

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ В НАСОСНОМ ОБОРУДОВАНИИ

CURRENT STATUS AND PERSPECTIVES OF SLIDE BEARINGS BASED ON CERAMICS AND HARDMETALS IN PUMP APPLICATIONS

ВАШАРИН Сергей Александрович, начальник КБ перспективных разработок,
ФЕДОРОВ Андрей Евгеньевич, начальник группы маркетинга,
КОЧЕРГА Лев Николаевич, начальник отдела перспективных разработок,
ООО «Вириал»,
Россия, 194156, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, 27, корпус 143А

Abstract. The paper describes the current status of the slide bearings based on hardmetals and engineering ceramics for pump applications. Examples of innovative material solutions for severe operating conditions are reviewed. Highlighted are the promising development strategies for ceramics in tribotechnical applications, offering new solutions for tribotechnical problems aimed at improved reliability and service life for the state-of-the-art designs.

Введение

Подшипники скольжения являются неотъемлемой частью многих агрегатов, широко применяются в насосах, компрессорах, электродвигателях, энергетическом оборудовании и т. д.

В настоящее время применение высокотвердых износостойких материалов на основе керамики и твердых сплавов в области триботехнических узлов (подшипников качения и скольжения, пар трения контактных уплотнений валов, направляющих и пр.) стало общепринятой тенденцией в определенных отраслях. В ряде сегментов машиностроения такие подшипники с элементами из керамических и металло-керамических материалов де-факто стали стандартом отрасли, нашедшем отражение в ряде нормативно-технических документов. Это обусловлено рядом уникальных физико-механических свойств (Таблицы 1, 2), присущих керамическим материалам:

- высокой твердости
- коррозионной стойкости
- теплостойкости

- температурной стабильности
- низкому коэффициенту трения

Перечисленные свойства обуславливают эксплуатационные преимущества узлов трения с применением керамических элементов: возможность эксплуатации при высоких температурах и в агрессивных (коррозионно-активных и абразивосодержащих) средах, низкие потери мощности на трение, долговечность.

Пример такого применения – это агрегаты для нефте-газодобывающей и химической промышленности, такие как:

- установки электроцентробежных насосов (УЭЦН);
- насосы поддержания пластового давления (ППД) типа ЦНС и ЭЦН;
- нефтяные магистральные насосы НМН и подпорные типа НПВ;
- герметичные насосы с магнитной муфтой и с экранированным статором, типа ЦГ, НГ, БЭН (напр. по ОСТ 26-06-1492-87);
- объемные (роторно-пластинчатые и пр.)

Таблица 1

Свойства твердых сплавов

Характеристика	Материал			
	ВК8 ТУ 1965-018- 23042805-2009	CBN8 ТУ 1967-019- 23042805-2009	КНТ16 ТУ 1965-024- 23042805-2012	КНТ20 ТУ 1965-024- 23042805-2012
Хим. состав	WC≈92%; Co≈8%	WC≈92%; Ni≈8%	TiCN≈74%; Ni≈19,5%; Mo≈6,5%	TiCN≈80%; Ni≈20
Плотность, г/см ³	14,8	14,7	6	6,2
Предел прочности при изгибе, МПа	2800	2400	1800	2000
Модуль Юнга	590	590	430	400
Твердость по Роквеллу, HRA	91	90	91	90
Коэффициент термического расширения, ×10 ⁻⁶ 1/К	5,1	5,1	8,5	9
Коэффициент трения в воде	0,01	0,01	0,01	0,01

Таблица 2

Свойства керамических материалов

Характеристика	Материал			
	РКК ТУ 1915-010- 23042805-2003	РКК ТУ 1915-015- 23042805-2009	СКК ТУ 1915-036- 23042805-2010	Диоксид циркония
Плотность, г/см ³	3,08	3,02	3,15	6,03
Предел прочности при изгибе, МПа	390	280	400	900
Модуль Юнга	390	380	405	205
Микротвердость, ГПа	28	28	28	13
Трещиностойкость, МПа×м ^{0,5}	4	3,5	4	9
Коэффициент термического расширения, ×10 ⁻⁶ 1/К	3,5	3,5	4	11
Коэффициент трения в воде	≤0,01	≤0,01	≤0,01	≤0,01*

* для диоксида циркония коэффициент трения определен в масле.

Основные области применения керамических и твердосплавных материалов в триботехнических узлах

1. Насосы для добычи и транспортировки нефти

1.1. УЭЦН – установки погружных электроцентробежных насосов.

В настоящее время в России основной объем нефти добывается при помощи установок погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН). Общий действующий фонд скважин по состоянию на 31 декабря 2012 года – 139 тыс. штук. При этом число скважин, на которых добыча нефти производится с помощью УЭЦН, составляет 83 тыс. шт. или 60%

общего фонда, которые обеспечивают добычу ~70 – 75 % всего объема нефти.[1]

В последнее время отмечается значительное усиление конкуренции среди производителей УЭЦН, в том числе выход на рынок новых игроков, которое привело к развитию научно-технического потенциала производителей оборудования, разработке новых видов продукции или существенному улучшению характеристик изделий¹.

Рост количества скважин с осложненными условиями эксплуатации (механические примеси, коррозионная активность, повышенное содержание солей и пр.), приводит к резкому повышению требований к коррозионной и эрозионной стойкости подшипниковых узлов. Активное применение высокотвердых керамических материалов в УЭЦН (рисунки 1-8), привело к росту наработки на отказ до уровня в 1000 суток эксплуатации².

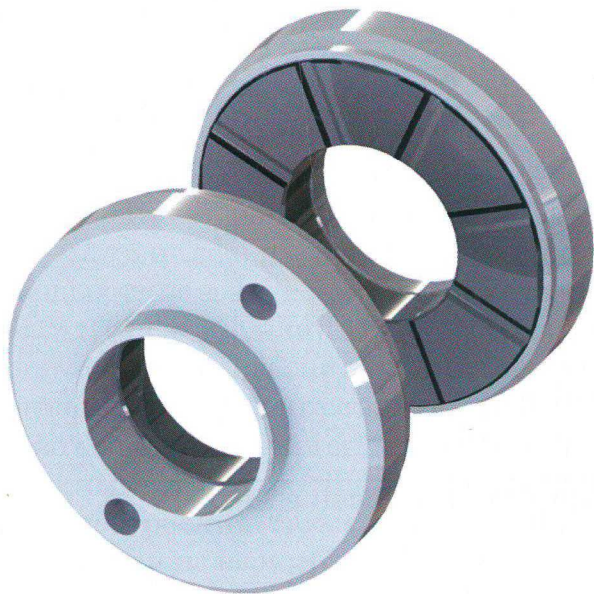


Рис. 1. Подшипник протектора гидрозащиты

¹ В частности, значительно увеличилась доля оборудования в коррозионно-износостойком исполнении за счет снижения доли оборудования в обычном исполнении (со ступенями из серого чугуна).

² Гарантийный срок эксплуатации по данным компании Новомет-Пермь



Рис. 2. Подшипник ПЭД



Рис. 3. Подшипник ЭЦН

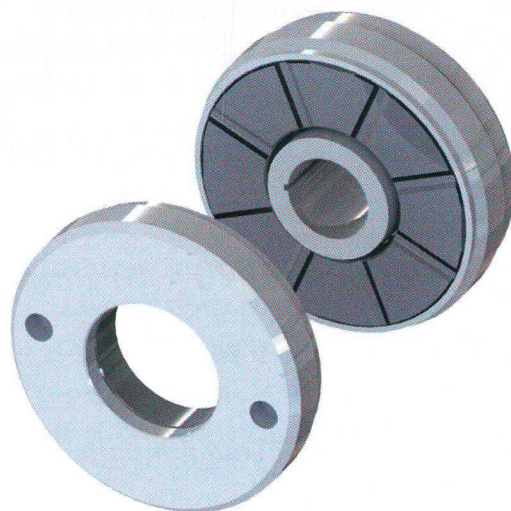


Рис. 4. Подшипник модуля входного специального МНГБ



Рис. 5. Подшипник газосепаратора

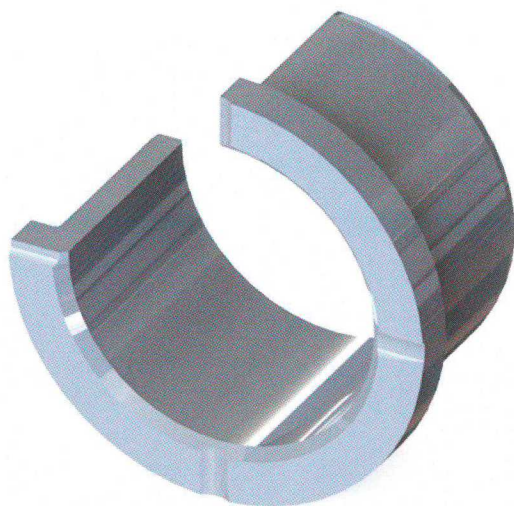


Рис. 8. Элемент подшипника ЭЦН



Рис. 6. Подшипник ЭЦН



Рис. 7. Подшипник ЭЦН

Зарубежные компании, производящие УЭЦН (Schlumberger, Baker Hughes и пр.) так же широко используют в своих погружных насосах подшипниковые узлы из высокотвердых износостойких керамик и твердых сплавов (карбид кремния, диоксид циркония, карбид вольфрама). Таким образом, применение твердых сплавов и керамик в подшипниковых узлах УЭЦН для сложных условий эксплуатации, фактически стало стандартом отрасли, отраженным в технических требованиях нефтедобывающих компаний (Роснефть, Лукойл, Газпромнефть и пр.)

1.2. Насосы поддержания пластового давления (типа ЦНС)

В насосах поддержания пластового давления (ППД) типа ЦНС все больше производителей приходят к применению подшипников скольжения, смазываемых перекачиваемой средой. Учитывая высокую коррозионную активность закачиваемых в пласт жидкостей (например, т.н. «сеноманской» воды) и возможное наличие твердых мехпримесей, наибольший технико-экономический эффект дает применение высокотвердых керамических и металлокерамических материалов в узлах подшипников скольжения. ПАО Сумский завод «Энергомаш», использует в узлах подшипников твердый сплав СН8Гр2, российские

производители насосов ППД³ – металлокерамические сплавы на основе карбидов титана и керамику (рисунок 9). Использование таких материалов дает возможность обеспечения ресурса подшипников до 30 000 часов.



Рис. 9. Подшипник насоса ППД

2. Энергетические насосы

2.1. Питательные насосы для ТЭЦ

При эксплуатации питательных насосов на ТЭЦ к ним предъявляются повышенные требования к надежности и эффективности применения. В частности, подшипники скольжения должны работать в составе насоса без заметного снижения параметров и замены, как правило, не менее 10 тысяч часов. Использование подшипников скольжения из высокотвердых композиционных материалов (керамик и твердых сплавов) позволяет не только обеспечить указанный ресурс, но и упростить конструкцию насоса, в части обеспечения принудительной смазки узла.

2.2 Конденсатные насосы для ТЭЦ

Конденсатные насосы предназначены для подачи конденсата отработанного пара стационарных паровых турбин, конденсата греющего пара из теплообменных аппаратов. В зависимости от места установки в энергетическом блоке конденсатные насосы могут быть I и II подъема. Насосы I подъема пред-

назначены для подачи конденсата отработанного пара стационарных паровых турбин, конденсата греющего пара из теплообменных аппаратов. Насосы II подъема – одноступенчатые спирального типа с коленом двустороннего входа, предназначены для подачи конденсата в деаэраторы ТЭЦ.

Например насосы типа 1КсВ предназначены для перекачивания водного конденсата или пресной воды температурой до 160 °С, pH 6,3...9,2, с содержанием твердых включений, концентрацией не более 5 мг/л с максимальным размером 0,1 мм [2].

Так, в ОАО «ГМС насосы» (г. Ливны) разработана новая конструкция насоса 1КсВ125-140-1 с использованием инновационных подшипников ООО «Вириал» из композиционных материалов на основе коррозионностойкого твердого сплава (рисунок 10). Использование такого подхода позволило значительно увеличить ресурсные характеристики насоса, особенно при наличии в перекачиваемой среде твердых абразивных частиц. Сейчас насос проходит подконтрольную эксплуатацию на Волжской ТЭЦ-2 в Волгограде.

Предварительная ревизия насоса показала удовлетворительное состояние подшипников скольжения. При контрольном измерении рабочих поверхностей после 800 часов работы износа выявлено не было.

На основании полученных результатов в ОАО «ГМС Насосы» было принято решение о расширении применения аналогичных подшипников на другие типоразмеры насосов конденсатного типа, вместо подшипников скольжения из металлофторопласта.

³ ООО «Насосы ППД», ЗАО «Гидромаш-сервис», ОАО «Воткинский завод».



Рис. 10 – Подшипники скольжения на основе износо-коррозионностойкого твердого сплава

3. Герметичные насосы

Герметичные насосы широко применяются в химической и нефтехимической промышленности. Очень важным критерием для таких насосов, определяющим ресурс всего агрегата в целом, является стойкость подшипников скольжения в перекачиваемой жидкости. Для обеспечения требуемых параметров по стойкости для узлов трения многие производители как отечественные, так и зарубежные используют подшипники скольжения из керамических материалов (рисунок 11). В качестве примера можно привести таких производителей как ЗАО «Гидродинамика», ЗАО «Гидрогаз», НПО «Герметичные насосы», немецкая компания KSB и пр.

Перспективные направления использования керамических материалов в триботехнических узлах

Интенсивное развитие промышленности требует решения новых задач в области триботехники. Развитие космических исследований, авиадвиглестроения, атомной энергетики требует обеспечения работоспособности узлов трения в широком диапазоне температур (от криогенных до 1500° С), в ваку-

уме, в агрессивных средах (в том числе биологических), в жидкостях, не обладающих смазочным действием, в том числе в жидких металлах, в условиях интенсивной радиации.

Другой проблемой является повышение надежности, долговечности и коэффициента полезного действия для машин и агрегатов автомобильной, тракторной, судостроительной и других отраслей. Успешное решение этой проблемы связывается с применением керамических материалов. [3]

1. Газотурбинные авиационные двигатели и энергетические установки

Одно из перспективных направлений по разработке новых износостойких керамических композиционных материалов – материалы для работы в экстремальных условиях, характерные для современных газотурбинных авиационных двигателей, энергетических установок и других высокоответственных изделий машиностроения, эксплуатирующихся в условиях повышенных температур (более 1500 °С) и сверхвысоких скоростей трения в условиях обедненной смазки.

К примеру, специалистами ООО «Вириал», совместно со специалистами ОАО «Климов» была произведена модернизация мультипликатора и разра-

ботан новый радиально-осевой подшипник скольжения. Условия работы узла:

- среда – масло;
- частота вращения – до 46 000 об/мин (линейная скорость скольжения до 123 м/с);

- радиальная нагрузка на опору – до 650 кгс (удельная нагрузка до 2,5 МПа);
- ресурс – 10 ч;
- сохранение имеющихся габаритов и условий смазки.



Рис. 11. Подшипники скольжения герметичных насосов

Этот узел является самым нагруженным в данном мультипликаторе ($pV=305$ МПа $\times$ м/с). Исторически в данном узле применялись подшипники скольжения с баббитовым покрытием. Данные подшипники обладали очень небольшим ресурсом (не более 5 часов) и были очень чувствительны к осевой нагрузке. Разработанный узел трения на основе твердого сплава успешно показал себя в качестве замены традиционных подшипников скольжения на основе баббита. Во время испытаний общая наработка составила 8 ч. Диаметральные размеры и биения рабочих поверхностей после разборки узла соответствовали КД. На основе этих данных было принято решение, что данный узел работоспособен и достигнутый ресурс позволяет обеспечивать испытания ступеней центробежного компрессора. Изготовленный подшипник скольжения может быть использован повторно.

Также использование жаропрочных износостойких керамик для узлов трения газотурбинных авиационных двигателей и газотурбинных энергетических установок позволит исключить смазку в парах трения ГТД. Это одна из важных задач авиационного материаловедения, решение которой позволит существенно упростить конструкцию двигателя за счет исключения системы смазки и позволит повысить надежность газотурбинного двигателя в целом, уменьшить его массогабаритные характеристики, повысить его энергоэффективность, а также существенно снизить себестоимость и эксплуатационные расходы. [4]

2. Атомная энергетика

Учитывая ужесточение экологических требований и общие тенденции развития насосостроения для АЭС, можно предположить, что существует потребность в специальных подшипниках скольжения, разрабатываемых «под

заказ», которые должны удовлетворять нестандартные требования к эксплуатационным характеристикам и качеству изделий, таким как бесперебойный теплоотвод от реактора, высокая температура и повышенное давление рабочей жидкости-теплоносителя и ее радиоактивности. Для эффективного применения таких материалов, в каждом конкретном случае специалистам нужно решать задачу сопряжения высокотвердых материалов с металлическими элементами узла.

Разработка композиционных керамик с повышенными эксплуатационными свойствами для радиально-упорных подшипников скольжения газовых центрифуг позволит достичь требуемого уровня надежности высоконагруженных высокоскоростных пар трения, к которым предъявляются требования по безаварийной эксплуатации в течение более чем 30 лет в атомном машиностроении.

3. Бытовые насосы

Сегодня бытовые насосы пользуются все большей популярностью и широко применяются в сфере водоснабжения на загородных участках и коттеджей, для получения артезианской воды из скважины или колодцев, для осушения бассейнов, затопленных помещений, аквариумов, а также для перекачки сточных вод. Не менее востребованы на сегодняшний день дренажные, вихревые и др. насосы. Подобные насосы не должны нуждаться в частом обслуживании. Ограничение использования в таких насосах износостойких материалов зачастую связано с их дороговизной и существенно сказывается на стоимости агрегата в целом. Но современные технологические решения массового производства керамических подшипников скольжения позволяют существенно снизить стоимость таких узлов и их использование может стать конкурентным преимуществом производителей бытовых насосов. Так, к примеру, многие европейские производители (Grundfos, Wilo, DAB и

др.) используют подшипники скольжения из керамики в серийно выпускаемых бытовых насосах.

Выводы

Развитие технического уровня насосной техники требует применения новых высокоэффективных материалов в узлах, определяющих эксплуатационные характеристики, надежность и долговечность изделий.

Применение высокотвердых композиционных материалов (керамик и твердых сплавов) дает наибольший технико-экономический эффект в экстремальных условиях эксплуатации, при повышенных температурных, эрозионных и коррозионных нагрузках на узел подшипника скольжения.

Совершенствование технологии и развитие производственных мощностей в области производства керамических материалов в настоящее время делает оправданным применение подшипников из этих материалов в сфере массового производства насосной техники (бытовые насосы и пр.)

Задача интеграции изделий из керамических материалов в металлические элементы конструкции требует тщательной конструктивно-технологической проработки на этапе проектирования (модернизации) агрегатов, совместной работы разработчиков насосной техники и специалистов в области композиционных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нефтегазовая вертикаль, январь 2013 г.
2. Руководство по эксплуатации Н49.897.00.00.000 РЭ, ОАО «ГМС-Насосы».
3. Семенов А.П. Проблемы борьбы с трением и износом в машиностроении / Научно-технический прогресс. – 1987. – С.49-50.
4. URL: <http://www.nifti.unn.ru/>