

В.С. Францкевич, зав. кафедрой МиАХиСП, канд. техн. наук;  
П.С. Гребенчук, доц., канд. техн. наук;  
А.В. Поспелов, науч. сотр. (БГТУ, г. Минск);  
А.С. Агейчик (ОАО «Завод горного воска»)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛА ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ НАСОСОВ**

В последнее время резко возрастает значение графита в машиностроении и химическом аппаратостроении. Графит оказывается незаменимым антифрикционным материалом, заменяющим жидкое смазочное масло, и используется в различных условиях работы машин. Графитовые подшипники могут работать при температуре от 18 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.

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 элементарного состава материала вкладышей подшипников скольжения центробежных насосов и их химической стойкости в щелочной среде.

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 °С; 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).

С помощью метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) получены изображения поверхности графитовых подшипников.

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

Результаты исследования химического состава (EDX анализ) поверхности предоставленных образцов представлены в таблице.

**Таблица – Химический состав образцов в пересчете на оксиды**

Оксиды	№ образца	
	Содержание, мас. %	
	1	2
С	37.4	98.2
MgO	-	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.2	-
SiO <sub>2</sub>	61.4	0.6
SO <sub>3</sub>	-	0.1
K <sub>2</sub> O	-	0.3
FeO	-	0.1
Итого:	100,00	100,00

Для установления содержания минеральной (неорганической) составляющей применяли термогравиметрический (ТГ) метод анализа. В результате содержание зольного остатка для образцов 1 и 2 составило 69,88% и 3,79% соответственно. Из полученных данных можно выдвинуть предположение, что при проведении термического анализа произошло выгорание углерода, содержащегося в исследуемых образцах. Данное предположение подтверждается результатами химического EDX анализа, по результатам которого в составе зольного остатка исследуемых образцов углерода не обнаружено.

Рентгенофазный анализ образцов подтвердил вышеприведенные данные. Так анализ образца № 1 показал наличие дифракционных максимумов, соответствующих фазам: карбид кремния (SiC, Moissanite), оксид кремния (SiO<sub>2</sub>), графит (C), гидрат силиката калия (K<sub>2</sub>Si<sub>14</sub>O<sub>29</sub>·xH<sub>2</sub>O) и кремний (Si).

Известно, что представленные графитовые подшипники используются в химических насосах, перемещающих 30% раствор гидроксида калия (KOH). Следовательно, образование фазы силиката калия можно объяснить формулой (1):



Стоит отметить, что силикат калия хорошо растворим в воде и при промывке насоса в подшипнике образуются микротрещины, в следствии чего происходит нарушение целостности и последующий запуск насоса приводит к разрушению подшипника.

Рентгенофазовый анализ образца № 2 показал наличие дифракционных максимумов, соответствующих фазам: гидрокарбонат калия ( $\text{KHCO}_3$ , 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 рентгенофазового 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 входит 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% 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 извлекли 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 1.

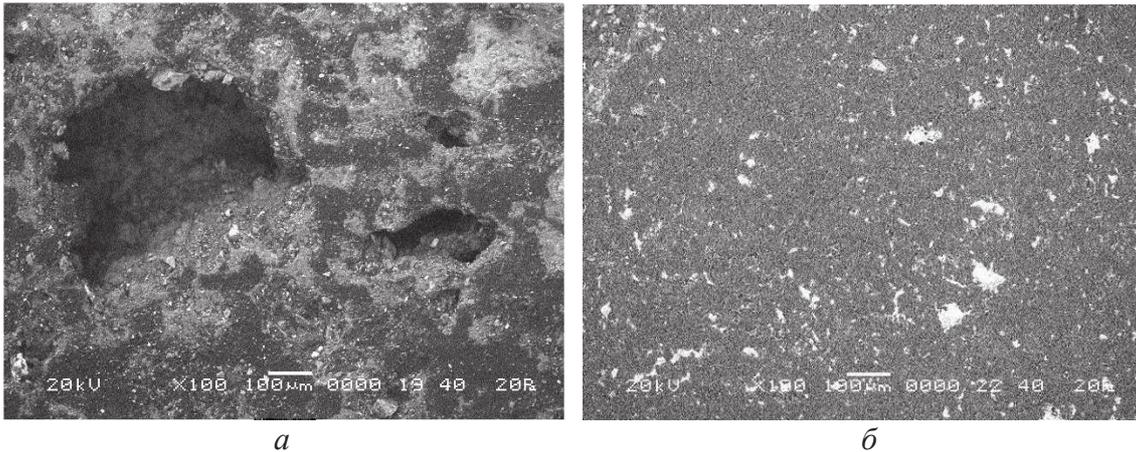
Согласно полученным СЭМ–изображениям, после экспозиции в 30% растворе гидроксида калия установлено, что происходит локальное растворение образца № 1 (см. рис. 1 а), на поверхности образца № 2 областей растворения не наблюдается (см. рис. 1 б).

Комплекс проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

– Поверхность образца № 1 имеет неоднородный состав, в то время, как поверхность образца № 2 характеризуется большей однородностью;

– Образец № 1 состоит из углерода и кремния, образец № 2 состоит из углерода. Различие в содержании углерода в исследуемых образцах составило  $\approx 2,6$  раза;

– Термогравиметрический анализ установил, что произошло полное выгорание углерода, что подтверждено данными EDX анализа зольного остатка;



*a* – образец №1; *б* – образец №2

**Рисунок 1 – Морфология поверхности образцов после экспозиции в растворе гидроксида калия**

– Данные рентгенофазного анализа подтверждают предыдущие тезисы;

– В результате исследований химической стойкости предоставленных образцов в 30% растворе гидроксида калия в течении 14 дней установлено, что образец № 1 частично растворяется, что свидетельствует о его низкой химической стойкости в данной агрессивной среде. После исследований химической стойкости образца № 2 установлено, что он не имеет областей растворения и сохраняет свою целостность, что свидетельствует о его химической стойкости в 30% растворе гидроксида калия;

– Так как силикат калия хорошо растворим в воде, при промывке насоса в подшипнике образуются микротрещины, вследствие чего 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 % KOH, нецелесообразно, так как в присутствии кислорода щёлочи растворяют карбид кремния.