

ОТЗЫВ

официального оппонента Петровой Ларисы Георгиевны на диссертационную работу Банных Игоря Олеговича «Металловедческие основы создания многофункциональных высокоазотистых сталей аустенитного класса», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01- Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертация И.О. Банных «Металловедческие основы создания многофункциональных высокоазотистых сталей аустенитного класса» является одной из нескольких работ, посвящённых изучению азотистых аустенитных сталей, выполненных за последние годы в Российской Федерации и за рубежом. Востребованность исследований по данной тематике обусловлена сложностью практического применения таких сталей, которые изучались, главным образом, с позиции обоснования их преимуществ перед широко применяющимися хромоникелевыми коррозионностойкими сталями. Является насущной необходимостью проведение экспериментальных и теоретических исследований, обобщающих имеющиеся данные и накопленные ранее результаты по закономерностям структуры и физико-химических свойств высокоазотистых аустенитных сталей. Таким образом, тема диссертационной работы И.О. Банных, безусловно, является **актуальной**.

В диссертации отмечены причины ограниченного применения коррозионностойких сталей, в которых использован азот в качестве элемента, стабилизирующего аустенит. По мнению автора, это связано со спецификой структуры таких сталей, заключающейся в образовании твердого раствора внедрения азота с железом и другими легирующими элементами, тогда как практически все традиционные аустенитные коррозионностойкие стали формируют аустенитную структуру по типу твердого раствора замещения. Это отличие обычно не обсуждается в известных публикациях.

В соответствии с приведенным во введении тезисом сформулирована цель работы как детальное и систематическое изучение структуры и свойств рационально легированных азотистых аустенитных сталей для разработки материаловедческих основ создания высокопрочных азотсодержащих коррозионностойких сталей с уникальным комплексом эксплуатационных

характеристик, что, как справедливо отмечено в диссертации, должно способствовать уточнению сферы их целесообразного использования.

В работе были поставлены и решены научные задачи металловедческого характера, включающие изучение фазовых превращений, структуры и особенностей механических свойств азотистых аустенитных сталей. Полученные результаты характеризуют **научную новизну** диссертации:

1. Проведен большой объем структурных исследований, из которых следует отметить детальное изучение влияния условий термической обработки на зернистую структуру высокоазотистых сталей систем Fe–Cr–Mn–Ni–N, Fe–Cr–Mn–Ni–Mo–V–Nb–N, на основе которого выполнена количественная оценка влияния молибдена, ванадия и ниобия на рост зёрен аустенита. Анализ кинетики роста зерна аустенита высокоазотистых сталей различного состава позволил определить величину энергии активации их роста после термической обработки. Установлено, что энергия активации роста зерна аустенита при рекристаллизации определяется преимущественно зернограничной диффузией основных компонентов стали, а в интервале температур выше температуры рекристаллизации преобладают процессы объемной диффузии. Выполнено экспериментальное определение энергии дефектов упаковки для высокоазотистых аустенитных сталей различного химического состава. Установлена взаимосвязь энергии активации роста зерен аустенита с величиной энергии дефектов упаковки. Дана оценка влияния легирования элементами внедрения (углеродом и азотом) и замещения (никелем и марганцем) на величину энергии дефектов упаковки на прочностные свойства и исследованных сталей. Изучено влияние бора в количествах, превышающих традиционно используемых в не легированных азотом сталях, на фазообразование в высокоазотистой аустенитной стали. К результатам этого направления можно отнести и построение расчётным методом оригинального разреза диаграммы многокомпонентной системы, включающей основные компоненты сталей изучаемого типа.

2. Изучены особенности пластической деформации и разрушения высокоазотистых сталей во взаимосвязи с их составом и структурой. Большое значение имеют результаты экспериментов, подтверждающие немногочисленные полученные ранее данные о наличии у высокоазотистых ГЦК-сталей вязко-хрупкого перехода, отсутствующего у традиционных аустенитных сталей. Детальными фрактографическими исследованиями доказан механизм разрушения в температурном интервале вязко-хрупкого

перехода у высокоазотистой стали: образование ГЦК-фасеток внутризеренного разрушения, сдвиговых и плоских ямок, языков сдвига и фасеток межзеренного разрушения. Предложена модель образования ГЦК-фасеток скола, которое связано с предшествующим разрушению легким скольжением под действием низкого напряжения сдвига и развитием разрушения при напряжении, меньшем предела текучести.

3. Выполнены аналитические и экспериментальные исследования стабильности высокоазотистого аустенита при инициированном пластической деформацией мартенситном превращении. Разносторонний анализ роли параметра деформационной стабильности аустенита M_{30} . Показано целесообразность использования параметра деформационной стабильности аустенита M_{30} для оценки температуры вязко-хрупкого перехода, а также показателей коррозионной стойкости. Проведена количественная оценка объемного эффекта мартенситного превращения метастабильного аустенита у высокоазотистых сталей. Показано, что, в отличие от нелегированных азотом аустенитных сталей, высокоазотистые стали при определённых содержаниях азота и марганца могут иметь не только положительный, но и отрицательный эффект мартенситного превращения, что является причиной возникновения нежелательных растягивающих напряжений.

Практическую значимость имеют следующие полученные результаты:

Разработаны и запатентованы новые высокоазотистые аустенитные стали, режимы их термической и термопластической обработок. Проведенными испытаниями в НИЦ «Курчатовский институт»–ЦНИИ КМ «Прометей» установлено, что разработанные стали 05X16Г7АМФ и 02X20АГ10Н4МФБ превосходят применяющиеся российские и зарубежные аналоги по комплексу эксплуатационных свойств; в приложенном акте внедрения содержатся рекомендации по использованию этих сталей в качестве материала перспективных немагнитных деталей судовых конструкций. Опытное опробование во ФГУП «ВИАМ» показало, что разработанная сталь 04X21Г11Н3АМФ превосходит по уровню прочности отечественные и зарубежные аналоги немагнитных сталей.

Разработана технология высокоградиентной направленной кристаллизации стали 05X22АГ15Н8М2Ф, позволяющая получать слитки с повышенными прочностью, пластичностью и с более однородным

распределением микротвердости по сечению по сравнению с литыми заготовками, полученными традиционным способом.

Обоснованность и достоверность полученных результатов определяется использованием современных методов постановки эксперимента, воспроизводимостью результатов и их согласованностью с существующими литературными данными. Металловедческие исследования структуры сталей выполнены на высоком уровне с применением современных методов металлографии, электронной микроскопии, микродифракционного анализа. Выполнен комплекс испытаний механических и технологических свойств с использованием высокоточного сертифицированного оборудования.

Замечания по работе:

1. В работе исследовано значительное число сталей: оппонент насчитала не менее 9, но в их выборе не увидела системности. На одной стали исследованы усталостная прочность (п. 3.3.) и коррозионная стойкость (п. 4.3), на другой - кинетика роста зерна (п. 2.4) и механические свойства (п. 3.1), на третьей - влияние азота на фазовый состав (п.2.6) и ВХП (п. 3.2), еще на двух - зеренная структура (п. 2.1.) и т.п. Выбранные стали различаются содержанием сразу нескольких элементов, включая азот, что затрудняет их сравнение, даже попарное. Стали также различаются содержанием углерода (от 0,02 до 0,07%), однако его влияние на исследуемые феномены не обсуждается.

2. По тексту работы нигде не приводится обоснование выбранных режимов термической обработки для различных сталей (например, в п. 2.1, 2.2, 4.3, и т.п.).

3. Замечания по статистической обработке результатов. Вызывает сомнения обоснованность проведенной аппроксимации полученных данных, например, линейная аппроксимация на рис. 2.6, 2.8, 2.17-2.19, 2.26, 3.6 и т.п. На рис. 2.28 линейная зависимость энергии активации роста зерна от ЭДУ построена по трем точкам и неочевидна. Достоверность аппроксимации рассчитана только для одной зависимости скорости роста зерна от температуры отжига (табл. 2.9) и более нигде не приводится. На рис. 2.8 и 2.9 одна линия аппроксимирует значения параметров зеренной структуры, полученных для двух сталей разного состава. На рис. 3.4 – 3.8 единая линия аппроксимирует значения параметров механических свойств, полученных при различном времени отжига. Является ли такой подход оправданным?

4. Сделанные автором заключения о механизмах упрочнения сталей следовало доказательно подкрепить, например, вывод о приоритетном твердорастворном упрочнении азотом по сравнению с дисперсионным упрочнением нитридами после термообработки стали 0X20Г12Н4 (на с. 62).

5. Параграф, посвященный азотированию аустенитных сталей, содержит спорные утверждения, например, об «универсальности технологических решений» по азотированию сталей различных структурных классов, о формировании слоя на базе твердого раствора при ионном азотировании аустенитной стали. Последнее является крайне желательным, но трудноосуществимым технически из-за быстрого образования корки нитридов железа на поверхности вследствие высокой активности азота в плазме тлеющего разряда.

6. Замечания по тексту и оформлению диссертации: нумерация страниц в оглавлении не соответствуют расположению глав и параграфов в тексте; ряд рисунков (2.13, 2.25, 2.32) и таблица 2.6 появляются до их упоминания в тексте; на рис. 2.29 указана литая сталь с 0,53%N, а в тексте (на стр. 99) ссылка на этот рисунок отнесена к стали с 0,4%N после закалки.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Банных Игоря Олеговича «Металловедческие основы создания многофункциональных высокоазотистых сталей аустенитного класса» является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие высокую практическую значимость. Новые научные результаты, полученные соискателем, имеют существенное значение для науки и практики в области металловедения.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при создании новых коррозионностойких аустенитных сталей, их производстве и практическом применении как перспективного конструкционного материала.

Выводы, рекомендации и теоретические положения, изложенные в диссертации, достоверны, обоснованы, характеризуются научной новизной, апробированы в условиях производственных испытаний.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, опубликованы в 25 печатных работах, в том числе в статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

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 Игорь Олегович Банных заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Официальный оппонент:

Петрова Лариса Георгиевна,

заведующая кафедрой Технологии конструкционных материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,

доктор технических наук, профессор,


" 4 " июня 2021 г.

 Л.Г. Петрова

Подпись Петровой Ларисы Георгиевны, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой Технологии конструкционных материалов заверяю:

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»



 М.Ю. Карелина

Москва, 125319, Ленинградский просп., д. 64.

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

Тел. +7 (499) 155-0310, email: info@madi.ru, <http://www.madi.ru>