

УДК 67.05

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ  
ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ С ПОКРЫТИЕМ  
НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ****Тескер Ефим Иосифович**

доктор технических наук

Волгоградский технический университет, Волгоград

**Тескер Сергей Ефимович**

научный сотрудник

ООО «Агромаш», Волгоград

**Архипов Виталий Владимирович**

ведущий инженер

**Колесов Андрей Александрович**

ведущий инженер

**Евстафьев Владимир Геннадьевич**

ведущий инженер

**Семенов Роман Александрович**

ведущий инженер

ООО «Центр испытаний, оценки соответствия и экспертиз», Волгоград

**Овчаренко Леонид Владимирович**

заведующий лабораторией

**Захарьин Александр Алексеевич**

научный сотрудник

**Макаров Игорь Геннадьевич**

ведущий научный сотрудник

**Пыщев Александр Фёдорович**

заведующий лабораторией

ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры», Волгоград

**Кононов Пётр Владимирович**

заместитель генерального директора

ООО «Безопасность в промышленности», Москва

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** В статье выполнена оценка применения напыленных покрытий в многослойных подшипниках скольжения. На основе испытаний установлена целесообразность и эффективность их использования в двигателях внутреннего сгорания при работе в условиях высоких температур.

**Ключевые слова:** подшипники скольжения; катодное напыление; поверхностный слой.

# IMPROVING THE RELIABILITY AND BEARING CAPACITY OF SLIDING BEARINGS WITH AN ALUMINUM-BASED COATING

**Tesker Efim**

doctor of engineering

Volgograd State Technical University, Volgograd

**Tesker Sergey**

research officer

JSC «Agromash», Volgograd

**Arhipov Vitaly**

senior engineer

**Kolesov Andrey**

senior engineer

**Evstafyev Vladimir**

senior engineer

**Semyonov Roman**

senior engineer

LLC «Center for testing, conformity assessment and expertise», Volgograd

**Ovcharenko Leonid**

head of laboratory

**Zakharyin Aleksandr**

research officer

**Makarov Igor**

senior research officer

**Pyshchev Alexander**

head of laboratory

JSC «VNIIPThimnefteapparatury», Volgograd

**Kononov Pyotr**

deputy general director

LLC «Bezopasnost v Promyshlennosti (Safety in Industry)», Moscow

**Abstract.** The article evaluates the application of sprayed coatings in multilayer sliding bearings. Based on the tests, appropriateness and effectiveness of their use in internal combustion engines while operation at high temperatures was proved.

**Key words:** sliding bearings; cathode sputtering; surface layer.

Выполнена оценка применения напыленных покрытий в многослойных подшипниках скольжения. На основе испытаний установлена целесообразность их использования в двигателях внутреннего сгорания при работе в условиях высоких температур. Эффективность применения покрытий обусловлена хорошей сопротивляемостью изнашиванию и отсутствием структурных изменений при воздействии высокой температуры. Их особым преимуществом является то, что при напылении не образуются хрупкие химические соединения, характерные для подшипников с покрытиями, полученными другими методами, например гальваническими.

Постоянное увеличение мощности двигателей внутреннего сгорания приводит к росту напряженности подшипников скольжения, увеличению рабочих температур и сокращению вследствие этого срока их службы. Несущая способность подшипников в значительной степени зависит от сопротивляемости процесса структурных превращений и изменений свойств в процессе контактно-фрикционного взаимодействия. Кинетика и механизм процессов в зоне контакта зависит не только от условий нагружения, но и от исходного структурного состояния материала контактирующих поверхностей.

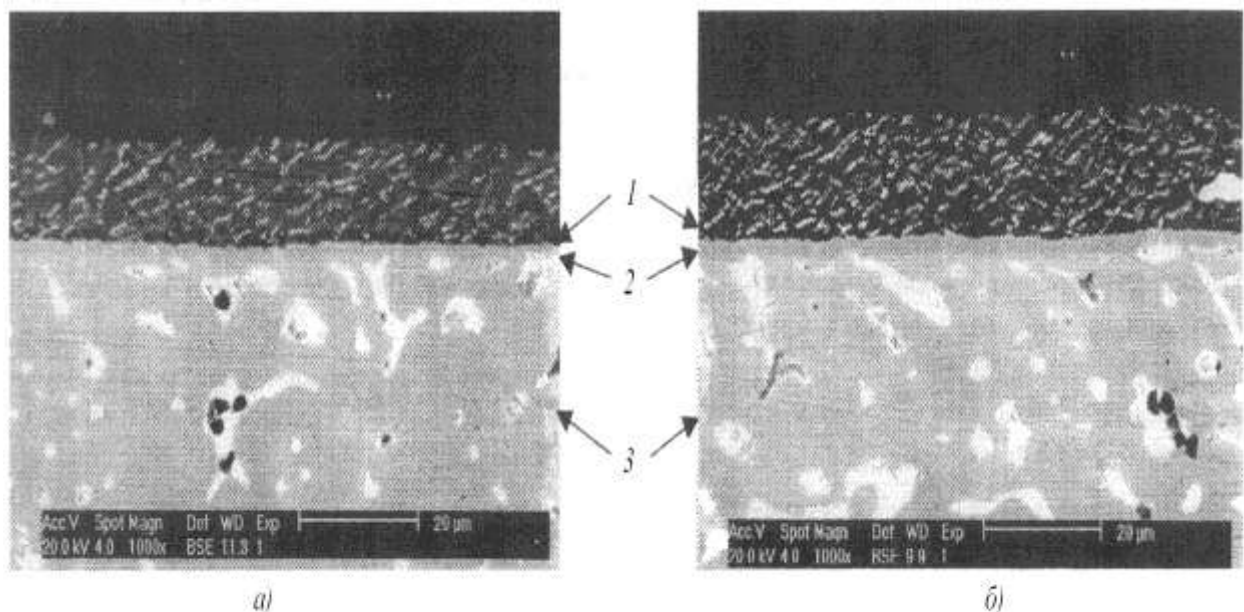
В последние годы все более широкое применение в узлах трения находят **многослойные подшипники с покрытиями, полученными методом катодного напыления.**

Целью исследований являлось определение стабильности структуры поверхностного слоя покрытия в условиях трения при испытаниях многослойных подшипников, работающих при повышенных температурах.

Объектом исследований были многослойные подшипники с напыленным поверхностным слоем на основе алюминия. Поверхностный слой опытных образцов представлял собой сплав Al-20 % Sn-1 % Cu. Под этим слоем имелся подслой никель-хром (80 % Ni и 20 % Cr). Основной металл подшипника – литая бронза Cu – 23 % Pb – 2 % Sn.

Для моделирования температурного режима при испытаниях подшипник нагревали до температуры 180 °С. Температуру и время выдержки принимали на основе данных экспериментальных исследований по определению максимальных температур работы подшипников в условиях эксплуатации.

Структурные изменения в материале подшипника при указанных условиях исследовали на сканирующем микроскопе. Исследование диффузных процессов осуществляли на дифрактометре, а химический состав в локальных участках поверхностного слоя определяли при помощи рентгеновского анализатора.



*а* – новый подшипник; *б* – подшипник после выдержки при повышенной температуре; 1 – напыленный сплав Al- 20 % Sn-1 % Cu; 2 – промежуточный слой Ni-Cr; 3 – литая бронза Cu-23% Pb-2 % Sn

### **Рис. 1. Структура материала слоев (×1000)**

На рис. 1 представлены структуры слоев исследуемого подшипника при нормальной температуре и после выдержки при повышенной температуре. Виден тонкий однородный подслой Ni – Cr толщиной около 2 мкм, напыленный на литую бронзу Cu – 23 % Pb – 2 %.

**Средние значения концентрации исследуемых элементов**

Элемент	Новый подшипник		Подшипник после выдержки при высокой температуре	
	Массовая доля, %	% ат.	Массовая доля, %	% ат.
Al	78,10	93,84	78,83	94,06
Sn	20,83	5,70	20,03	5,47
Cu	1,07	0,46	1,14	0,47
Ni	75,63	72,96	73,87	72,51
Cr	19,25	21,32	19,10	21,36

Напыленный поверхностный слой Al-20 % Sn-1 % Cu характеризуется однородным строением. В структуре различаются участки, направленные параллельно или под некоторым углом к основе. Они представляют собой образования в виде тонких пластинок неправильной формы (скорее всего из олова), размещенных равномерно в матрице, являющейся твердым раствором меди в алюминии. При сравнении структур материала подшипника в двух состояниях между ними не обнаружено существенных различий.

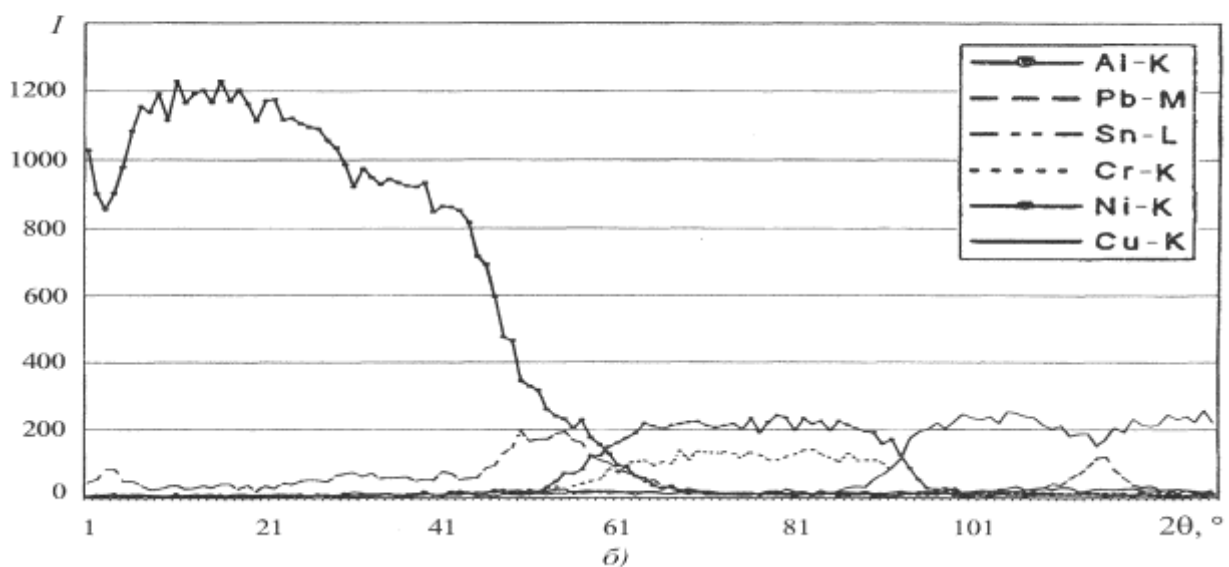
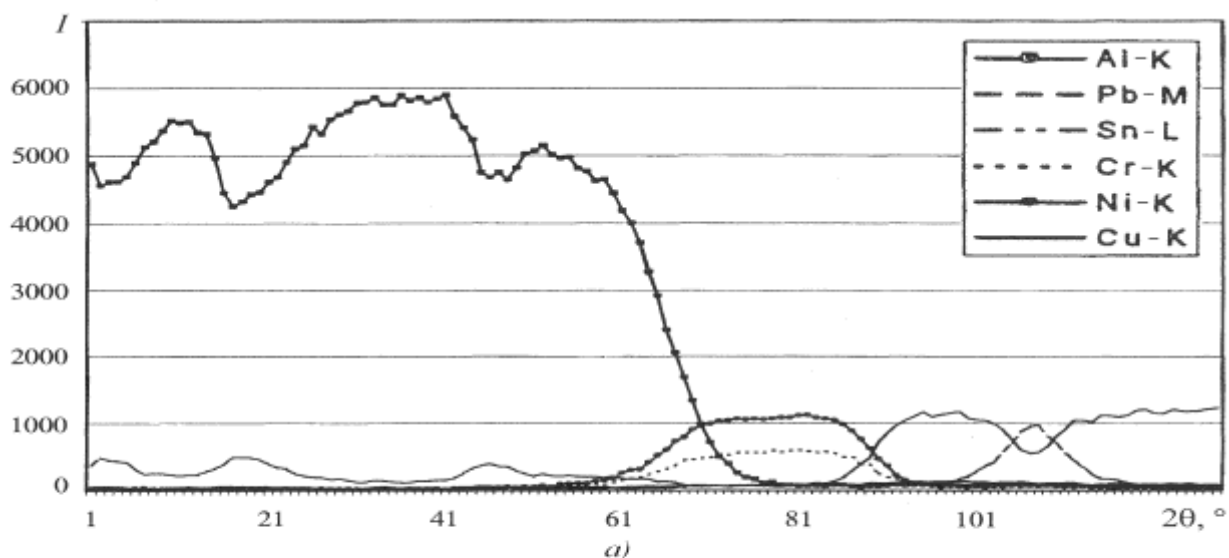
Зоны соединения отдельных слоев (Al-20 % Sn- 1 % Cu) – (Ni – Cr) – (Cu -23 % Pb-2 % Sn) имеют ярко выраженный адгезионно-диффузный характер и не обнаруживают видимых разрывов и расслоений.

Можно утверждать, что исследуемый подшипник, как новый, так и после выдержки при повышенной температуре, характеризуется однородным строением и структурой материала отдельных слоев.

При микроанализе химического состава локальных участков установлено, что основными элементами отдельных слоев подшипника являются Al, Sn, Cu, Ni, Cr.

Средние значения концентраций исследуемых элементов, которые можно считать типовыми для внешнего слоя и подслоя, даны в таблице 1.

Типовые линейные изменения концентрации фаз представлены на рис. 2.



а – новый подшипник  
 б – подшипник после выдержки при повышенной температуре

**Рис. 2. Изменение концентрации фаз поверхностного слоя**

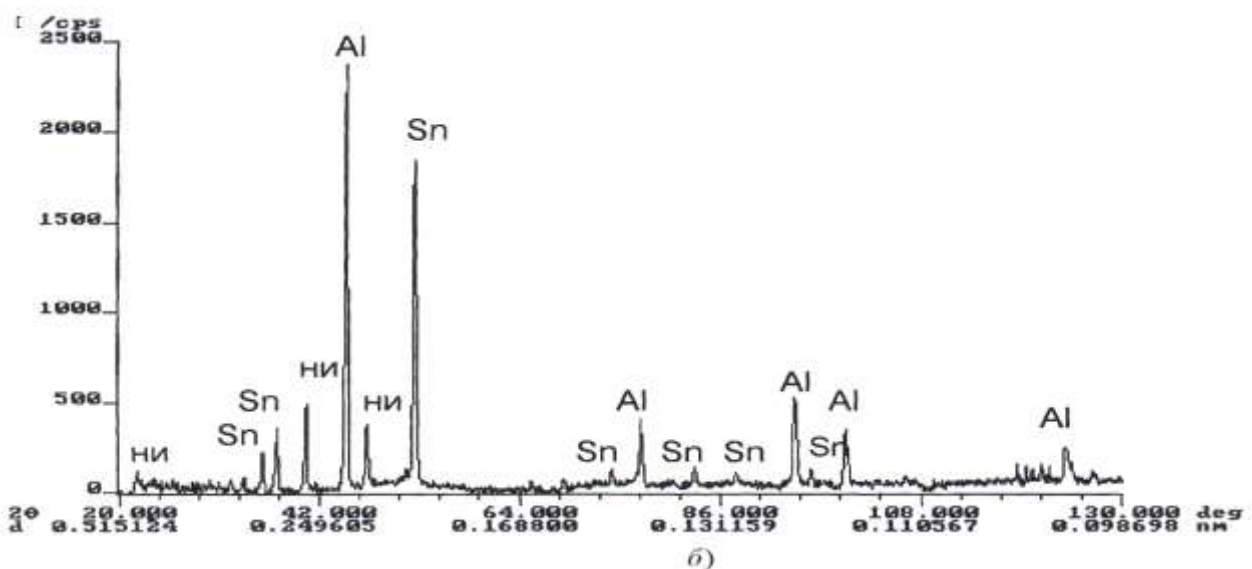
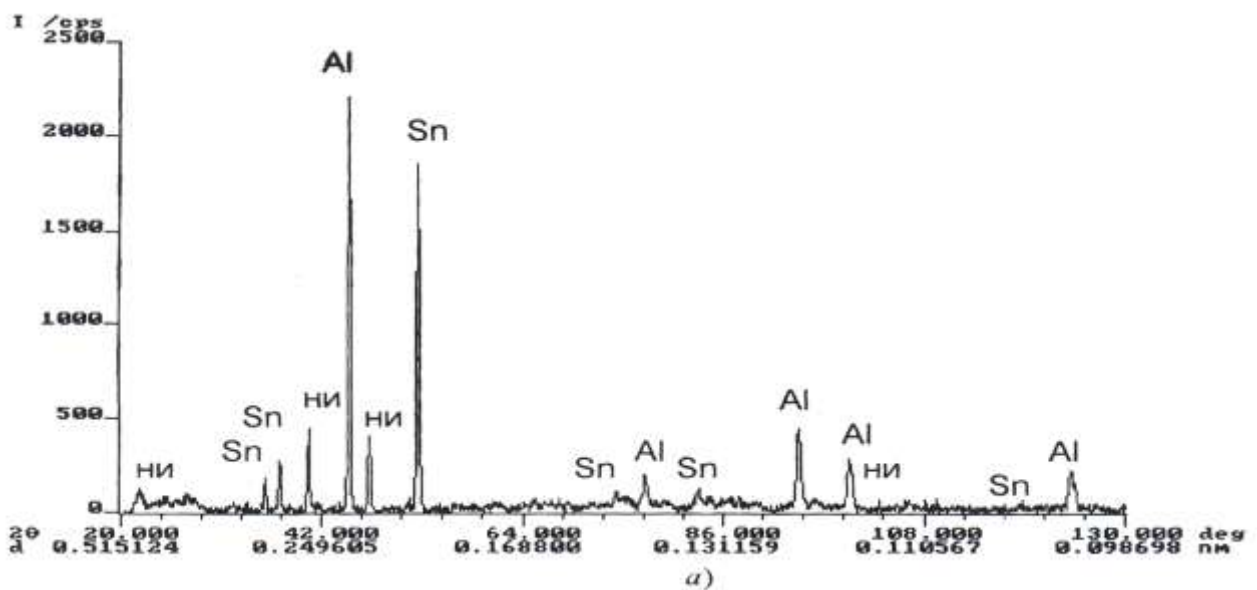
Результаты анализа химического состава слоя Al – 20 % Sn – 1 % и подслоя Ni – Cr подшипников.

Из анализа результатов исследований химического состава следует, что концентрация исследуемых элементов для рассматриваемых состояний подшипника практически одинакова.

Рентгеновские дифракционные исследования нового подшипника, а также подшипника после выдержки при повышенной температуре про-

ведены для следующих зон: Al – 20 % Cu – подслои Ni – Cr – бронза Cu – 23 % Pb – 2 % Sn. Типовые дифрактограммы показаны на рис. 3.

Все полученные дифрактограммы точно соответствуют друг другу. В подшипниках после выдержки при повышенной температуре (рис. 3, б) зарегистрирован незначительный рост интенсивности рефлексов, что может свидетельствовать о снижении уровня напряжений в материале поверхностного слоя.



а – новый подшипник  
 б – подшипник после выдержки при повышенной температуре  
 НИ - не идентифицировано

**Рис. 3. Типовые дифрактограммы**

Исследования позволили выявить двухфазную структуру поверхностного слоя. На основании вычисленных расстояний между слоями установлено присутствие фазы на основе алюминия и олова. Положения откликов, полученных на дифрактограммах, близки к данным, определенным для чистых элементов Al и Sn.

Полученные результаты рентгеновского фазового анализа исследуемых сплавов подшипника, несмотря на высокую точность, дают возможность получить только макроинформацию и не обеспечивают возможность обнаружения ожидаемых откликов от межметаллических фаз или их смеси. Причиной этого может быть недостаточная чувствительность рентгеновского метода, который не позволяет обнаружить возможное образование межметаллических фаз, либо отсутствие соединений такого типа в исследуемом подшипнике.

Рентгеновские дифракционные исследования не подтвердили возможность появления межметаллических фаз из тройных состояний Ni – Cr – Sn или Ni – Cr – Al.

**ВЫВОД:** Результаты исследований свидетельствуют о стабильности поверхностного слоя покрытия на основе алюминия, полученного катодным методом, к структурным изменениям при воздействии повышенных температур в зоне трения подшипников скольжения. **Данный метод покрытия увеличивает надёжность и несущую способность подшипников скольжения.**