

## ОТЗЫВ

Официального оппонента Родионовой Ирины Гавриловны на диссертационную работу Блинова Евгения Викторовича «Развитие систем легирования высокоазотистых аустенитных сталей для тяжело нагруженных изделий криогенной техники», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Аустенитные стали среди коррозионноустойчивых конструкционных материалов занимают одно из важнейших мест. В то же время, существенными недостатками применяющихся в настоящее время аустенитных сталей являются сравнительно низкие прочностные характеристики, а также вязкость разрушения и износостойкость, что сдерживает их применение для высоконагруженных деталей в ряде областей криогенной техники, в частности, в ракетостроении, криобиологии, криомедицине и др. областях. При этом следует учитывать и постоянный рост требований к материалам, применяющимся в условиях сверхнизких температур.

Из аустенитных сталей более высокий комплекс свойств имеют стали, легированные азотом, который приводит к упрочнению стали по различным механизмам, включая твердорастворное, зернограничное, дислокационное упрочнение, а также дисперсионное твердение. В то же время, разработка оптимальных систем легирования высокоазотистых аустенитных сталей и режимов их упрочняющих термической и термопластической обработок является сложной научной задачей. Сказанным определяется актуальность диссертационной работы Блинова Е.В., целью которой было развитие систем легирования аустенитных сталей и создание на их основе высокоазотистых конструкционных сталей, пригодных для использования в качестве материала для тяжело нагруженных изделий криогенной техники.

Данная работа базируется на выводах фундаментальных исследований, проведенных как отечественными учеными Банных О.А., Ковнеристым Ю.К., Сагарадзе В.В., Капуткиной Л.М., Солнцевым Ю.П. и

другими, так и зарубежными: Рашевым Ц., Шпейделем М., Токемото Т., Вагнером К. и ряда других.

Для изучения мировых приоритетов в области развития хладостойких и криогенных сталей были проведены патентные исследования. Выявлено, что большинство изобретений по исследуемому объекту направлено на повышение прочности. Установлено, что легирование аустенитных сталей азотом по сравнению с углеродом является наиболее эффективным и позволяет использовать основные механизмы упрочнения как по отдельности, так и в комплексе. Вопрос соотношения цены и качества применяемых материалов принципиален для аустенитных сталей, которые характеризуются высоким содержанием дорогих легирующих элементов. И именно легирование азотом позволяет решать вопросы повышения прочности, при одновременной экономии легирующих элементов. Помимо выбора оптимальной системы легирования, при разработке азотистых сталей для высоконагруженных изделий криогенной техники необходимо также рационально выбрать режимы термической и термопластической обработок, так как приходится выбирать между прочностью и пластичностью, износостойкостью и коррозионностойкостью, обрабатываемостью резанием и свариваемостью.

В настоящей работе получен ряд принципиально новых результатов, в частности, развиты принципы легирования азотистых сталей для высоконагруженных конструкций криогенной техники, и на их основе созданы стали, прочность которых превышает прочность известных аналогов. Так, обоснованы оптимальные содержания азота и ванадия для сталей с твердорастворным упрочнением (0,5-0,6% N и 0,1-0,3% V) и для сталей с дисперсионным твердением из-за формирования частиц VN (0,3-0,4% N и 0,8-1,1% V).

Установлена взаимосвязь концентрации азота в стали с температурой вязко-хрупкого перехода и ЭДУ аустенитных Cr-Mn-N сталей, что позволяет

стали обладают бóльшей прочностью по сравнению с используемыми в настоящее время в криогенной технике сталями при той же пластичности.

Использование новых сталей в промышленных масштабах дает существенный экономический эффект. Разработанные автором принципы легирования рекомендуются к внедрению при разработке multifunctional материалов со специальными свойствами.

Таким образом, автором развиты не только теоретические основы принципов легирования высокопрочных высокоазотистых аустенитных сталей для криогенной техники, но и показаны пути дальнейшей технологической обработки материалов для получения специальных свойств. Это свидетельствует, что актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы Блинова Е. В. не вызывает сомнений.

Диссертация Блинова Е.В. состоит из введения, шести глав, выводов и приложения. Работа изложена на 329 страницах машинописного текста, содержит 133 рисунка, 82 таблицы и список литературы из 270 наименований.

**Во введении** дано разностороннее обоснование актуальности темы диссертации, четко сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость. Также приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения о публикациях и перечислены конференции, на которых проведена достаточная апробация работы.

**В первой главе**, которая представляет собой аналитический обзор литературных данных об аустенитных сталях для криогенной техники, особо следует отметить детальный анализ влияния легирующих элементов на формирование структуры и свойств азотосодержащих аустенитных сталей, а также обоснование необходимости детального изучения влияния термической и пластической обработок на формирование структуры и свойств таких сталей.

**Во второй главе** приведены результаты экспериментальных исследований влияния легирования на структуру и свойства железо-никелевых сплавов со сверхравновесным содержанием азота. Кроме азота,

легирование в широких диапазонах осуществлялось такими элементами как хром, молибден, марганец, медь, а также ванадий и ниобий. Было исследовано влияние легирования не только на конечную структуру и свойства, но и на фазовые превращения, протекающие в сталях при нагреве и охлаждении. Большое внимание уделено расчетам и построению фазовых диаграмм для определения температурно-концентрационных областей существования различных фаз. Предложены составы различных аустенитных сталей и сплавов, легированных азотом, с высоким комплексом свойств.

**В третьей главе** основное влияние уделено изучению влияния термической обработки и пластической деформации на структуру и свойства Cr-Mn-Ni-V-N сталей. Исследованы особенности литой структуры сплавов, влияние на ее проработку гомогенизации и закалки, в том числе, условия предупреждения присутствия в структуре  $\delta$ -феррита. Изучена эволюция структуры в процессе горячей прокатки при различных температурах, а также процессы старения, существенно влияющие на комплекс свойств.

**В четвертой главе** приведены результаты исследования механических и химических свойств сталей типа 05X22AG15H8M2Ф. В различных состояниях определяли характеристики статической и усталостной прочности, проводили комплексные фрактографические исследования усталостного разрушения, механизмов разрушения при ударном нагружении стали. Особый интерес вызывают результаты определения характеристик износостойкости и коррозионной стойкости – основных служебных свойств разработанных сталей и сплавов.

**В пятой главе** приведены результаты исследования технологических свойств новых азотосодержащих сталей, в том числе, свариваемости, обрабатываемости резанием при точении, а также обрабатываемости давлением при различных температурах. Показаны преимущества разработанных сталей по сравнению с применяемыми в настоящее время, возможности обеспечения их высоких технологических характеристик.

**В шестой главе** сформулированы принципы легирования аустенитных

сталей для высоконагруженных изделий низкотемпературной техники. Обоснована целесообразность легирования ванадием, карбиды и нитриды которого растворяются при нагреве, в частности, при нагреве под закалку, и выделяясь при последующем старении, вносят наибольший вклад в упрочнение по механизму дисперсионного твердения. Разработаны требования к оптимальному структурному состоянию сталей в зависимости от условий эксплуатации изделий, соответственно, к химическому составу и режимам обработки для обеспечения определенного структурного состояния. Представлены также результаты выпуска опытных партий литых и кованных заготовок, высокопрочных листов, изделий криогенной арматуры и крепежа (болты и гайки разных размеров), а также результаты их испытаний, показавшие высокий уровень технологических и служебных свойств.

Достоверность научных положений, результатов и выводов, представленных в работе подтверждается проведением экспериментов на современном исследовательском оборудовании, в том числе, с использованием апробированных взаимодополняющих аналитических методов.

К работе имеются следующие замечания:

1 Известно, что многие конструкции криогенной техники работают в условиях циклических нагрузок от +20 до -196 °С. Однако в диссертации не приведены результаты испытаний в подобных условиях новых Fe-Ni сталей со сверхравновесным содержанием азота.

2 В диссертации отсутствуют экспериментальные данные стойкости новых высокопрочных Cr-Mn-Ni аустенитных сталей против образования горячих трещин при сварке.

3 В работе, хотя и не часто, встречаются неудачные стилистические обороты и опечатки. Так на с. 115 в одном из выводов к главе 2 сказано «Исследование структуры сплавов 06X21AG14H7M2Ф и 07X21AG16H8MФ обеспечивает получение после закалки и горячей прокатки мелкозернистую аустенитную структуру...». В этих же выводах часто между словами отсутствуют пробелы.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки и значимости работы, выполненной на высоком научном уровне.

Диссертация Блинова Е.В. является научно-квалифицированной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения и принципы легирования высокоазотистых аустенитных сталей для тяжелонагруженных изделий криогенной техники, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

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, Блинов Евгений Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Заместитель директора ЦФМК  
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»  
доктор технических наук

*И.Г. Родионова*  
12.09.2018

И.Г. Родионова

Родионова Ирина Гавриловна, доктор технических наук, специальность 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», старший научный сотрудник, заместитель директора Центра физической химии, материаловедения, биметаллов и специальных видов коррозии (ЦФМК).

Адрес: 105005, г. Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2;  
Тел.: +7 (903) 722 96 58  
Email: igrodi@mail.ru

Подпись Родионовой И.Г. заверяю:  
Начальник отдела кадров  
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»



Н.В. Ирза