УДК 621.793; 621.794

# СВОЙСТВА ГРАДИЕНТНЫХ СЕРЕБРЯНО-АЛМАЗНЫХ ПОКРЫТИЙ

© 2012 И.Д. Ибатуллин, М.В. Ненашев, Д.А. Деморецкий, А.Р. Галлямов, А.Н. Иванов

Самарский государственный технический университет

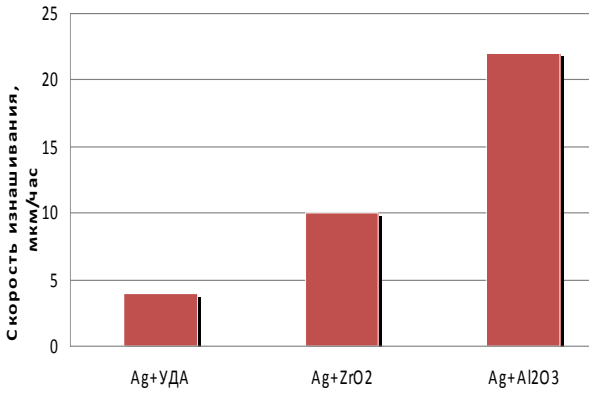
Поступила в редакцию 29.03.2012

Описаны структура и свойства антизадирных антифрикционных градиентных серебряно-алмазных покрытий, осаждаемых из бесцианистого электролита с использованием нестационарных режимов электрохимического осаждения.

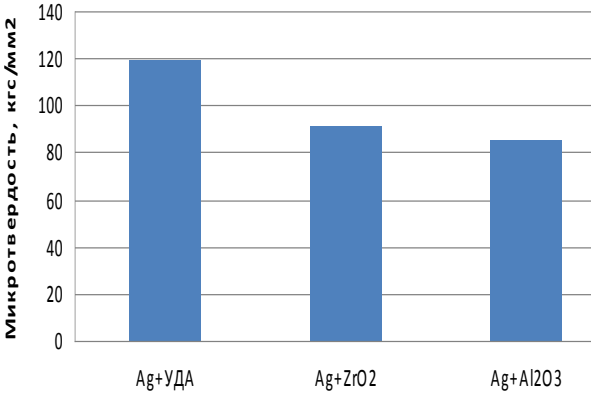
Ключевые слова: *серебряно-алмазное покрытие, структура, физико-механические свойства, асимметричный переменный ток*

Серебро обладает рядом важных свойств (химической стойкостью, теплопроводностью, износостойкостью, антифрикционными и противозадирными свойствами), обеспечивающих существенное повышение эксплуатационных характеристик деталей с серебряными покрытиями. Это обусловливает широкое применение технологий электрохимического осаждения серебра при изготовлении деталей тяжелонагруженных подшипников скольжения. Долгое время при создании серебряных покрытий триботехнического назначения оставались без внимания основные принципы повышения антизадирных свойств поверхностей, в частности правило положительного градиента механических свойств, впервые описанного в работах И.В. Крагельского. В лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ за счет управления параметрами асимметричного переменного тока, используемого для электроосаждения серебра, разработана технология получения серебряных покрытий с положительным градиентом микротвердости по глубине, свойства которых в зависимости от состава и структуры являются предметом данной статьи.

Известно, что повышения качества электрохимических покрытий можно достичь нанодобавками, вводимыми в электролит. Сравнительный анализ влияния ультрадисперсных частиц алмазов детонационного синтеза (УДА), диоксида циркония и оксида алюминия микротвердость и скорость изнашивания серебряных покрытий показал (рис. 1), что максимальный эффект обеспечивается применением УДА.




а)



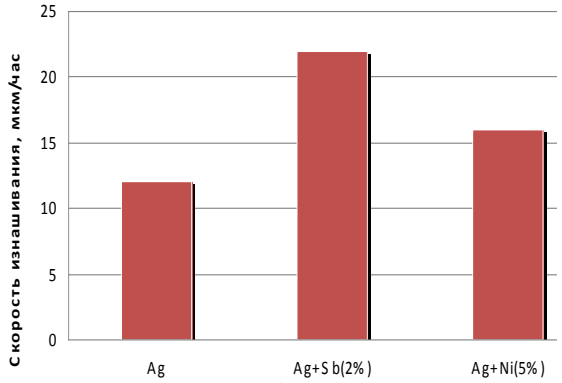

б)

**Рис. 1.** Влияние нанодобавок на скорость изнашивания (а) и микротвердость (б) серебряных покрытий

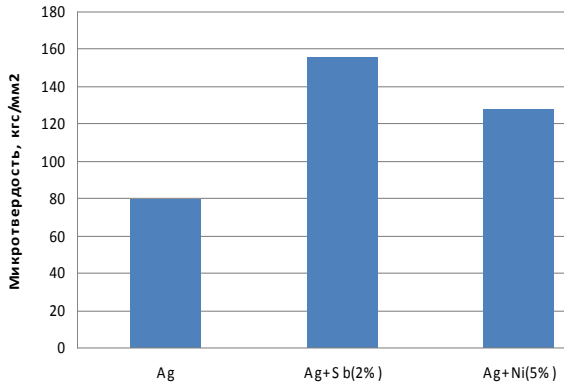
Сравнительный анализ свойств серебряных покрытий, получаемых по новой технологии, с покрытиями сплавами «серебро-сурьма (2%)» и «серебро-никель (5%)», показал, что серебряно-алмазное покрытие при меньшей твердости ($Í_{\mu} \approx$ (60-80) кгс/мм$^2$) в 1,5-2 раза превышает износостойкость традиционных серебряных покрытий с

*Ибатуллин Ильдар Дугласович, доктор технических наук, доцент кафедры «Нанотехнологии в машиностроении». E-mail: tribo@rambler.ru*
*Ненашев Максим Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе*
*Деморецкий Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конверсионные и двойные технологии энергонасыщенных материалов и изделий». E-mail: dda74@inbox.ru*
*Галлямов Альберт Рафисович, аспирант*
*Иванов Александр Николаевич, аспирант*

сурьмой и имеет меньший коэффициент трения (рис. 2). Склерометрические испытания показали, что разработанные покрытия имеют более высокий запас пластичности – накопленная энергия при разрушении превышает традиционные покрытия на 53%. Это указывает на то, что функциональные свойства антифрикционных антизадирных покрытий более определяются пластичностью, чем твердостью.




а)

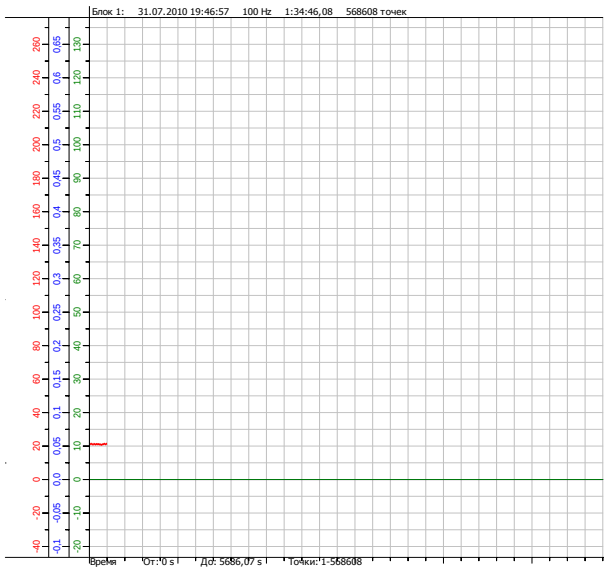



б)

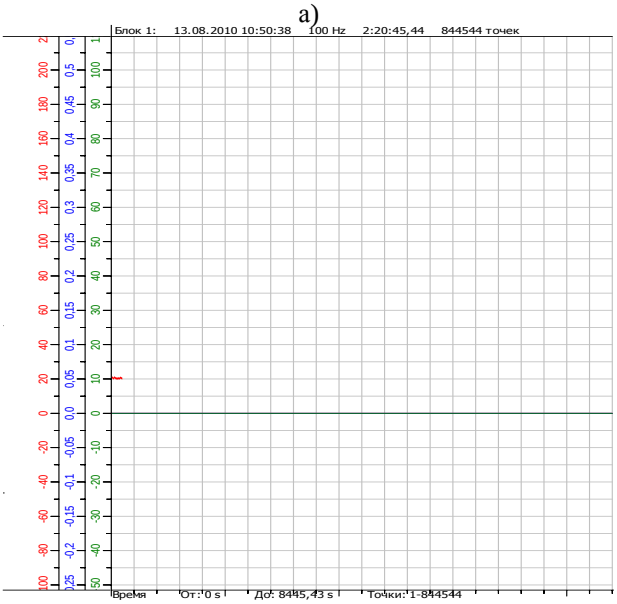
**Рис. 2.** Влияние добавок на скорость изнашивания (а) и микротвердость (б) серебряных покрытий

Детали узлов трения, покрытые серебряно-алмазным покрытием, выдерживают нагрузку до 160 МПа (при толщине слоя 20 мкм) (рис. 3). При использовании в качестве основного металла под серебрение закаленных сталей (вместо бронзы) с медной подложкой (1-2 мкм) износостойкость серебряных покрытий заметно повышается. Эксперименты, проведенные в ОАО «Волгабурмаш», показали что весовой износ посеребренных стальных плавающих шайб (сталь 40Х, HRC 45-50) за час наработки при давлении 30 МПа составил 28 мг, при этом износ штатных шайб (основной металл – бериллиевая бронза БрБ2) составил 55 мг.

Электронно-микроскопические исследования серебряно-алмазных покрытий показали (рис. 4), что получаемые осадки имеют равномерную сплошную (беспористую) структуру. Цвет покрытия белый полублестящий или матовый. Матовость покрытия обусловлена появлением на поверхности при осаждении кристаллов серебра, размерами (0,5-1) мкм. Покрытие получается равномерным по толщине.

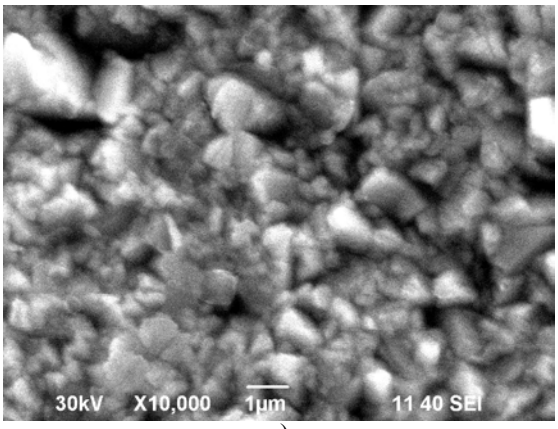



а)

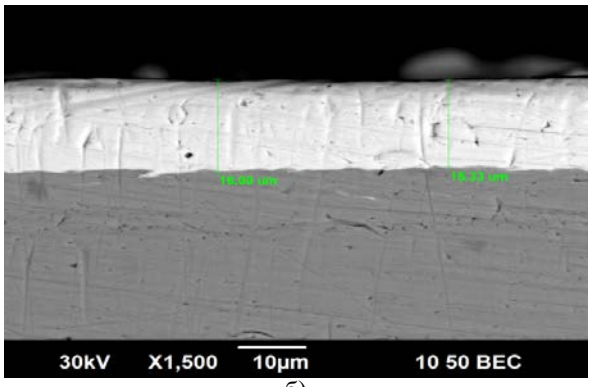



б

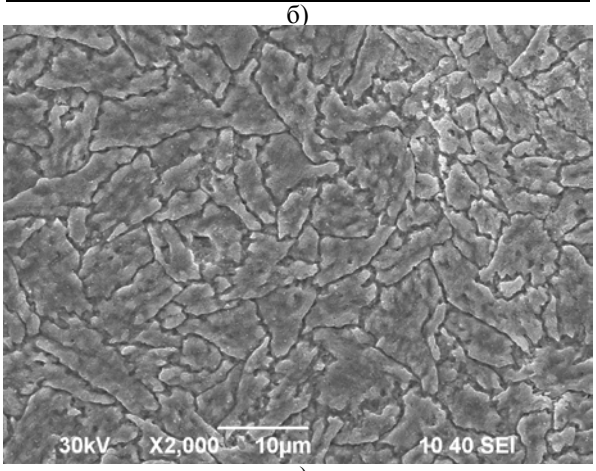
**Рис. 3.** Эпюры сравнительных триботехнических испытаний покрытий в режиме ступенчато возрастающей нагрузки:
а) штатное серебряное покрытие из цианистых электролитов (нагрузка схватывания 110 кгс); б) наноструктурированное серебряно-алмазное покрытие (нагрузка схватывания 160 кгс)



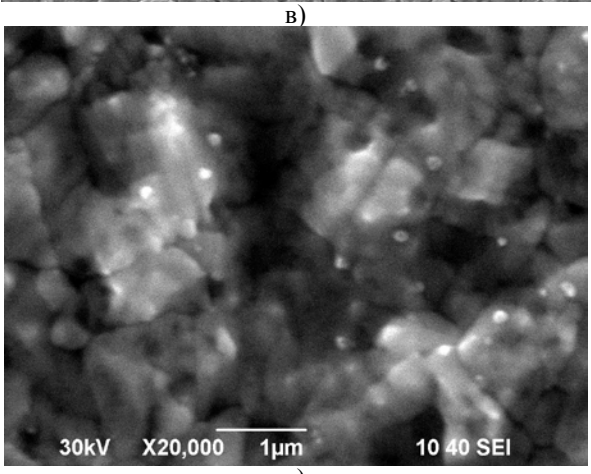

а)




б)



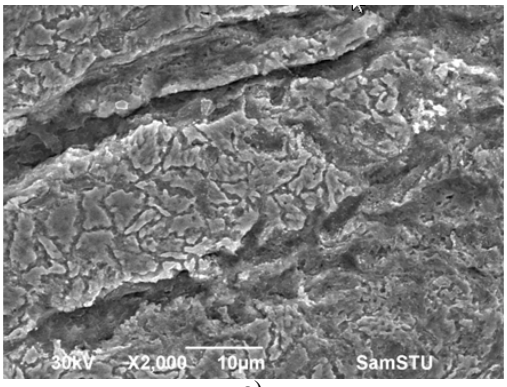

в)



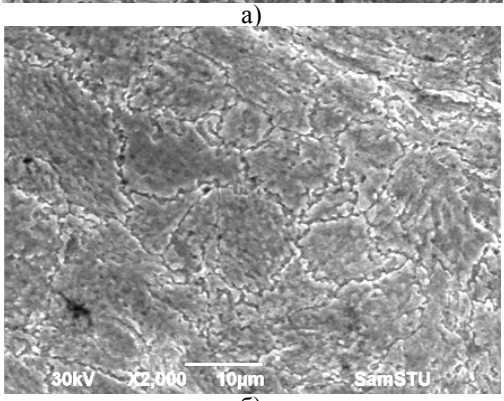

г)

**Рис. 4.** Структура серебряно-алмазного покрытия: а) внешний вид поверхности покрытия после осаждения; б) поперечный срез; в) структура на уровне зерна; г) субзеренная структура

Структура серебряного покрытия, полученного из цианистого электролита с добавкой сурьмы в исходном состоянии близка к структуре серебряно-алмазного покрытия, полученного из бесцианистого электролита, но в процессе трения проявляются заметные различия в свойствах данных покрытий. Покрытия с добавкой сурьмы, в отличие от серебряно-алмазных покрытий, в процессе трения проявляют склонность к охрупчиванию и развитию трещин (рис. 5 а).

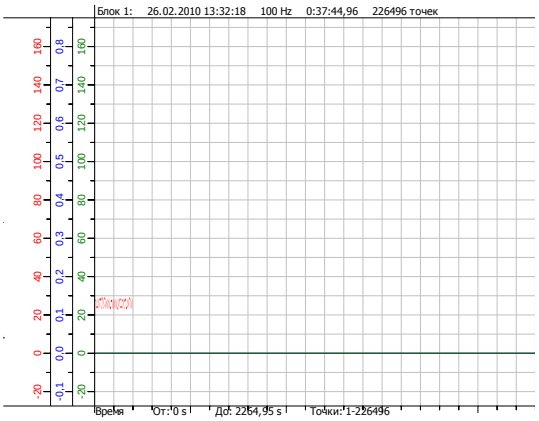



а)

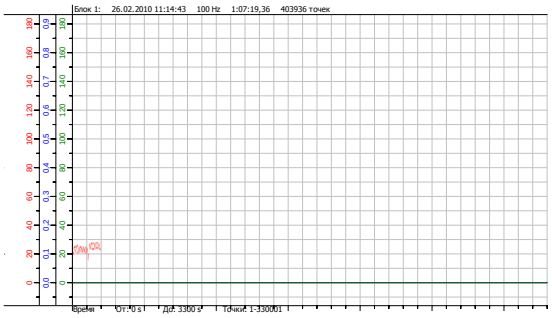



б)

**Рис. 5.** Структура поверхностей трения серебряных покрытий: а) с добавкой сурьмы; б) с добавкой УДА




а)

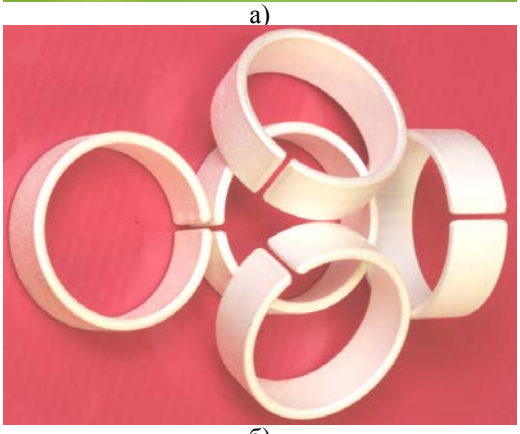



б)

**Рис. 6.** Результаты испытаний со ступенчато возрастающей нагрузкой пар трения:
а) «сталь 40Х – серебряное покрытие»; б) «твердосплавное детонационное покрытие – серебряное покрытие»

Исследования фрикционной совместимости различных материалов, работающих в паре с серебряными покрытиями, показали, что высокие триботехнические результаты достигаются при использовании в качестве сопряженного материала детонационных твердосплавных покрытий. Проведенные в лаборатории наноструктурированных покрытий исследования противоизносных свойств пары «детонационное покрытие ВК12 – серебряное покрытие» показали (рис. 6), что в данной паре, по сравнению с парой трения «сталь 40Х (HRC45)–серебро» наблюдается существенное повышение износостойкости (до 5 раз), критической нагрузки (до 2,5 раз), нагрузки схватывания серебряных покрытий (до 2-х раз), а также снижение момента трения (до 2-х раз) и уменьшение температуры саморазогрева пары трения.

а)



б)

в)

**Рис. 7.** Плавающие элементы герметизированных опор скольжения буровых долот: а) колпачки; б) втулки; в) шайбы

Новая технология нанесения серебряных покрытий нашла применение при серийном изготовлении плавающих элементов опор скольжения буровых долот (колпачков, шайб и втулок) для ОАО «Волгабурмаш» (рис. 7). Опытно-промышленные испытания опытных долот с новым серебряным покрытием на стенде ОАО «Волгабурмаш» показали значительное увеличение ресурса опор скольжения (200 часов) по сравнению с ресурсом типовых долот (около 150 часов). Сравнительные испытания упорных шайб R7366 с традиционными покрытиями с добавкой сурьмы и серебряно-алмазными покрытиями показали в среднем снижение коэффициента трения на 23%.

*Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.*

## PROPERTIES OF GRADIENT SILVER-DIAMOND COVERINGS

© 2012 I.D. Ibatullin, M.V. Nenashev, D.A. Demoretskiy, A.R. Gallyamov, A.N. Ivanov

Samara State Technical University

Structure and properties of antiscore antifrictional gradient silver-diamond coverings besieged from non-cyanic electrolyte with use of non-stationary regimes of electrochemical sedimentation are described.

Key words: *silver-diamond covering, structure, physical and mechanical properties, asymmetric alternating current*

*Ildar Ibatullin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at the Department “Nanotechnologies in Mechanical Engineering”. E-mail: tribo@rambler.ru; Maxim Nenashev, Doctor of Technical Sciences, Deputy Rector on Scientific Work. E-mail: ttxb@inbox.ru; Dmitriy Demoretskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department “Conversional and Double Technologies of Power Saturated Materials and Products”. E-mail: dda74@inbox.ru; Albert Gallyamov, Post-graduate Student; Alexander Ivanov, Post-graduate Student*