

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Банных Игоря Олеговича на тему: «Металловедческие основы создания многофункциональных высокоазотистых сталей аустенитного класса», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Рецензируемая работа посвящена комплексному исследованию структуры, механических свойств и коррозионной стойкости конструкционных немагнитных высокоазотистых аустенитных сталей. **Актуальность работы** определяется с одной стороны расширяющейся потребностью различных областей техники в высокопрочных коррозионностойких материалах, а с другой стороны, необходимостью экономии дорогого и дефицитного никеля с переходом от традиционных хромоникелевых аустенитных сталей на высокоазотистые хромомарганцевые.

В диссертации представлен достаточно полный обзор технической литературы, посвященной высокоазотистым аустенитным сталям. Можно согласиться с выводами, вытекающими из обзора: к началу данной работы не были установлены закономерности влияния режимов термопластической обработки на зеренную структуру высокоазотистых аустенитных сталей, не было изучено влияние распада аустенита на физико-механические свойства этих сталей, не были определены перспективы легирования их бором. Степень обобщения закономерностей влияния химического состава и режимов термопластической обработки на физико-механические и физико-химические свойства данного класса сталей была недостаточна. Из литературного обзора естественным образом вытекает основные направления исследований автора и все построение данной диссертационной работы.

В работе изучены структурно-фазовые превращения в высокоазотистых аустенитных сталях с различным содержанием азота и легирующих элементов

в зависимости от режимов кристаллизации, закалки, горячей пластической деформации и старения. Показано, что решающее влияние на торможение роста зерен при повышении температур и времени выдержки при них оказывают нитриды и карбонитриды молибдена, ванадия, ниобия и хрома. Обособленно выглядит исследование влияния дополнительного легирования бором на структуру и свойства этого класса сталей. Низкие показатели твердости и упругости карбонитридов бора свидетельствуют об отсутствии положительного влияния их на повышении прочности и износостойкости высокоазотистых аустенитных сталей при наличии отрицательного влияния их на ударную вязкость. Заслуживает одобрения проведение комплексных структурных исследований методами световой и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов, магнитометрии и дилатометрии структуры высокоазотистых аустенитных сталей в зависимости от режимов кристаллизации, закалки, горячей пластической деформации и старения.

Подробно рассматриваются особенности механических свойств высокоазотистых аустенитных сталей, которые объясняются особенностями их структуры. Последние сводятся к величине зерен аустенита и выделениям вторичных фаз (σ -фазы или нитридов). Подробно изучено влияние структуры на предел текучести, временное сопротивление, разрыв между ними, относительное удлинение, относительное сужение, относительное удлинение, ударную вязкость и зависимость ее от температуры испытания. Наиболее интересные результаты были получены при выявлении вязко-хрупкого перехода вне зависимости от остроты надреза в высокоазотистых хромомарганцевых аустенитных сталях в отличие от хромоникелевых. Фрактографические исследования позволили выявить при вязко-хрупком переходе смену ямочного механизма разрушения на сдвиговое. В работе показано, что основным механизмом разрушения в интервале вязко-хрупкого перехода является образование ГЦК-фасеток внутриверного разрушения, сдвиговых и плоских ямок, языков сдвига и фасеток межзеренного

разрушения. Следует отметить эффективность использования автором фрактографических методов исследований как при ударном, так и при циклическом нагружении образцов. Большой интерес представляет установление в работе структурных особенностей механизма разрушения в интервале вязко-хрупкого перехода высокоазотистых аустенитных сталей, отличающихся как от ферритных, так и от аустенитных хромоникелевых сталей. Резкое снижение предела выносливости с 500 до 300 МПа при переходе к надрезанным образцам и наличие хладноломкости исследуемых сталей делают желательным в будущем проведение усталостных испытаний не только при комнатной, но и при пониженных температурах.

В диссертации приведены результаты изучения коррозионной стойкости высокоазотистых аустенитных сталей. Изучалось сопротивление сталей общей коррозии и коррозии под напряжением. Сформулирован механизм влияния азота на коррозионную стойкость аустенитных сталей, который заключается в том, что благодаря присутствию повышенного количества азота пассивирующая пленка приобретает способность к самовосстановлению и поддержанию высокой стойкости сталей к питтинговой коррозии в сильно деформированном состоянии. Он объясняет этот эффект как процесс самовосстановления, предотвращающий повреждение пассивирующей пленки деформационной обработкой. Интересные данные были получены при исследовании влияния на коррозионную стойкость шероховатости поверхности и остаточных напряжений.

В работе развиты количественные методы анализа влияния легирования на коррозионную стойкость высокоазотистых аустенитных сталей. Решающую роль здесь играет устойчивость аустенита, которая обсуждается в терминах так называемых термической и механической стабильностей. В качестве количественной характеристики склонности к инициированному деформацией α' -мартенситному превращению использовалась температура Md_{30} , при которой образуется 50% α' -мартенсита после 30%-ной деформации растяжением. Показано, что имеется корреляция этого параметра с

температурой вязко-хрупкого перехода. Его использование позволяет количественно оценить влияние легирующих элементов на коррозионную стойкость аустенитных сталей. Большой научный и практический интерес представляют проведенные в работе расчеты объемного эффекта превращения аустенита в феррит и карбиды с формированием остаточных сжимающих напряжений. Этот подход открывает возможность оценки предельных значений содержания марганца и азота в изучаемом классе сталей на основе получения положительного объемного эффекта при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении. Кроме того, перспективным направлением развития высокоазотистых аустенитных сталей является создание градиентного материала, в котором поверхностные слои будут иметь повышенное содержание азота в результате использования современных технологий насыщения поверхности.

Особый интерес представляют сформулированные в диссертации на основе обобщения полученных в работе результатов основные принципы легирования и термопластической обработки высокоазотистых аустенитных сталей.

Принципиально важное отличие высокоазотистых аустенитных сталей от традиционных хромоникелевых заключается в том, что матрица первых является твердыми растворами внедрения, а вторых – твердыми растворами замещения, что определяет более высокие прочностные характеристики первых. Но это приводит и к необходимости учитывать возможность появления вязко-хрупкого перехода и развития фазовых превращений мартенситного типа, что определяет повышение возможности хрупких разрушений.

Оптимальное содержание хрома в высокоазотистых аустенитных сталях составляет, как и в традиционных хромоникелевых 12-20%. Нижняя граница содержания хрома определяется его положительным влиянием на растворимость азота и повышением коррозионной стойкости, а верхняя граница – недопущением образования σ -фазы и δ -феррита в процессе производства и эксплуатации изделий из этих сталей.

Максимально допустимое содержание углерода в высокоазотистых аустенитных сталях должно обеспечивать недопущение образования карбида $M_{23}C_6$ в процессе производства и эксплуатации изделий из этих сталей.

Необходимое для повышения сопротивления локальным видам коррозии легирование молибденом в количестве 2-6% должно быть компенсировано дополнительным легированием элементами, стабилизирующими аустенит.

Возможности повышения содержания азота в рассматриваемых сталях ограничиваются опасностью образования нитрида хрома, что затрудняет проведение высокотемпературной пластической деформации, и повышением температуры вязко-хрупкого перехода, что повышает вероятность хрупких разрушений в эксплуатации.

Сохранение в высокоазотистых аустенитных сталях некоторого содержания никеля (2-4%) полезно, т.к. приводит к снижению температуры вязко-хрупкого перехода и температур протекания мартенситного превращения.

Легирование высокоазотистых аустенитных сталей ниобием и ванадием полезно, т.к. позволяет обеспечивать получение мелкозернистой структуры. Легирование титаном и алюминием не перспективно, т.к. приводит к образованию местных скоплений карбонитридов и оксинитридов, снижающих ударную вязкость и пластичность стали.

Полученные результаты обуславливают **научную и практическую значимость** диссертационной работы И.О. Банных и могут быть использованы как базис для дальнейших фундаментальных исследований, так и при производстве высокоазотистых коррозионностойких аустенитных сталей и изделий из них.

По диссертационной работе И.О. Банных можно сделать следующие **замечания:**

1. В работе отсутствует сквозное сравнительное рассмотрение особенностей структуры и свойств высокоазотистых аустенитных сталей, с одной

стороны, и традиционных хромоникелевых, с другой. В экспериментальной части работы чаще просто сравнивают две высокоазотистые аустенитные стали, выбор которых специально не обосновывается.

2. В работе отсутствуют данные о сопротивлении коррозионной усталости изучаемого класса сталей. В то же время они наряду с сопротивлением общей коррозии представляют большой интерес.
3. Вопросы классификации сфер использования, уточнения условий эксплуатации изделий из азотистых аустенитных конструкционных сталей рассмотрены в работе недостаточно полно. Желательно довести работу до разработки более конкретных рекомендаций по применению различных азотистых аустенитных сталей в зависимости от условий эксплуатации.
4. Высокоазотистые аустенитные стали должны использоваться в сварных конструкциях. Часто сварные швы являются слабыми местами конструкций и приводят к их разрушению. К сожалению, в работе не проработаны вопросы свариваемости высокоазотистых аустенитных сталей и обеспечения получения высоких свойств при различных видах сварки.
5. В настоящее время простых ссылок на дефицитность никеля в качестве обоснования разработки сталей с меньшим содержанием никеля уже недостаточно. Для обоснованного выбора материалов для конкретных конструкций необходим полный технико-экономический анализ применения высокоазотистых аустенитных сталей, который в работе отсутствует.

Сделанные замечания не изменяют общей положительной оценки работы.

Представленная работа является законченным комплексным исследованием, в результате которого установлены закономерности влияния легирования на физико-механические свойства и коррозионную стойкость высокоазотистых аустенитных сталей, определены границы их рационального легирования и условия их применения. Можно подтвердить **обоснованность**

и достоверность полученных результатов исследований, содержащихся в диссертационной работе, которые определяются выполнением всех исследований и испытаний с использованием комплекса современного оборудования.

В целом диссертационная работа И.О.Баннх соответствует паспорту специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» в части п.1 «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов», п.2 «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях», п.3 «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов», п.4 «Теоретические и экспериментальные исследования термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий изменения структурного состояния и свойств металлов и сплавов», п.5 «Теоретические и экспериментальные исследования влияния фазового состава и структурного состояния на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий», п.8 «Исследование работоспособности металлов и сплавов в различных условиях, выбор и рекомендация наиболее экономичных и надежных металлических материалов для конкретных технических назначений с целью сокращения металлоемкости, увеличения ресурса работы, повышения уровня заданных физических и химических характеристик деталей машин, механизмов, приборов и конструкций».

Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор И.О. Баннх заслуживает присуждения искомой ученой степени доктор технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Доктор технических наук, профессор,
Специальность «Металловедение и термическая
обработка металлов и сплавов» 05.16.01,
главный научный сотрудник НЦ РСТМ
Акционерное общество «Научно-исследовательский
институт железнодорожного транспорта» АО «ВНИИЖТ»,
Шур Евгений Авелевич

10.05.2021 г.



Адрес: 129626, Россия, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10,
АО «ВНИИЖТ»,
Тел.: 8 (499) 260-44-40 доб.3-44-06; Email: ShurEvgeniy@vniizht.ru

Подпись Шура Е.А. заверяю

Начальник отдела управления
персоналом АО «ВНИИЖТ»
Даничева Н.А.

