

А.Е. Дубок, магистрант; А.А. Сипливеня, магистрант;  
Ю.Я. Жепицкий, магистрант (ОАО «ГродноАзот», г. Гродно);  
О.А. Петров, доц., канд. техн. наук;  
В.Н. Павлечко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ УПЛОТНЕНИЙ ШТОКОВ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Использование поршневых компрессоров в промышленности стартовало еще в начале прошлого столетия. Это один из первых изобретенных типов компрессоров, который способствовал прогрессу и развитию производственных мощностей, с которыми мы имеем дело на сегодняшний день. Область применения компрессоров, которые используют силу движения поршня при сжатии рабочих сред, достаточно многообразна [1].

На рисунке 1 *а, б* представлены газовый и маслосъемный сальниковые устройства. Это наиболее часто применяемые виды уплотнительных устройств штоков поршневых компрессоров.



**Рисунок 1 – Сальниковые устройства**  
*а* – газовый; *б* – маслосъемный

Ввиду простоты своей конструкции это одно из самых распространенных и давно известных уплотнительных устройств. Названия сальниковая набивка, сальник, сальниковый узел и другие сохранились с тех времён, когда для уплотнения в этих устройствах использовалась пропитанная жиром пенька. В современной промышленности используются другие материалы, в первую очередь антифрикционные полимерные материалы на основе фторопласта. Рассмотрим наиболее часто применяемые из них.

Флубон-15 и Флубон-20 – это материал на основе фторопласта-4, наполненного измельченными углеродными волокнами (соответственно 15% и 20%), полученными из тканей УТМ-8 или УТМ-8-1с,

обладающий рядом уникальных характеристик – низким коэффициентом трения (по стали 0,2) и малым износом сопряженных деталей [2].

При введении углеродных волокон антифрикционные свойства фторопласта повышаются в большей степени, чем при введении стеклянных волокон. Износостойкость Флубона-20 в 2000 раз выше износостойкости фторопласта-4.

Флубоны могут быть использованы для изготовления подшипников скольжения, уплотнительных колец сальниковых уплотнений штоков, сепараторов, подшипников качения, подвижных опор и других материалов узлов трения. Работающих в воздушной, жидкой или газовой средах и в вакууме в интервале температур от  $-260$  до  $+260^{\circ}\text{C}$  и кратковременно – до  $320^{\circ}\text{C}$ .

С целью повышения показателей теплопроводности, твердости, стойкости к истиранию, уменьшения коэффициента термического расширения, а также снижению степени деформации изделия под нагрузкой во фторопласт-4 вводят различные композиции, которые выносятся к температуре его переработки ( $3600^{\circ}\text{C}$ ):

- Ф4К20: смесь кокса и фторопласта Ф-4, применяется при производстве поршневых колец, манжет и уплотнительных колец сальниковых уплотнений штоков, работающих в вакууме, газах, сухом воздухе;

- Ф4К15М5: смесь кокса и фторопласта-4, дисульфида молибдена, применяются при производстве поршневых колец, сжимающих сухие газы, а также в сальниковых уплотнениях в подвижных соединениях;

- Ф4С15: смесь фторопласта-4 и размолотого стекловолокна, применяется для различных антифрикционных деталей, работающих в среде сухих агрессивных газов.

Графитофторопластовые материалы АФГМ, АФГ-80ВС, 7В-2А состоят из фторопласта-4, наполненного графитом. Содержание графита в АФГМ – 45%, АФГ-80ВС – 20% 7В-2А – 50%. Графитофторопластовые материалы имеют высокую износостойкость (износ за 100 ч работы 20-50 мкм). АФГМ, АФГ-80ВС – самосмазывающиеся материалы, рекомендуемые для использования в узлах трения, работающих без смазки. Диапазон рабочих температур от  $-186$  до  $+180$ ,  $+200$  и  $+250^{\circ}\text{C}$  соответственно. Материал 7В-2А используется для изготовления вкладышей упорных и радиальных подшипников скольжения различных агрегатов и машин, работающих в потоке жидкостей.

Антифрикционные материалы группы Флувис представляют собой материалы на основе фторопласта-4 и модифицированных углеродных волокон белорусской разработки и производства [3, 4]. Торговая марка

Флувис зарегистрирована в Национальном реестре интеллектуальной собственности Беларуси (свидетельство №15045 от 14.10.1999г.). Материалы группы Флувис представлены следующими сериями марок:

– флувис ТУ РБ 03535279.071-99 – универсальный материал отличается высокими износостойкостью и термостойкостью, низким коэффициентом трения без смазки, уникальной химической стойкостью, отличными уплотнительными свойствами. Выпускается трех марок: «Флувис 10», «Флувис 20», «Флувис 30»;

– вако-флувис ТУ ВУ 400084698.165-2002 – предназначен для работы в узлах трения, работающих в вакууме и сухих газах. Он содержит в своем составе дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ). Выпускается двух марок: «Вако-флувис 15», «Вако-флувис 20»;

Сравнительная характеристика физико-механических свойств некоторых серийно выпускаемых в СНГ композитов на основе ПТФЭ приведена в таблице 1.

**Таблица 1 – Сравнение физико-механических свойств**

Параметр	Фторопласт-4	Ф4К20	Флубон	Флувис-20
Наполнитель	нет	Кокс 20%	УВ 15...20%	УВ 18...20%
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2190	2050	более 1940	1940-2000
Прочность при растяжении, МПа	25-35	13-15	17-20	17-26
Прочность на сжатие при 10% деформации МПа	20		30-35	32-36
Твердость по Бринеллю, МПа	30-40	50	50-60	50-57
КТРЛ при 20-200 °С, 10 <sup>-5</sup> К <sup>-1</sup> . Вдоль/поперек	25	10-12	6,5-6,8	<u>12,5-14,2</u> 2,5
Износостойкость, отн. ед.	1	600	600	1000

Износостойкость материала – величина, трудно поддающаяся сравнению по литературным данным, так как триботехнические испытания проводятся при различных нагрузочно-скоростных режимах. В таблице приведены результаты сравнительных испытаний Флувиса с материалами российского производства в реальных условиях работы одного и того же компрессора [5].

Суперфлувис ТУ ВУ 400084698.178-2006 – при получении композита «Суперфлувис» используются углеродные волокна, покрытые тонким фторполимерным покрытием, что обеспечивает увеличение площади контакта поверхности наполнителя и фторопластовой матрицы.

Суперфлувис+ ТУ ВУ 400084698.280-2016 – надежен при работе в агрессивной среде и труднодоступных местах. В зависимости от состава материал выпускается двух марок: «Суперфлувис 10+» и «Суперфлувис+». Преимущество нового материала обусловлено усовершенствованием технологического процесса изготовления: фторполимерное нанопокрытие углеродных волокон гораздо лучше обеспечивает адгезию с фторопластовой матрицей.

Как видно из проведенного аналитического обзора, на отечественном рынке представлен широкий выбор полимерных антифрикционных материалов на основе фторопласта, обладающих уникальными физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками, не уступающими зарубежным аналогам. Применение этих материалов существенно снижает общий уровень износа деталей поршневых компрессоров, заметно увеличивая срок их эксплуатации и минимизирует вероятность отказа механизма во время работы, надежно защищая уплотняемые поверхности трущихся деталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пластинин, П. И. Поршневые компрессоры. Том 2. Основы проектирования. Конструкции: моногр. / П.И. Пластинин. - М.: КолосС, 2008. - 720 с.
2. ООО «СКМ». [Электронный ресурс]. URL: <http://ftorgrafit.ru>. (дата обращения: 30.01.2023).
3. Антифрикционные материалы Флувис. [Электронный ресурс]. URL: <http://fluvis.ru>. (Дата обращения: 30.01.2023).
4. ОАО «Гродненский механический завод». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gmz.by> (дата обращения: 30.01.2023).
5. Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси. [Электронный ресурс]. URL: <https://mpri.org.by/be/kompozicionnyyantifrikcionnyematerialygruppy-fluvis/> (дата обращения: 31.01.2023).