

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭРОПОРТОВ

На уровне промышленного внедрения показана возможность применения керамики на основе системы  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$  как в форме компактного материала, так и в форме износостойких защитных покрытий для деталей технологического оборудования аэропортов и авиационной наземной техники. Определены самые оптимальные технологические и производственные режимы получения изделий этой системы. Обоснована возможность применения композиционных материалов на основе  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$  для торцевых уплотнительных элементов насосных агрегатов для перекачки авиационного топлива.

Ключевые слова: торцевое уплотнение, композиционный материал, горячее прессование, износостойкость.

**Введение.** Надежность авиационной наземной техники и технологического оборудования аэропортов во многом определяет безопасность и регулярность полетов воздушных судов гражданской авиации, а также экономическую эффективность эксплуатации авиационной техники в целом. Эффективность и надежность технологического оборудования аэропортов определяется его ресурсом и необходимостью работ по техническому обслуживанию и ремонту.

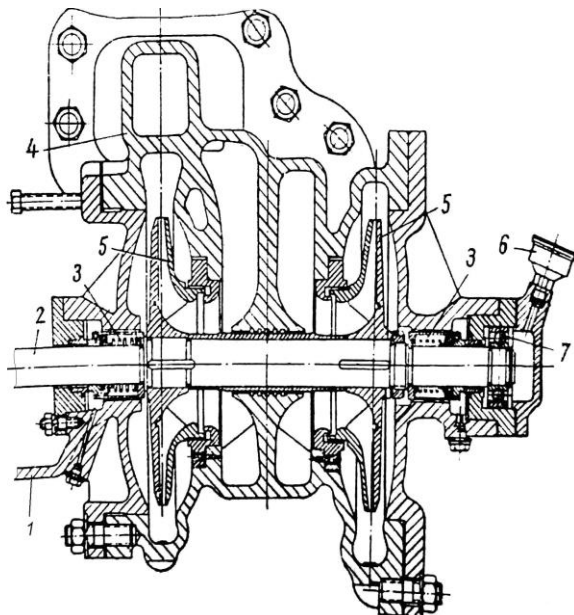


Рис. 1. Насос ЦСП-57: 1 – опорный узел; 2 – вал; 3 – уплотнительные узлы; 4 – корпус; 5 – рабочее колесо; 6 – устройство для смазки (пресс-масленка); 7 – шарикоподшипник.

Одним из самых распространенных агрегатов технологического оборудования аэропортов является насосная станция (компрессорная или генераторная станция) с приводом от энергоустановки. Как известно [1-2], ресурс, безопасность и производительность любой насосной станции решающим образом определяется долговечностью ее уплотняющих узлов, и основная доля трудоемкости обслуживания этих агрегатов также приходится на эти узлы.

В частности, в технологическом оборудовании аэропортов для

обеспечения герметичности в насосах, использующихся на технических средствах перекачки, заправки и транспортировки топлива применяют торцевые уплотнения. Такими являются насосы типа СЦН, СЦЛ и ЦСП (рис. 1.), которые широко применяются на топливозаправщиках (ТЗ-22) и в стационарном оборудовании насосных станций централизованных заправочных систем в службах горюче-смазочных материалов аэропортов.

Чтобы торцевые уплотнения этих насосных агрегатов отвечали всем ранее перечисленным требованиям, необходимо использовать коррозионно-стойкие, прочные и теплостойкие материалы. Торцевые уплотнения этих насосных агрегатов характеризуются следующими диапазонами параметров [3]:

- диаметр вала  $D_w$  в неразъемной конструкции, мм: – 40...60
- давление уплотняемой среды  $p_1$ , кгс/см<sup>2</sup>: –  $10^{-5}$ ...5
- нагрузка на контактную площадку кольцевых деталей, МПа 2...6
- температура окружающей среды  $t$ , °С: – 40 ... 50
- скорость скольжения  $v_g$  – несколько об/мин. ... 7 м/с и больше;
- контактная (уплотняющая) зона торцевого уплотнения работает в условиях сухого трения [5].

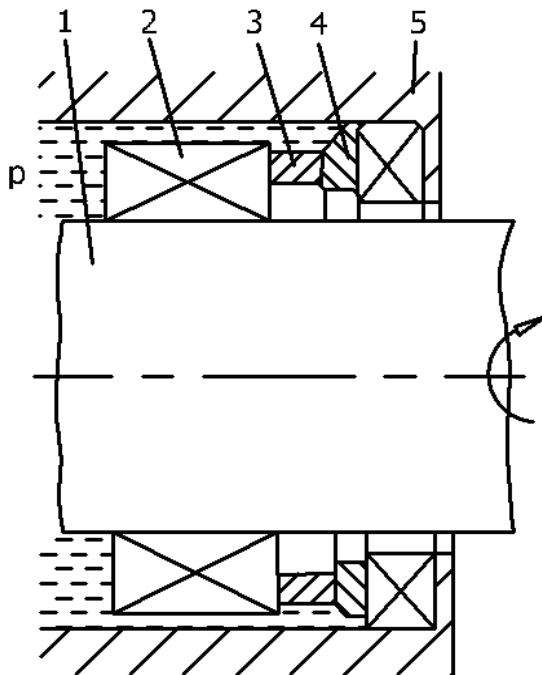


Рис. 2. Принципиальная схема торцевого уплотнения: 1- вал; 2 – упругий элемент; 3, 4 – трущиеся кольца; 5 – вал.

Торцевое уплотнение состоит в основном из трех элементов [4]: двух колец (неподвижного, размещенного в корпусе, и вращающегося кольца, размещенного на валу машины), которые образуют плоскую пару трения, и упругого элемента, обеспечивающего контакт в паре трения (рис.2.). Одно из этих колец должно иметь возможность аксиального перемещения, для чего в конструкции узла торцевого уплотнения обязательно присутствует упругий подвижной элемент (пружина, сильфон, мембрана), который вместе с нажимной втулкой и уплотняющим вращающимся кольцом, составляет аксиально-подвижной блок (или поджимной узел).

Этот упругий элемент обеспечивает контакт торцевых поверхностей в сочетании с кольцом пары, вращающимся или не вращающимся, при отсутствии поджимающей силы от давления среды [5].

Вращающееся кольцо 3, герметично соединенное с валом 1 упругим элементом 2, обеспечивающим постоянный плотный контакт колец 3 и 4 при вибрации и смещении вала, а также изнашивании элементов пары трения. Зазор в паре трения определяет потери жидкости или газа, находящихся в рабочем пространстве машины, аппарата или механизма 5 под давлением  $p$ .

Кроме того, обязательными элементами узла торцевого уплотнения являются вспомогательные (или второстепенные) уплотнения между вращающимся блоком и ротором, между статорным блоком и корпусом, а также устройства фиксации уплотняющих колец (установочные винты,

приводные штифты), которые служат для привода вращающегося кольца и фиксации от углового смещения (проворачивания) относительно корпуса не вращающегося кольца.

Выбор конструкции торцевого уплотнения в значительной степени определяется физико-химическими свойствами среды, для которой предназначено уплотнение: его агрегатным состоянием, давлением, температурой, вязкостью, содержанием взвешенных твердых частиц и солей, химической агрессивностью, вспышкой (при нагревании, в контакте с атмосферой), степенью опасности влияния на людей и окружающую среду. В частности, авиационное топливо может содержать большое количество присадок, способных оказывать коррозионное действие на стальные элементы конструкции. Из этого следует очень важный вывод, что на эффективность работы уплотняющего узла решающее влияние оказывают не конструктивные мероприятия, а именно сочетание материалов уплотняющих элементов.

Для деталей торцевых уплотнений применяются следующие классы материалов (рис. 3.):

Материалы для уплотняющих колец следует подбирать с учетом условий эксплуатации торцевого уплотнения, а также технологичности и экономичности изготовления уплотняющих колец. Сравнительная характеристика этих материалов приведена в табл. 1.

Условия эксплуатации уплотнений различного назначения существенно различаются, поэтому для каждой группы уплотнений необходимо рассматривать определенный комплекс параметров, которые характеризуют степень напряженности работы пары трения. Основными характеристиками уплотняющего узла являются два параметра: линейная скорость вращения  $V$  (м/с), и давление уплотняемой среды  $p$  (кг/см<sup>2</sup>) [6]. Из табл. 1. можно сделать вывод, что оптимальными характеристиками для торцевых уплотнительных элементов являются керамические материалы и покрытия из них.

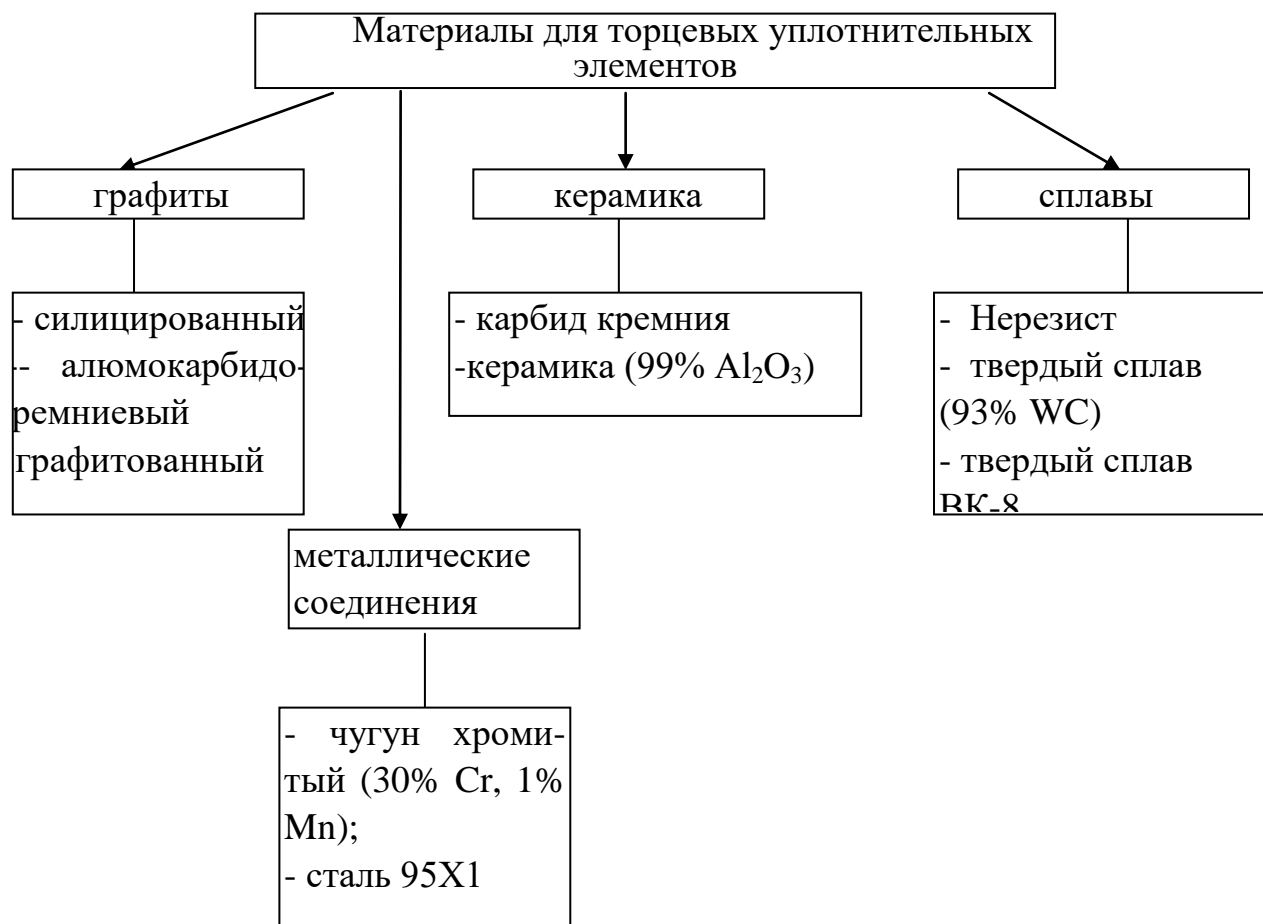


Рис. 3. Классы материалов для торцевых уплотнительных элементов.

Таблица 1.

**Сравнение классов материалов для торцевых уплотнений и их свойств**

Материалы	Свойства			
	Стоимость	Износостойкость	Коррозионная стойкость	pV-критерий
Графиты	Низкая	Низкая	Высокая	9-18
Стали, чугуны	Средняя	Средняя	Низкая	9-35
Сплавы ВК	Высокая	Высокая	Низкая	90
Керамические материалы	Низкая	Высокая	Высокая	150
Стали с композиционными покрытиями	Средняя	Высокая	Высокая	200

В качестве компонентов керамического материала были избраны карбид кремния и оксид алюминия [7]. Они относительно дешевы, сырье для их производства не являются дефицитными в ресурсной базе Украины. В

частности эти ингредиенты в достаточном количестве изготавливаются предприятиями Донецкий завод химреактивов и Запорожский абразивный

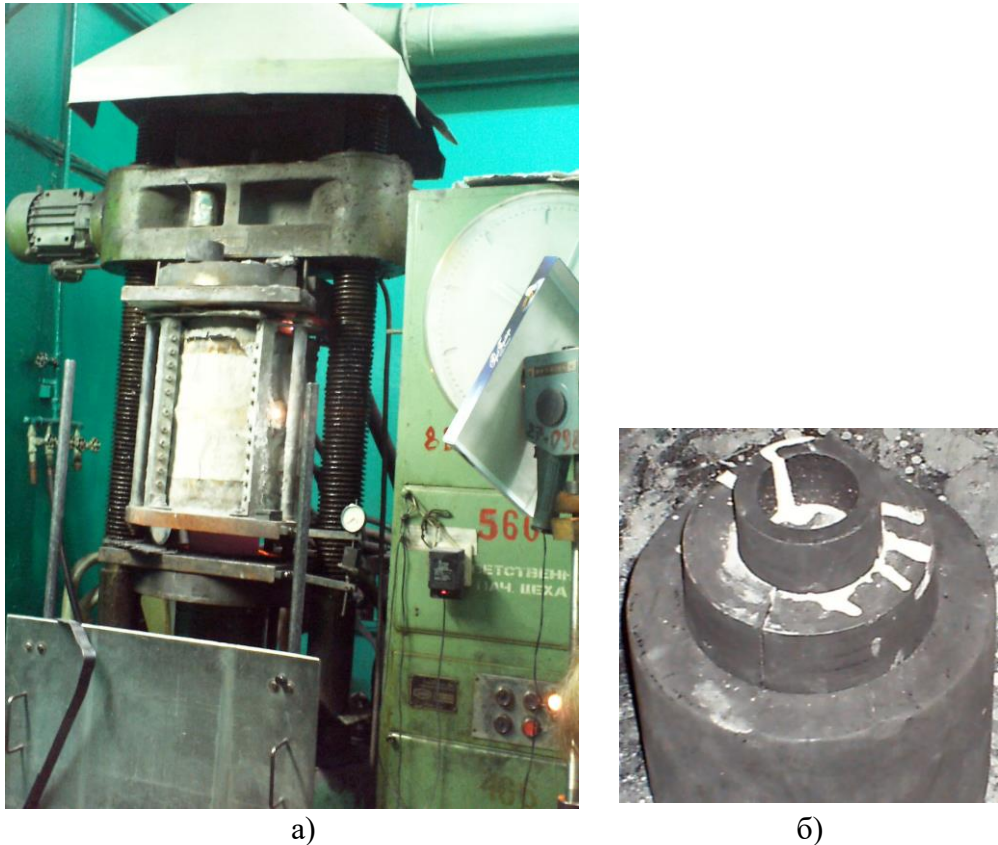


Рис. 4. Прессовая установка СПД-120 (а) и прессформа из высокопрочного графита МПГ-7 (б).

комбинат. **Цель и задачи исследования.** Разработка износостойких и коррозионностойких материалов и защитных покрытий из них из недорогостоящих компонентов и получаемых нересурсоемкими технологиями для торцевых уплотнительных элементов насосных агрегатов технологического оборудования аэропортов. Обоснование и оптимизация технологических режимов получения этих материалов и защитных покрытий из них относительно основных эксплуатационных свойств уплотнительных материалов: износостойкости, сплошности (пористости) и плотности.

**Методы исследования.** Для получения шихты карбидокремниевой керамики с различными добавками оксида алюминия и оксида циркония использовали исходные порошки: карбид кремния марки 64С (ГОСТ 26 327 – 84) средним размером 45-55 мкм, оксид алюминия (ТУ 6-09-03-350-73) с частицами средним размером 45-50 мкм и оксид циркония (ТУ 6-09-2486-77) с частицами средним размером 15-30 мкм; никель марка Н-0 (ГОСТ 849-70) с частицами средним размером 20-30 мкм и алюминий ПА-4 (ГОСТ 6058-73) с частицами средним размером 90-110 мкм.

*Горячее прессование керамики осуществляли на установке СПД-120 с индукционным нагревом без защитной атмосферы (рис. 4.).*

**Результаты исследования и их обсуждения.** Композиция  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$  обладает одной очень важной технологической особенностью для получения кольцевых изделий. Ее коэффициент термического расширения значительно больше чем у графита во всем диапазоне температур получения керамики 20-1870°C. Что позволяет графитовому сердечнику нагреваясь и остывая не разрушать кольцо во внутреннем отверстии.

На основании проведенных исследований [7] был избран состав и разработана технология получения керамических материалов системы  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$  и покрытий [8] с износостойкой составляющей  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$  и металлической связкой Ni-Al с высокими триботехническими свойствами. Обосновано применение стальных барабанов и стальных размольных тел для шихты  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$ , что существенно удешевляет процесс получения керамических изделий. Была произведена партия кольцевых деталей торцевых уплотнительных элементов и обработаны до номинальных размеров (рис. 5.).

Разработаны рекомендации по использованию керамики системы  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$  для кольцевых деталей торцевых уплотнительных элементов. Проведенные в условиях службы горюче-смазочных материалов летной и доводочной базы аэропорта «Гостомель» государственного предприятия «Антонов» (г. Киев) стендовые испытания колец показали высокую



Рис. 5. Кольцевые детали торцевых уплотнительных элементов.

износостойкость превышающую износостойкость серийных колец насоса ЦСП-57 из графита СГ-П в 3,5 раза.

Разработанная износостойкая композиция  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$  и обоснована металлическая связка Ni-Al, которая может быть рекомендована для нанесения износостойких покрытий на стальные детали уплотнительных элементов и участков валов, с целью упрочнения или восстановления. Опытно-производственная проверка покрытий нанесенных методом высокоскоростного воздушно-топливного напыления на государственном предприятии завод №410 ГА показала, что износостойкость полученных покрытий в 2,2 раза превышает износостойкость покрытий из твердого сплава ВК-6.

**Выводы.** Проведенные исследования системы  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$  позволили оптимизировать технологические режимы получения компактных материалов и газо-термических покрытий, а опытно-эксплуатационные испытания на предприятиях ГП «Антонов» и завод №410 ГА показали возможность и высокую эффективность применения этих композиционных

матеріалів для торцевих уплотнительных элементов насосных агрегатов.

### Список использованных источников

1. Лісафін В. П., Лісафін Д. В. Проектування та експлуатація складів нафти і нафтопродуктів: Підручник. – Івано-Франківськ: Факел, 2006. – 597 с.
2. Никитин Г. А., Ипатов А. М. Спецоборудование аэропортов. – М.: Транспорт, 1979. – 175 с.
3. Голубев В.И. Уплотнение и уплотнительная техника: Справочник / Под общ. ред. Голубева В.И. – М: Машиностроение, 1994 г. – 356 с.
4. Lebeck A. O. Principles and Design of Mechanical Face Seals. – New York, – 1991. – 764 p.
5. Мельник В. А. Форма поверхностей контактного стыка пары трения торцового уплотнения. Расчет характеристик торцового уплотнения // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – № 2. – С. 28-31.
6. Мельник В. А. Торцовые уплотнения валов: Справочник. – М.: Машиностроение, - 2008. – 320 с.
7. О. П. Уманський, А. Г. Довгаль, В.І. Суботін, О.Д. Костенко Розроблення керамічного зносостійкого матеріалу на основі карбїду кремнію для високошвидкісних вузлів тертя. // Вісник НАУ. №1. 2011. С 65-71.
8. А. П. Уманский, А. Г. Довгаль Разработка металлокерамических материалов и покрытий на основании системы SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для торцевых уплотнений центробежных насосов технологического оборудования аэропортов. // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2011», - том. 2. – К.: 2011, - С. 13.5-13.8.

### Анотація

На рівні промислового упровадження показана можливість вживання кераміки на основі системи SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> як у формі компактного матеріалу, так і у формі зносостійких захисних покриттів для деталей технологічного обладнання аеропортів і авіаційної наземної техніки. Визначені найоптимальніші технологічні і виробничі режими отримання виробів цієї системи. Обґрунтована можливість використання композиційних матеріалів на основі SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для торцевих ущільнювачів елементів насосних агрегатів для перекачування авіаційного палива.

Ключові слова: торцеве ущільнення, композиційний матеріал, гарячіше пресування, зносостійкість.

### Annotation

At the level of commercial introduction the feasibility of SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based ceramics application both either a compact material or a wearproof coating for the components of airport equipment and ground support equipment has been proven. The most optimum technological and manufacturing modes of wares acquisition made of these ingredients have been determined. Application of composition materials made of SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for face sealing elements of pumping plant for aviation fuel has been justified.

Keywords: face sealing, composition material, hot pressing, wearproof.