

УДК 678.019.3:621.793.184:620.3

РАЗРАБОТКА И ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ ТОПОКОМПЗИТОВ

П.Б. Гринберг¹, Д.Н. Коротаев², К.Н. Полещенко¹, В.И. Суриков³

¹Омский институт организации и технологии производства двигателей, г. Омск, Россия;

²ФГБОУ ВПО «СибАДИ», г. Омск, Россия;

³Омский государственный технический университет (ОмГТУ), г. Омск, Россия.

Аннотация. Рассмотрены теоретические и экспериментальные предпосылки разработки наноструктурных топокомпозигов (НСТК) – материалов, способных сохранять повышенные эксплуатационные свойства при высоких температурах трибонагрузки. Разработана катодная система вакуумной установки для получения наноструктурных топокомпозигов. Приведена классификация НСТК и проведен анализ механизмов формирования их структур.

Ключевые слова: наноструктурные топокомпозигов, ионно-плазменная обработка, радиационно-пучковые технологии, формирование структур.

Введение

Актуальность разработки материалов, способных сохранять высокие эксплуатационные свойства при высоких температурах, обусловлена возрастающими требованиями к повышению ресурса трибосопряжений машин и агрегатов. Это значительно усложняет задачу обеспечения надежности узлов трения в экстремальных условиях, при которых влияние температуры на потерю работоспособности конструктивных элементов становится определяющим. Эта задача еще более актуализируется для условий эксплуатации трибосопряжений в различных активных и агрессивных средах, в частности, при работе газотурбинных двигателей (ГТД) [1]. Экстремальные условия эксплуатации газотурбинных двигателей [2] приводят к разупрочнению и разрушению их деталей, вызываемых самыми различными причинами механического и физико-химического характера: накоплением дефектов и развитием трещин, межкристаллитной и питтинговой коррозией, термоусталостью, эрозионными повреждениями, окислением и выгоранием легирующих элементов, износом и фреттинг-коррозией. В подавляющем большинстве случаев указанные виды разрушений и повреждений развиваются на поверхности деталей и в их приповерхностном слое. В связи с этим регламентирующие надежность и ресурс работы ГТД факторы, определяются состоянием поверхностного слоя деталей. В подобных случаях помимо высоких физико-механических свойств материалов изделий особое значение приобретают химические свойства поверхности [3,4]. Поэтому разработка и создание материалов, способных сохранять повышенную работоспособность в экстремальных

условиях, остается одной из важнейших задач науки и практики.

Методы повышения ресурса трибосопряжений

Среди разрабатываемых технологий повышения ресурса конструктивных элементов трибосопряжений наиболее перспективным направлением является конструирование материалов на основе методов новейших технологий, таких как нанотехнологии и радиационно-пучковые технологии. Главными причинами, препятствующими их внедрению в промышленное производство, являются слабая изученность фундаментальных процессов, и, соответственно, отсутствие объективных оценок эффективности технологических решений. Эффективным средством повышения эксплуатационных характеристик металлоизделий являются радиационно-пучковые технологии (РПТ) поверхностной обработки [5], позволяющие получать изделия со специальными свойствами поверхностного слоя.

РПТ обладают наиболее широкими потенциальными возможностями создания материалов с уникальным сочетанием эксплуатационных свойств по сравнению с традиционными методами. Это связано с получением неравновесных структурно-фазовых состояний, формирующихся в материалах при интенсивных воздействиях пучков заряженных частиц и плазмы, а также созданием градиентных структур, обеспечивающих многофункциональный характер их поведения под действием внешних нагрузок.

Кроме того, существенным технологическим преимуществом разработок в рамках указанных направлений, является возможность их применения в качестве финишных операций, используемых в

дополнение существующего технологического процесса получения готового изделия. Данное обстоятельство не требует изменения последовательности производственных процессов и при соблюдении технологической дисциплины может обеспечить заметное улучшение эксплуатационных характеристик различных изделий по сравнению с базовыми вариантами. Вместе с тем, указанные технологии до настоящего времени не нашли широкого промышленного применения. Однако данные исследования позволили обнаружить и изучить ряд физических явлений и эффектов, весьма значимых для практического использования, в частности, эффекта дальдействия и различных форм его проявления [6]. Именно с эффектом дальдействия, наиболее изученного при ионной имплантации, многие исследователи связывают повышение твердости, износостойкости и усталостной прочности металлов и сплавов. Однако при ионной имплантации в результате генерации избыточной концентрации дефектов могут сформироваться локальные неоднородности на поверхности облучаемого материала, являющиеся потенциальными очагами коррозионного разрушения. Кроме того, ионная имплантация сопровождается интенсивным распылением поверхности, ограничивающим достижение высокой концентрации внедряемой примеси, которая лимитируется предельной дозой насыщения. В результате этого концентрация внедренных элементов оказывается недостаточной для существенного повышения сопротивляемости рабочих поверхностей изделий воздействию активных сред.

По нашему мнению, наибольшие результаты повышения износостойкости, коррозионной стойкости и усталостной прочности различных изделий могут быть достигнуты при комбинировании различных методов последовательного, одновременного или повторяемого воздействия. В этих случаях может наблюдаться так называемый «эффект синергизма», т.е. самоорганизации структуры материала и образование уникальных структурно-фазовых состояний в поверхностных слоях, обеспечивающих наибольшее повышение свойств модифицированных изделий. Однако это требует разработки и создания дорогостоящих специальных установок, которые вряд ли будут востребованы в промышленных масштабах. Следует отметить, что возможности промышленно освоенных методов ионно-плазменной обработки, в полной мере еще не

реализованы. Это касается процессов наноструктурирования поверхностных слоев материалов и нанесения наноструктурированных покрытий [7,8], в том числе с использованием промышленных ионно-плазменных установок ННВ-6.6. [9].

Развиваемый подход к созданию НСТК

Предлагаемая авторами идея создания наноструктурных топокомполитов основана на развитии представлений о совместном влиянии топологических особенностей контактных поверхностей трибосопряжений и их наноструктурного состояния на несущую способность изделий. При этом полагалось, что наиболее предпочтительной моделью структурного состояния является градиентная структура поверхностных слоев с плавно изменяющимися свойствами по глубине при наличии нанодисперсных фаз в тонком поверхностном слое. При этом сдвиговая неустойчивость слоистой структуры в условиях трения будет проявляться при одновременном выполнении условия сочетания «жесткой» границы между покрытием и основой, и наличия «нежестких границ» между слоями покрытия. Вместе с тем, наличие твердых нанодисперсных частиц на поверхности покрытия, окруженных более пластичным покрытием, позволяет рассматривать тонкий поверхностный слой именно как композитную структуру (рис. 1).

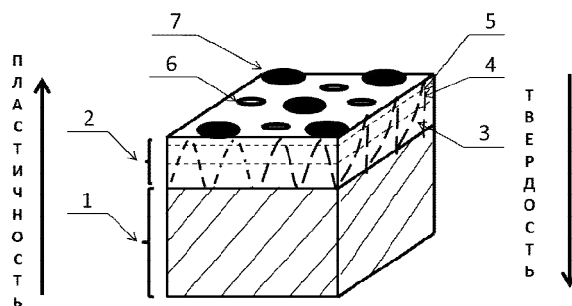


Рис. 1 Схема наноструктурного композита. Обозначения: 1 – материал основы; 2 – композитное покрытие; 3 – слой состава А; 4 – слой состава Б; 5 – слой состава С; 6 – «впадина»; 7 – нанокластер – «выступ».

Подобные структуры топологического типа вполне правомерно рассматривать с точки зрения их деформационных особенностей. Очевидно, что релаксация сдвиговых деформаций топологических наноструктурных поверхностей может осуществляться как путем пластической деформации в окрестности наноразмерных кластерных образований, так и посредством диффузионного массопереноса вдоль направления скольжения.

Методологические принципы формирования НСТК

При формировании НСТК фактически реализуются одновременно три подхода. Два из них широко используются в технологии машиностроения и нанотехнологии: «сверху-вниз» и «снизу-вверх». В первом случае это обусловлено удалением материала при создании определенного микро и нанорельефа за счет распыления на стадии ионной очистки. Во втором – за счет образования центров кристаллизации и роста новых фаз на активированных поверхностях при формировании нанопокровов. Третий подход, обозначенный авторами как «сборка по-горизонтали», применяется для интенсификации процессов поверхностной диффузии, способствующих формированию на поверхности материала нанокластерных образований.

В качестве методологических принципов получения наноструктурных топокомпозиатов использованы следующие: формирование развитого микро- и нанорельефа материала основы за счет распыления поверхностных слоев и активации поверхности; структурирование твердотельного объекта в направлении понижения размерности формируемых слоев: «макроструктура» → «микроструктура» → «мезоструктура» → «наноструктура»; использование «перекрестных эффектов» плазменного перемешивания в потоках ионов; формирование центров кристаллизации для интенсивного образования новых фаз в направлении «снизу вверх»; образование промежуточного пластичного металлизированного слоя в результате кристаллизации метастабильных фаз (мезоструктуры); создание наноструктурных покрытий кластерного типа.

Однако создание наноструктурных топокомпозиатов связано с рядом проблем технологического характера. В частности, для обеспечения высокой адгезии материалов основы и покрытия при ионно-плазменном напылении необходимо осуществлять нагрев подложки, что делает проблематичным формирование покрытий на поверхности эластомеров и полимеров. В связи с этим потребовалась разработка специального метода ионно-плазменного наноструктурирования поверхности материалов, который позволяет осуществлять нанесение покрытий в том числе и на легкоплавкие материалы. Разработка метода включала проектирование трехкатодной системы, исследование структурно-фазовых состояний поверхностных слоев и изучение механизмов формирования покрытий.

Катодная система для получения наноструктурных топокомпозиатов

Для получения наноструктурных топокомпозиатов была разработана трехкатодная система, размещенная в рабочей камере ионно-вакуумной установки ННВ-6.6., приведенная на рисунок 2. Один из катодов (K1) расположен над обрабатываемой поверхностью для обеспечения угла падения частиц максимально близкого к 90° . Остальные два катода расположены под углами по отношению к плоскости держателя (катоде K2 и K3 на рис. 2).

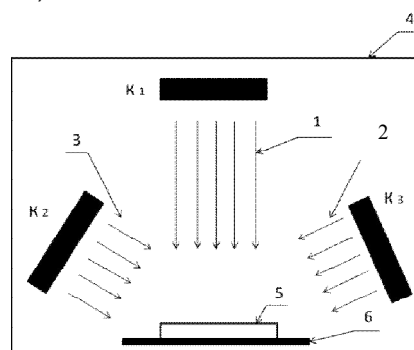


Рис. 2. Схема трехкатодной системы. Обозначения: K1, K2, K3 – катоды; 1, 2, 3 – потоки ионов; 4 – вакуумная камера; 5 – обрабатываемая поверхность образца; 6 – держатель образцов (рабочий стол)

Данная система позволяет наносить покрытия, имеющие слои разного состава и регулировать в процессе напыления процентное содержание наносимых материалов. Так же подобная конструкция позволяет смешивать потоки плазмы от разных катодов с целью более эффективного распыления обрабатываемой поверхности благодаря образованию многозарядных кластеров и свести к минимуму вероятность формирования микрокапельной фазы. Для предварительной активации поверхности имеется возможность регулировать энергию потока ионов для каждого катода индивидуально, что дает больший контроль над процессом и минимальное испарение материала катодов. Так же, описанное выше позволяет производить активацию и нанесение покрытия в течение одного вакуумного цикла.

Классификация наноструктурных топокомпозиатов

Разработанная катодная система позволила создавать наноструктурные топокомпозиаты на основе практически любого материала. Классификация полученных топокомпозиатов приведена на рисунке 3.

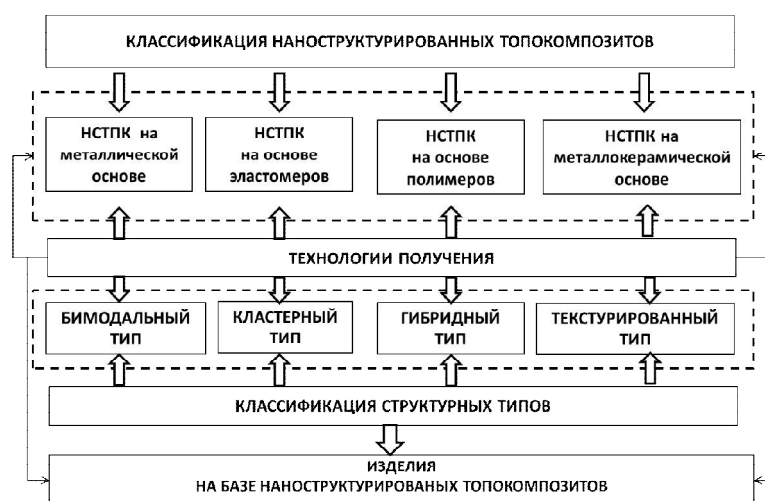


Рис. 3. Классификация наноструктурированных композитов

Проведенные авторами данной работы исследования показали [9], что посредством ионно-плазменного воздействия удастся целенаправленно формировать на поверхности изделий композиционные нанопокртия различного состава и толщины. Варьируя режимами ионно-плазменной обработки и составом ионов можно также формировать на поверхности материалов основы различные типы структур.

Анализ механизмов формирования структур топокомпозитов

При создании наноструктурных топокомпозитов чрезвычайно ответственной является стадия формирования микро- и нанорельефа поверхности (рис. 4). Особенностью данной стадии является интенсивное распыление поверхностных атомов материала основы и формирование более развитой удельной поверхности (рис.4,б) за счет использования катодов K_2 и K_3 по сравнению с распылением одним катодом (рис.4,а).

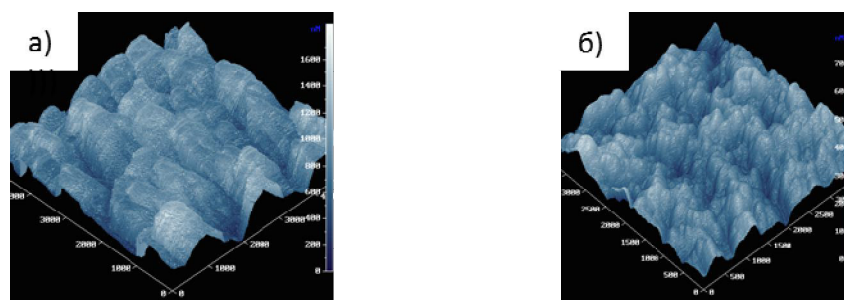


Рис. 4. Изображения поверхностных структур после ионно-плазменной активации.

Материал образца – титановый сплав ВТ8. Обозначения:

- а) топология поверхности после распыления с использованием одного катода;
- б) топология поверхности после комбинированного распыления с использованием трех катодов K_2 и K_3

Использование трех катодов повышает интенсивность распыления атомов поверхности за счет реализации всех возможных механизмов удаления атомов поверхностных слоев, поскольку в этом случае реализуются все три известных механизма распыления: распыление за счет прямого выбивания, распыление в линейном каскаде и распыление за счет формирования теплового пика. При наклонной бомбардировке частицами непо-

средственно первичное взаимодействие может передать импульс, направленный во внешнюю сторону, что является прямым, не связанным с перераспределением энергии механизмом выбивания частиц. При наклонном попадании частиц так же возможно проникновение первичного атома в массив, но это проникновение не столь глубоко, как при соударении частиц, направленном по нормали. Это приводит к образованию каскадов

столкновений ближе к поверхности, что так же повышает вероятность передачи необходимого для отрыва импульса даже другого атома [10]. В случае ионно-плазменной обработки гетерогенных материалов, какими являются большинство используемых в машиностроении материалов, формирование рельефа поверхности сопровождается изменением концентрации элементов поверхностных слоев за счет селективного распыления. Увеличение энергии падающих ионов до значений, порядка 1000 эВ уже может приводить к распаду твердых растворов, перераспределению атомов в поверхностном слое и образованию локальных участков с повышенной концентрацией дефектов [10], являющихся центрами кристаллизации новых фаз. Особенностью следующего этапа формирования покрытия является то, что на данном этапе реализуются механизмы, ответственные за обеспечение адгезионной прочности материала основы с материалом покрытия, главным образом, химическая и физическая адсорбция, поверхностная диффузия, приво-

дящая к миграции атомов на поверхности, а также имплантация атомов отдачи в материал основы. Этому способствует дополнительная активация поверхности за счет явлений столкновения на поверхности, инициированных действием катодов K_2 и K_3 . Из-за наличия микро и нанорельефа, сформированного на предыдущей стадии, в области «впадин» происходит повышение концентрации атомов покрытия, что создает условия для формирования зародышей новых фаз. Последующий этап напыления характеризуется развитием процессов атомного перемешивания на границе слоев состава А и Б и ростом образовавшихся зародышей новых фаз как в области «впадин», так и на активированных центрах в области «выступов». На заключительном этапе формирования топокомпозита происходит формирование нанокластеров (наноконденсатов) при различных плотностях тока (рис. 5). Установлено, что при увеличении плотности ионного тока наблюдается увеличение размеров нанокластеров.

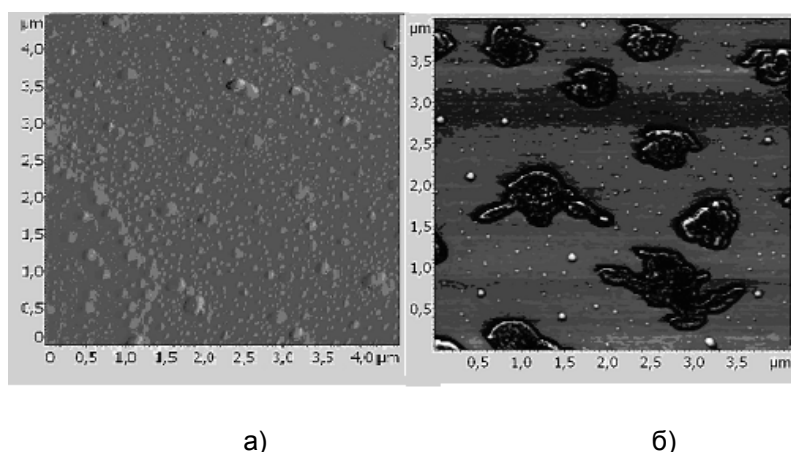


Рис. 5. Изображение покрытия, содержащее кластерные образования:
а) плотность тока $j=10 \text{ mA/cm}^2$; б) плотность тока $j=20 \text{ mA/cm}^2$

Заключение

Обобщение проведенных исследований позволяет утверждать, что наноструктурные топокомпозиты представляют собой особый класс градиентных материалов, разработка которых интенсивно ведется в последнее время, в частности, с использованием различных энергетических воздействий [11-13]. Реализация развиваемого подхода позволяет формировать различные типы структур для соответствующих изделий по их целевому назначению. Главной особенностью данного класса материалов является сочетание положительного градиента механических свойств, что чрезвычайно важно для эксплуа-

тации трибосопряжений, с наличием барьерных поверхностных слоев покрытия, препятствующих развитию окислительных процессов в условиях повышенных температур и фреттинг-коррозии. Дальнейшие перспективы разработки наноструктурных топокомпозитов связаны с созданием физических основ гибридных технологий, сочетающих ионно-плазменное воздействие с другими методами модифицирования. Расширение технологических возможностей создания указанного класса материалов может быть достигнуто путем использования как хорошо освоенных в промышленном масштабе методов термического, химического, химико-механического воздей-

ствия, так и применения уже апробированных методов радиационно-пучковой обработки, таких как ионная имплантация, обработка мощными ионными пучками, высокотемпературной плазмой и сильноточными электронными пучками. Указанные технологии для своей реализации требуют проведения достаточно большого объема трудоемких исследований. Тем не менее, эффекты применения наукоемких технологий, могут оказаться весьма существенными. Это связано с тем, что объем выпуска изделий с модифицированными поверхностями имеет в среднем около 3 % прироста ежегодно.

Библиографический список

1. Чатынян, Л.А. Трение и износ при высоких температурах в различных средах / Л.А. Чатынян, Р.Е. Шалин. – М.: Металлургия, 1990. – 270с.
2. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей / Ю.С. Елисеев и др. – М.: Высш. Шк., 2002. – 355 с.
3. Трение и модифицирование материалов трибосистем / Ю.К. Машков и др. – М.: Наука, 2000. – 280 с.
4. Хокинг, М., Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства и применение: Пер. с англ. / М. Хокинг, В. Васантасри, П. Сидки. – М.: Мир, 2000. – 518с.
5. Калинин, Б.А. Перспективные радиационно-пучковые технологии получения и обработки материалов / Б.А. Калинин // Известия Томского политехнического университета. Т. 303. – 2000., Вып.2. – С. 46-58.
6. Эффекты дальнего действия в ионно-имплантированных металлических материалах / А.Н. Диденко и др. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – 328 с.
7. Панин, В.Е. Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурированных покрытий – эффективный способ упрочнения современных конструкционных и инструментальных материалов / В.Е. Панин, В.П. Сергеев, А.В. Панин, Ю.И. Почивалов // Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т.104, № 6. – С. 650-660.
8. Панин, В.Е. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий / В.Е. Панин, В.П. Сергеев, А.В. Панин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 286 с.
9. Гринберг, П.Б. Технология нанесения наноструктурированных металлопокрытий на резинотехнические изделия / П.Б. Гринберг, К.Н. Полещенко, В.И. Суриков, Е.Е. Тарасов // Вестник омского университета. – 2012. – № 2 (64). – С. 249-252.
10. Бабад-Захряпин, А.А. Высокотемпературные процессы в материалах, повреждаемых низкоэнергетическими ионами / А.А. Бабад-Захряпин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.
11. Иванов, Ю.Ф. Структурно-фазовый градиент, индуцированный усталостными испытаниями в условиях промежуточного электростимулирования

ния / Ю.Ф. Иванов, В.В. Коваленко, М.П. Ивахин и др. // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т.3. – № 7. – С. 29-34.

12. Гагауз, В.П. Формирование и эволюция градиентных структурно-фазовых состояний в толстых сварных швах из стали 09Г2С / В.П. Гагауз, А.Б. Юрьев, В.В. Коваленко и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2005. – № 4. – С. 23-26.

13. Будущее – за градиентными структурами и фазовыми состояниями в сталях и сплавах / В.В. Коваленко и др. // Всероссийская научно-практическая конференция «Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество», Новокузнецк: СибГИУ. – 2005. – С. 64–69.

DEVELOPMENT AND RECEIVING NANOSTRUCTURAL TOPOKOMPOZIT

P.B. Grinberg, D.N. Korotaev,
K.N. Poleshchenko, V.I. Surikov

Abstract. Theoretical and experimental prerequisites of development of nanostructural topokompozit (NSTK) – the materials capable to keep the increased operational properties at high temperatures of a tribonagruzheniye are considered. The cathodic system of vacuum installation is developed for receiving nanostructural topokompozit. Classification of NSTK is given and the analysis of mechanisms of formation of their structures is carried out.

Keywords: nanostructural topokompozita, ion-plasma processing, radiation пучковые technologies, formation of structures.

References

1. Chatinyan L.A., Shalin R.E. *Trenie i iznos pri visokih temperaturah v razlichnih sredah* [Friction and wear at high temperatures in various environments]. Moscow, Metallurgiya, 1990. 270 p.
2. Eliseev Yu.S., Krimov V.V., Malinovskii K.A., Popov V.G. *Tehnologiya ekspluatatsii, diagnostiki i remonta gazoturbinnih dvigatelei* [Technology of operation, diagnostics and repair of gas-turbine engines]. Moscow, Vissh. Shk., 2002. 355 p.
3. Mashkov Yu.K., Poleschenko K.N., Povoroznyuk S.N., Orlov P.V. *Trenie i modifitsirovanie materialov tribosistem*. [Friction and modifying of materials tribosisty]. Moscow, Nauka, 2000, 280 p.
4. Hoking M., Vasantasri V., Sidki P. *Metallicheskie i keramicheskie pokritiya. Poluchenie, svoistva i primenenie* [Metal and ceramic coverings: Receiving, properties and application]. Per. s angl. Moscow, Mir, 2000. 518 p.
5. Kalin B.A. *Perspektivnie radiaciono-puchkovie tehnologii polucheniya i obrabotki materialov* [Perspective radiatsiono-puchkovy technologies of receiving and processing of materials]. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. T.303, 2000, no 2. pp.46-58.
6. Didenko A.N., Sharkeev Yu.P., Kozlov E.V., Ryabchikov A.I. *Effekti dalnodeistviya v ionno-implantirovannih metallicheskih materialah* [Effects of long-range action in the ion-implanted metal materials]. Tomsk, Izd-vo NTL, 2004. 328 p.

7. Panin V.E., Sergeev V.P., Panin A.V., Pochivalov Yu.I. Nanostrukturirovanie poverhnostnih sloev i nanesenie nanostrukturirovannih pokritii – effektivnii sposob uprochneniya sovremennih konstrukcionnih i instrumentalnih materialov [Nanostructuring blankets and drawing the nanostructured coverings – an effective way of hardening of modern constructional and tool materials]. *Fizika metallov i metallovedenie*, 2007, T.104, no 6. pp. 650-660.

8. Panin V.E., Sergeev V.P., Panin A.V. Nanostrukturirovanie poverhnostnih sloev konstrukcionnih materialov i nanesenie nanostrukturiranih pokritii [Nanostructuring blankets of constructional materials and drawing nanostructural coverings]. Tomsk: Izd-vo TPU, 2008. 286 p.

9. Grinberg P.B., Poleschenko K.N., Surikov V.I., Tarasov E.E. Tehnologiya naneseniya nanostrukturirovannih metallopokritii na rezinotekhnicheskie izdeliya [Technology of drawing the nanostructured metal coatings on rubber products]. *Vestnik omskogo universiteta*. 2012, no 2 (64). pp. 249-252.

10. Babad-Zahryapin A.A. *Visokotemperaturnie processi v materialah, povrejdaemih nizkoenergeticheskimi ionami* [Highly teperaturny processes in the materials damaged by low-energy ions]. Moscow, Energoatomizdat, 1985, 120 p.

11. Ivanov Yu.F., Kovalenko V.V., Ivahin M.P. i dr. Strukturno fazovii gradient inducirovannii ustalostnymi ispitaniyami v usloviyah promejutochnogo elektrostimulirovaniya [The structural and phase gradient induced by fatigue tests in the conditions of intermediate electrostimulation]. *Fizicheskaya mezomehanika*, 2004, T.3, no 7. pp.29-34.

12. Gagauz V.P., Yurev A.B., Kovalenko V.V. i dr. Formirovanie i evolyuciya gradientnih strukturno-fazovih sostoyanii v tolstih svarnih shvah iz stali 09G2S [Formation and evolution of gradient structural and phase states in thick welded seams from steel 09G2S]. *Izv. Vuzov. Cher. Metallurgiya*, 2005, no. 4. pp. 23-26.

13. Kovalenko V.V., Konovalov S.V., Gromov V.E. I dr. Budushee – za gradientnimi strukturami I fazovimi sostoyaniyami v stalyah I splavah. [The future – behind gradient structures and phase states in the stalyakh and alloys]. *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Metallurgiya_novie tehnologii, upravlenie, innovacii I kachestvo»*. Novokuzneck, SibGIU, 2005. pp. 64-69.

Гринберг Петр Борисович (Россия, Омск) – генеральный директор Омского научно-исследовательского института организации и технологии производства двигателей (644021, г. Омск, ул. Богдана Хмельницкого, 283, e-mail: oniid@mail.ru).

Коротаев Дмитрий Николаевич (Россия, Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Эксплуатация и ремонт автомобилей ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: drums99@mail.ru).

Полеценко Константин Николаевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Омского научно-исследовательского института организации и технологии производства двигателей (НИИД) (644021, г. Омск, ул. Богдана Хмельницкого, 283, e-mail: oniid@mail.ru).

Суриков Валерий Иванович (Россия, Омск) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Физики Омского государственного технического университета. (644050, г.Омск, пр. Мира, 11, e-mail: surval@mail.ru).

Grinberg P. Borisov (Russian Federation, Omsk) – generally director of Omsk research institute of the organization and the production technology of engines (644021, Omsk, Bogdan Khmelnytsky St., 283, e-mail: oniid@mail.ru).

Korotaev D. Nikolaev (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, the associate professor, professor of the Operation chair and car repairs of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI). (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: drums99@mail.ru).

Poleshchenko K. Nikolaev (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, the chief researcher of Omsk research institute of the organization and the production technology of engines (NIID). (644021, Omsk, Bogdan Khmelnytsky St., 283, e-mail: oniid@mail.ru).

Surikov V. Ivanov (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, the head of the department Fiziki of Omsk state technical university. (644050, Omsk, Mira Ave., 11, e-mail: surval@mail.ru).