

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной и
инновационной деятельности
ФГБОУ ВПО УГАТУ

д.т.н., профессор Даринцев О.В.



2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Уфимский государственный
авиационный технический университет» (ФГБОУ ВПО УГАТУ)

Диссертация «Исследование структурно-фазовых превращений и свойств
поверхностных слоев сталей при ионном азотировании в тлеющем разряде
низкого давления» выполнена на кафедре «Технология машиностроения»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Уфимский государственный
авиационный технический университет» (ФГБОУ ВПО УГАТУ).

В период подготовки диссертации (с 2010 г.) соискатель **Рамазанов
Камиль Нуруллаевич** (дата рождения 18.05.1981 г.) работал научным
сотрудником лаборатории «Проблемная научно-исследовательская лаборатория
технологий покрытий и специальных свойств поверхностей» кафедры
«Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО УГАТУ и по настоящее время
работает в должности доцента выше упомянутой кафедры.

В 2004 году окончил Уфимский государственный авиационный
технический университет по специальности «Машины и технология
высокоэффективных процессов обработки материалов». В период с 15.11.2004
по 15.11.2007 г. обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВПО УГАТУ;
27.02.2009 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата
технических наук по теме «Высокотемпературное ионное азотирование
конструкционных и инструментальных сталей в тлеющем разряде с полым
катодом» в диссертационном совете Д 003.038.01 при ИФПМ СО РАН, г. Томск
(диплом кандидата технических наук ДКН №087938 от 19.06.2009 г.);
30.12.2013г. присвоено ученое звание доцента по кафедре технологии

машиностроения (аттестат доцента ДЦ №055997 от 30.12.2013 г.). Дата утверждения темы диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук 02.10.2013 г., протокол №4 заседания научно-технического совета ФГБОУ ВПО УГАТУ.

Научный консультант:

Будилов Владимир Васильевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технология машиностроения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертация К.Н. Рамазанова является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема ускорения процесса диффузионного насыщения и установления взаимосвязи структурно-фазовых превращений с механическими свойствами сталей при воздействии тлеющего разряда низкого давления с полым катодом и с магнитным полем, имеющая важное хозяйственное значение для практической реализации качественно новых технологических процессов ионного азотирования.

Актуальность темы диссертации.

С ростом требований к качеству упрочненного поверхностного слоя, показателям экономической эффективности процессов, подбору материалов в зависимости от поверхностных свойств, а также вследствие увеличения объемной доли сложнолегированных легкопассивирующихся сталей и сплавов в процессе производства деталей и инструмента, становится актуальным применение регулируемых, ресурсосберегающих вакуумных ионно-плазменных технологий в многокомпонентных атмосферах.

Анализ современной литературы показал, что ионное азотирование является одним из наиболее распространенных методов поверхностного упрочнения деталей и инструмента, использование которого в промышленно развитых странах постоянно расширяется. В последнее время в качестве перспективных рассматриваются способы ионного азотирования при низких ($1 - 10^2$ Па) давлениях, которые позволяют не только избавиться от недостатков традиционных методов, но и получить следующие преимущества: возможность регулирования параметров обработки в широком интервале режимов и за счет этого – структуры, фазового состава, твердости, износостойкости, шероховатости; высокую скорость насыщения; получение диффузионных слоев заданного фазового состава и строения; высокий класс чистоты поверхности; бóльшую экономичность процесса за счет значительного сокращения общего времени обработки; повышение коэффициента использования электроэнергии; сокращение расхода насыщающих газов. Процесс не токсичен и отвечает требованиям по защите окружающей среды.

Однако при практической реализации азотирования при низких давлениях возникает ряд проблем, таких, как низкая плотность ионного тока ($0,1 - 1 \text{ мА/см}^2$), высокие напряжения на обрабатываемых деталях ($0,5 - 2 \text{ кВ}$), невозможность нагреть поверхность до температур азотирования. Все вышесказанное приводит к необходимости применения дополнительного нагрева обрабатываемой поверхности с помощью различных методов (резистивные нагреватели, дополнительные источники частиц и т.д.), что существенно усложняет конструкцию установок, технологические процессы и практически сводит на нет преимущества ионного азотирования при низких давлениях.

В работе предлагается принципиально новое направление по решению указанной проблемы, заключающееся в создании вблизи обрабатываемой поверхности плазмы с высокой плотностью заряженных частиц. Обоснованы и разработаны способы азотирования, основанные на использовании тлеющего разряда низкого давления с полым катодом и магнитным полем, которые позволят в $3 - 5$ раз увеличить плотность потока ионов, сократить в $2 - 3$ раза время азотирования и получить диффузионные слои заданного фазового состава с высокой поверхностной микротвердостью и износостойкостью, тем самым способствуя дальнейшему развитию технологий, направленных на улучшение эксплуатационных свойств деталей и инструмента.

Новизна результатов исследований.

1. Показано, что плотность плазмы азота при ионном азотировании в прикатодной области можно повысить с помощью эффекта полого катода, реализуемого сетчатым экраном или наложением магнитного поля, силовые линии которого параллельны обрабатываемой поверхности. Впервые исследованы способы локального ионного азотирования, высокотемпературного ионного азотирования, в том числе совмещенного со светлой закалкой в тлеющем разряде с эффектом полого катода, реализуемого сетчатым экраном, а также ионного азотирования с наложением магнитных полей.

2. Установлено, что в условиях высокотемпературного ионного азотирования в тлеющем разряде с полым катодом скорость роста диффузионной зоны в $3 - 5$ раз выше по сравнению с ионным азотированием в тлеющем разряде с полым катодом при температурах ниже точки A_1 в системе железо – азот, вследствие роста диффузионной подвижности элементов при температурах предпревращения ферритно-цементитной смеси в аустенит.

3. Доказано, что в отличие от ионного азотирования в тлеющем разряде при температурах ниже точки A_1 в системе железо – азот, при котором в сталях 30ХГСА, 38Х2МЮА и X12 нитридная зона преимущественно состоит из ϵ -фазы $\text{Fe}_{2-3}(\text{N})$, а также нитридов легирующих элементов (CrN , Cr_2N , $(\text{Fe}, \text{Cr})_{2-3}\text{N}$), карбонитридных фаз ($\text{Fe}(\text{Me})_{2-3}(\text{N}, \text{C})$, $\text{Fe}(\text{Me})_4(\text{N}, \text{C})$, $\text{Cr}(\text{N}, \text{C})$, $\text{Cr}_2(\text{N}, \text{C})$) и α -фазы, насыщенной азотом, при ионном высокотемпературном ионном азотировании в тлеющем разряде с полым катодом ϵ -фаза отсутствует, а нитридная зона характеризуется большей однородностью и преимущественно состоит из γ' -фазы

$Fe_4(N)$, $(Fe, Me)_4N$, нитридов легирующих элементов, карбонитридных фаз, а также оксида $(Fe, Me)_3O_4$ с кристаллической решеткой шпинели.

4. Установлено, что высокий уровень упрочнения поверхности, достигаемый в результате применения высокотемпературного ионного азотирования, в том числе совмещенного со светлой закалкой в тлеющем разряде низкого давления с полым катодом, позволяет увеличить износостойкость стали 38Х2МЮА в 12 и 30 раз соответственно по сравнению с исходным состоянием и в 2,5 и 6 раз соответственно по сравнению с ионным азотированием при температурах ниже точки A_1 в системе железо – азот, вследствие целенаправленного формирования заданного фазового состава и микротвердости.

5. Доказано, что в условиях локального ионного азотирования с полым катодом при давлении 60 Па, температуре поверхности материала $550^\circ C$ и длительности обработки 12 ч скорость роста диффузионной зоны в 2-2,5 раза выше по сравнению с традиционным ионным азотированием, вследствие увеличения концентрации заряженных частиц в зоне обработки. В результате локального ионного азотирования с полым катодом на поверхности материала образуются две зоны с различной толщиной азотированного слоя, вследствие различия скоростей диффузионного насыщения. При этом переход между участками плавный, а максимальный размер переходной зоны для сталей 16ХЗНВФМБ-Ш и 38ХМЮА не превышает 3-х мм.

6. Установлено, что высокий уровень упрочнения поверхности, достигаемый в результате применения полого катода при ионном азотировании, позволяет повысить износостойкость стали 38ХМЮА в 1,6 раза по сравнению с ионным азотированием без полого катода и в 9 раз – по сравнению с исходным состоянием, вследствие формирования в поверхностном слое материала нитридного слоя, состоящего из нитридов основного металла Fe_4N и нитридов хрома CrN , которые, помимо значительного повышения твердости, способствуют увеличению износостойкости.

7. Установлено, что при ионном азотировании в тлеющем разряде с магнитным полем сталей Р6М5 и Х12 в смеси газов (N_2 20% – Ar 75% – C_2H_2 5%) упрочненный слой преимущественно состоит из α -Fe, насыщенного азотом, с распределёнными нитридами и карбонитридами легирующих элементов (CrN , $Cr(C,N)$, $(Fe, W)_6(C,N)$), что обеспечивает повышение микротвердости и исключает формирование сплошного нитридного слоя на поверхности. Толщина диффузионной зоны в 1,5 раза больше, а характер распределения микротвердости по глубине более плавный по сравнению с традиционным ионным азотированием при прочих равных условиях.

Степень достоверности результатов исследований

Достоверность полученных в работе результатов и обоснованность выносимых на защиту положений и выводов, сформулированных в работе, обеспечивается комплексным подходом к решению поставленных задач, использованием апробированных методов и методик исследования,

применением статистических методов обработки данных, анализом литературы и согласованием полученных результатов с данными других авторов.

Личное участие соискателя в получении результатов

Автором диссертации поставлена и сформулирована задача исследования, выполнены экспериментальные исследования (проведены зондовые измерения, металлографические и рентгеноструктурные исследования, исследованы механические и трибологические свойства поверхностных слоев), проведен анализ и сопоставление полученных результатов с литературными данными, сформулированы основные научные положения и выводы. По полученным результатам написаны статьи (в соавторстве), сделаны доклады на научных конференциях и семинарах.

Практическая значимость результатов исследований

Впервые предложенные и исследованные способы локального ионного азотирования (Патенты №2534906 и №2534907 от 10.12.2014), высокотемпературного ионного азотирования (Патент № 2276201 от 10.05.2006), светлой закалки (Патент № 2277592 от 10.06.2006, Патент № 2275433 от 27.04.2006) и комбинированной обработки (Патент № 2324001 от 10.05.2008) стальных изделий в тлеющем разряде с полым катодом, формируемым между деталью и экраном, также способы ионного азотирования в тлеющем разряде с магнитным полем (Патент №2409700 от 20.01.2011, Патент №2418095 от 10.05.2011) легли в основу разработанных технологических процессов азотирования при низких давлениях, позволяющих снизить себестоимость технологической операции азотирования за счет уменьшения энергозатрат, сокращения длительности процесса обработки, отсутствия необходимости в дорогостоящих защитных средах, простоты схемы обработки, не требующих проектирования специальных сложных приспособлений, а также сравнительно невысокой стоимости оборудования.

Зависимости температуры поверхности от времени при различных значениях рабочего давления при обработке в тлеющем разряде с полым катодом и магнитным полем, кривые охлаждения поверхности конструкционных и инструментальных сталей в потоке различных газов и в масле, кривые зажигания тлеющего разряда в магнитном поле, зависимости фазового состава от температуры насыщения, а также кинетика роста диффузионного слоя для различных сталей могут быть использованы при назначении технологических режимов ионного азотирования, локального ионного азотирования, высокотемпературного азотирования, в том числе совмещенного со светлой закалкой в тлеющем разряде низкого давления.

Разработан промышленный образец установки «ЭЛУ-5М» для проведения процессов ионного азотирования в тлеющем разряде низкого давления с полым катодом и магнитным полем в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Разработан и рекомендован к внедрению типовой технологический процесс локального ионного азотирования детали типа «шестерня» на ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение».

Разработан и внедрен технологический процесс ионного азотирования в тлеющем разряде низкого давления деталей типа «рычаг» на ООО Научно-производственное объединение «ГЕОПРОМ», выполненные испытания показали, что износостойкость поверхности деталей повысилась в 2 – 3 раза.

Разработан и внедрен в производство технологический процесс ионного азотирования матриц холодновысадочного автомата для обрезки шести- и четырехгранников болтов, применяемых в производстве автонормалей на заводе «БелЗАН», г. Белебей, Башкортостан. Проведенные испытания показали, что стойкость штамповой оснастки повысилась в 3,5 – 4 раза.

Ценность научных работ соискателя

Представленная в работе совокупность данных об экспериментально установленных взаимосвязях структурно-фазовых превращений с механическими свойствами сталей при воздействии тлеющего разряда низкого давления с полым катодом и магнитным полем, позволила выработать научно-обоснованные критерии для практической реализации качественно новых технологических процессов ионного азотирования.

Результаты моделирования (распределения температурного поля по поверхности детали при ионном азотировании с полым катодом, расчетные кривые нагрева и охлаждения, изменения концентрации насыщающего элемента по глубине диффузионного слоя, а также расчетные картины распределения магнитного поля над поверхностью катода и радиальное распределение индукции магнитного поля в условиях ионного азотирования с магнитным полем) вносят существенный вклад в понимание физических процессов в тлеющих разрядах с полым катодом и магнитным полем, а также создают основу для разработки новых способов упрочнения, позволяя проводить предварительные расчеты режимов обработки без дополнительных экспериментов.

Ценность научных работ соискателя подтверждается публикацией результатов исследований в ведущих мировых и отечественных рецензируемых журналах, индексируемых в базах РИНЦ, Web of Science, Scopus, участием в российских и международных конференциях с устными докладами.

Полнота изложения материалов диссертации в работах опубликованных соискателем

Материалы диссертации полностью отражены в работах, опубликованных соискателем. По теме диссертации опубликовано 46 научных работ, в том числе коллективная монография, 25 статей в научных журналах, включенных в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также 8 статей в международных научных изданиях, индексируемых Web of Science, Scopus, и 12 патентов РФ на изобретения.

Основные публикации приведены ниже.

Монография:

Будилов В.В., Коваль Н.Н., Киреев Р.М., Рамазанов К.Н. Интегрированные методы обработки конструкционных и инструментальных материалов с использованием тлеющих и вакуумно-дуговых разрядов – М.: Машиностроение, 2013, 320 с.

Статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК:

1. Будилов В.В., Агзамов Р.Д., **Рамазанов К.Н.** Технология ионного азотирования в тлеющем разряде с полым катодом // МиТОМ. – 2007. – №7. – С. 25–29.

2. Будилов В.В., Агзамов Р.Д., **Рамазанов К.Н.** Исследование и разработка методов химико-термической обработки на основе структурно-фазового модифицирования поверхности деталей высокоточными разрядами в вакууме // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2007. № 1. – С. 117–127.

3. Агзамов Р.Д., **Рамазанов К.Н.** Высокотемпературное структурно-фазовое модифицирование конструкционных сталей плазмой тлеющего разряда // Известия вузов. Физика. – 2007. – №9. Приложение. – С. 479–483.

4. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.** Технология ионного азотирования деталей ГТД в тлеющем разряде с полым катодом // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2008. № 1(26). – С. 82–87.

5. **Рамазанов К.Н.** Исследование влияния азотирования и высокотемпературного азотирования в тлеющем разряде с эффектом полого катода на фазовые превращения в конструкционных и инструментальных сталях // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2008. № 1(26). – С. 100–108.

6. **Рамазанов К.Н.** Ионное азотирование деталей ГТД в тлеющем разряде с полым катодом // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 9. – С. 47-51.

7. Мухин В.С., **Рамазанов К.Н.**, Ишмухаметов Д.З. Упрочнение поверхности стали и титановых сплавов путем создания макронеоднородной структуры при азотировании в тлеющем разряде // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 10. – С. 32-35.

8. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К. Азотирование быстрорежущей стали Р6М5 в тлеющем разряде с наложением магнитного поля // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2010. - №5. - С. 39-42.

9. **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К. Разработка способа ионного азотирования инструментальной стали Х12 в скрещенных электрических и магнитных полях // Вестник УГАТУ. - Уфа, 2011. № 1. – С. 101- 104.

10. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К. Ионное азотирование инструментальных сталей с наложением магнитного поля // МиТОМ – 2011. - №7. - С. 40 – 42.

11. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К. Влияние скрещенных электрических и магнитных полей на ионное азотирование в тлеющем разряде // Физика и химия обработки материалов. - 2011. - №6. - С. 43 – 53.

12. **Рамазанов К.Н.**, Ишмухаметов Д.З., Садкова Н.С. Ионное азотирование в неоднородной плазме тлеющего разряда // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2011. – Т. 15. № 3 (43). – С. 67-71.

13. **Рамазанов К.Н.**, Агзамов Р.Д. Технология упрочнения поверхности путем создания неоднородной структуры при азотировании в тлеющем разряде // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2011. – № 2. – С. 164-167.

14. Варданян Э.Л., Киреев Р.М., **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К., Ягафаров И.И., Валиев Р.Ш. Упрочнение штамповой оснастки комбинированной обработкой в вакууме // Кузнечно-штамповое производство. - 2012. - №01. - С. 28 – 31.

15. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К., Хусаинов Ю.Г. Азотирование инструментальной стали Р6М5 в тлеющем разряде в скрещенных электрических и магнитных полях // Физика и химия обработки материалов. – 2013. – № 6. – С. 54-59.

16. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Золотов И.В., Хусаинов Ю.Г. Перспективы использования эффекта полого катода при локальном азотировании деталей из стали 16ХЗНВФМБ-Ш // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2014. – №1. – С. 32-36.

17. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Хусаинов Ю.Г., Золотов И.В. Применение эффекта полого катода для локального ионного азотирования конструкционной стали 16ХЗНВФМБ-Ш // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2014. - №12, - С. 27-30.

18. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Хусаинов Ю.Г., Золотов И.В. Применение эффекта полого катода при локальном ионном азотировании деталей машиностроения // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2014. - № 10(3), - С. 109-112.

19. Вафин Р.К., **Рамазанов К.Н.** Влияние скрещенных электрических и магнитных полей на ионное азотирование в тлеющем разряде. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 10-3. – С. 118-121.

20. **Рамазанов К.Н.**, Будилов В.В., Рамазанов И.С. Повышение эксплуатационных свойств деталей из титановых сплавов в плазме повышенной плотности // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 10-3. – С. 231-234.

21. **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К., Хусаинов Ю.Г. Ионное азотирование в тлеющем разряде инструментальной стали Х12 в скрещенных электрических и магнитных полях // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2014. – № 1 (703). – С. 46-49.

22. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Хусаинов Ю.Г., Золотов И.В. Перспективы использования эффекта полого катода при локальном азотировании деталей из стали 16ХЗНВФМБ-Ш // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2014. – Т. 18. – № 1 (62). – С. 32-36.

23. **Рамазанов К.Н.**, Рамазанов И.С. Ионное азотирование титанового сплава ВТ6 в тлеющем разряде с эффектом полого катода // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2014. – Т. 18. – № 2 (63). – С. 41-46.

24. Будилов В.В., Агзамов Р.Д., **Рамазанов К.Н.**, Рамазанов И.С. Технология ионного азотирования титанового сплава ВТ6 с применением эффекта полого катода // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – № 8 (116). – С. 37-39.

25. Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Рамазанов И.С. Ионное азотирование титанового сплава ВТ6 в тлеющем разряде с эффектом полого катода. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2015. – № 1 (715). – С. 34-37.

Патенты Российской Федерации:

1. Пат. №2275433 Российская Федерация, МПК7 С 21 D 1/09, С 21 D 1/38. Способ поверхностного упрочнения деталей [Текст] / Будилов В.В., Агзамов Р.Д., **Рамазанов К.Н.**; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – № 2004133438/02 ; заявл. 16.11.04; опубл. 27.04.06, Бюл. №12–3 с.: ил.

2. Пат. №2277592 Российская Федерация, МПК7 С 21 D 1/06. Способ светлой закалки изделий в тлеющем разряде с эффектом полого катода [Текст] / Будилов В.В., Агзамов Р.Д., **Рамазанов К.Н.** ; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – № 2004121289/02 ; заявл. 12.07.04; опубл. 10.06.06, Бюл. №16. – 3 с.: ил.

3. Пат. №2276201 Российская Федерация, МПК7 С 23 С 8/36, С 23 С 8/80. Способ азотирования изделий в тлеющем разряде с эффектом полого катода [Текст] / Будилов В.В., Агзамов Р.Д., **Рамазанов К.Н.** ; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – № 2004132581/02 ; заявл. 09.11.04; опубл. 10.05.06, Бюл. №13. – 3 с.: ил.

4. Пат. №2324001 Российская Федерация, МПК7 С 23 С 8/36, С 23 С 8/80. Способ термической и химико-термической обработки стальных изделий в вакууме [Текст] / Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.** ; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – № 2006124368; заявл. 06.07.06; опубл. 10.05.08, Бюл. №13. – 5 с.: ил.

5. Пат. №2418096 Российская Федерация, МПК7 С 23 С 8/36, С 23 С 14/06, С 23 С 14/24. Способ создания макронеоднородной структуры материала при азотировании [Текст] / Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Ишмухаметов Д.З.; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – № 2009124891; заявл. 29.06.09; опубл. 10.05.11, Бюл. №13. – 5 с.: ил.

6. Пат. №2409699 Российская Федерация, МПК7 С 23 С 8/36, С 23 С 8/24. Способ создания неоднородной структуры материала при азотировании в тлеющем разряде [Текст] / **Рамазанов К.Н.**, Ишмухаметов Д.З., Садкова Н.С.; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – № 2009124869; заявл. 29.06.09; опубл. 20.01.11, Бюл. №13. – 5 с.: ил.

7. Пат. №2534906 Российская Федерация, МПК7 С23С8/36. Способ локальной обработки материала с эффектом полого катода при ионном

азотировании [текст] / Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Хусаинов Ю.Г., Рамазанов И.С., Золотов И.В.; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т». - №2013117842; заявл. 17.04.13; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34 с.: ил.

8. Пат. № 2534697 Российская Федерация, МПК7 С23С8/36. Способ локальной обработки материала с эффектом полого катода при ионном азотировании [текст] / Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Хусаинов Ю.Г., Золотов И.В., Рамазанов И.С.; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т». - №2013116338; заявл. 09.04.13; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34 с.: ил.

9. Пат. №2534907 Российская Федерация, МПК7 С23С8/36. Способ локальной обработки материала при азотировании в тлеющем разряде [текст] / Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Хусаинов Ю.Г., Рамазанов И.С., Золотов И.В.; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т». - №2013115736; заявл. 08.04.13; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34 с.: ил.

10. Пат. №2409700 Российская Федерация, МПК7 С23С8/36, С21D9/30. Способ азотирования в плазме тлеющего разряда [Текст] / Будилов В.В., Киреев Р.М., **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К.; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - № 2009125030/02 ; заявл. 30.06.09; опубл. 20.01.11, Бюл. №2 – 4 с. : ил.

11. Пат. №2413784 Российская Федерация, МПК7 С23С8/36, С21D9/30. Способ ионного азотирования стали [Текст] / Киреев Р.М., **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К.; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - № 2009125018/02 ; заявл. 30.06.09; опубл. 10.03.11, Бюл. №7 – 4 с. : ил.

12. Пат. №2418095 Российская Федерация, МПК7 С23С8/36, С21D9/30. Способ вакуумного ионно-плазменного азотирования изделий из стали [Текст] / Будилов В.В., **Рамазанов К.Н.**, Вафин Р.К.; патентообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - № 2009124870/02 ; заявл. 29.06.09; опубл. 10.05.11, Бюл. №1 – 4 с. : ил.

В зарубежных изданиях:

1. Budilov V.V., Agzamov R.D., **Ramazanov, K.N.** Ion nitriding in glow discharge with hollow cathode effect // Metal Science and Heat Treatment.– 2007.– Vol. 49. – Issue 7-8 – P. 358-361.

2. Budilov V.V., **Ramazanov K.N.**, Vafin R.K. Ion nitriding of tool steels with application of magnetic field // Metal Science and Heat Treatment.– 2011.– Vol. 53. – Issue 7-8 – P. 347-349.

3. **Ramazanov K.N.**, Vafin, R.K., Khusainov Yu.G. Ion nitriding of tool steel kh12 in glow discharge in cross electric and magnetic fields // Metal Science and Heat Treatment.– 2014.– Vol. 56. – Issue 7-8 – P. 50-52.

4. **Ramazanov K.N.**, Sigeneger F., Loffhagen D., Budilov V.V., Zolotov I.V. Computer modelling of the hollow cathode plasma used for nitriding process // Proceedings of the 26 International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum. - Mumbai, 2014 – P.317-320

5. **Ramazanov K.N.**, Budilov V.V., Vafin, R.K., Zolotov I.V. Ion nitriding of tool steel in magnetic field followed by deposition of coating by vacuum arc plasma

// Proceedings of the 26 International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum. - Mumbai, 2014 – P.517-519.

6. Budilov V.V., **Ramazanov K.N.**, Ramazanov I.S. Ion nitriding of titanium alloy vt6 in glow discharge with hollow cathode effect // Metal Science and Heat Treatment.– 2015.– Vol. 57. – Issue 1-2 – P. 36-39.

7. Budilov V.V., **Ramazanov K.N.**, Khusainov Yu.G., Zolotov I.V., Babenko N.S. Application of hollow cathode effect for local ion nitriding of machine parts // Journal of Physics: Conference Series. – Vol. 652 – doi:10.1088/1742-6596/652/1/012052

8. **Ramazanov K.N.**, Khusainov Yu.G., Zolotov I.V. Local ion nitriding process with hollow cathode effect computer modelling// Journal of Physics: Conference Series. – Vol. 652 – doi: 10.1088/1742-6596/652/1/012054

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на: Всероссийской научно-технической конференции «Теплофизика технологических процессов» (Рыбинск, 2004, 2006); Международной конференции «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов» (Харьков, 2004, 2007, 2008); Научно – технической конференции «Вакуумная наука и техника» (Судак - Сочи, с 2004 по 2014 гг.); 7-й Международной конференции «Вакуумные нанотехнологии и оборудование» (Харьков, 2006); Международной конференции «Радиационная физика» (Севастополь, 2007); Международной конференции «Газоразрядная плазма и ее технологические применения» (Томск, 2007, 2009, 2011, 2013); Международной научно-технической конференции «Молодежь в авиации: новые решения и передовые технологии» (Запорожье, 2008); Международной научно-технической и образовательной конференции «Образование и наука – производству» (г. Набережные Челны, 2010); Международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня» (Санкт-Петербург, 2010); Всероссийской школе-семинаре с международным участием «Современное материаловедение: материалы и технологии новых поколений» (Томск, 2014); Всероссийской конференции с международным участием «Физика низкотемпературной плазмы» (Казань, 2014); International congress on energy fluxes and radiation effects (Томск, 2014); Международном молодежном форуме «Будущее авиации за молодой Россией» (г. Рыбинск, 2011); Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения» (г. Томск, 2011); Conference of Young Scientists on Energy Issues (г. Каунас, 2012); International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (Томск 2012, Mumbai 2014). Региональных научно-технических конференциях (Уфа, с 2004 по 2014 гг.).

Научная специальность диссертации

По своим целям и задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне диссертация Рамазанова К.Н. «Исследование структурно-фазовых превращений и свойств поверхностных слоев сталей при ионном азотировании в тлеющем разряде низкого давления» соответствует паспорту специальности 05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, технические науки (паспорт специальности, п. 1.2-1.4;1.6) и удовлетворяет требованиям п. II 9 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертация Рамазанова К.Н. рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО УГАТУ. Присутствовало 34 человека, в том числе 9 докторов и 17 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» - 34 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол №6 от 16 ноября 2015 г.

Заведующий кафедрой
технологии машиностроения,
доктор технических наук, профессор



Н.К. Криони