



ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Хусаинова Юлдаша Гамировича
на тему «Разработка и научное обоснование новых технических решений
формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном
азотировании сталей», представленную на соискание ученой степени доктора
технических наук по специальности**

2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Детали современных высоконагруженных машин работают в условиях больших нагрузок. Традиционные методы повышения эксплуатационных характеристик путем применения различных видов химико-термической обработки не всегда обеспечивают соответствие необходимым требованиям. Наиболее перспективными методами обработки поверхности являются вакуумные ионно-плазменные упрочняющие технологии, обладающие универсальностью, высокой производительностью и воспроизводимостью параметров поверхностного слоя, а также экологичностью.

В связи с этим тема диссертационной работы Хусаинова Ю.Г., посвященная разработке и научному обоснованию новых технических решений формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном азотировании сталей, повышающие производительность и расширяющие возможности процесса азотирования, несомненно, является актуальной.

Диссертационная работа прошла достаточную апробацию на представительных Российских и Международных научных конференциях.

Наибольший научный интерес представляют следующие результаты, полученные автором:

1. Разработаны способы локальной интенсификации диффузионных процессов на отдельных участках деталей при ионном азотировании с помощью плазмы тлеющего разряда повышенной плотности, создаваемой полым катодом или

магнитным полем, а также предварительным деформационным измельчением структуры поверхностного слоя материала. При этом в материале формируются упрочненные участки, отличающиеся толщиной и свойствами упрочненного слоя.

2. Установлено, что предварительное деформационное измельчение структуры стали аустенитного и мартенситного классов марки 12X18H10T и 13X11H2B2MФ-Ш методом интенсивной пластической деформации кручением позволяет интенсифицировать процесс диффузионного насыщения при низкотемпературном (450°C) ионном азотировании в течение 6 часов в 2-2,5 раза по сравнению с крупнозернистым состоянием без разупрочнения основы материала. При этом максимальное поверхностное упрочнение по сравнению с исходной структурой для стали марки 12X18H10T составила около 40%, а для стали марки 13X11H2B2MФ-Ш – около 20% в результате образования преимущественно высокоазотистых нитридов железа.

3. Установлено, что применение полого катода при локальном ионном азотировании позволяет интенсифицировать процесс диффузионного насыщения в 2-2,5 раза и увеличить износостойкость поверхности стали перлитного и мартенситного классов марки 38ХМЮА и 16ХЗНВФМБ-Ш без изменения механизма изнашивания в 1,6-1,7 раза, по сравнению с ионным азотированием без полого катода, и в 12-14 раз – по сравнению с исходным состоянием, за счет формирования в поверхностном слое исследуемых материалов многофазной структуры, состоящей из ϵ -фазы $\text{Fe}_{2-3}(\text{N})$, $\text{Fe}_{2-3}(\text{N},\text{C})$, γ' -фазы Fe_4N , $\text{Fe}_4(\text{N},\text{C})$, а также (CrN , $\text{Cr}(\text{N},\text{C})$, Cr_2N , $\text{Cr}_2(\text{N},\text{C})$) при температуре подложки 550°C и длительности упрочнения 12 часов.

4. Установлено, что после интенсивной пластической деформации кручением, термической обработки с однократным отпуском и последующим ионным азотированием при температуре 550°C , протяженность зоны диффузионного насыщения в 2-2,5 раза больше, чем у образцов без интенсивной пластической деформации кручением, а прирост поверхностной микротвердости составил $\sim 1,7$ раза, вследствие активной диффузии азота вглубь материала. При этом также увеличилась абразивная износостойкость материала, вследствие формирования на поверхности материала столбчатой структуры из высокоазотистых нитридов ϵ -фазы, γ' -фазы и легирующего элемента хрома CrN ,

Cr₂N, которые позволяют упрочненному слою выдерживать большие нагрузки без разрушения.

Особый интерес с практической точки зрения представляют:

- разработанные численная модель с применением метода конечных элементов, аналитическая модель с применением экспериментально-статистического метода и программное обеспечение, позволяющие проводить расчеты параметров тлеющего разряда, решать тепловые и диффузионные задачи, прогнозировать толщину и фазовый состав диффузионного слоя с учетом технологических параметров процесса ионного азотирования и размера зерна обрабатываемого материала;

- разработанный для НПФ «Пакер» технологический процесс низкотемпературного (до ~ 450°C) локального ионного азотирования детали «шток» пакерно-якорного оборудования, предназначенного для гидроизоляции пластов;

- разработанный для ПАО «ОДК-УМПО» технологический процесс локального ионного азотирования с полым катодом детали «шестерня» центрального конического привода двигателя летательного аппарата;

- разработанный для АО «БелЗАН» технологический процесс комбинированного многослойного упрочнения просечных пуансонов, включающий операцию локального ионного азотирования в магнитном поле.

По автореферату имеется следующее замечание:

1. Из автореферата (стр. 28) следует что процесс локального ионного азотирования проходит в многокомпонентной газовой среде в состав которого входит водород. Известно, что водород является для многих сталей вредной примесью и оказывает влияние на пластичность материала. Из автореферата не ясно каким образом подбиралось приемлемое соотношение компонентов газовой среды.

Однако указанное замечание не снижает научную и практическую ценность работы.

В целом диссертационная работа Хусаинова Ю.Г. «Разработка и научное обоснование новых технических решений формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном азотировании сталей» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, которая содержит решение важной научной задачи в области разработки новых

