № 2 установлено, что он не имеет областей растворения и сохраняет свою целостность, что свидетельствует о его химической стойкости.

Так как силикат калия хорошо растворим в воде, и при промывке насоса в подшипнике образуются микротрещины – происходит нарушение целостности, и последующий запуск насоса может привести к разрушению подшипника. Таким образом, использование подшипников скольжения из карбида кремния в химических насосах, перемещающих 30 %-й раствор гидроксида калия, нецелесообразно, так как в присутствии кислорода щелочи растворяют карбид кремния.

Список использованных источников

1. Барсуков В.Г., Крунич Б.С. Трибомеханика дисперсных материалов (технологические применения). – Гродно: ГрГУ, 2004. – 259 с.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Клейс И.Р., Ууэймыс Х.Х. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия. – М.: Машиностроение, 1986. – 286 с.
4. Жепицкий Ю.Я., Гребенчук П.С. Механизмы износа элементов химического оборудования и способы его оценки // Химическая технология и техника: материалы 87-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск: БГТУ, 31 янв. – 17 фев. 2023 г. – С. 92-95. [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/59214> (дата обращения 20.11.2023).

Информация об авторах

Виталий Станиславович Францкевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических и силикатных производств», УО «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь), e-mail: fvs2@tut.by.

Павел Сергеевич Гребенчук – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и аппараты химических и силикатных производств», УО «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь), e-mail: p_grebenchuk@mail.ru.

Андрей Владимирович Поспелов – научный сотрудник Центра физико-химических методов исследования, УО «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь), e-mail: Andrei29088@mail.ru.

Андрей Станиславович Агейчик – директор ООО «Ньютерм» (д. Озерцо, производственно-административное здание 600/С-94119, офис 17, Минская обл., Беларусь), e-mail: info@newtherm.by.

Information about the authors

Vitali Stanislavovich Frantskevich – Ph. D. (Engineering), Head of the Department “Machines and Apparatuses of Chemical and Silicate Production”, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova Str., 220006, Minsk, Belarus), e-mail: fvs2@tut.by.

Pavel Sergeevich Grebenchuk – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department “Machines and Apparatuses of Chemical and Silicate Production”, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova Str., 220006, Minsk, Belarus), e-mail: p_grebenchuk@mail.ru.

Andrey Vladimirovich Pospelov – Researcher at the Center for Physico-Chemical Research Methods, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova Str., 220006, Minsk, Belarus), e-mail: Andrei29088@mail.ru.

Andrey Stanislavovich Ageichik – Director of LLC “Newterm” (Ozertso village, industrial and administrative buil. 600/S-94119, office 17, Minsk region, Belarus), e-mail: info@newtherm.by.

Поступила в редакцию 29.11.2023 г.