

ката. 2008. № 4. С. 3-10.

19. Трент Е.М. Резание металлов: Пер. с англ./Пер. Г.И. Айзенштока. М.: Машиностроение, 1980. 263 с.

20. А.А. Липатов, Ю.Л. Чигиринский, С.И. Кормилицын. Методика определения сил резания, действующих на задней поверхности режущего инструмента //СТИН. 2010. №8. С. 6-8.

21. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов /Старков В.К. - М.: Машиностроение, 2009. 639 с.

22. Ермаков Ю.М. Комплексные способы эффективной обработки резанием: Библиотека технолога. - М: Машиностроение, 2005. - 272 с: ил.

### **Создание компенсаторов термических напряжений для перспективного авиационного ГТД методами порошковой металлургии**

Исаева Е.А., Перевоин С.А., Исаев Д.А.

Университета машиностроения,

Филиал «НИИД» ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют»

[d1mon\\_demon@mail.ru](mailto:d1mon_demon@mail.ru)

*Аннотация.* В статье показано, что для реального внедрения в авиационные ГТД конструкционных керамических материалов необходимо в сопряжении металл-керамика использовать промежуточный элемент - компенсатор термических напряжений (металл-компенсатор-керамика). Обоснован один из путей создания компенсаторов - методом порошковой металлургии. Изложен перечень работ, необходимых для создания компенсаторов.

*Ключевые слова:* газотурбинные двигатели (ГТД), конструкционные керамические материалы (ККМ), температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), компенсатор термических напряжений

Дальнейшее развитие авиационных ГТД требует применения новых материалов с более высокими эксплуатационными свойствами, а именно: жаростойкостью и износостойкостью [4, 5].

Работоспособность различных материалов в конструкциях узлов авиационных деталей в условиях высоких температур и окислительных сред с необходимым ресурсом показала, что, помимо жаропрочных сплавов, могут применяться керамические материалы, которые имеют низкую плотность, высокую стойкость к термической усталости, малую деформацию ползучести и легко выдерживают высокие температуры.

Основными требованиями, предъявляемыми ко всем антифрикционным материалам, являются минимальный коэффициент трения и высокая износостойкость. Эти свойства определяют минимальные потери энергии в узлах трения и максимальный срок их службы.

Керамические материалы, обладающие более высокими эксплуатационными свойствами, наряду с этим имеют и другие свойства, значительно отличающиеся от металлических материалов, используемых в авиационных ГТД, а именно: большую хрупкость; температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), значительно отличающийся от металлических материалов; высокую твердость [1-3].

Именно эти свойства создают значительные препятствия на пути применения их в перспективных авиационных ГТД. Связано это с тем, что детали из керамических материалов в авиационных ГТД работают в сопряжении с деталями из металлических материалов.

В процессе эксплуатации авиационных ГТД при изменении температуры деталей в них возникают термические напряжения из-за разности температурного коэффициента линейного расширения у металлических и конструкционных керамических материалов.

Учитывая тот факт, что температурный интервал, в котором происходит изменение температуры деталей авиационного ГТД, очень широк, термические напряжения также могут достигать значительных величин, часто превышающих допустимые напряжения.

В связи с этим актуально создание компенсаторов термических напряжений, возникающих в сопряжениях между деталями из металлических материалов и деталями из конструкционного керамического материала при эксплуатации перспективных авиационных ГТД.

Целью применения подшипника скольжения является увеличение долговечности опоры.

Для подтверждения возможности замены шарикоподшипников на подшипники скольжения в верхнем редукторе перспективного изделия были проведены испытания подшипника скольжения в составе мультипликатора (рисунок 1). Внешний вид втулки подшипника представлен на рисунке 2.

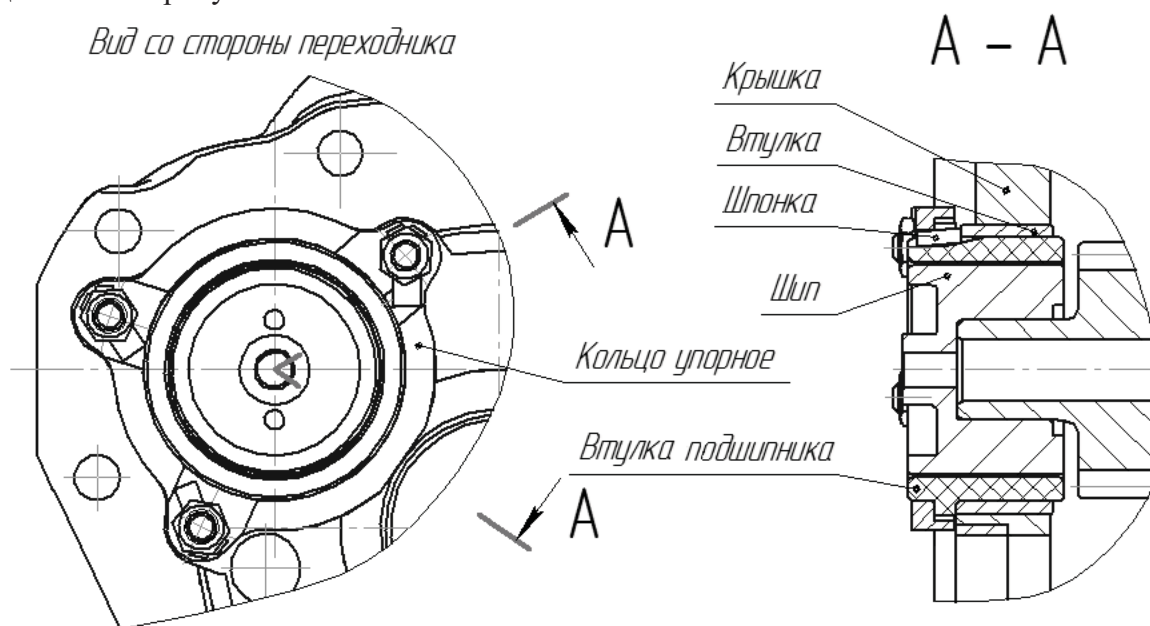


Рисунок 1. Общий вид подшипника скольжения

При снятии экспериментального мультипликатора с технологической КДА были обнаружены осколки подшипника из композиционного материала размером от десятых долей миллиметра до 15 мм. Впоследствии было обнаружено скручивание шлиц рессоры привода КДА.

При осмотре мультипликатора обнаружено заклинивание шипа в подшипнике и пригар масла на поверхности в двух местах.

Таблица 1

Свойства композита на основе карбида кремния SiC

Параметр	Значение
Коэффициент линейного расширения, 1/С	$(2,4-3,6) \cdot 10^{-6}$
Коэффициент трения	0,01-0,30
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2900-3100
Модуль упругости, ГПа	350-400
Твердость (HRA)	88-94
Прочность, σ, МПа	300
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	140-200
Диапазон рабочих температур, °С	От -50 до +1250

## Условия эксплуатации и параметры подшипника

Параметр	Обозначение	Значение
Нагрузка на подшипник, Н (кгс)	$F$	1422,45 (145)
Максимальный внутренний диаметр подшипника, м	$D_{\max}$	$43,016 \cdot 10^{-3}$
Минимальный внутренний диаметр подшипника, м	$D_{\min}$	$43 \cdot 10^{-3}$
Ширина смазочной канавки, м	$b_p$	$20 \cdot 10^{-3}$
Максимальный диаметр вала, м	$D_{j,\max}$	$42,93 \cdot 10^{-3}$
Минимальный диаметр вала, м	$D_{j,\min}$	$42,919 \cdot 10^{-3}$
Материал вала	-	12Х2Н4А-Ш
Коэффициент линейного теплового расширения вала, $K^{-1}$	$\alpha_{1,j}$	$11 \cdot 10^{-6}$
Смазочный материал - масло	-	ИПМ-10 ТУ 38.1011299-2006
Температура смазочного материала на входе подшипника, $^{\circ}C$	$T_{сн}$	100
Избыточное давление подачи смазочного материала, Па (кгс/см <sup>2</sup> )	$p_{сн}$	245250 (2,5)

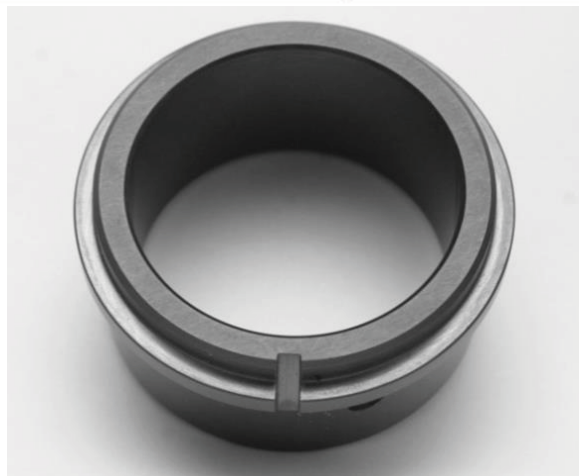


Рисунок 2. Керамическая втулка подшипника

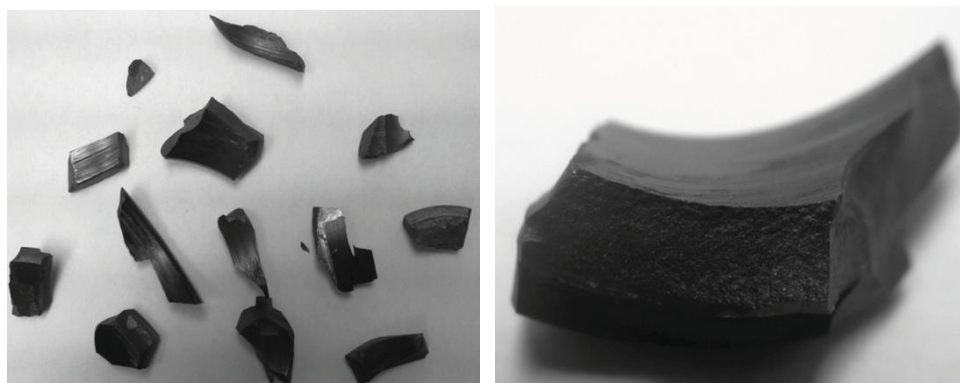


Рисунок 3. Фрагменты подшипника

При разборке мультипликатора обнаружено:

- на подпятнике незначительные повреждения покрытия;
- на кольце упорном, гайках, шайбах, шпильках - следы нагара масла;
- со стороны упорного кольца на торце подшипника скольжения имеется несколько трещин, капли застывшего алюминия, отсутствуют два небольших фрагмента подшипника;
- шпонка находится в том же положении, как при сборке, подшипник не проворачивался во втулке;
- подшипник со стороны переходника расколот на большие фрагменты;
- имеется значительная деформация втулки, нагар масла и трещина в направлении действия нормальной нагрузки на подшипник;
- один фрагмент подшипника приварен к втулке, по поверхности трещин имеются застывшие подтеки алюминия;
- на втулке имеются отпечатки граней фрагментов подшипника, надиры, сквозная трещина;
- в тонкой перемычке крышки имеется сквозная трещина;
- внутри крышки – надиры от осколков подшипника;
- шип имеет сильный износ: глубокие радиальные риски.

В ходе испытаний подшипник скольжения мультипликатора был разрушен (рисунок 3).

Из анализа конструкции и по результатам испытания керамического подшипника скольжения можно сделать следующие рекомендации:

- из керамической втулки исключить паз под шпонку;
- ответную деталь – шип – выполнить также из керамики или стали с покрытием;
- промежуточную втулку изготовить не из материала Д16Т, а из материала с малым температурным коэффициентом линейного расширения, т.е. близким к значению коэффициента для керамики;
- рациональнее выполнить радиальное утолщение керамической втулки;
- рациональнее установить вал с обоих концов на керамические подшипники скольжения;
- целесообразно предусмотреть охлаждение керамического подшипника скольжения маслом.

В связи с этим было принято решение заменить материал SiC на КНТ16, так как коэффициент линейного расширения КНТ16 близок к металлическому материалу.

Техническое наименование продукта: пара трения из мелкозернистого кермета марки КНТ16. Эмпирическая формула:  $TiC_{0,5}N_{0,5}-Ni(Mo)$ .

Таблица 3

### Химический состав и основные физико-механические свойства безвольфрамового твердого сплава КНТ16

Марка	КНТ16
Код ОКП	19 6682
Группа применения по ИСО 513-75	P10-P20 (K20)
Содержание основных компонентов в смеси исходных порошков (без учета примесей), %, по массе	
Карбо-нитрид титана	74
Никель	19,5
Молибден	6,5
<b>Физико-механические свойства сплавов</b>	
Плотность, $\times 10^3$ кг/м <sup>3</sup> (г/см <sup>3</sup> )	5,5-6,0
Предел прочности при изгибе, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	1200
Твердость HRA, не менее	89,0

Требования к макроструктуре керметов: на рабочей поверхности не допускаются поры размером более 100 мкм.

Требования к микроструктуре керметов:

- средний размер частиц твёрдой фазы должен составлять  $1 \div 2$  мкм (ГОСТ 9391-80),
- степень пористости по ГОСТ 9391-80 не должна превышать 0,2%,
- не допускаются скопления металловсвязки более 20 мкм.

Внешний вид усовершенствованной втулки подшипника представлен на рисунке 4.

Таблица 4

**Требования к рабочим характеристикам изделий**

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Метод измерения	Номинальное значение	Отклонение
1	2	3	4	5	6
1	Критическая нагрузка*	кг	ПМ 300404.004	100	не менее
2	Коэффициент трения в воде при нагрузке 100 кг*	ед.	ПМ 300404.004	0,2	не более

\* - при скорости вращения изделий 2500 об/мин (3,3 м/с).



**Рисунок 4. Металлокерамическая втулка подшипника**

Для создания эффективных компенсаторов термических напряжений необходимо в первую очередь выяснить влияние различных факторов как конструктивных, так и технологических, на эксплуатационные свойства самих компенсаторов. Содержанием работы является расчетно-аналитическое исследование влияния различных факторов на эксплуатационные свойства компенсаторов. Под этими факторами понимаются следующее:

- влияние химической стойкости металлов на возможность применения их для компенсаторов;
- влияние электрохимической стойкости металлов в гальванопаре на возможность применения их для компенсаторов;
- влияние модуля упругости (модуля Юнга) металлов (E) на эффективность компенсаторов;
- влияние допустимых напряжений ( $[\sigma_{0,2}]$ ) металлов на эффективность компенсаторов;
- влияние пластических свойств ( $\delta$ ) металлов на эффективность компенсаторов;
- влияние величины металлических гранул на эффективность компенсаторов;
- влияние органического связующего на эффективность компенсаторов;
- влияние технологии изготовления металлических гранул на величину гранул;
- влияние вида пористости (закрытая или открытая) на ресурс компенсаторов;
- влияние величины пористости на эффективность компенсаторов;
- влияние размера пор на эффективность компенсаторов;
- влияние различных сочетаний факторов на несущую способность компенсаторов.

В настоящее время в филиале «НИИД» ФГУП «НТЦ газотурбостроения «Салют» начата работа по созданию компенсаторов термических напряжений для перспективных авиационных ГТД. Сейчас выполняется расчетно-аналитический этап с использованием программного вычислительного комплекса ANSYS и программы QForm.

#### Литература

1. Либенсон Г. А. Производство порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 236 с.
2. Фомина О. Н., Суворова С. Н., Турецкий Я. М. Порошковая металлургия. – М.: ИПК Издательство Стандартов, 1999.
3. Никифорова Э. М. Теоретические основы, технология получения и свойства порошковых материалов. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 301 с.
4. Федорченко И. М., Францевич И. Н., Радомысльский И. Д. и др. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. – Киев.: Наукова думка, 1985. – 624 с.
5. Бабич Б. Н., Вершинина Е. В., Глебов В. А. и др. Металлические порошки и порошковые материалы. – М.: ЭКОМЕН, 2005. – 520 с.

### **Применение интеллектуальных информационных технологий для построения гипертекстовой системы**

д.т.н. проф. Колтунов И.И., к.т.н. доц. Крыжановская Т.Г., Линник Е.П., Яппарова А.Э.  
Университет машиностроения  
8(495) 223-05-23 доб. 18-26, [tiala@yandex.ru](mailto:tiala@yandex.ru)

*Аннотация.* В статье рассмотрена возможность применения интеллектуальных информационных технологий для построения гипертекстовой системы банка.

*Ключевые слова:* интеллектуальные информационные технологии, моделирование, гипертекст

#### Введение

Одним из примеров интеллектуальных информационных технологий [1] является гипертекстовая информационная технология (ГИТ) обработки семантической информации, основанная на использовании гипертекста. Рассмотрим ГИТ в приложениях к информационным ресурсам и технологиям Интернет.

Главной целью построения Интернета является объединение на основе современных информационных технологий информационных ресурсов в различных сферах деятельности людей во всем мире и обеспечение свободного доступа к ним любого пользователя, имеющего компьютер и связь с сетью, независимо от места его нахождения. Эти новейшие интеллектуальные информационные технологии совместно с разрабатываемыми автоматизированными информационными системами обусловили появление гипертекстовых систем.

Как известно [1], *гипертекст* (ГТ) – это одна из фундаментальных моделей представления знаний, выраженных в текстовом виде. При этом обычный (одномерный) текст рассматривается как длинная строка символов, читаемая в одном направлении. В то же время многомерный текст (ГТ) включает точки ветвления, в которых чтение можно продолжить в нескольких направлениях в зависимости от информационных потребностей читателя. Множество отдельных текстов или документов в гипертекстовых системах связаны между собой ссылками (*гиперссылками*). Как показано на рисунке 1, *гипертекст* (нелинейный текст) – это организация текстовой информации, при которой текст представляет множество фрагментов с явно указанными связями между этими фрагментами. Гипертекст строится с помощью *гиперссылок* – это часть гипертекстового документа, ссылающаяся на другой элемент в самом документе, или на другой объект, расположенный на локальном диске или в компьютерной сети, либо на элементы этого объекта.

Используя четыре инструмента создания ГТ (рисунок 2), которые являются базовыми элементами WWW [ 2 ], построена графовая модель гипертекста банка (рисунок 3).