

УДК 621.85.05-034

Ю. Н. Стрельник, ст. препод., **Д. А. Михайлов**, канд. техн. наук, доц.,
С. А. Матвиенко, канд. техн. наук, доц., **А. В. Лукичев**, канд. техн. наук, доц.,
А. Н. Михайлов, д-р техн. наук, проф.
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР
Тел. +38 (071) 3076221; E-mail: yura-strelnik@yandex.ru

МЕТОДИКА НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОКРЫТИЯ НА ШАРОВЫЙ ПАЛЕЦ НАКОНЕЧНИКА РУЛЕВОЙ ТЯГИ АВТОБУСА

В статье разработан функционально ориентированный технологический процесс модифицирования поверхностного слоя сферического шарового пальца на базе ионно-плазменного нитрида-титанового покрытия с переменной толщиной, зависящей от степени износа функциональных участков рабочей поверхности. Разработан граф нанесения покрытия.

Ключевые слова: толщина покрытия, осаждение, микротвердость, напыление

Y. N. Strelnik, D. A. Mikhaylov, S. A. Matvienko, O. V. Lukichov, A. N. Mikhaylov

TECHNIQUES FOR EXPERIMENTAL STUDIES OF FUNCTION-ORIENTED COATING ON BALL STUD OF THE TIE ROD OF THE BUS

The article describes a functionally oriented technological process for modifying the surface layer of the sphere of a ball finger based on ion-plasma nitride-titanium coatings with a variable thickness, depending on the degree of wear of functional sections of the working surface. A coating graph has been developed.

Keywords: coating thickness, deposition, microhardness, deposition

1. Введение.

Работоспособность шарнирных соединений узлов транспортных машин во многом определяется составом, структурой и физико-механическими свойствами материала поверхностного слоя (ПС) [1]. При этом повышение ресурса шарнирных соединений, в ряде случаев, обеспечивается технологическими методами, а именно, за счет формирования параметров качества ПС. С учетом того что наиболее частой причиной отказов шарнирных соединений является износ рабочих поверхностей деталей, наиболее перспективным методом решения данной проблемы является нанесение износостойкого слоя осаждением упрочняющих покрытий [2]. Качество покрытий является совокупностью их свойств, определяющих ресурс деталей в зависимости от их служебного назначения. Среди методов физического нанесения покрытий наиболее перспективным является их осаждение из плазмы вакуумно-дугового разряда [3, 4]. Следует отметить, что для деталей машин, для повышения их ресурса, широко используются многослойные покрытия.

Применение многослойного покрытия сложной структуры, выполняемой на базе нитридов различных металлов VI группы Периодической таблицы Д. И. Менделеева, позволяет значительно повышать эксплуатационные свойства деталей. Например, покрытия, на основе нитрида титана, имеют высокую микротвердость, находящуюся в диапазоне 21,0...24,0 ГПа. При этом применение многослойных покрытий, например, структурируемых из слоев из нитрида титана TiN и нитрид алюминий титана TiAlN дополнительно повышает эксплуатационные свойства деталей машин [3].

В результате проведенных исследований, установлено, что в процессе эксплуатации шарнирных соединений рулевых тяг автобусов МАЗ, ее функциональные элементы изнашиваются неравномерно в результате механического износа [5], что значительно уменьшает срок службы шарнирных соединений и повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций. Для решения вопросов повышения ресурса эксплуатации рулевых тяг автобуса МАЗ, в данной работе предложено применение специальных функционально-ориентированных покрытий (ФОП) [6, 7], выполняемых в данной работе на основе вакуумных ионно-плазменных технологий.

Выполненные исследования показывают, что вопрос использования многослойных ФОП, для отделочно-упрочняющей обработки шаровых пальцев шарнирных соединений рулевого управления транспортных средств, мало изучен и требует дальнейших исследований. Это особенно актуально для шаровых поверхностей шарниров, в частности, рулевых тяг, где имеются переменные скорости относительного скольжения элементов и возникают неравномерные износы поверхностей. Поэтому в этом случае необходимо обеспечивать функционально-ориентированных свойств [6] шаровых пальцев наконечников рулевых тяг автобусов МАЗ, с учетом их условий эксплуатации, применять вакуумное ионно-плазменное нанесение многослойного ФОП [7].

Целью данной работы является разработка методики формирования многослойного ФОП на шаровой палец наконечника рулевой тяги автобуса МАЗ, эксплуатация которого характеризуется переменными скоростями относительного скольжения элементов и неравномерным износом ПС, базирующейся на технологическом обеспечении процессов.

Поэтому в данной работе планируется решить следующие задачи: исследовать условия эксплуатации и особенности реализации ФОП шаровых пальцев; разработать методику и технологическое обеспечение реализации многослойного ФОП; разработать технологический процесс вакуумного ионно-плазменного нанесения многослойных ФОП; провести эксперимент по нанесению ФОП и исследовать толщины покрытия различных функциональных зон рабочей поверхности шарового пальца.

2. Изделие и основные особенности реализации многослойного ФОП

Деталь «шаровой палец» является ответственным и наиболее изнашиваемым элементом наконечника рулевой тяги автобуса МАЗ. В процессе работы шарнирное соединение наконечника с деталью «шаровой палец» передает высокие динамические нагрузки. Износ сферической поверхности детали «шаровой палец» приводит к увеличению зазора между сферическими поверхностями, разрушению наконечника и, как следствие, к аварийным ситуациям. С целью повышения износостойкости детали «шаровой палец», обеспечения безопасности движения, увеличения срока службы изделия, повышения надежности и увеличения периода межремонтного ресурса рулевой тяги техническими требованиями к детали авторами предусматривается осаждение износостойкого многослойного покрытия TiN и TiAlN на сферической поверхности. Свойства покрытий представлены в таблице 1.

Для выполнения экспериментальных исследований по определению особенностей нанесения вакуумных ионно-плазменных ФОП на рабочие поверхности шаровых шарниров изделия были выбраны натурные образцы шарового пальца (рисунок 1) производства компании «СпецМаш» с твердостью рабочей части (сфера) HRC 50...53, весом 0,6 кг и изготовленного из легированной хромистой стали 40X. В табл. 1 представлены свойства покрытий.

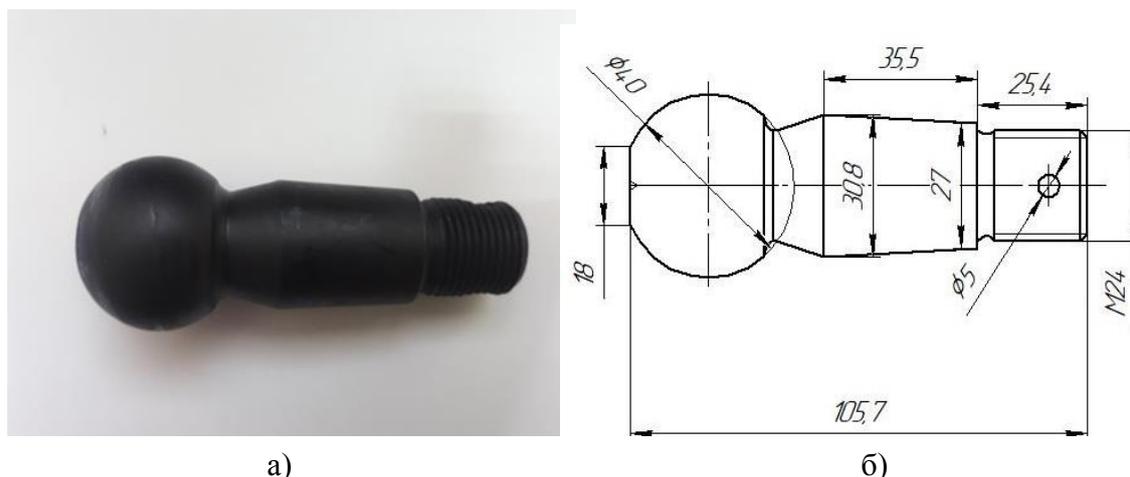


Рисунок 1. Шаровой палец: а - общий вид; б - рабочий эскиз

Таблица 1. Свойства покрытий.

Тип покрытия	Цвет	Микротвердость, ГПа	Рекомендуемая толщина, мкм	Коэффициент сухого трения	Температура нанесения, °C
TiN	Золотистый	22-24	6	0,9-0,92	280-320
TiAlN	Золотистый, с оттенками коричневого	25-27	6	0,87-0,9	280-320

Обеспечение необходимой шероховатости поверхности образцов высокоточных деталей перед осаждением покрытия (полирование до $R_a = 0,04 \dots 0,06$ мкм) производилось на станке с применением войлочного круга.

Технологический процесс (ТП) отделочной обработки рабочих поверхностей шарового пальца (до нанесения покрытия) включал выполнение следующих операций:



Рисунок 2. Шаровой палец после полировки сферической поверхности пальца.

(рис. 2), обезжиривание и подготовка сферической поверхности пальца к нанесению покрытия, полирование сферической поверхности, ионная бомбардировка, нанесение многослойного ФОП.

При полировании припуск на обработку составил от 0,002 до 0,008 мм, в качестве абразивных материалов использованы тонкие микрошлифпорошки с зернистостью порошка M10.

Процесс нанесения подслоя проходил при следующих параметрах (таблица 2). Полный контроль качества покрытий ионно-плазменного напыления включает следующие операции: визуальный осмотр; контроль на микротвёрдость; контроль толщины покрытия.

Таблица 2. Параметры процесса осаждения нитрид-титанового покрытия

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Давление, Па	$1,1 \cdot 10^{-1}$
2	Ток дугового испарителя, А	90
3	Напряжение дугового испарителя, В	120
4	Мощность, кВт	50
5	Время нанесения одного слоя покрытия, с	350
6	Полный цикл нанесения одного слоя покрытия	2 часа 30 минут

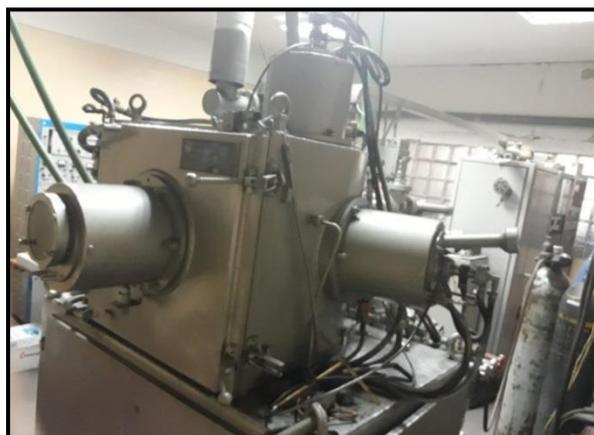


Рисунок 3. Общий вид установки ННВ 6.6-И1

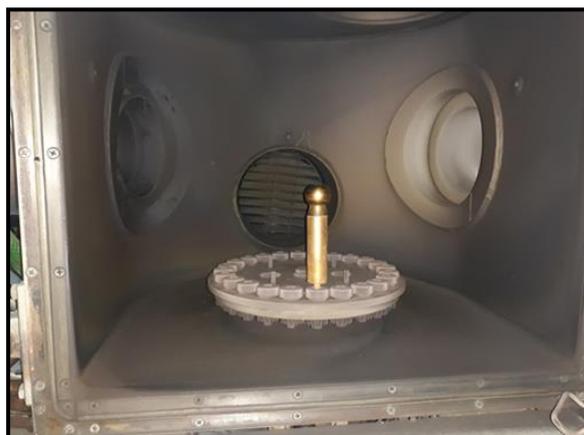


Рисунок 4. Вакуумная камера установки ННВ 6.6-И1 с шаровым пальцем

Микротвердость напылённого ПС шарового пальца измерялась с помощью микротвердомера ПМТ - 3 (ГОСТ 9450-76). Оптимальная твердость нитрид-титановых покрытий находится в диапазоне 21,0...24,0 ГПа. Шероховатость поверхности после осаждения покрытия должна соответствовать $R_a = 0,05 \dots 0,06$ мкм.

3. Оборудование и технологическое обеспечение

Вакуумное ионно-плазменное покрытие изделий выполнено на установке ННВ 6.6-И1 (рис. 3). Установка ННВ 6.6-И1 предназначена для осаждения упрочняющих одно- и многослойных покрытий на детали диаметром до 200 мм и длиной до 250 мм из плазмы вакуумно-дугового разряда. В вакуумной камере на вращающемся валу монтируется планшайба, на которой закрепляются напыляемые детали (рис. 4).

Для напыления многослойного покрытия применялись три катода (рис. 5). При этом слои ФОП формировались из TiN и TiAlN.

Стол имеет 24 гнезда, в каждое из которых устанавливается по одному приспособлению с деталью. Планетарный стол осуществляет вращение заготовок вокруг своей оси и оси планшайбы. Это обеспечивает равномерность нанесения слоев покрытия.

При напылении покрытий применялся азот газообразный особой чистоты ГОСТ 9293-74. Объемная доля азота не менее 99,999 %. Объемная доля водорода не более 0,0002 %. Объемная доля суммы углеводородсодержащих соединений не более 0,0003 %.

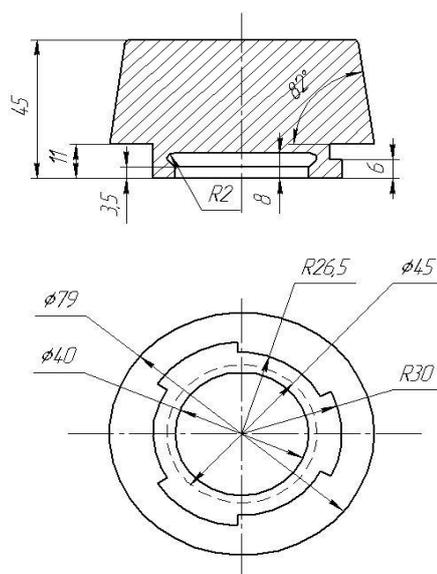


Рисунок 5. Схема катода установки ННВ 6.6–И1.

4. Структура технологического процесса.

Схема ТП осаждения покрытия из плазмы вакуумно-дугового разряда представлена на рис. 6.

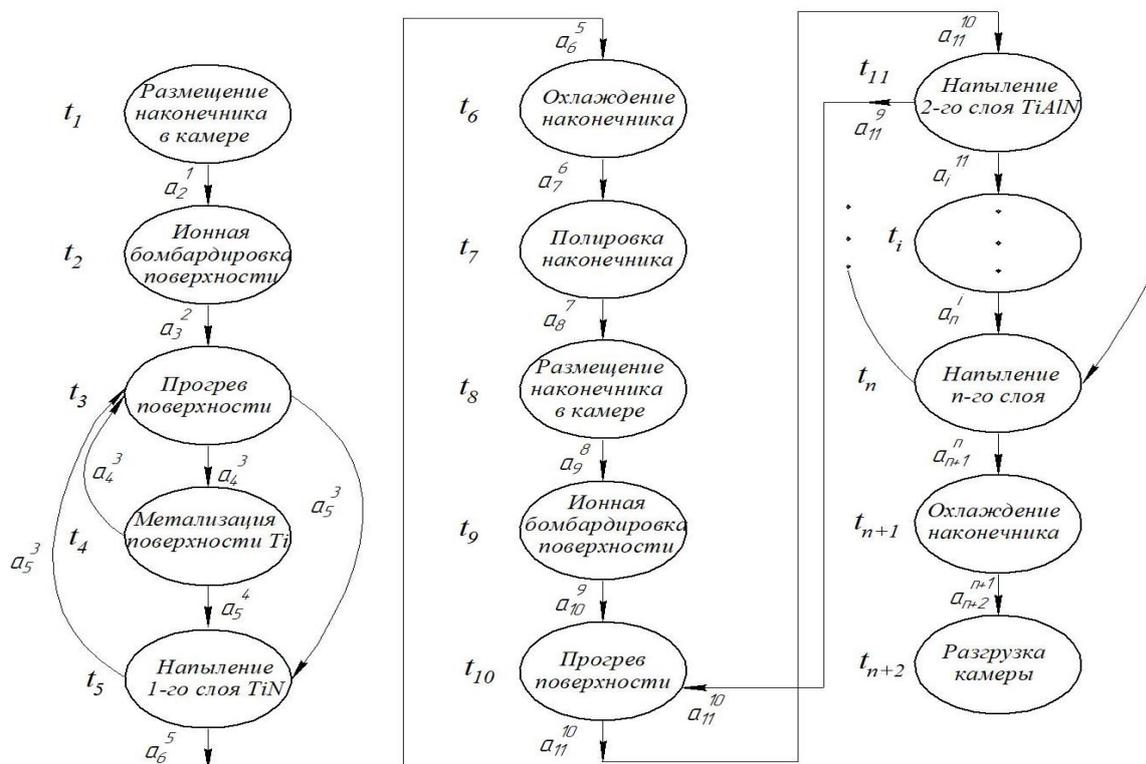


Рисунок 6. Граф ТП нанесения покрытия на сферическую поверхность шарового пальца наконечника рулевой тяги.

На базе графа ТП нанесения многослойных покрытий на основе теории ФОРП разработан алгоритм (рис. 6) полного состава всех переходов ТП ионно-плазменного напыления сферической поверхности наконечника рулевой тяги (этап отделочно-упрочняющей обработки) в вакуумной ионно-плазменной установке (в виде графа $G(T, A)$): T – это множество вершин графа – операции технологического процесса; A – упорядоченные пары вершин – отношения между операциями). После полировки для последующего нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий выполнен процесс обезжиривания ПС.

Деталь устанавливается в планетарный механизм (нержавеющая оправка). Планетарный механизм устанавливается в камеру. После установки планетарного механизма камера закрывается. Обработка происходит при вращении заготовки в планетарном механизме. На первой стадии происходит очистка поверхностей шарнира от примесей и окислов (ионно-плазменная бомбардировка). Затем, осуществляется прогрев детали до нужной температуры, для нанесения слоя титана, функционально являющегося связкой базового металла с покрытием, которая наносится в режиме опорного напряжения, т.е. меняется полярность. Прогрев осуществляется до температуры 250 ... 300 °С. После с соответствующими режимами наносятся слои: 1 слой – чистый титан на всю поверхность сферы (1 мкм); 2 слой – нитрид титан на всю поверхность сферы (4-6 мкм); 3 слой – титан-алюминий-нитрид на пояс, подверженный максимальному износу. Угол при нанесении слоёв – 90 градусов. После нанесения 2-го из указанных слоев устанавливается защитный экран на функционально определенные зоны, не подлежащие к нанесению 3 слоя. При этом наносится слой из NiAlN. Обработанные пальцы после нанесения 2 и 3 слоя представлены на рисунке 7, топография покрытий на рисунке 8.

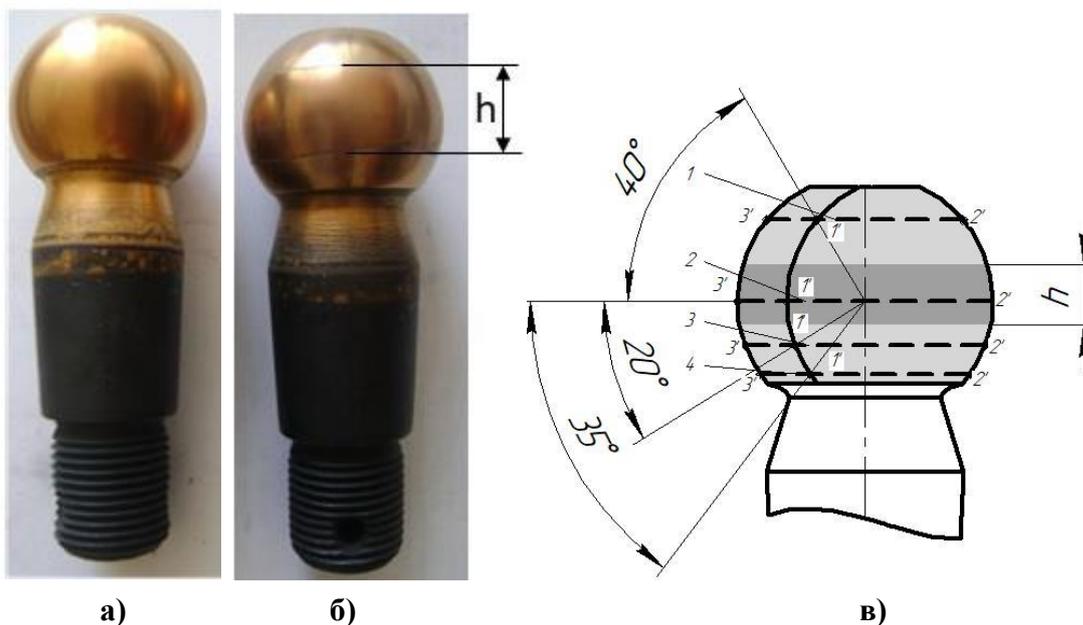


Рисунок 7. Натурные образцы шаровых пальцев и схема измерения: а - после осаждения покрытия TiN; б – TiAlN; в – зоны измерения толщины покрытия

Точки измерения толщины нанесенного при экспериментальном исследовании покрытия представлены на рисунке 7 и в таблице 3.

Таблица 3. Результаты измерения толщины осажденного покрытия

Номер плоскости замеров	Углы определения плоскостей измерения	Точки измерений толщины осажденного слоя, мкм			
		1	2	3	4
1	40 ⁰	6	5	6	6
2	0 ⁰	12	12	11	12
3	- 20 ⁰	12	12	12	12
4	- 35 ⁰	6	6	5	6

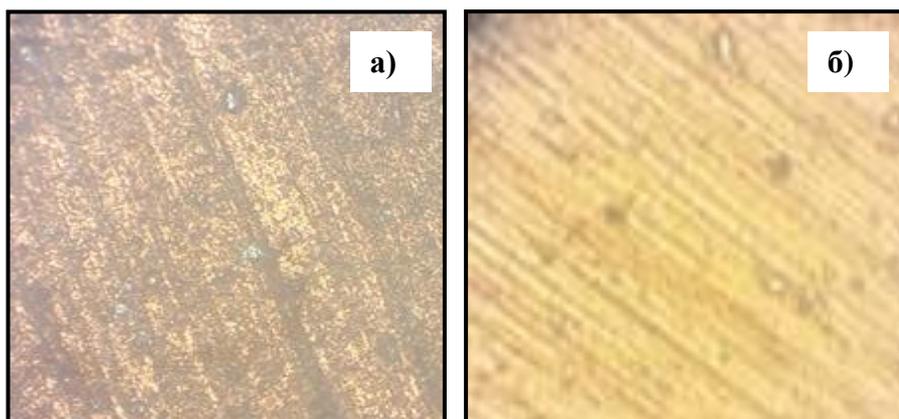


Рисунок 8. Общий вид слоев покрытия под микроскопом (увеличение $\times 200$): а - слой нитрид-алюминиевого титанового покрытия, б - слой нитрид титанового покрытия

На рис. 8 представлен общий вид слоев покрытия под микроскопом (увеличение $\times 200$): рис. 8, а - слой нитрид-алюминиевого титанового покрытия, рис. 8, б - слой нитрид титанового покрытия.

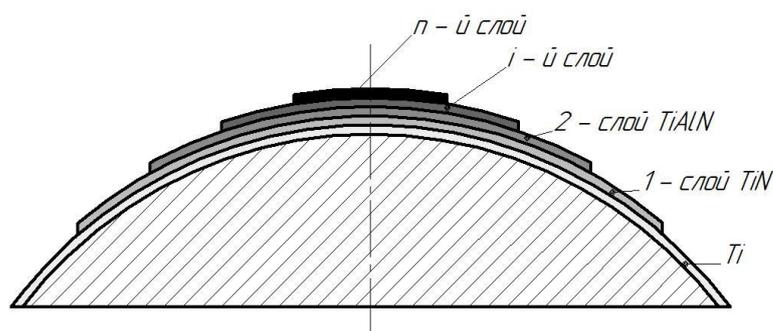


Рисунок 9. Структурная схема многослойного ФОП

На рис. 9 представлена структурная схема многослойного ФОП с n слоями покрытия. Эта схема является универсальной. На базе этой схемы выполняется выбор числа слоев ФОП и составление структуры ТП напыления ФОП (рис. 6).

5. Выводы.

Таким образом, в данной работе проведена разработка методики формирования многослойного ФОП на шаровой палец наконечника рулевой тяги автобуса МАЗ, эксплуатация которого характеризуется переменными скоростями относительного скольжения элементов и неравномерным износом ПС, базирующейся на технологическом обеспечении процессов.

В результате выполненных исследований представлено следующее:

1. В результате выполненных исследований в работе установлено, что ПС шаровой опоры изнашивается не равномерно. Это обусловлено особенностями эксплуатации шарниров и неодинаковыми скоростями относительного скольжения элементов.

2. В работе разработана методика и технологическое обеспечение реализации многослойного ФОП.

3. В работе разработан алгоритм технологического процесса вакуумного ионно-плазменного нанесения многослойных ФОП.

4. В представленной работе выполнены экспериментальные исследования по нанесению ФОП и приведены данные исследований этих покрытий

ЛИТЕРАТУРА:

1. Журавлева, П. Л. Исследование структуры однослойных покрытий TiN и многослойных покрытий TiN/ZrN [Текст] / П. Л. Журавлева, И. А. Тренингов, С. В. Сбитнева, А. А. Алексеев, Д. С. Горлов // Российские нанотехнологии. – 2010. –Т. 5. – № 9 – 10. – С. 112 – 116.

2. Аксенов, И. И. Покрытия, полученные конденсацией плазменных потоков в вакууме [Текст] / И. И. Аксенов и [др.] // Украинский физический журнал. – 1989. – Т. 24, №4. – С. 515 – 525.

3. Ali, M. Effect of cathodic arc PVD parameters on roughness of TiN coating on steel substrate [Текст] / M. Ali, E. Hamzah, I.A. Qazi, M.R.M. Toff // Current Applied Physics. – 2010. –Vol. 10, Issue 2. – С. 471 – 474.

4. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений [Текст] / А. Г. Суслов, В. П. Фёдоров, О. А. Горленко и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.

5. Михайлов, А. Н. Расчет относительных перемещений в системе втулка-палец шаровой опоры / А. Н. Михайлов, А. Н. Голубов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – № 4(55), 2016. – С. 10-17.

6. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий / А. Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

7. Пат. 2718877 РФ. С23С 14/04. Способ нанесения функционально-ориентированного износостойкого покрытия на лопатку газотурбинного двигателя / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, В. А. Михайлов и [др.]. – № 2018107164; заявл. 26.02.18, Бюл. № 11, 15.04.2020. – 7 с.

Поступила в редколлегию 23.04.2020 г.