ISSN 2616-7263

EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY

Л.Н.Гумилев атындағы
Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N.Gumilyov Eurasian
National University

№2 (123)/2018

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н.Гумилева

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
Сериясы

TECHNICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY
Series

Серия
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ISSN 2616-7263

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN
of the L.N. Gumilyov Eurasian National University

ВЕСТНИК
Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

TECHNICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY Series

Серия **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

№2(123)/2018

1995 жылдан бастап шығады
Founded in 1995
Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады
Published 4 times a year
Выходит 4 раза в год

Астана, 2018
Astana, 2018

Бас редакторы
т.ғ.д., проф
Мерзадинова Г.Т. (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары	**Жусупбеков А.Ж.,** т.ғ.д, проф. (Қазақстан)
Бас редактордың орынбасары	**Тогизбаева Б.Б.,** т.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Бас редактордың орынбасары	**Сарсембаев Б.К.,** т.ғ.к., доцент (Қазақстан)

Редакция алқасы

Акира Хашигава	проф. (Жапония)
Акитоши Мочизуки	проф. (Жапония)
Базарбаев Д.О.	PhD (Қазақстан)
Байдабеков А.К.	т.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Дер Вэн Чанг	PhD, проф. (Тайвань (ROC))
Жардемов Б.Б.	т.ғ.д. (Қазақстан)
Жумагулов М.Г.	т.ғ.к., PhD (Қазақстан)
Йошинори Ивасаки	т.ғ.д., проф. (Жапония)
Калякин В.	т.ғ.д., проф. (АҚШ)
Колчун М.	PhD, проф. (Словения)
Тадатсугу Танака	проф. (Жапония)
Талал Аввад	PhD, проф. (Сирия)
Хо Линг	проф. (АҚШ)
Чекаева Р.У.	а.к., проф. (Қазақстан)
Шахмов Ж.А.	PhD, доцент (Қазақстан)
Юн Чул Шин	PhD, проф. (Оңтүстік Корея)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтпаев к-сі, 2, 408 б.
Тел: (7172) 709-500 (ішкі 31-428). E-mail: *vest_techsci@enu.kz*

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген
А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы.
ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы
Меншіктенуші: ҚР БжҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК
Мерзімділігі: жылына 4 рет.
Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген. 27.03.2018ж. №16991-ж тіркеу куәлігі.
Тиражы: 30 дана
Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі ,12/1, тел: (7172)709-500 (ішкі 31-428). Сайт: *bultech.enu.kz*

© Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Editor-in-Chief
Doctor of Technical Sciences, Prof.
Merzadinova G.T. (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief	**Zhussupbekov A.,** Doctor of Technical Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Deputy Editor-in-Chief	**Togizbayeva B.,** Doctor of Technical Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Deputy Editor-in-Chief	**Sarsembayev B.,** Candidate. of Technical Sciences, Assoc. Prof. (Kazakhstan)

Editorial board

Akira Hasegawa	Prof. (Japan)
Akitoshi Mochizuki	Prof. (Japan)
Bazarbayev D.O.	PhD (Kazakhstan)
Baydabekov A.K.	Doctor of Technical Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Chekayeva R.U.	Candidate of Architecture, Prof. (Kazakhstan)
Der Wen Chang	PhD, Prof. (Taiwan (ROC))
Eun Chul Shin	PhD, Prof. (South Korea)
Hoe Ling	Prof. (USA)
Kalyakin V.	Doctor of Technical Sciences, Prof. (USA)
Kolchun M.	PhD, Prof. (Slovenia)
Shakhmov Zh.A.	PhD, Assoc.Prof.(Kazakhstan)
Tadatsugu Tanaka	Prof. (Japan)
Talal Awwad	PhD, Prof. (Syria)
Yoshinori Iwasaki	Doctor of Technical Sciences, Prof. (Japan)
Zardemov B.B.	Doctor of Technical Sciences (Kazakhstan)
Zhumagulov M.G.	Doctor of Technical Sciences, PhD (Kazakhstan)

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 408, Astana, Kazakhstan, 010008
Tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_techsci@enu.kz

Responsible secretary, computer layout:
A. Nurbolat

Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University.
TECHNICAL SCIENCE and TECHNOLOGY Series
Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan
Periodicity: 4 times a year
Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.
Registration certificate №16991-ж from 27.03.2018.
Circulation: 30 copies
Address of printing house: 12/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008;
tel: (7172) 709-500 (ext.31-428). Site: *bultech.enu.kz*

© L.N.Gumilyov Eurasian National University

Главный редактор
д.т.н., проф.
Мерзадинова Г.Т. (Казахстан)

Зам. главного редактора	**Жусупбеков А.Ж.,** д.т.н., проф. (Казахстан)
Зам. главного редактора	**Тогизбаева Б.Б.,** д.т.н., проф. (Казахстан)
Зам. главного редактора	**Сарсембаев Б.К.,** к.т.н. доцент (Казахстан)

Редакционная коллегия

Акира Хашигава	проф. (Япония)
Акитоши Мочизуки	проф. (Япония)
Базарбаев Д.О.	PhD (Казахстан)
Байдабеков А.К.	д.т.н., проф. (Казахстан)
Дер Вэн Чанг	PhD, проф. (Тайвань (ROC))
Жардемов Б.Б.	д.т.н. (Казахстан)
Жумагулов М.Г.	к.т.н., PhD (Казахстан)
Йошинори Ивасаки	т.г.д., проф. (Япония)
Калякин В.	д.т.н., проф. (США)
Колчун М.	PhD, проф. (Словения)
Тадатсугу Танака	проф. (Япония)
Талал Аввад	PhD, проф. (Сирия)
Хо Линг	проф. (США)
Чекаева Р.У.	к.а., проф. (Казахстан)
Шахмов Ж.А.	PhD, доцент (Казахстан)
Юн Чул Шин	PhD, проф. (Южная Корея)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2, каб. 408
Тел: (7172) 709-500 (вн. 31-428). E-mail: *vest_ techsci@enu.kz*

Ответственный секретарь, компьютерная верстка
А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.
Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ
Собственник: РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК
Периодичность: 4 раза в год.
Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.
Регистрационное свидетельство №16991-ж от 27.03.2018г.
Тираж: 30 экземпляров . Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажимукана, 12/1, тел.: (7172)709-500 (вн.31-428). Сайт: *bultech.enu.kz*

© Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ. ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

№2(123)/2018

МАЗМҰНЫ

ТЕХНИКА

Абылгазинова А.Т., Турысбекова А.К., Джумадилова Н.М., Данабек Т.А. Үнемді өндірісті (lean production) енгізу үшін іс-шараларды әзірлеу («Hyundai auto astana» ЖШС) 8

Аввад Т., Тайбасарова Ж. Құрылыс индустриясында энергетикалық ресурстарды үнемдеуді оңтайландыруда ақпараттық модельдеудің (BIM) рөлі 17

Асанова Б.У., Оразбаева Б.Б., Оразбаев Б.Б., Сладкова М.Ю. Тиімді шешімді таңдау және адамның шешім қабылдау психологиясы 22

Бахтиярова Е.А., Сансызбай К.М. Сигалдар мен бұрмалардың микропроцессорлық орталықтандыруын салыстырмалы талдау 30

Ермекбаева Ж.Ж., Ахмедиярова М.Ж., Төлеу А.Ш. Айнымалы токты діріл генераторын зерттеу негізінде – механикалық энергияны (табиғи шығу тегі) электр энергиясына түрлендіргіштер 37

Ермекбаева Ж.Ж., Омаров А.Н., Кулниязова К.С., Төлеу А.Ш. Жылыту жүйесінің геотермалдық әдісі негізінде автоматтандырылған басқару жүйесін сипаттау 44

Джамалов Д.К., Нурсеитов Д.Б. HSPF бағдарламалық жасақтамасында Іле өзені алабында ластанудың тасымалын моделдеу әдістемесі 54

Иманалиев Қ.Е., Джумабаев А.А., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Риставлетов Р.А., Абшенов Х. А. Үйлердің күн сәулесімен жұмыс істейтін энергиялық белсенді сыртқы қоршау конструкциясының жылу тиімділігін анықтау әдісі әдісі 62

Кусаинов М.К., Толеубаева Ш.Б., Кожас А.К., Есен Ж. Астана және Қазақстанның басқа қалаларының алаңшаларындағы және жаяу жолдарындағы төселген бетон тас төсеуіштерінің сапасы мәселелерін шешу 68

Канаев А.Т., Тополянский П.А., Тополянский А.П., Ермаков С.А., С.К. Бийжанов., Е.Н.Решоткина Трибологиялық сипаттамалар бойынша материалдарды және құрылғыларды сертификаттау 73

Оразбаев Б.Б., Алтыжанов С.М., Утенова Б.Е., Кишубаева А.Т. Бастапқы ақпараттың айқын еместігін ескере отырып мұнай тасымалдау жүйесі технологиялық агрегаттарының математикалық модельдерін идентификациялау 82

Риставлетов Р.А., Джумабаев А.А., Сулейменов У.С., Жамашев К.Р., Камбаров М.А., Кудабаев Р.Б. Жылушағылыстырғыш жабыны бар ғимарат сыртқы қоршауының жылуберуге қарсыласуын бағалаудың есептік әдісі 90

Сарсембаева Т Е., Джаксымбетова М.А., Қанаев А.Т. Феррит-перлитті болаттарды беріктендіру механизмдерінің иімділігі мен қолданылығын сандық тұрғыда бағалау 96

Шамхорян А.Г., Суранкулов Ш.Ж. Қалдықтарды қайта өңдеу зауытын құру - уақытты уақытша тоқтату 104

*Чиканаев А.Ш ., Нурушева Д.В.*Қаланың брендингін қалыптастырудың негізгі принциптері мен тәсілдері 109

Юлдашева М.К., Ибрагимов Н.Х., Рахманова М.Б. САМ ГАСИ архитектуралық жобадағы Самарқанд қаласы тарихи аудандарын қайта қалпына келтіру және жандандыру 115

Юлдашева М.К., Ибрагимов Н.Х., Рахманова М.Б. Өзбекстан аудандарына арналған күрделі жер бедеріндегі бастырма түрендегі тұрғын үйлер 121

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY.
TECHNICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY
№2(123)/2018

CONTENTS

TECHNICS

Abylgazinova A.T., Jumadilova N.M., Turysbekova A.K., Danabek T.A. Development of measures for the introduction of lean production (LLP «Hyundai auto astana») 8

*Awwad T., Taibassarova Zh.*The role of building information modelling (BIM) in optimizing energy-resource-saving in construction industry 17

Assanova B.U., Orazbayeva B.B., Orazbayev B.B., Slodkova M.Y. The choice of an effective solution and the psychology of decision-making by a person 22

Bakhtiyarova E.A., Sansyzbai K.M. Comparative analysis of microprocessor centralization of arrows and signals 30

Yermekbaeva J.J., Akhmedyarova M.Zh., Toleu A.Sh. Converters of mechanical energy (natural origin) to electrical - based on the investigation of an alternating current oscillator 37

Yermekbaeva J.J., Omarov A.N., Kulnyazova K.S., Toleu A.Sh. Description of the automated control system based on geothermal methods of heating systems 44

*Jamalov J.K., Nurseitov D.B.*Pollution transport modeling methodology in the HSPF software on the Ili river basin 54

Imanaliyev K.E., Jumabayev A.A., Suleymenov U.S., Kambarov M.A., Ristavletov R.A., Abshchenov Kh.A. The method of determining the thermal efficiency of solar energy-Active construction of the external cladding of building 62

Kusainov M.K., Toleubayeva Sh.B., Kozhas A.K., Esen Zh. Solution of the problem of Astana and other cities of Kazakhstan in the quality of covering pavements and squares with concrete paving stones 68

KanaevA.T., Topolyansky P.A., Topolyansk.y A.P., Ermakov S.A., Biizhanov S.K., Reshotkina E.N. Certification of materials and coatings by tribological characteristics 73

Orazbaye B.B., Altyzhanov S.M., Utenova B.E., Kichubayeva A.T. Identification of mathematical models of technological units of the oil-pipeline system taking into consideration the fuzziness of the initial information 82

Ristavletov R.A., Jumabayev A.A., Suleimenov U.S., Zhamashev K.R., Kambarov M.A., Kudabayev R.B. Calculation method for estimating the resistance to heat transfer of external fences of buildings with a heat-reflecting coating 90

Sarsembayeva T.Ye., Jaxymbetova M.A., Kanayev A.T. Quantitative evaluation of the efficiency and applicability of the mechanisms of ferrite-pearlitic steels hardening 96

Shamhoryan A., Surankulov Sh. Formation Of The Waste Manufacture Plant - Timing Of Time 104

Chikanaev A.Sh., Nurusheva D.V. Branding principles of city forming (Example of Kostanay city) 109

*Yuldasheva M.K., Ibragimov N.H., Rakhmanova M.B.*Reconstruction and revival of historical zones of the city of Samarkand in architectural design of SAMGASI 115

*Yuldasheva M.K., Ibragimov N.H., Rakhmanova M.B.*Houses of terrace type on a difficult relief for the regions of Uzbekistan 121

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

№2(123)/2018

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИКА

Абылгазинова А.Т., Турысбекова А.К., Джумадилова Н.М., Данабек Т.А. Разработка мер по внедрению бережливого производства (lean production) (ТОО «Hyundai auto astana») 8

Аввад Т., Тайбасарова Ж. Роль построения информационного моделирования (BIM) в оптимизации энергосбережения в строительной отрасли 17

Асанова Б.У., Оразбаева Б.Б., Оразбаев Б.Б., Сладкова М.Ю. Выбор эффективного решения и психология принятия решений человеком 22

Бахтиярова Е.А., Сансызбай К.М. Сравнительный анализ микропроцессорной централизации стрелок и сигналов 30

Ермекбаева Ж.Ж., Ахмедиярова М.Ж., Төлеу А.Ш. Преобразователи механической энергии (природного происхождения) в электрическую - на базе исследования вибрационного генератора переменного тока 37

Ермекбаева Ж.Ж., Омаров А.Н., Кулниязова К.С., Төлеу А.Ш. Описание автоматизированной системы управления на основе геотермальных методов систем отопления 44

*Джамалов Д.К., Нурсеитов Д.Б.*Методология моделирования переноса загрязнения в программном обеспечении HSPF на примере бассейна реки Или 54

Иманалиев К.Е.,Джумабаев А.А., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Риставлетов Р.А., Абшенов Х.А. Метод определения тепловой эффективности солнечной энергоактивной конструкции наружного ограждения здания 62

Кусаинов М.К., Толеубаева Ш.Б., Кожас А.К., Есен Ж. Решение проблемы Астаны и других городов Казахстана по качеству покрытия тротуаров и площадей бетонной брусчаткой 68

Канаев А.Т., Тополянский П.А.,Тополянский А.П., Ермаков С.А., Бийжанов С.К., Решоткина Е.Н. Сертификация материалов и покрытий по трибологическим характеристикам 73

Оразбаев Б.Б., Алтыжанов С.М., Утенова Б.Е., Кишубаева А.Т. Идентификация математических моделей технологических агрегатов нефтепроводной системы с учетом нечеткости исходной информации 82

Риставлетов Р.А., Джумабаев А.А., Сулейменов У.С., Жамашев К.Р., Камбаров М.А., Кудабаев Р.Б. Основные принципы и подходы к формированию брендинга города 90

Сарсембаева Т.Е., Джаксымбетова М.А., Канаев А.Т. Количественная оценка эффективности и применимости механизмов упрочнения феррито-перлитных сталей 96

Шамхорян А.Г., Суранкулов Ш.Ж. Формирование мусороперерабатывающего завода - веление времени 104

Чиканаев А.Ш., Нурушева Д.В. Основные принципы и подходы к формированию брендинга города 109

Юлдашева М.К., Ибрагимов Н.Х., Рахманова М.Б. Реконструкция и возрождение исторических зон города Самарканда в архитектурном проектировании САМГАСИ 115

Юлдашева М.К., Ибрагимов Н.Х., Рахманова М.Б. Жилые дома террасного типа на сложном рельефе для районов Узбекистана 121

МРНТИ 55.21.15

А.Т. Канаев [1], П.А. Тополянский [2], А.П. Тополянский [3], С.А. Ермаков [2], С.К. Бийжанов [1], Е.Н. Решоткина [4]

[1] *Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан*
[2] *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация*
[3] *ООО «Плазмацентр», Санкт-Петербург, Российская Федерация*
[4] *АО «Арселор Миттал Темиртау», Темиртау, Казахстан*
(E-mail: [1] bijanov@mail.ru, [2] ilist@ltc.ru, [3] office@plasmacentre.ru, [4] ilist@ltc.ru)

Сертификация материалов и покрытий по трибологическим характеристикам

Аннотация: Рассмотрены современные подходы к трибологической сертификации и аттестации технологий модификации поверхности и нанесения износостойких и антифрикционных покрытий, осаждаемых CVD и PVD методами, в том числе с использованием процесса финишного плазменного упрочнения - бескамерного химического осаждения покрытий при атмосферном давлении с применением летучих жидких элементоорганических соединений и газовых сред с одновременной активацией поверхности электродуговой плазмой. Приведены особенности методологии трибоиспытаний и представлены сравнительные характеристики различных тонкопленочных покрытий. Произведен анализ влияния на их свойства отдельных факторов трибоиспытаний. Исследования трибологических характеристик проводились применительно к покрытиям TiN, TiAlN, MoCrN, нанесенных PVD методом на модернизированной установке ННВ-6, 6-И1 с дополнительным устройством сепарации плазменного потока, а также к аморфному покрытию TriboPateks (системы Y-SiOCN). Сделано заключение о возможности проведения независимой экспертизы при сравнительных испытаниях тонкопленочных трибологических покрытий только при соблюдении жестких требований к однотипности физико-механических и химических свойств материала подложки и постоянства условий испытаний (в том числе, материала контртела).

Ключевые слова: модификация, PVD-процесс, CVD-процесс, финишное плазменное упрочнение инструмента, износостойкое нанопокрытие, трибологические испытания.

Введение. При создании различных технических средств, имеющих трибосопряжения, необходимо выбирать антифрикционные материалы пар трения, оценивая их трибологические характеристики. К антифрикционным материалам и трибологическим покрытиям относятся материалы, обеспечивающие минимальные значения коэффициента трения, длительности приработки, тепловыделения при трении и износа трущихся поверхностей. Данные характеристики могут быть достигнуты при модификации поверхностного слоя и нанесения функциональных покрытий [1, 2].

Наиболее важными модельными испытаниями натурных трибосопряжений, предваряющими тестирование материалов и покрытий в конкретных условиях эксплуатации, являются испытания на машинах трения для получения сравнительных трибологических характеристик. Знание и анализ этих свойств является частью процесса сертификации материалов и покрытий.

1. Методология трибологической сертификации. В мировой практике экспертную оценку свойств модифицированных поверхностей и покрытий наиболее часто оценивают на основании международных стандартов: ASTM G99-05 (2010) – Испытания на трение и износ по схеме «шар - диск» (США), ASTM G133-05 (2010) – Испытания на трения и износ по схеме «шар – плоскость» при поступательном движении (США), DIN 50324-1992 – Испытания на трение и износ при трении скольжении по схеме «шар – диск» (Германия), JIS R 1613:2010 – Испытания на трение и износ по схеме «шар – диск» (Япония), ISO 20808:2004 – Определение характеристик износа и трения по схеме «шар – диск» (интернациональный стандарт). Данные стандарты применимы для получения сравнительных трибологических характеристик, как для модифицированных поверхностей и покрытий, наносимых технологиями осаждения, напыления и наплавки, так и для проведения испытаний монолитных материалов.

Исследования на трение и износ по схеме «шар – диск» производят на современных устройствах, обеспечивающих определение коэффициента трения и износа со временем названных трибометрами. Данные испытания основываются на измерении тензодатчиком силы трения, возникающей при скольжении прижатого с заданным усилием сферического неподвижного контртела (шара) к вращающемуся с определенной скоростью дисковому образцу. При этом коэффициент трения скольжения определяется как отношение измеренной силы трения к усилию прижима. Важным преимуществом таких испытаний является их документальное подтверждение в виде получаемого протокола (диаграммы результатов испытаний). В процессе трибоиспытаний на компьютерной диаграмме выводятся кривые изменения со временем коэффициента трения и сближения контртела с поверхностным слоем испытываемого образца (коррелирующего с износом контртела и образца). Дополнительными критериями оценки результатов трибоиспытаний является определение времени приработки и характера кривой изменения коэффициента трения со временем. Необходимыми условиями повышенной износостойкости модифицированных поверхностей и трибологических покрытий являются минимальные значения основных измеряемых параметров – коэффициента трения, износа исследуемой поверхности и контртела, длительности приработки, падающий или постоянный характер кривой изменения коэффициента трения со временем. В качестве материала контртела используются стальные и керамические шары из сталей ШХ15, 95Х18, керамики Si_3N_4, SiC, Al_2O_3 и др. Диаметр применяемых шаров 3 или 6 мм, параметр шероховатости поверхности шара $Ra \leq 0{,}1$ мкм. Минимальная толщина испытываемых образцов (дисков) – 3 мм, диаметр – 15-60 мм, не параллельность торцовых плоскостей дисков – $\leq 0{,}02$ мм, рекомендуемая шероховатость испытываемой поверхности – $Ra \leq 0{,}1$ мкм.

Основные условия испытаний на трибометрах – прикладываемая нагрузка в зависимости от конкретного трибометра – 0,06-1,0 кН; линейная скорость – 0,01-50 мм/с; условия испытаний - без смазки, при граничной смазке, в условиях гидродинамического режима смазки; длительность испытаний – практически неограниченна. Максимальные контактные давления при испытаниях на трибометрах по теории Герца, например, с учетом наиболее часто используемой испытательной нагрузки 1-5 Н, применяемого шара диаметром 3 или 6мм и получаемого контактного отпечатка диаметром 80-120 мкм, соответствуют значению 650-800 МПа.

В процессах трибоиспытаний диск с модифицированной поверхностью или покрытием и шар подвергаются износу (рисунок 1, 2), особенностями которого является его неравномерность по перпендикулярным диаметрам образуемого пятна износа на шаре (диаметр, касающийся только покрытия всегда меньше перпендикулярного диаметра) и дорожке износа на испытываемом диске. В большинстве случаев многими исследователями неравномерность износа усредняется, что приводит к ошибке минимум на $20-30\%$.

В соответствии с международным стандартом ISO 20808:2004 и рисунке 1 объем изношенной поверхности контртела - шара $V_ш, м^3$ определяется

$$V_ш = \pi A^3 B/32D,$$

где A - минимальный диаметр поверхности износа шара, м;

B - перпендикулярный диаметр (к диаметру А) поверхности износа шара, м;

D - исходный диаметр применяемого в испытаниях шара, м.

При B>1,5 A данная формула не применяется, а объем износа оценивается путем снятия профилограмм в двух перпендикулярных плоскостях и расчета объема износа в специальных компьютерных программах.

На рисунке 2 – R – радиус центра дорожки износа, *S1, S2, S3, S4* – площади поперечного сечения профилей износа в перпендикулярных плоскостях

Удельный износ шара $W_ш[м^3/Н \cdot м]$ определяется из знания величины объема изношенной поверхности шара, величины нагрузки F [Н] и длины пути L [м], задаваемых при испытаниях, из следующей формулы:

$$W_ш = V_ш/F \cdot L.$$

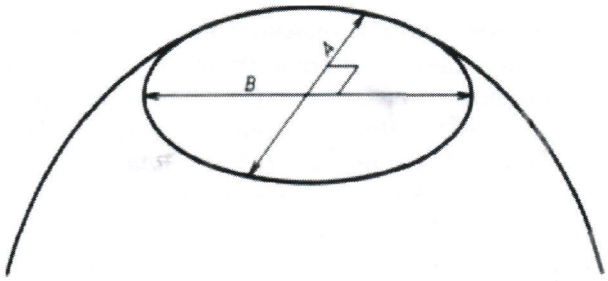


Рисунок 1 – Схема пятна износа шара с размерами для расчета

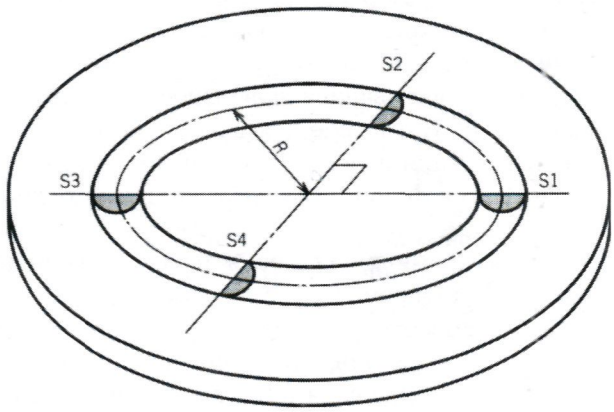


Рисунок 2 – Схема дорожки износа диска с размерами для расчета

Объем изношенной дорожки испытываемого образца $V_д[м^3]$ определяется (рисунок 2):

$$V_д = \pi \cdot R \cdot (S_1 + S_2 + S_3 + S_4)/4,$$

где R - радиус центра окружности дискового образца, по которому перемещается шар, устанавливаемый на трибометре в начале испытаний, [м];
S_1, S_2, S_3, S_4 - рассчитанные площади четырех перпендикулярных сечений дорожки износа (профиль измеряется на профилометре, площадь – по специальным компьютерным программам, [2]).

Удельный износ образца с покрытием $W_{покр}[м^3/Н \cdot м]$ рассчитывается, как

$$W_{покр} = V_д/F \cdot L.$$

Теоретические варианты изменения коэффициента трения в зависимости от длительности испытаний могут иметь следующий вид (рисунок 3). При этом с точки зрения эффективности использования трибосопряжения наиболее предпочтительными являются варианты с падающей или первоначально возрастающей, а затем падающей характеристикой [1].

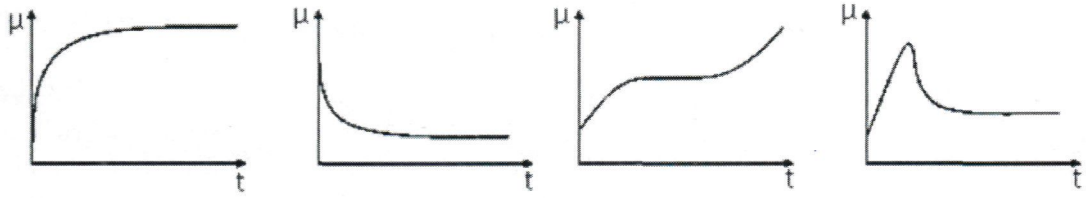


Рисунок 3 – Варианты изменения коэффициента трения со временем

2. Технологии нанесения трибологических покрытий. В настоящее время в качестве основных технологий нанесения тонкопленочных износостойких и антифрикционных покрытий используются процессы химического (CVD - chemical vapor deposition) и физического осаждения из газовой фазы (PVD - physical vapor deposition). При CVD и PVD процессах наносятся покрытия, состоящие из различных тугоплавких соединений, в том числе, нанопокрытия, уникальность которых заключается в высокой объемной доле границ раздела фаз и их прочности, отсутствии дислокаций внутри кристаллов, возможности изменения соотношения объемных долей кристаллической и аморфной фаз, взаимной растворимости металлических и неметаллических компонентов. Это обеспечивает улучшенные физико-механические свойства покрытий, такие как твердость, упругость, усталостная прочность, жаро- и коррозионная стойкость.

Особый интерес представляют аморфно-кристаллические и аморфные покрытия, для нанесения которых разработана технология бескамерного химического осаждения покрытий при атмосферном давлении с применением летучих жидких элементоорганических соединений и газовых сред с одновременной активацией поверхности электродуговой плазмой (PECVD by cold atmospheric plasma) [3, 4]. Нанесение покрытий данным процессом осуществляется на заключительной стадии изготовления изделий или непосредственно перед их использованием, поэтому данный метод называется финишным плазменным упрочнением (ФПУ) (рисунок 4). ФПУ – это безвакуумный и бескамерный процесс плазмоструйного осаждения тонкоплёночных покрытий на основе соединений кремния из газовой фазы при использовании малогабаритного плазмохимического реактора с одновременной плазменной активацией реакционного газового потока и локального участка поверхности изделия, на который наносится покрытие. В качестве источника тепловой энергии для нанесения функционального покрытия при ФПУ используется плазменная струя, истекающая при атмосферном давлении из малогабаритного дугового плазмотрона, дополненного плазмохимическим реактором.

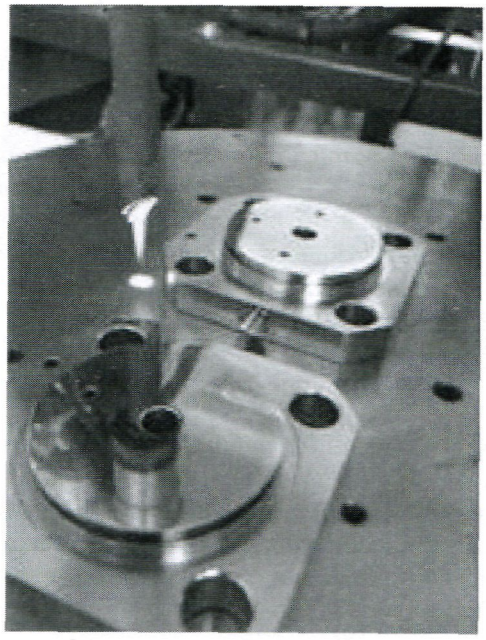


Рисунок 4 – Процесс нанесения покрытия методом ФПУ

К основным достоинствам ФПУ относятся: осуществление процесса без вакуума и камер; минимальный нагрев изделий, не превышающий 150° С; возможность нанесения покрытий локально, в труднодоступных зонах и на изделиях любых габаритов; использование малогабаритного, мобильного и экономичного оборудования. Основным принципом нанесения тонкопленочного износостойкого покрытия, взятой за основу технологии ФПУ, является разложение паро́в жидких элементоорганических препаратов, пары́

которых вводятся в плазмохимический реактор дугового плазмотрона, с последующим прохождением плазмохимических реакций и образованием покрытия на изделии. Нанесение покрытия осуществляется локально на упрочняемую поверхность изделия при циклическом сканировании плазменной струи которая касается обрабатываемой зоны. Важной отличительной особенностью процесса ФПУ является также то, что нанесение покрытия может осуществляться многослойно при толщине каждого слоя порядка 2-20 нм полосами шириной 8-15 мм (с учетом линейного перемещения плазменной струи). С целью минимального термического воздействия на материал основы при ФПУ плазменную струю перемещают со скоростью 3-150 мм/с.

3. Трибологическая сертификация технологий нанесения покрытий. Исследования трибологических характеристик проводились применительно к покрытиям TiN, TiAlN, MoCrN, нанесенных PVD методом на модернизированной установке ННВ-6,6-И1 с дополнительным устройством сепарации плазменного потока, а также к аморфному покрытию TriboPateks (системы Y-SiOCN), полученным методом ФПУ.

В качестве образцов использовались диски диаметром 15 и 30 мм, толщиной 5 мм, изготовленные из инструментальных сталей Р6М5, штамповой стали Х12М и подшипниковой стали ШХ15, прошедшие термическую обработку до твердости 60-62 HRC. Все образцы прошли окончательную операцию шлифования до Ra=0,2 мкм.

Трибологические испытания покрытий и материала основы проводились с использованием трибометра TRB-S-DE (CSM-Instruments, Швейцария) по схеме «ball-on-disk» («шар-диск») с использованием шаров диаметром 3 мм, изготовленных из стали ШХ15 и керамики Si_3N_4. После каждого испытания производился замер износа шара. Новые испытания проводились при соприкосновении с изначальным (неизношенным) диаметром шара. Нагрузка на контртело составляла 5 Н, 10 Н и 20 Н. Линейная скорость скольжения - 10 см/с. Путь трения – 80-100 м. При испытаниях применялось моторное масло Nissan SAE 5W-40. При изменении испытательной нагрузки использовались различные диаметры кольцевой дорожки одного и того же образца. Ширина следа износа после трибоиспытаний определялась на оптическом металлографическом микроскопе Olympus GX51 (Olympus Life Sience GmbH, Германия). Профилограммы дорожки износа снимались при помощи профилометра Perthometer S2 (Mahr GmbH, Германия). Для нахождения площади четырех перпендикулярных сечений дорожки износа профилограммы обрабатывались в специальной компьютерной программе. Все испытания проводились при температуре окружающего воздуха 21° С, относительной влажности 57% и атмосферном давлении 98,6 кПа.

На рисунке 5 показаны диаграммы изменения коэффициента трения (красная кривая) покрытия TriboPateks при использовании различных материалов контртела - шаров из стали ШХ15 (а) и керамики Si_3N_4 (б) при испытательной нагрузке.

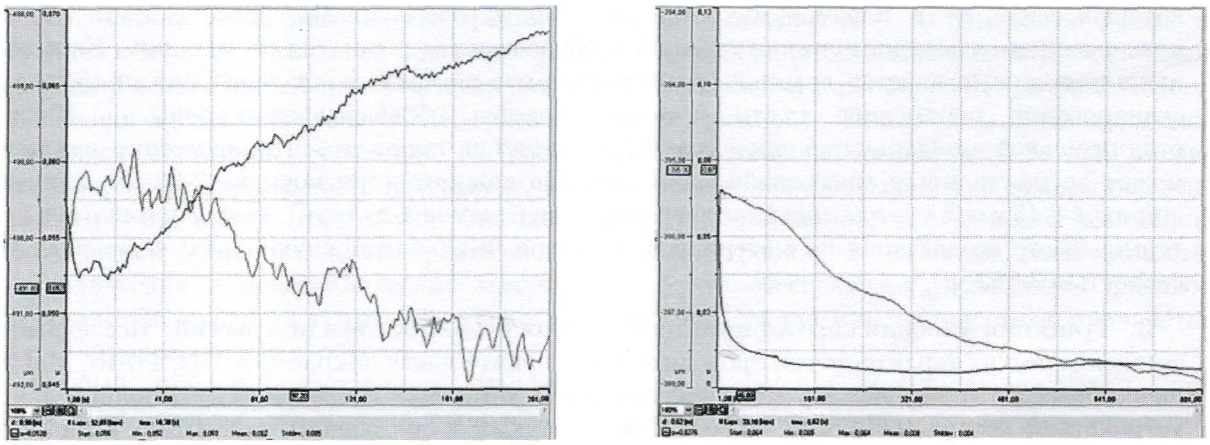
Из анализа полученных диаграмм видно не только количественное отличие значений среднего коэффициента трения: 0,062 (при испытаниях с шаром из стали ШХ15) и 0,01 (при испытаниях с шаром из керамики Si_3N_4), но и различный качественный характер кривой изменения коэффициента трения - в первом случае ее рост, во втором - падение. Увеличение испытательной нагрузки - 5 Н, 10 Н и 20 Н при использовании контртела из керамики Si_3N_4 характеризуется уменьшением коэффициента трения в пределах 20% (рисунок 6).

На величину коэффициента трения многослойного покрытия TriboPateks (общей толщиной 1 мкм) при использовании контртела из керамики Si_3N_4 оказывает влияние толщина монослоя, соответствующая различному количеству слоев в покрытии (рисунок 7).

Минимальное значение коэффициента трения соответствует технологии, обеспечивающей нанесение покрытий с толщиной монослоя, равной 8-12 нм.

На рисунке 8 приведены диаграммы, характеризующие влияние на коэффициент трения (красная кривая) покрытия TriboPateks толщиной 1 мкм при использовании контртела из керамики Si_3N_4, нанесенного на различный материал подложки - стали Х12М (а), Р6М5 (б) и ШХ15 (в).

По результатам данных испытаний были получены средние коэффициенты трения в зависимости от материала подложки: 0,001 (Х12М), 0,038 (Р6М5), 0,024 (ШХ15),



а) б)

Рисунок 5 – Изменение коэффициента трения покрытия TriboPateks

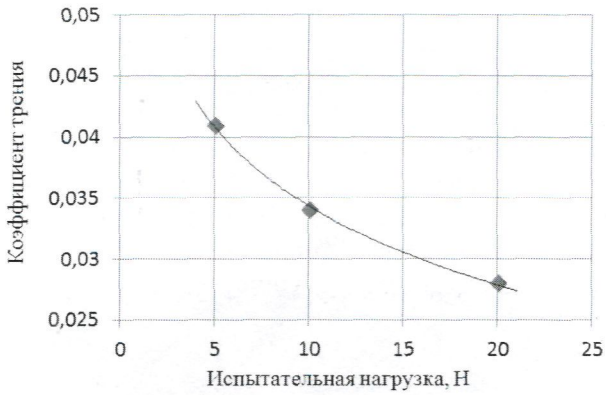


Рисунок 6 – Изменение коэффициента трения покрытия TriboPateks от испытательной нагрузки

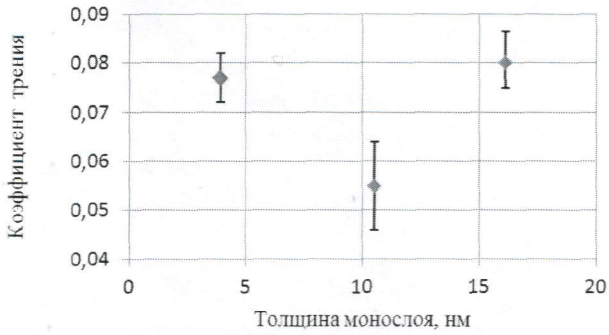
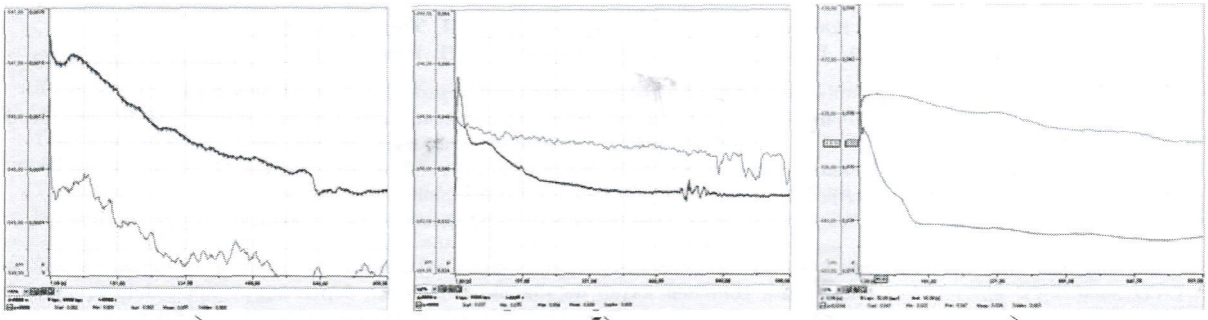


Рисунок 7 – Влияние толщины монослоя покрытия TriboPateks на коэффициент трения

при этом имеет место одинаковый падающий характер изменения коэффициента трения. Различные значения коэффициентов трения одного и того же покрытия связаны с разными физико-механическими и химическими свойствами исходного материала. Таким образом, несоблюдение идентичности свойств подложки при трибоиспытаниях ведут к получению разных значений коэффициентов трения. Результаты сравнительных трибологических испытаний по вышеприведенной методике материала подложки – стали Р18 и покрытий TiN, TiAlN, MoCrN и TriboPateks, нанесенных на сталь Р18, представлены в таблице 1.

Анализ данных свойств покрытий показал, что минимальным коэффициентом трения обладает покрытие TriboPateks и он примерно в 2 раза меньше коэффициента трения



а) б) в)

Рисунок 8 – Изменение коэффициента трения со временем покрытия TriboPateks

Таблица 1 – Параметры трибоиспытаний материала основы и различных покрытий

Покрытие	Основа	Средний коэффициент трения	Удельный износ образца с покрытием, 10^{-10}м^3/Н · м	Удельный износ контртела, 10^{-14}м^3/Н · м
Сталь Р18	Р18	0,2	103	5
TiN	Р18	0,1	6,8	7
TiAlN	Р18	0,09	5,5	6
MoCrN	Р18	0,08	11	4
TriboPateks	Р18	0,04	5	4

рассматриваемых покрытий, наносимых методом PVD и в 5 раз меньше материала основы.

Выводы

1. Трибологическая сертификация материалов и покрытий, основанная на сравнительных испытаниях альтернативных вариантов, является важным фактором при объективном выборе антифрикционного материала, обеспечивающего повышенный ресурс работы всего изделия в целом.

2. Проведение независимой экспертизы при сравнительных испытаниях тонкопленочных трибологических покрытий возможно только при соблюдении жестких требований к однотипности физико-механических и химических свойств материала подложки и постоянства условий испытаний (в том числе, материала контртела).

3. Сравнительные испытания различных покрытий, наносимых CVD и PVD методами, показали преимущество трибологических характеристик покрытия TriboPateks, наносимого при финишном плазменном упрочнении.

Список литературы

1 Канаев А.Т., Рамазанова Ж.М. Модернизация структуры поверхностного слоя металлических материалов. –Астана: Изд-во «Мастер-ПО», 2013. –232 с.

2 Тополянский П.А., Ермаков С.А., Тополянский А.П. Выбор тонкопленочных покрытий для упрочнения изделий // Функциональные пространства и теория приближения функций: Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: Материалы 18-й Международной научно-практической конференции, СПб., Россия, 2016. – СПб., 2016. –С.194-205.

3 Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. –406 с.

4 Скаков М.К., Рахадилов Б.К., Рахадилов М.К. Упрочнение поверхности стали Р6М5 нанесением тонкопленочного покрытия из SiC // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: Сб. трудов 6-й МНПК, Томск, Россия, 2013. – Томск, 2013. –С.156-159.

А.Т. Канаев [1] , П.А. Тополянский [2] , А.П. Тополянский [3] ,
С.А. Ермаков [2] , С.К. Бийжанов [1] , Е.Н. Решоткина [4]

[1] *С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана , Қазақстан*
[2] *Санкт-Петербург Ұлы Петр атындағы Политехникалық университеті, Санкт-Петербург , Ресей Федерациясы*
[3] *«Плазмацентр» ЖШС, Санкт-Петербург , Ресей Федерациясы*
[4] *«Арселор Миттал Темиртау» АҚ, Теміртау , Қазақстан*

Трибологиялық сипаттамалар бойынша материалдарды және құрылғыларды сертификаттау

Аннотация: Бетті модификациялау технологиясын трибологиялық аттестаттау және сертификаттаудың жңне CVD және PVD әдістерімен жасалатын, сонымен қатар фиништік плазмалық беріктендіру процесінің- ұшпа сұйық элементорганикалық қосылыстары бар атмосфералық қысыммен және электрдоғалы пісірумен беттерді бір мезетте белсендірілумен газдық ортаның қолданылуымен беттерді камерасыз химиялық тұндырумен тозу мен үйкеліске төзімді жабындарды түсірудің заманауи тәсілдемелері қарастырылды. Триботәжірибелер әдістемесінің ерекшеліктері келтірілген және әртүрлі жұқа таспалы жабындардың салыстырмалы қасиеттері қсынылған. Триботәжірибелердің жеке факторларының олардың қасиеттеріне әсеріне талдау жасалған. Трибологиялық сипаттамаларды зерттеу ННВ-6, 6-И1 жақартылған қондырғыларда PVD әдісімен түсірілген TiN, TiAlN, MoCrN жабындарына және TriboPateks (Y-SiOCN жүйесінің) аморфты жабынға қатысты жүргізілді, қондырғылардың плазмалық ағынды бөлетін қосымша құрылғылары бар. жкқа таспалы трибологиялық жабындарды салыстырмалы зерттеу кезінде дербес сынақ жүргізу мүмкіндігі жайында қорытынды жасалды, сынақ тек төсем материалының физико-механикалық және химиялық қасиеттерінің біртектілігіне қойылатын қатаң талаптарды жәнетәжірибе шарттарының бірқалыптылығын (сонымен қатар контрдене материалы үшін) орындағанда ғана мүмкін.

Трибосынау әдіснамасының ерекшеліктері ұсынылған және әртүрлі жұка пленкалы жабындардың салыстырмалы сипаттамалары келтірілген. Жекелеген трибосынақ факторларының олардың қасиеттеріне тигізетін әсеріне талдау жасалды.

Түйін сөздер: модификациялау, PVD-процесс, CVD процесс, құралдың плазмалық беріктендіру, тозуға төзімді наноқауытқыштар, трибологиялық сынаулар.

A.T. Kanaev [1] , P.A. Topolyansky [2] , A.P.Topolyansky [3] ,
S.A. Ermakov [2] , S.K. Biizhanov [1] , E.N. Reshotkina [4]

[1] *Saken Seifullin, Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan*
[2] *St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, St. Petersburg, Russian Federation*
[3] *PO "Plazmatsentr", St. Petersburg, Russian Federation*
[4] *JSC Arcelor Mittal Temirtau, Temirtau, Kazakhstan*

Certification of materials and coatings by tribological characteristics

Abstract: Modern treatments of tribological certification of thin-film wear-resistant coatings deposited by CVD and PVD methods, as well as by the new finishing plasma hardening technology - by beadless plasma-chemical deposition at atmospheric pressure with the use of liquid organoelemental compounds and PACVD by cold atmospheric plasma are described. Specific features of tribological testing methods are given and comparative characteristics of different thin-film coatings are represented. Analysis of the impact of different tribological testing factors on the coatings characteristics has been conducted. Studies of tribological characteristics were carried out with TiN, TiAlN, MoCrN coatings deposited by the PVD method on the upgraded NNV-6, 6-I1 unit with an additional plasma stream separation device, as well as to the amorphous coating of TriboPateks (Y-SiOCN system). A conclusion is made about the possibility of conducting an independent examination in comparative trials of thin-film tribological coatings only if strict requirements are met for the uniformity of physical-mechanical and chemical properties of the substrate material and the consistency of test conditions (including the counterbody material).

Keywords: modification, PVD, CVD, PACVD by cold atmospheric plasma, finish plasma strengthening, wear-resistant nanocoating, tribological tests.

References

1 Kanayev A.T., Ramazanova Zh.M. Modernizatsiya struktury poverkhnostnogo sloya metallicheskikh materialov [Modernization of the structure of the surface layer of metallic materials] («Master-PO», Astana, 2013). [in Russian]

2 Topolyanskiy P.A., Yermakov S.A., Topolyanskiy A.P. Vybor tonkoplenochnykh pokrytiy dlya uprochneniya izdeliy [Selection of thin-film coatings for hardening products], Tekhnologii uprochneniya, naneseniya pokrytiy i remonta: teoriya i praktika: Materialy 18-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Technologies of hardening, coating and repair: theory and practice: Proceedings of the 18th International Scientific and Practical Conference], SPb., Russia: Izd. Polytechn. Univ., 2016. - P. 194-205. [in Russian]

3 Sosnin N.A., Yermakov S.A., Topolyanskiy P.A. Plazmennyye tekhnologii. Rukovodstvo dlya inzhenerov [Plasma technologies. A manual for engineers]. - SPb .: Publishing house of Polytechnic. University, 2008. 406 p. [in Russian]

4 Skakov M.K., Rakhadilov B.K., Rakhadilov M.K. Uprochneniye poverkhnosti stali R6M5 naneseniyem tonkoplenochnogo pokrytiya iz SiC [Hardening of the surface of P6M5 steel by thin-film coating of SiC] Innovatsionnyye tekhnologii i ekonomika v mashinostroyenii [Innovative technologies and economics in mechanical engineering](Publishing house TPU, Tomsk, 2013, P. 156-159). [in Russian]

Сведения об авторах:

Канаев А.Т. - д.т.н., профессор, АО «Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина», ул. Сатапаева, 2, Астана, Казахстан.

Тополянский П.А. - к.т.н., доцент кафедры «Сварки и лазерных технологий», Санкт-Петербургского политехнического университета, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия.

Тополянский А.П. - к.т.н., ген.директор ООО "Плазмацентр", Малоохтинский пр., д.68, Санкт-Петербург, Россия.

Ермаков С.А. - к.т.н., доцент кафедры «Сварки и лазерных технологий» Санкт-Петербургского политехнического университета, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия.

Бийжанов С.К. - магистр, докторант PhD, АО «Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина», ул. Сатапаева, 2, Астана, Казахстан.

Решоткина Е.Н. - к.т.н., начальник лаборатории металловедения и дефектоскопии сектора испытаний и исследований ЦАК СТиК АО «Арселор Миттал Темиртау», пр.Республики, 1, Темиртау, Казахстан.

Kanaev A.T. - doctor of tech.sci., professor, JSC "Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin", st. Satapaeva, 2, Astana, Kazakhstan.

Topolyansky P.A. - Candidate of Science, Associate Professor of the Department of "Welding and Laser Technologies", St. Petersburg Polytechnic University, ul. Polytechnic, 29, St. Petersburg, Russia.

Topolyansky A.P. - Cand.Tech.Sci., General Director of OOO Plazmatsentr, Malookhtinsky Ave, 68, St. Petersburg, Russia.

Ermakov S.A. - Ph.D., Associate Professor of the Department of "Welding and Laser Technologies", St. Petersburg Polytechnic University, ul. Polytechnic, 29, St. Petersburg, Russia.

Biizhanov S.K. - master, doctoral student PhD, JSC "S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University ", st. Satapaeva, 2, Astana, Kazakhstan.

Reshotkina E.N. - Ph.D., Head of the Laboratory of Metallurgy and Flaw Detection of the Testing and Research Sector of CAC STiK JSC "Arcelor Mittal Temirtau", 1, Temirtau, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 16.03.2018