



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край,
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-86-25
http://www.sfu-kras.ru, e-mail: office@sfu-kras.ru

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;
ИНН/КПП 2463011853/246301001



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

И.О. ВО «Сибирский
Федеральный университет»

Денис Сергеевич Гуц

«29» марта 2021 г.

№ _____
от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Бибикова Петра Сергеевича

"Влияние газо-термоциклических процессов азотирования на структуру и свойства высоколегированных коррозионностойких сталей авиационного назначения", представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

На отзыв представлены:

- диссертационная работа, состоящая из введения и 6 глав на 112 страницах машинописного текста, выводов, списка литературы (94 источников). Диссертация содержит 18 таблиц, 35 рисунков;
- автореферат диссертации на 22 страницах, исключая список из 7 основных публикаций по теме диссертационной работы, из которых: статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ – 4 и 3 – в сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций.

Актуальность работы

При изготовлении деталей узлов авиационной техники часто используются высоколегированные стали, рабочие поверхности которых упрочняют различными способами. Азотирование – один из распространенных способов повышения износостойкости, выносливости и прочности деталей. Известно, что азотирование высоколегированных сталей является сложной технологической задачей. Сложность процесса связана с высокой твердостью

и хрупкостью получаемых слоев, с большими остаточными напряжениями, вызывающими микро- и макротрещины при эксплуатации. Играет роль и площадь обрабатываемой поверхности, на которую при серийном производстве не хватает стандартной порции азота, переключение на другой источник приводит к получению неравномерных по толщине слоев. Получение же некачественного азотированного слоя приводит впоследствии при эксплуатации к риску выхода из строя агрегата или узла, и, как следствие, к созданию предпосылки аварии летательного аппарата. Поэтому, безусловно, работа Бибикова П. С., посвященная исследованию нового метода азотирования, который позволил решить вышеописанную проблему и получить поверхностные бездефектные структуры с заданными по условиям эксплуатации свойствами в промышленных, серийных деталях, является актуальной как с научной, так и с практической точки зрения.

Общая характеристика работы

Автором в работе дана детальная характеристика технологии азотирования высоколегированных сталей, особое внимание уделено влиянию легирующих элементов на физико-механические свойства. Рассмотрено влияние процесса азотирования с добавками воздуха на изменение структуры, фазового состава, механические, технологические и эксплуатационные свойства.

В ходе исследований определены оптимальные температуры и составы насыщающих атмосфер на различных стадиях, проводимых процессов азотирования. Большое внимание автором уделено установлению влияния добавок воздуха на формирование азотированного слоя. Установлено, что концентрация воздуха 70 % в рабочей смеси позволяет быстрее формировать сплошной азотированный слой.

В работе показано, что введение третьей заключительной стадии азотирования в чистом аммиаке позволяет снизить чрезмерную твердость азотированного слоя до оптимальных значений (до HV менее 10000 МПа), а также приводит к процессу внутренней диффузии атомов азота вглубь металла. Рентгеноструктурные исследования показали, что во время проведения третьей стадии азотирования происходит восстановление оксидов железа и выведение кислорода из азотированного слоя. Таким образом, проведение третьей, дополнительной стадии позволяет снизить охрупчивающий эффект азотирования и уменьшить падение ударной вязкости образцов.

Большое внимание автором уделено изменению физико-механических свойств азотируемых сталей. Показано, что снижение твердости и повышение пластичности азотированного слоя после азотирования по трех стадийному режиму приводит к повышению износостойкости поверхности. Результаты исследования коррозионной стойкости показали положительное влияние третьей стадии внутренней диффузии, при которой обеспечивается

более высокая коррозионная стойкость относительно традиционного двухстадийного режима.

На основании проведенных исследований были разработаны многостадийные процессы азотирования в диапазоне температур 500–600 °С, а детали, азотированные по предлагаемому способу, успешно работают в течение длительного времени на нескольких предприятиях авиастроения.

Наиболее важные полученные результаты

Научную новизну работы составляют следующие результаты.

- Установлено, что при проведении газо-циклического азотирования в три стадии, дополнительная изотермическая выдержка при температуре 580 °С в чистом аммиаке изменяет фазовый состав нитридной зоны, увеличивает глубину азотированного слоя и сглаживает профиль микротвердости за счет протекания выравнивающей диффузии: происходит трансформация структуры приповерхностного слоя, заключающаяся в разложении ϵ -фазы, дополнительном образовании γ' -фазы, и переходе высвобождающегося азота в твердый раствор, что обеспечивает прирост зоны внутреннего азотирования.

- Установлено, что в составе ϵ -фазы, образованной на поверхности, наряду с железом присутствует весь набор легирующих элементов исследуемых сталей – Cr, Ni, V, Mo, Ni. При этом ϵ -фаза является карбонитридной, в которой концентрация углерода превышает концентрацию азота. Показано, что проведение третьей стадии выравнивающей диффузии обеспечивает дисперсионное упрочнение азотированного слоя за счет образования нитридов легирующих элементов по механизму старения.

- Показано, что при протекании объемной выравнивающей диффузии на третьей стадии азотирования резко уменьшается концентрация оксидов железа в азотированном слое, что в значительной степени влияет на сохранение коррозионной стойкости сталей.

- Показано, что длительность третьей стадии азотирования является регулирующим параметром, позволяющим управлять фазовым составом поверхности.

Рекомендации по практическому использованию основных результатов работы

Разработанный новый трехстадийный способ газо-циклического азотирования сталей 03X11H10M2T-ВД (ЭП-678, ВНС-17) и 13X11H2B2MФ-Ш (ЭИ-961), в котором используется циклически изменяющаяся атмосфера в рабочей печи с различной насыщающей способностью, уже внедрен на нескольких предприятиях авиастроения (АО «Авиаагрегат», г. Самара, ПАО «Гидроавтоматика», г. Самара, ОАО «Красный Октябрь», г. Санкт-Петербург, ООО «Термаль», г. Санкт-Петербург).

Данная технология, позволяющая получать гарантированно качественные азотированные поверхностные слои, может быть рекомендована

к использованию применительно к широкой номенклатуре коррозионностойких и жаропрочных сталей авиа- и машиностроения.

На основе полученных результатов получен патент РФ (RU № 2756547 от 24.09.2020).

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов обеспечивается грамотным подбором взаимодополняемых методик исследования и использования современного поверенного оборудования с лицензионным программным обеспечением, проведением испытаний и измерений в соответствии с ГОСТ.

Замечания:

1. В работе приведены применяемые соотношения концентраций аммиак-воздух – 70/30. Следовало бы обосновать неэффективность использования предельных концентраций воздух/аммиак (20/80,10/90).

2. Для изделий, подвергаемых азотированию, которые чаще всего испытывают циклические нагрузки, было бы важно провести исследования предела выносливости.

3. В диссертационной работе автор отмечает необходимость предварительной подготовки поверхности деталей перед азотированием (термическое снятие напряжений, наклеп, создание оптимальной шероховатости поверхности), однако в работе не приведены данные о влиянии напряжений (наклепа) на формирование азотированного слоя и его свойства.

4. На рисунках 5.8, 5.9 в тексте диссертационной работы не указаны непосредственно питтинги коррозии, что затрудняет понимание влияния процесса азотирования на характер коррозионного поражения поверхности.

5. В тексте диссертационной работы (рис. 5.7, б) не объяснено наличие временного повышения потенциостатической кривой в диапазоне –600–200 мВ стали, азотированной по предлагаемой технологии.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки работы.

Диссертационная работа Бибикова П. С. выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по исследованию нового способа азотирования, позволяющего решить задачу повышения качества азотированных слоев коррозионностойких высоколегированных сталей 03X11N10M2T-ВД (ЭП-678, ВНС-17) и 13X11N2B2MФ-Ш (ЭИ-961) и устранения частого брака при эксплуатации деталей авиационной техники, приводящего к выходу из строя агрегата или узла.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 13 научно-технических конференциях, опубликованы в 7 печатных работах, в том числе в 4 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, из которых 3 статьи опубликованы

в журналах, включенных в международные системы цитирования Scopus и WebofScience. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в авиакосмической технике, а также в машиностроении, тяжелом машиностроении и других отраслях промышленности.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-16 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор *Бибиков Петр Сергеевич* заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры _материаловедения и технологии обработки материалов, протокол № 4 от 23 ноября 2021 года.

На заседании присутствовало 18 членов из 20. Результаты голосования: «за» - 18, против – нет, воздержавшихся - нет.

Заведующий кафедрой материаловедения
и технологии обработки материалов
канд. техн. наук

Олег Александрович Масанский

Федеральное государственное
автономное образовательное учреждение
высшего образования «Сибирский
федеральный университет»
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: science@sfu-kras.ru
Тел.: +7 (391) 291-27-36

