



Государственный
научный центр РФ
ЦНИИТМАШ



Государственный научный центр
Российской Федерации
Акционерное общество

«Научно-производственное объединение
Центральный научно-исследовательский институт
технологии машиностроения»

(АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)

115088, Москва, Шарикоподшипниковская, 4

Телефон: (495)675-83-02. Факс: (495)674-21-96

<http://www.cniitmash.ru>

E-mail: cniitmash@cniitmash.ru

ИНН 7723564851 КПП 772301001

№

На №

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

Д.Т.Н.

В.В. Орлов



ОТЗЫВ

ведущей организации – акционерного общества «Научно-
производственное объединение «Центральный научно-
исследовательский институт технологии машиностроения»

на диссертационную работу **Фоминой Ольги Владимировны**
«Создание технологических принципов управления структурой и
физико-механическими свойствами высокопрочной аустенитной
азотсодержащей стали», представленную на соискание ученой
степени доктора технических наук по специальности: 05.16.01 –
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Современные тенденции развития отраслей российской и зарубежной промышленности, определяющие тренд и уровень их развития, требуют создания конкурентоспособных изделий, оборудования и конструкций различного назначения с постоянно возрастающими характеристиками, в первую очередь по показателям надежности и долговечности в эксплуатации. Изменение требований к вновь создаваемой технической продукции ставит задачу поиска новых научных и технических решений при создании и внедрении конструкционных материалов и технологии их изготовления с целью придания им одновременно высоких показателей физико-механических и эксплуатационных свойств.

Азотсодержащие аустенитные стали в настоящее время востребованы для применения в различных отраслях промышленности (энергетике, судостроении, нефтегазовой и медицинской технике и др.) благодаря своим уникальным характеристикам, которые позволяют увеличить срок службы конструкций и одновременно снизить металлоемкость изделий из этих сталей. Существует несколько ключевых направлений разработки азотсодержащих аустенитных сталей, основанных на различных композициях легирования. Содержание как самого азота в стали, так и других элементов композиции, могут обуславливать различные физико-механические и эксплуатационные характеристики стали и изделия.

Государственный научный центр РФ ЦНИИТМАШ	
Вх. № 3353	
в ДЕЛО	

Важнейшей проблемой применения азотсодержащих сталей является разработка эффективных способов управления структурой на протяжении технологического маршрута.

Известно, что производство изделий из азотсодержащих сталей связано с рядом технологических трудностей: обеспечение необходимого содержания азота при выплавке стали, образование трещин при горячей деформации, получение различных по размерам и свойствам проката и поковок, обеспечение хорошей свариваемости и обрабатываемости сталей. Хотя ведущие научные организации России (АО «НПО «ЦНИИТМАШ», ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей») и зарубежных стран работают над этими задачами, однако сложные научные и технологические проблемы продолжают затруднять широкое применение перспективных азотсодержащих сталей при изготовлении ответственных изделий и конструкций.

В связи с этим исследования перспективной высокопрочной азотсодержащей аустенитной стали хромоникельмарганцевой композиции легирования, проведенные Фоминой О.В. и посвященные разработке научно обоснованных способов управления формированием структуры стали на всех этапах ее производства, являются важными и актуальными.

Важным является то, что хотя автор формально исследует одну марку стали 04X20H6Г11M2АФБ, а на самом деле он исследует класс материалов с довольно широким диапазоном варьирования химического состава.

Автором на основании результатов термодинамического моделирования фазообразования при кристаллизации и последующем охлаждении азотсодержащей стали марки 04X20H6Г11M2АФБ, подтвержденных значительным объемом лабораторных экспериментов, оптимизированы интервалы содержания легирующих аустенитообразующих элементов – никеля и марганца, в том числе с учетом полученного соотношения $Cr_{экв}/Ni_{экв}$, позволяющего обеспечить стабильное получение однофазной аустенитной структуры и требуемое значение магнитной проницаемости.

Важное значение в диссертационной работе Фоминой О.В. имеют результаты физического моделирования сложных процессов рекристаллизации при горячей деформации. Они позволили диссертанту установить зависимость влияния термодиформационных параметров на формирование структуры азотсодержащей стали, что составляет безусловную научную новизну работы. Особо следует отметить, что автор уделила большое внимание вопросам влияния содержания δ -феррита на процессы рекристаллизации и технологические свойства стали на различных этапах технологического маршрута. Полученные взаимосвязи позволили разработать и реализовать в промышленности технологии изготовления листового и профильного проката, а также разработать рекомендации по оптимизации технологических режимов при изготовлении поковок.

Попутно хотели бы обратить внимание на идентичность влияния α - и δ -фаз в аустенитных композициях. Влиянию α -фазы – генетике и морфологии ее в поковках и сварных соединениях, – было посвящено большое число исследований сотрудников АО «НПО «ЦНИИТМАШ». В дальнейшем было бы

целесообразно понять различие в поведении и влиянии этих двух важных структурных компонентов.

Важным научным и практическим результатом диссертации является то, что Фомина О.В. в промышленных условиях внедрила технологические режимы изготовления азотсодержащей стали, которые обеспечили получение на базе одного марочного состава целый спектр полуфабрикатов в широком диапазоне механических и служебных свойств.

Существенным и новым является то, что она осуществила комплексные исследования технологичности стали при холодной деформации, на основании которых, при непосредственном участии О.В. Фоминой, были разработаны технологические схемы изготовления штамповок. Была также проведена оценка свариваемости стали при различных способах сварки, исследованы основные параметры механической обработки.

Важным этапом работы было изучение влияния эксплуатационных воздействий, подтвердивших высокую работоспособность материала в результате применения специализированных технологий.

Диссертантом была четко сформулирована цель работы и основные задачи по ее достижению, которые позволили определить направления исследований, объем и номенклатуру необходимых современных методов испытаний и обоснованное применение новейшего исследовательского оборудования. Это свидетельствует о зрелости автора как научного работника, методиста и организатора крупных исследований.

Представленная работа имеет логичную структуру и состоит из введения, шести глав основного текста, общих выводов и списка литературы, включающего 345 наименований, а также приложения, содержащего четыре акта внедрения. Результаты исследований подтверждены значительным объемом иллюстративного материала.

Анализ материалов диссертационной работы и автореферата Фоминой О.В. позволяет сделать вывод о несомненной научной новизне результатов и значительной практической значимости полученных выводов, важнейшие из которых состоят в следующем:

1. Сформулированы научно обоснованные принципы разработки технологических процессов изготовления различных деформированных изделий азотсодержащей стали, заключающиеся в управлении процессами рекристаллизации и деформационного упрочнения для формирования заданной структуры стали, за счет варьирования термдеформационных параметров на каждом этапе горячей деформации. Эти результаты позволяют в пределах марочного состава одной стали 04X20H6Г11М2АФБ получать стальные полуфабрикаты с гарантированными показателями предела текучести в широком диапазоне при сохранении высокой пластичности и вязкости стали.

2. Впервые получены данные по кристаллизации аустенитной азотсодержащей стали марки 04X20H6Г11М2АФБ и установлено граничное соотношение хромового и никелевого эквивалентов ($Cr_{\text{экв}}/Ni_{\text{экв}}$), приводящее к изменению механизма кристаллизации стали. Полученные результаты по влиянию содержания легирующих элементов на фазообразование при

кристаллизации позволяют обеспечить стабильное получение однофазной аустенитной структуры азотсодержащей стали и требуемую немагнитность.

3. Установлены, термические и деформационные условия реализации динамической рекристаллизации стали марки 04X20H6Г11М2АФБ и рекомендованы температурные интервалы горячей деформации при изготовлении листового или профильного проката и поковок.

4. Установлены основные условия формирования структуры азотсодержащей стали в зависимости от технологических параметров при многопроходной горячей деформации и показано, что формирование заданной структуры при листовой прокатке происходит в три этапа за счет начала, развития и завершения динамической и метадинамической рекристаллизации и последующего деформационного наклепа. Показано, что вклад статической рекристаллизации в формирование структуры стали в междеформационных паузах минимален.

Следует подчеркнуть, что объем и глубина полученных экспериментальных результатов по проблеме рекристаллизации позволяют автору дополнительно их обобщить до уровня развитой теории.

5. Изучено влияние статического, однократного и многократного динамического, а также циклического нагружения на изменение структуры и свойств азотсодержащей стали, позволяющее сделать вывод о высокой работоспособности исследуемой стали.

Очень показательным является экспериментально установленный факт, что сталь с содержанием не более 1% δ -феррита имеет низкое значение магнитной проницаемости $\mu \leq 1,01$ Гс/Э и обладает стабильной аустенитной структурой, не изменяющейся в процессе технологического передела и эксплуатационных нагрузок.

6. Показано, что наличие 7% δ -феррита в стали марки 04X20H6Г11М2АФБ; повышает горячую пластичность и уменьшает склонность к образованию горячих трещин; повышает степень динамической рекристаллизации в интервале температур 1000–1200°C, при этом снижается напряжение течения после достижения пороговой степени деформации.

Однако, при содержании более 1% δ -феррит снижает ударную вязкость, при этом разрушение происходит, в основном, по границам раздела аустенитная матрица/ δ -феррит, снижает долговечность стали при циклическом нагружении.

Практическую ценность диссертационной работы определяют:

1. Разработка технологических рекомендаций по изготовлению деталей сложной формы из высокопрочной азотсодержащей стали на основе установления сложных зависимостей формирования структуры при различных видах деформации и термообработки, включая холодную деформацию, сварку.

2. Разработка и внедрение в промышленность технологии производства:

– листового проката толщиной от 4 до 18 мм с пределом текучести от 475 до 900 МПа на стане 2000 АО «ВМК «Красный Октябрь»;

– листового проката толщиной от 20 до 45 мм с пределом текучести от 500 до 800 МПа на оборудовании стана 5000 ЛПЦ-3 ЧерМК ПАО «Северсталь» по кооперации с ООО «ОМЗ-Спецсталь»;

– профильного проката с пределом текучести от 450 до 1000 МПа на стане «630/420» ООО «РМ-стил».

– поковок из стали марки 04Х20Н6Г11М2АФБ;

– штампованных сферических и торосферических деталей для изготовления сварных конструкций.

3. Обоснование и подтверждение высокой работоспособности азотсодержащей стали при статическом, динамическом и циклическом нагружении, позволяющая применять ее для строительства конструкций морской техники, высоконагруженных деталей буровых машин и другого оборудования.

Рекомендации по дальнейшему использованию работы.

Полученные научные результаты и практические рекомендации диссертационной работы могут быть использованы при разработке новых или оптимизации существующих составов аустентных и аустенито-ферритных сталей с азотом, для усовершенствования технологий ВТМО аустентных сталей с целью получения заданной структуры за счет управляемых процессов упрочнения и разупрочнения на металлургических заводах и в металлургическом производстве машиностроительных предприятий.

Достоверность и обоснованность полученных результатов, выводов и рекомендаций основана на большом объеме данных, полученных в лабораторных условиях с использованием комплекса современного высокоточного аттестованного оборудования и взаимодополняющих методик исследования структуры и фазовых превращений, которые подтверждены их апробацией в промышленных условиях профильных металлургических и судостроительного заводов, а также хорошим согласованием полученных результатов с существующими литературными данными. В работе активно и плодотворно использованы методы термодинамического и статистического анализа.

Основное содержание работы опубликовано в 42 печатных работах, из них 18 статей в журналах, рекомендованных в перечне ВАК, в том числе 9 публикаций, индексируемых в базе данных Scopus. Разработка подтверждена одним патентом.

Диссертационная работа Фоминой О.В. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, основные научные положения, выводы и рекомендации являются логичными и хорошо аргументированными.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В диссертации нет объяснения механизма положительного влияния δ -феррита, образующегося при затвердевании, на степень выравнивания дендритной неоднородности (распределение хрома, марганца, молибдена – элементов замещения), протекающей при высокотемпературной выдержке литого металла.

2. Как известно автору, марганец при его содержании менее 10% является аустенитостабилизирующим элементом и увеличивает значение $Ni_{\text{эКВ}}$.

на диаграмме Шеффлера-Шпайделя, а при содержании более 10% марганец снижает $Ni_{экв.}$ и способствует образованию феррита.

Тем не менее, в выводе 2 для получения однофазной аустенитной структуры рекомендуется содержание марганца 11-12%. Такое повышение марганца не может быть объяснено необходимостью повысить растворимость азота, т.к. 19% хрома и 8-10% марганца обеспечивают его нужную растворимость.

3. Автором представлены выводы по анализу причин повышенного трещинообразования азотсодержащей стали при изготовлении брам и поковок на ковочном прессе ООО «ОМЗ «Спецсталь». В качестве одной из причин приводится мнение об образовании вторичного δ -феррита при гомогенизационном отжиге слитка и нагреве под деформацию из-за выгорания таких химических элементов, как марганец и азот, с поверхности. Однако, автором не раскрыт механизм выгорания азота при нагреве под ковку-прокатку.

4. В диссертации указано, что для формирования необходимой структуры на последнем этапе деформацию надо проводить в диапазоне температур 1020-850°C. Однако при температуре 850°C начинают образовываться нитриды хрома. В результате распада аустенита возникают перлитоподобные колонии, поэтому температура окончания деформации должна быть выше.

5. Автору следует уточнить утверждение о том, что сталь 04X20H6Г11М2АФБ сваривается всеми видами сварки, т.к. в работе скорее всего имеется в виду только три основных, наиболее распространенных вида (ручная покрытыми электродами, аргоно-дуговая и автоматическая).

При этом следует отметить, что в настоящее время разработаны и успешно используют азотирующие аустенитные сварочные материалы, например, ЭА395/9 (10X16M25AM6).

6. В диссертации отсутствует раздел или данные об экономической эффективности работы, что очень целесообразно для работы такого масштаба.

В качестве пожелания можно предложить автору сделать обобщения, вытекающие из полученных экспериментальных материалов, например, о возможных путях совершенствования технологии путем применения ЭШП, о целесообразных технологических маршрутах для достижения не только заданных свойств, но и обеспечения ресурсных характеристик.

Отмеченные замечания не уменьшают значимости результатов и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертация изложена хорошим литературным языком и очень тщательно оформлена. В автореферате и публикациях отражены основные положения, новизна и выводы диссертационной работы.

Заключение. Диссертационная работа Фоминой О.В. на тему «Создание технологических принципов управления структурой и физико-механическими свойствами высокопрочной аустенитной азотсодержащей стали», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по актуальности, научной новизне, практической и теоретической значимости отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842;

Постановлением Правительства РФ от 21.04.2016 г. №335, т.к. в ней оптимизирован химический состав азотсодержащей аустенитной стали, исследованы и разработаны научные основы формирования структуры при затвердевании, термдеформационных процессах, процессах холодной деформации, сварке, на основании которых освоены сквозные технологии изготовления металлоизделий, узлов и деталей, обеспечивающие для азотсодержащей стали достижение необходимого по условиям работы уровня прочностных, пластических и вязкопластических свойств. В результате решена важная задача создания материалов и технологии для новой техники различных отраслей промышленности.

Автор, к.т.н. Фомина Ольга Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Работа заслушана и обсуждена на заседании НТС АО «НПО «ЦНИИТМАШ» 11 октября 2018 г., протокол № 3.

Отзыв подготовили

Колпишон Эдуард Юльевич, проф., д.т.н., главный научный сотрудник ИМиМ,

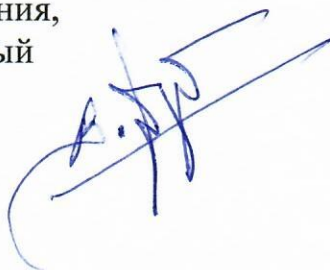
Ригина Людмила Георгиевна, к.т.н., ведущий научный сотрудник ИМиМ,
Ходаков Дмитрий Вячеславович, к.т.н., директор СТЦ.

Заместитель председателя
научно-технического совета,
заместитель генерального
директора по научной работе,
д.т.н.



Косырев Константин Львович

Научный руководитель института
металлургии и машиностроения,
д.т.н., профессор. Заслуженный
машиностроитель РСФСР,
почетный металлург РФ



Дуб Владимир Семенович