

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента Тарасовой Татьяны Васильевны на диссертационную работу *Бибикова Петра Сергеевича* «Влияние газотермических процессов азотирования на структуру и свойства высоколегированных коррозионностойких сталей авиационного назначения, представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

Актуальность темы исследования.

Диссертационная работа Бибикова П.С. посвящена разработке технологии газотермоциклического азотирования, позволяющего получать гарантированное качество поверхности изделий с высокой износостойкостью, трещиностойкостью и коррозионной стойкостью, удовлетворяющих различным условиям работы большой номенклатуры изделий авиационной техники.

Результаты многочисленных исследований, предпринимаемых научными и промышленными организациями России и других стран, демонстрируют целесообразность применения методов химико-термической обработки для повышения эксплуатационных характеристик изделий авиакосмической и ракетной техники. Перспективным и широко распространенным процессом химико-термической обработки является процесс ионно-плазменного азотирования. Однако, известно, что эта технология наряду с целым рядом достоинств по сравнению с печным газовым азотированием, имеет и существенные недостатки, например, оборудование для ионно-плазменного азотирования является дорогим и наиболее сложным конструктивно, требующим для обслуживания специалистов высокого уровня. Кроме этого, сложно, а иногда невозможно азотирование внутренних поверхностей деталей. В то же время, стоит отметить, что и проведение процесса газового азотирования зачастую не исключает возникновения брака готовых авиационных изделий из высоколегированных сталей в виде трещин, микротрещин, не сплошного, некачественного азотированного слоя. В этой связи совершенствование технологии печного газового азотирования **является актуальной задачей.**

Представленная работа вносит существенный вклад в решение задач повышения надежности и ресурса работы систем узлов и агрегатов

авиационной техники с использованием методов газо-термоциклического азотирования.

Научная новизна работы

Соискателем получен **новый научный результат**, заключающийся в разработке технологического процесса газо-циклического азотирования в три стадии. Дополнительная изотермическая выдержка при температуре 580°C в чистом аммиаке приводит к изменению фазового состава нитридной зоны и увеличению глубины азотированного слоя.

В процессе газо-циклического азотирования в три стадии 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 определяющим критерием при проведении третьей стадии азотирования является длительность процесса. При увеличении времени выдержки вначале происходит диссоциация ϵ - фазы и увеличение толщины зоны, содержащей γ' - фазу. Дальнейшее увеличение времени выдержки приводит к диссоциации γ' - фазы и формированию на поверхности слоя α - фазы.

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. Проведение третьей стадии выравнивающей диффузии обеспечивает дисперсионное упрочнение азотированного слоя за счет образования нитридов легирующих элементов по механизму старения.

Новизна разработанного процесса подтверждена **патентом** Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент). № 2 756 547 С1, МПК С23С 8/26 (2006.01), рег. 01.10.2021.«Способ азотирования коррозионностойких и высоколегированных сталей».

Практическая ценность диссертации

Разработан новый трех стадийный 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 (путем изменения степени диссоциации аммиака от 25-35% до 75-85%). Процесс позволяет получить слой с плавным распределением микротвердости при отсутствии на

поверхности хрупкой ϵ -фазы, что снижает внутренние напряжения в слое и на границе с сердцевиной, увеличивает ударную вязкость и износостойкость сталей. Теоретически доказано путем расчета дополнительной энергии, получаемой при азотировании в аммиаке с добавками воздуха, что при подаче 70% воздуха в рабочую камеру повышение температуры на границе газ-металл приводит к образованию азотистого аустенита в жаропрочной стали 13X11H2B2MФ, претерпевающей мартенситное превращение при последующем охлаждении; образовавшийся малоуглеродистый азотистый мартенсит в условиях изнашивания снижает коэффициент трения контактирующих поверхностей, повышая износостойкость стали, что подтверждено экспериментально.

Достоверность полученных результатов

Выводы по работе и полученные результаты подтверждаются корректностью постановки задач, грамотным использованием теоретических зависимостей и допущений. Достоверность научных положений подтверждается качественным и количественным согласованием результатов теоретических исследований с экспериментальными данными. Полученные результаты не противоречат существующим закономерностям и данным других исследователей. Достоверность также подтверждена успешной работой изделий, азотированных по предлагаемому способу, в течение длительного времени на предприятиях авиастроения (АО «Авиаагрегат», г. Самара, ПАО «Гидроавтоматика», г. Самара, ОАО «Красный Октябрь», г. Санкт-Петербург, ООО «Термаль», г. Санкт-Петербург).

Замечания по диссертационной работе.

По содержанию и оформлению диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Из текста диссертации не совсем понятна необходимость проведения 1-ой стадии азотирования;
2. Диссертантом проведен большой объем практической работы по внедрению разработанного способа трех стадийного газового азотирования в промышленность. Было бы желательно посчитать экономический эффект от внедрения конкретных деталей, обработанных предложенным способом, в производство;
3. Чем объяснен выбор диапазона подачи аммиак-воздух - 18 сек. аммиак и 42 сек. воздух, и возможно стоит рассмотреть иные диапазоны?

4. В ряде случаев диссертантом допускаются стилистические неточности или ошибки, например:

- на стр.16 в тексте указывается «Фазы ($\varepsilon+\gamma'$) и γ' и образуют нитридный слой. Фаза $\alpha+\gamma'$ образует зону внутреннего азотирования...», ($\alpha+\gamma'$) не фаза, а структура;
- на стр.53, рис. 3.4. необходимо проставить обозначения линий и расшифровать в подрисуночной надписи.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

Заключение

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения. Решена задача создания качественного азотированного слоя на поверхности высоколегированных коррозионностойких сталей авиационного назначения, определены оптимальные температуры при двух стадийном процессе, установлена необходимость проведения дополнительной, третьей стадии. Рекомендовано третью стадию азотирования проводить в атмосфере аммиака со степенью диссоциации 70-90 об% при температуре 560-600° в течение трёх и более часов, что позволит уменьшить концентрацию азота в слое за счёт его оттока вглубь детали, исключая деазотирование поверхности. Установлено, что при проведении 3-х стадийного азотирования по сравнению с 2-х стадийным снижается износ образцов в условиях трения скольжения и повышается ударная вязкость и коррозионная стойкость. Теоретически обоснована и подтверждена практикой длительность стадий азотирования, которая позволит эффективно регулировать строение, фазовый состав и свойства азотированного слоя.

Работа, безусловно, вносит важный вклад в разработку новых технологических способов химико-термической обработки изделий из высоколегированных коррозионностойких сталей. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 13 международных и российских научно-технических конференциях и семинарах, опубликованы в 7 печатных работах, в том числе 4 – в журналах, рекомендованных ВАК и 3 в журналах, включенных в международные системы цитирования Scopus и Web of Science. Результаты диссертационной работы использованы для разработки технологий обработки изделий,

выполненных из высоколегированных сталей и их применения в производстве, что подтверждается соответствующими актами внедрения на предприятиях: ООО «НПП «Нитрид» и АО «Авиаагрегат», г. Самара, ПАО «Гидроавтоматика», г. Самара, ОАО «Красный Октябрь», г. Санкт-Петербург, ООО «Термаль», г. Санкт-Петербург.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации. Автореферат дает правильное и всестороннее представление о проделанной работе, содержит в кратком виде необходимую информацию, характеризующую полученные результаты, основные положения и выводы диссертации. Диссертационная работа Бибикова П.С. состоит из введения и 6 глав на 112 страницах машинописного текста, выводов, списка литературы (94 источников). Диссертация содержит 18 таблиц, 35 рисунков.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном 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), в частности, п.1, 2, 9 и 10 паспорта специальности.

Официальный оппонент,
доцент кафедры «Высокоэффективные технологии обработки»
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Московский Государственный Технологический
Университет «СТАНКИН»
кандидат технических наук, доцент
(специальность 2.6.17 – Материаловедение (технические науки))

Тарасова Татьяна Васильевна

Должность, ученую степень, ученое звание и подпись Тарасовой Татьяны Васильевны заверяю

« 01 » 12 2021г.

Адрес: 127055, г.Москва, Вадковский переулок, д.3а,
тел.: +7(499) 977-24-10, e-mail: t.tarasova@stankin.ru



Подпись руки *Тарасовой Т.В.* удостоверяю
Уд. ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Документодед Кутикова С.П.