

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента МАДИ Малахова Александра Юрьевича на диссертацию Есипова Романа Сергеевича по теме «Разработка технологии низкотемпературного ионного азотирования сталей 12Х18Н10Т и 13Х11Н2В2МФ-Ш с ультрамелкозернистой структурой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы

Для обеспечения высокой надежности и ресурса работы в науке и технике возникает необходимость в разработке новых материалов и технологий. Сегодня одним из перспективных материалов для деталей машин и механизмов, работающих в условиях контактных и циклических нагрузок, являются конструкционные стали с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой. Стали с УМЗ получают при помощи интенсивной пластической деформации (ИПД), при которой достигается измельчение зерна структуры до 100 - 500 нм, чем обеспечивается повышение эксплуатационных характеристик. Несмотря на высокие показатели прочности материала, разрушение деталей, работающих в условиях контактных и циклических нагрузок, начинает происходить с поверхности. Поэтому такие детали подвергают упрочнению различными методами. Среди всего многообразия методов поверхностного упрочнения широкое распространение получило ионное азотирование в тлеющем разряде. Азотирование конструкционных сталей осуществляют в интервале температур (550 - 600 °С), при которых происходит эффективное образование азотированного слоя. Известно, что при таких температурах в структуре стали, подвергнутой ИПД, происходит рост зерна и снижение заданных прочностных свойств. Для успешного поверхностного упрочнения сталей с УМЗ структурой методом азотирования обработку необходимо проводить при температуре, при которой структура основы является стабильной. Однако, в настоящее время отсутствуют научные данные о влиянии низкотемпературного ионного азотирования на структуру и свойства сталей с УМЗ структурой. Поэтому тема диссертации Есипова Р.С. «Разработка технологии низкотемпературного ионного азотирования изделий из конструкционных сталей аустенитного (12Х18Н10Т) и мартенситного (13Х11Н2В2МФ-Ш) классов с УМЗ структурой» и является актуальной.

Характеристика работы

В представленной диссертационной работе проведено комплексное экспериментальное исследование по влиянию состава рабочего газа на структуру и свойства упрочненного слоя; по влиянию ионного азотирования при температурах 450, 500 и 550 °С на микротвердость, трибологические свойства и структурно-фазовый состав поверхности конструкционных сталей 12Х18Н10Т и 13Х11Н2В2МФ-Ш после интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК). В ходе исследований установлен ряд закономерностей, в частности скорость роста упрочненного слоя исследуемых материалов в зависимости от их структурного состояния, скорость роста упрочненного слоя в зависимости от состава рабочего газа, содержащего аргон, азот и водород, механизм изнашивания поверхности сталей в зависимости от их структурного состояния.

На основе полученных новых экспериментальных результатов разработан технологический процесс низкотемпературного ионного азотирования конструкционных сталей аустенитного и мартенситного классов с УМЗ структурой при температуре 450-470 °С, позволяющий формировать упрочненные слои толщиной до ~200 мкм с образованием ϵ -фазы (Fe_2N , Fe_3N), γ' -фазы (Fe_4N), азотистого α -твердого раствора ($\alpha\text{-Fe}_{[\text{N}]}$) и легирующего элемента CrN , Cr_2N . Данный технологический процесс позволил в значительной степени повысить эксплуатационные характеристики детали «Шток» и рекомендован к внедрению на предприятии ООО НПФ «Пакер».

Научная новизна диссертационной работы.

1. Установлено, что максимальная температура нагрева подложки при ионном азотировании в тлеющем разряде сильно зависит от состава рабочего газа и разности потенциалов между электродами. С увеличением содержания аргона от 10 до 70 % происходит экспоненциальный рост температуры подложки, при этом напряжение между электродами уменьшается по прямолинейной зависимости.

2. Выявлено, что использование водорода в рабочем газе влияет на скорость роста и качество упрочненного слоя. Рабочая газовая среда с концентрацией водорода более 15 % приводит к образованию в диффузионной зоне микротрещин по границам зерен основы. Однако, наибольшее увеличение скорости роста упрочненного слоя, вследствие химического травления

оксидной пленки на поверхности сталей, происходит при содержании водорода в рабочем газе не более 25 %.

3. Установлено, что в сталях аустенитного и мартенситного классов с УМЗ структурой, полученных методом интенсивной пластической деформации кручением, при низкотемпературном ионном азотировании при температуре 450 °С диффузия азота вглубь материала в 2-2,5 раза выше, по сравнению с крупнозернистым аналогом.

4. Показано, что при уменьшении среднего размера кристаллитов до 100 - 150 нм и образования между ними большеугловых границ методом интенсивной пластической деформации кручением механизм изнашивания поверхности сталей изменяется от адгезионного типа к смешанному: адгезионно-абразивному. Изнашивание поверхности стали с ультрамелкозернистой структурой после низкотемпературного ионного азотирования протекает в основном по абразивному типу.

Практическая значимость работы

Научные результаты диссертационной работы рекомендованы к внедрению на научно-производственной фирме ООО «Пакер» в виде типового технологического процесса низкотемпературного ионного азотирования детали «Шток», изготовленного из стали аустенитного класса. Также экспериментальные результаты по исследованию фазового состава, микроструктуры, микротвердости и износостойкости поверхности сталей аустенитного и мартенситного классов с УМЗ структурой могут быть использованы при разработке новых технологических процессов ионного азотирования в тлеющем разряде. Установленное оптимальное соотношение компонентов рабочего газа: 55 % Ar, 30 % N₂, 15 % H₂, позволяющее увеличить скорость роста азотированного слоя до 4 - 5 раз, исключая образование трещин на обработанной поверхности. Приведенная математическая модель, которая позволяет прогнозировать температуру нагрева подложки в зависимости от изменения технологических параметров ионного азотирования может быть использована в машиностроительной отрасли.

Обоснованность и достоверность основных результатов и выводов обеспечивается корректностью постановки решаемых задач и их научной обоснованностью, применением современных методов и методик исследований, сопоставлением полученных в работе данных с литературными.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. В работе используется термин «эффективная толщина упрочненного слоя». Из текста диссертации не ясно, что автор понимает под термином «эффективная толщина упрочненного слоя» и каким образом оценивалась эффективная толщина упрочненного слоя;

2. В главе 4 не приведены оптические фотографии микроструктуры стали 12X18H10T с УМЗ структурой после азотирования при температурах 450, 500 и 550 °C;

3. В главе 4 в разделе, касающемся исследований термической стабильности исследуемых сталей, прошедших ИПДК утверждается, что во время отжига при температуре 500 °C в деформированном материале происходит рекристаллизация структуры. По анализу только одной зависимости изменения микротвердости сталей от температуры отжига не совсем корректно делать вывод о рекристаллизации структуры. При исследовании термической стабильности имеет научный интерес изучения структуры материала;

4. На рисунке 3.7 «Микроструктура поперечного шлифа образцов стали 13X11H2B2MФ-Ш после азотирования по режимам 450°C (а), 500°C (б), 550°», видны структуры игольчатого мартенсита по всей показанной поверхности. Автором же утверждается, что диффузионная зона, предположительно, состоит из твердого раствора азота в α -Fe (феррите), хотя α -Fe (феррита) на данных микроструктурах не видно. На рисунке 4.12 «Рентгенограммы поверхности образцов стали 12X18H10T (а,в,д) и 13X11H2B2MФ-Ш (б,г,е) с УМЗ структурой после ионного азотирования в тлеющем разряде при $T=450^\circ\text{C}$ (а,б); $T=500^\circ\text{C}$ (в,г); $T=550^\circ\text{C}$ (д,е)» среди расшифрованных спектров фазового состава для стали 13X11H2B2MФ-Ш также не выявлено α -Fe (феррита). На рентгенограммах для стали 13X11H2B2MФ-Ш просто показано Fe.

Приведенные замечания, не снижают в целом высокую оценку диссертационной работы. Диссертация написана ясным технически грамотным языком, хорошо оформлена и содержит достаточное количество экспериментальных результатов, достаточных для их понимания. Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации. Основные результаты работы опубликованы в опубликованы в 19 печатных работах, в том числе 5 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области авиа- и машиностроения.

Заключение

Диссертация Есипова Р.С. «Разработка технологии низкотемпературного ионного азотирования сталей 12X18H10T и 13X11H2B2MФ-Ш с ультрамелкозернистой структурой» является законченной научно-квалификационной работой, полученные в ней результаты обладают научной новизной и практической ценностью, их достоверность не вызывает сомнения. 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 Есипов Роман Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технологии конструкционных материалов» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»



Малахов Александр Юрьевич

29.11.2019

Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Электронная почта: malahov-alex@yandex.ru

Тел.: 89161233309



Подпись *А.Ю. Малахов*
документовед о/к *В.А. Маркина*