

УДК 532.64.669(045)

А.А. ТАМАРГАЗИН, А.Г. ДОВГАЛЬ, Л.Б. ПРИЙМАК

Национальный авиационный университет, Киев, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ УПЛОТНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НАЗЕМНОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

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 используемых для деталей энергетических установок технологического оборудования аэропортов и авиационной наземной техники. Определены самые оптимальные технологические и производственные режимы получения изделий на основе этой системы. Обоснована возможность применения композиционных материалов на основе $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$ для торцевых уплотнительных элементов механических нагнетателей двигателей внутреннего сгорания.

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.

Многие двигатели силовых установок авиационной наземной техники оборудованы нагнетателями. Как известно, ресурс, безопасность и производительность таких агрегатов решающим образом определяется долговечностью их уплотняющих узлов, и основная доля трудоемкости обслуживания этих агрегатов также приходится на эти узлы. Для обеспечения герметичности в нагнетателях применяют торцевые уплотнения.

Чтобы эти торцевые уплотнения отвечали всем ранее перечисленным требованиям, необходимо использовать коррозионностойкие, прочные и теплостойкие материалы. Торцевые уплотнения этих насосных агрегатов характеризуются следующими диапазонами параметров [1]:

- диаметр вала D_W в неразъемной конструкции, 40...60 мм;
- давление уплотняемой среды, 10^{-5} -5 кгс/см²;
- нагрузка на контактную площадку кольцевых деталей, 2-6 МПа
- температура окружающей среды, 40-50 °С;

- скорость скольжения ≥ 7 м/с;
- контактная (уплотняющая) зона торцевого уплотнения работает в условиях сухого трения [3].

Торцевое уплотнение состоит в основном из трех элементов [2]: двух колец (неподвижного, размещенного в корпусе, и вращающегося кольца, размещенного на валу), которые образуют плоскую пару трения, и упругого элемента, обеспечивающего контакт в паре трения (рис. 1).

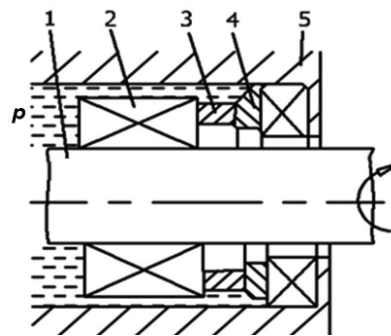


Рис. 1. Принципиальная схема торцевого уплотнения: 1 – вал; 2 – упругий элемент; 3, 4 – трущиеся кольца; 5 – вал

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 [3].

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 механизма 5 под давлением p .

Кроме того, обязательными элементами узла торцевого уплотнения являются вспомогательные (или второстепенные) уплотнения между вращающимся блоком и ротором, между старторным 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.

На эффективность работы уплотняющего узла решающее влияние оказывают не конструктивные мероприятия, а сочетание материалов уплотняющих элементов. Для деталей торцевых уплотнений применяются следующие классы материалов: графиты (силицированный, алюмокарбидо-кремниевый, графитованный); металлические соединения (чугун хромистый, сталь 95Х1); керамика (карбид кремния, керамика (99% Al_2O_3)); сплавы (нерезист, твердый сплав (93% WC), твердый сплав ВК-8). 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.

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

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 ($кг/см^2$) [4]. Из табл. 1 можно сделать вывод, что оптимальными характеристиками для торцевых уплотнительных элементов являются керамические материалы и покрытия из них.

В качестве компонентов керамического материала были избраны карбид кремния и оксид алюминия [5]. Они относительно дешевы, сырье для их производства не является дефицитным в ресурсной базе Украины. В частности эти ингредиенты в достаточном количестве изготавливаются предприятиями Донецкий завод химреактивов и Запорожский абразивный комбинат.

Таким образом, целью наших исследований была разработка износо- и коррозионностой-

ких материалов и защитных покрытий из них из недорогостоящих компонентов и получаемых нересурсоемкими технологиями для торцевых уплотнительных элементов нагнетателя. 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. Для получения конечной шихты ее исходные компоненты размалывали в планетарной мельнице «Санд-1» стальными размольными телами в среде ацетона. Это производили для более равномерного распределения компонентов шихты и измельчения до размера менее 5 мкм с целью получения готовой компактной керамики такой же зернистости. Этот размер зерна был избран исходя из следующих соображений. Кольцевые изделия уплотнительных элементов могут группироваться по двум схемам «керамика-керамика» и «сталь-керамика». Таким образом из ранее проведенных исследований известно, что абразив зернистостью менее 5 мкм не изнашивает стальные контрповерхности, а напротив повышает ее износостойкость за счет выглаживания и заполнения микронеровностей. Для сохранения такой зернистости и ее контроля шихту постоянно исследовали гранулометрическим анализом на анализаторе «Laser Micron Sizer» и таким образом определяли оптимальное время размолла для предотвращения перерасхода энергоресурсов в технологическом процессе.

Горячее прессование керамики осуществляли на установке СПД-120 с индукционным нагревом без защитной атмосферы (рис.2).

Данная установка представляет собой гидравлический пресс который дополнительно оборудован нагревательным элементом, который опускается при помощи винтового механизма приводимого в движение электрическим двигателем. Нагревательный элемент электрического типа уложен в футеровочную глину. Для предотвращения термического воздействия на агрегаты гидравлического пресса верхние и нижние его опорные плиты имеют водяное охлаждение.

Нагрузка, прилагаемая к опорным плитам пресса, контролируется при помощи динамометрического датчика со стрелочным индикатором. Температура процесса контролируется при помощи прямого оптического контакта с поверхности формы с применением «Луч-3». Начало усадки и ее кинетика контролируется при помощи микрометрического индикатора часового типа. Для защиты оператора от воздействия температуры применяется защитный экран. Для обеспечения надлежащего качества воздуха цех оборудован вытяжкой.

Горячее прессование проводили по следующей схеме. Вначале прикладывали номинальную нагрузку в размере 2,5 т. И начинали медленный разогрев, который прекращали сразу же после начала интенсивной усадки. Дальнейший разогрев нецелесообразен, так как может привести к термической гомогенизации шихты и привести к рекристаллизационному росту

зерен керамики, что приводит к существенному ухудшению свойств композита. Форма пригодна для прессования, как керамических, так и металлокерамических составов шихты.



а



б

Рис. 2. Прессовая установка СПД-120 (а) и пресс-форма из высокопрочного графита МПГ-7 (б)

Шихта определенной концентрации засыпается в форму из высокопрочного графита МПГ-7, который легко обрабатывается на токарно-винторезном станке и позволяет производить форму практически любой геометрической конфигурации. Для предотвращения прилипания компонентов шихты к стенкам графитовой формы ее смазывают ацетоновым раствором нитрида бора. Для чего в геометрических размерах готового изделия нужно было предусмотреть соответствующий припуск под финишную обработку и удаление дефектного слоя во избежание ухудшения механических свойств готового изделия.

Так как прессовая установка не имеет защитной атмосферы, то со временем происходит выгорание основных элементов формы. Но одна форма вполне пригодна для 150-200 садок в зависимости от температуры прессования, что вполне обеспечивает окупаемость процесса производства за счет существенного повышения износостойкости готовых изделий.

Технология прессования кольцевых деталей имеет одну особенность. Так как кольцевая деталь имеет графитовый сердечник в форме, то коэффициент термического расширения готового изделия из шихты должен быть больше чем у графита. Иначе может произойти разрыв кольцевого изделия, что существенно ухудшит его свойства. Иногда в некоторых случаях необходимо применять горячую распрессовку, пока еще не произошло остывание графитового сердечника и остывание самого кольцевого изделия.

Результаты исследования

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 °С. Что позволяет графитовому сердечнику нагреваясь и остывая не разрушать кольцо во внутреннем отверстии.

На основании проведенных исследований [5] был избран состав и разработана технология получения керамических материалов системы $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$ и покрытий [6] 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. 3).

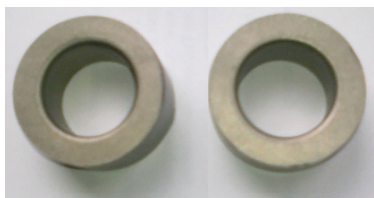


Рис. 3. Кольцевые детали торцевых уплотнительных элементов

Разработаны рекомендации по использованию керамики системы $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$ для кольцевых деталей торцевых уплотнительных

элементов. Проведенные в условиях службы спецтранспорта аэропорта «Гостомель» государственного предприятия «Антонов» (г. Киев) стендовые испытания колец показали высокую износостойкость, превышающую износостойкость серийных колец, используемых в нагнетателях энергетических установок авиационной наземной техники 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.

Заключение

Проведенные исследования системы $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$ позволили оптимизировать технологические режимы получения компактных материалов и газотермических покрытий, а опытно-эксплуатационные испытания на предприятиях ГП «Антонов» и завод №410 ГА показали возможность и высокую эффективность применения этих композиционных материалов для торцевых уплотнительных элементов механических нагнетателей двигателей внутреннего сгорания.

Литература

1. Голубев В.И. Уплотнение и уплотнительная техника [Текст]: Справочник / Под общ. ред. Голубева В.И. – М: Машиностроение, 1994. – 356 с.
2. Lebeck A.O. Principles and Design of Mechanical Face Seals [Texte] / A.O. Lebeck. – New York, 1991. –764 p.
3. Мельник В. А. Форма поверхностей контактного стыка пары трения торцевого уплотнения. Расчет характеристик торцевого уплотнения [Текст] / В.А. Мельник // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – № 2. – С. 28-31.
4. Мельник В. А. Торцевые уплотнения валов [Текст]: Справочник. / В.А. Мельник – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
5. Уманський О.П. Розроблення керамічного зносостійкого матеріалу на основі карбїду кремнію для високошвидкісних вузлів тертя. [Текст] / О.П. Уманський, А.Г. Довгаль, В.І.Суботін, О.Д.Костенко.// Вісник НАУ. №1, 2011.– С 65-71.

6. Уманский А.П. Разработка металлокерамических материалов и покрытий на основании системы SiC-Al₂O₃ для торцевых уплотнений центробежных насосов технологического обо-

рудования аэропортов. [Текст] / А.П. Уманский, А. Г. Довгаль. // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2011». – К.: 2011. – С. 13.5-13.8.

Поступила в редакцию 26.05.2017 г.

О.А. Тамаргазін, А.Г. Довгаль, Л.Б. Приймак. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей ущільнення механічних нагнітачів енергетичних установок наземної авіаційної техніки

На рівні промислового впровадження показано можливість застосування кераміки на основі системи SiC-Al₂O₃ як у формі компактного матеріалу, так і у формі зносостійких захисних покриттів, що використовуються для деталей енергетичних установок технологічного обладнання аеропортів та авіаційної наземної техніки. Визначено найбільш оптимальні технологічні і виробничі режими одержання виробів на основі цієї системи. Обґрунтовано можливість застосування композиційних матеріалів на основі SiC-Al₂O₃ для торцевих ущільнювальних елементів механічних нагнітачів двигунів внутрішнього згорання.

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

A.A. Tamargazin, A.G. Dovgal, L.B. Pryimak. Increase of operational properties of aviation ground equipment power plants mechanical seals blowers details

At the level of industrial implementation the possibility of application of ceramics based on the system of Al₂O₃-SiC is shown in the form of a compact material, as a wear-resistant protective coatings of parts used for power plants and technological equipment of airports and aviation ground equipment. Determined the optimal technological and industrial modes of obtaining products on the basis of this system. The possibility of composite materials based on SiC-Al₂O₃ using for edge sealing of mechanical superchargers elements of internal combustion engines is defined.

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