



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное
государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
**«Московский
авиационный институт
(национальный
исследовательский
университет)» МАИ**
МАИ, Волоколамское ш., д. 4,
Москва, 125993
Факс: 8 (499) 158-29-77, Тел.: 8 (499) 158-43-33
E-mail: mai@mai.ru

ОКПО 02966606 ОГРН 1037739180820

04.09.2018 № НУ-12/18

на № _____



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Ю.А. Равикович

_____ 2018г.

ОТЗЫВ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на диссертацию **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.**

Актуальность работы

Азотосодержащие коррозионноустойчивые аустенитные стали являются перспективными для изготовления деталей криогенной техники, поскольку из всех легирующих элементов азот является наиболее эффективным упрочнителем этих сталей. Однако для высокоазотистых сталей характерна высокая чувствительность к химическому составу комплекса механических свойств (статическая и циклическая прочность, вязкость разрушения, износостойкость, коррозионная стойкость), а также показателей технологичности при операциях деформирования, сварки и обработки резанием. Поэтому для практического использования высокоазотистых аустенитных сталей в ответственных отраслях машиностроения, таких как ракетостроение и энергетика требуется решить ряд серьезных проблем, обусловленных сложным характером корреляций между составом, технологией и служебными свойствами этих материалов. В этой связи, несомненно, является актуальной диссертационная работа Блинова Е.В. посвященная исследованию и

разработке систем легирования высокоазотистых аустенитных сталей и режимов их упрочняющих термической и термопластической обработок для использования в качестве материала для тяжело нагруженных изделий криогенной техники.

Характеристика научной новизны

В работе впервые сформулированы и обоснованы принципы легирования азотистых аустенитных сталей для тяжело нагруженных изделий криогенной техники, которые обеспечивают высокую прочность при комнатной температуре и вязкость при криогенных температурах. Эти принципы включают высокую растворимость азота в жидком металле (0,4 – 0,6%) и кристаллизацию без образования δ -феррита, стабилизацию аустенита по отношению к $\gamma \rightarrow \epsilon$ и $\gamma \rightarrow \alpha$ превращениям при охлаждении и пластической деформации. Показано, что для аустенитных Cr-Mn-Ni сталей с твердорастворным упрочнением оптимальное содержание азота 0,5-0,6%, а ванадия 0,1-0,3%. Для сталей с дисперсионным твердением наночастицами VN оптимальное содержание азота 0,3-0,4%, а ванадия 0,8-1,1%.

Программа исследований основана на серьезной фундаментальной проработке, обеспечивающей эффективность осуществленных обширных и трудоемких исследований. Диссертантом рассчитаны и построены фазовые диаграммы сплавов Fe-Cr-Mn-Ni-N, на которых определены фазовые области аустенита с максимальным содержанием азота. Изучены фазовый состав и характеристики прочности сплавов с переменным содержанием азота (0,05-0,38%) и никеля (1,0-32,0%). Построена неравновесная фазовая диаграмма Fe-Ni-N.

Проведенные впервые исследования влияния структурного состояния азотсодержащих сталей в зависимости от режимов резания при токарной обработке показали, что в поверхностном слое глубиной около 5 мкм формируется текстурированная структура с повышенной твердостью, которая представляет собой полосы скольжения, ориентированные относительно движения резца. Под этим слоем расположен подслой толщиной 5-20 мкм с мелкозернистой аустенитной структурой с большим количеством деформационных двойников и твердостью в 1,5-2 раза меньше по сравнению с первым слоем. Формирование слоя с повышенной твердостью является критерием пониженной обрабатываемости

азотистых сталей, при этом необходимо иметь в виду, что температура в зоне схода стружки может превышать температуры стандартных термообработок, что можно использовать для оптимизации технологичности при лезвийной обработке как за счет целенаправленной корректировки технологии, так и химического состава стали.

Установлено, что износостойкость азотсодержащих сталей определяется деформационным упрочнением аустенита, образования мартенсита деформации и наличием твердых частиц Cr_2N . Выявлены оптимальные содержание азота и технологические параметры, обеспечивающие максимальную износостойкость, превышающую показатели любых аустенитных сталей, включая сталь Гатфильда.

Установлены структурные критерии свариваемости высокоазотистых аустенитных сталей на основе исследования сталей 05X22AG16H8M и 05X22AG15H8M2Ф, которые сводятся к формированию аустенитной структуры, не содержащей σ - фазу и δ - феррит, при этом допустимо наличие небольшого количества нитридов типа Cr_2N преимущественно по границам зерен. Это позволяет сохранять высокую ударную вязкость на уровне $\text{KCU} = 3,0 \text{ МДж/м}^2$. Показано, что по уровню прочности и ударной вязкости сварные соединения горячедеформированных сталей 05X22AG16H8M и 05X22AG15H8M2Ф превосходят в 1,6-1,8 раза применяемые в настоящее время стали 07X13Г20АН4 и 03X20Н16АГ6.

Систематические исследования структуры и механических свойств дисперсионно-твердеющих немагнитных Mn-Ni-C-V сталей в зависимости от их легирования и технологии получения показали эффективность совместного использования марганца и никеля для стабилизации аустенита этих сталей. При этом наилучшее сочетание механических свойств достигается после режимов термообработки, обеспечивающих полное связывание ванадия углеродом (равенство их молярных концентраций). Установлено, что избыточное содержание ванадия ускоряет процесс зарождения частиц VC и может значительно снижать стабильность аустенитной структуры, не приводя к повышению прочности.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе проведенных систематических исследований и разработанных по результатам этих исследований принципов легирования азотистых аустенитных сталей созданы 8

новых марок сталей, на которые получены патенты и которые обладают бóльшей прочностью по сравнению с применяемыми в криогенной технике сталями.

Новые стали прошли опробование, из них изготовлены литые задвижки для криогенной арматуры, высокопрочный крепеж и медицинский инструмент, которые по своим показателям значительно превышают служебные свойства используемых материалов. В качестве пример можно отметить болты из стали 05X22AG15H8MФ, которые по прочностным характеристикам в 1,5-2 раза превосходят аналогичные изделия из высокопрочного титанового сплава BT16. Следует отметить, что крепеж из этого высоколегированного титанового сплава с метастабильной мартенситной структурой широко используется в авиации и до сих пор не имел серьезных конкурентов. Однако несмотря на более высокую плотность сталей по сравнению даже с сильно легированным тяжелыми бета-стабилизаторами сплавом BT16 болты из стали 05X22AG15H8MФ могут конкурировать с BT16 по удельным характеристикам прочности, определяющими пригодность материала для летательных аппаратов.

Достоверность результатов работы подтверждается тем, что все основные научные выводы и рекомендации получены с использованием комплексных исследований на основе экспериментов, проведенных на современном научном оборудовании и с использованием эффективных методик. В работе широко использованы современные расчетные методы, позволяющие выявить количественные корреляции между различными характеристиками структуры и служебными свойствами, а также сопоставить структурные параметры, полученные различными методами. Надежность и достоверность полученных результатов подтверждается полученными 8 патентами на изобретения, а также высокими характеристиками служебных свойств полуфабрикатов и изделий полученных в промышленных условиях.

Замечания:

1. В работе обнаружены важные закономерности влияния состава и структуры азотистых сталей на их технологичность при лезвийной обработке (раздел 5.2), выявлены структурные изменения поверхностных слоев под действием режущей среды, что имеет большое значение для повышения долговечности режущих инструментов.

констатируются оптимальные условия резания при точении высокоазотистой стали 05X22AG15H8MФ.

2. Считаю неудачным решение автора дать конкретные выводы только по главам, а общие выводы ограничить обобщенными фразами, в которых отсутствует конкретное содержание. Более целесообразным было бы на основе 55 выводов по главам дать 10-15 содержательных общих выводов, в которых были бы суммированы наиболее важные результаты диссертации.

3. Некоторые формулировки научной новизны явно внесены в этот раздел ошибочно, например: *«Легирование сплавов Fe – Ni азотом приводит к увеличению количества аустенита, значительному повышению твердости сплавов и к смещению на указанной диаграмме областей α , $\alpha + \gamma$, γ в сторону меньших концентраций никеля».*

4. При интерпретации результатов механических испытаний в диссертации преувеличено влияние на упрочнение твердого раствора величины периода решетки аустенита, который определяется только составом твердого раствора и соотношением размеров атомов растворителя и растворенного элемента, при этом эффект упрочнения сложным образом связан с изменением периода решетки.

5. В целом автореферат и диссертация хорошо оформлены, однако в тексте встречаются небрежности, так в автореферате на стр. 34 приведена формула Токемото для количественной оценки вклада легирующих элементов в стабилизацию аустенита, в которой последнее слагаемое ошибочно приписано углероду, хотя это кремний. Кстати в диссертации эта ошибка отсутствует (стр.33 и стр. 299). В библиографии некоторые ссылки на журнальные статьи даны без названия самих статей, что затрудняет идентификацию ссылок и текста и снижает ценность очень обстоятельного анализа источников.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки диссертации, которая, несомненно, является законченной научно-квалификационной работой, в которой развиты научные основы и технологические решения создания высокоазотистых аустенитных сталей, обладающих высокой прочностью, что позволило существенно повысить их прочностные свойства по сравнению с известными аустенитными сталями и

обеспечит их использование в качестве материала тяжело нагруженных изделий криогенной техники.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на многочисленных международных и российских научно-технических конференциях, опубликованы в 32 печатных работах, в том числе 29 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, большая часть которых индексируется в международной системе цитирования Scopus. Получено 8 патентов на изобретения. 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, Блинов Евгений Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры материаловедения и технологии обработки материалов МАИ протокол № 05/18 от 28.08.2018 года.

Заведующий кафедрой материаловедения
и технологии обработки материалов МАИ,
академик РАН, профессор, д.т.н.



А.А. Ильин

Россия, г. Москва, 125993, Волоколамское шоссе, д.4.

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»**

<http://mai.ru>

skvortsova@implants.ru

Телефон:

+7 495 417-88-78