

ОТЗЫВ

официального оппонента 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

Актуальность работы

Перед Россией в рассматриваемой долгосрочной перспективе будет сохраняться задача поддержания достаточного уровня национальной безопасности и обороноспособности страны. С учетом этого, одной из основных тенденций технологического развития страны станет широкое внедрение материалов с заранее заданными свойствами, способными обеспечить достаточную конкурентоспособность России в важнейших промышленных областях. Трендом современного материаловедения является разработка и применение принципиально новых подходов к созданию перспективных материалов в интересах развития новых производственных технологий, которые обеспечат в будущем освоение космического пространства и Арктического шельфа, развитие атомной энергетики, нефтегазового комплекса, судостроительной промышленности и других ключевых отраслей российской экономики.

Развитие наук о материалах основано на многоуровневом и междисциплинарном подходе, актуальность которого в современном материаловедении зависит от положения, что на текущем этапе развития материал необходимо рассматривать как один из структурных уровней изделия (конструкции). Это позволяет наиболее эффективно использовать те возможности, которые открывают новые производственные технологии.

Повышение требований потребителей к свойствам конструкционных материалов определяется такими показателями, как:

- увеличение удельных механических свойств (прочность, упругость и т.п. в расчете на единицу массы или удельного веса), что должно обеспечивать снижение массы изделий и затрат на их эксплуатацию;

НИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 3502	В ДЕЛО
«16» 11 2018 г.	№
Осн. 8 л.	подп.

- увеличение сопротивляемости материала воздействию рабочей среды (температуры, агрессивности среды, радиационному излучению и т.п.);
- повышению долговечности (ресурса службы) материала и его надежности в эксплуатации.

Наличие определенного комплекса служебных свойств обеспечивается композицией легирования стали и конкретным содержанием химических элементов в ней.

Одним из направлений разработки новых материалов являются азотсодержащие стали Cr-Ni-Mn композиции легирования, которые обладают уникальным сочетанием прочности, пластичности, ударной вязкости и могут применяться для работы в условиях воздействия высоких эксплуатационных нагрузок, в том числе в агрессивной коррозионной среде. Область применения азотсодержащих аустенитных сталей постоянно расширяется как за рубежом, так и в России, в том числе и для создания сварных конструкций в авиастроении, судостроении, нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности, в криогенной технике и других отраслях.

При разработке технологий изготовления полуфабрикатов из нового материала уже на первых этапах необходимо прогнозировать, каким образом данный материал будет произведен в промышленных условиях, потребуются ли при этом разрабатывать принципиально новые или только усовершенствовать существующие технологические процессы. Кроме того, широкое внедрение нового материала зависит от его технологичности при производстве, позволяющей обеспечить его адекватную стоимость, чтобы быть конкурентоспособным на рынке, и стабильно обеспечивать его высокое качество.

В этой связи **актуальность** диссертационной работы Фоминой О.В., направленная на разработку научно обоснованных принципов управления формированием структуры перспективной высокопрочной азотсодержащей аустенитной стали хромоникельмарганцевой композиции легирования на всех этапах ее производства не вызывает сомнений. Обозначенные проблемы, цели и поставленные в рамках работы задачи являются полномасштабными, своевременными и обоснованными.

Представленная диссертационная работа является комплексным научным исследованием, реализованным сразу по нескольким направлениям. В ней впервые рассмотрены процессы формирования структуры

азотсодержащей стали марки 04Х20Н6Г11М2АФБ при кристаллизации, последующей горячей пластической деформации и термической обработки в зависимости от вариативных технологических параметров, исследовано изменение структуры стали в результате холодной деформации и при различных видах эксплуатационных нагрузжений, проведена оценка свариваемости стали и определены основные параметры механической обработки при изготовлении деталей конструкций и изделий из нее.

На основании экспериментальных исследований с применением современного оборудования разработаны технологии изготовления полуфабрикатов из азотсодержащей стали, позволяющие в зависимости от режимов термдеформационной обработки изготавливать листовой прокат толщиной от 4 до 45 мм, поковки различного сортамента, профильный прокат в рамках одного химического состава с широким диапазоном механических характеристик.

Структура диссертации соответствует требованиям ВАК. Диссертационная работа Фоминой О.В. состоит из введения, шести глав, выводов и приложения, содержащего четыре акта внедрения разработанных технологий. Работа изложена на 428 страницах, содержит 229 рисунков и 61 таблицу. Список литературы состоит из 345 наименований, что свидетельствует о глубокой проработке диссертантом имеющейся информации по всем обозначенным направлениям исследований.

Введение содержит обоснование актуальности выбранной темы диссертационной работы, цели и задачи исследований, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов; сформулированы основные положения, выносимые на защиту; приведены сведения об апробации, публикациях.

В первой главе изложен результат анализа значительного объема существующих литературных данных, посвященных исследованиям аустенитных сталей, в том числе азотсодержащих. Подробно рассмотрены механизмы кристаллизации сталей этого класса, влияние химических элементов на реализацию этих механизмов, а также на механические и эксплуатационные свойства сталей. Изучены процессы разупрочнения, происходящие в аустенитных сталях при высокотемпературной термдеформационной и термической обработке. Приведены существующие современные методы моделирования технологических процессов, использованные при выполнении диссертационной работы. Кроме того,

рассмотрено влияние скорости деформации при статическом и динамическом нагружении, влияние условий циклического нагружения на изменение структуры и свойств конструкционных сталей. Показаны существующие проблемы внедрения азотсодержащей стали в промышленное производство и актуальность выполнения настоящих исследований.

Во второй главе приведены сведения об исследуемой стали, представлены методы и методики ее исследований и испытаний, используемое оборудование.

В третьей главе приведены результаты исследований по формированию структуры азотсодержащей стали в процессе кристаллизации и охлаждения в зависимости от содержания легирующих элементов и скорости охлаждения. Показано влияние фазового состава на процессы упрочнения и разупрочнения, происходящие в литой структуре стали при горячей деформации, а также влияние термомеханических параметров на формирование структуры на следующем этапе ее производства при изготовлении деформированных полуфабрикатов.

В четвертой главе представлены результаты полученных корреляционных связей «термомеханические параметры – структура – свойства» и разработанные на их основе технологические режимы горячей деформации азотсодержащей стали, которые были опробованы в промышленных условиях при изготовлении опытно-промышленных партий листового, профильного проката и поковок различного сортамента.

Пятая глава посвящена вопросам разработки технологии изготовления штамповок из исследуемой высокопрочной стали, оценке ее свариваемости различными способами. Рассмотрены вопросы влияния скорости и глубины резания на износ инструмента при механической обработке стали.

Шестая глава содержит результаты исследований эксплуатационного нагружения на изменение структуры и механических свойств и азотсодержащей стали и подтверждает высокие характеристики ее работоспособности.

Научная новизна и ценность работы не вызывает сомнений и состоит в том, что:

1. Сформулированы научно обоснованные принципы разработки технологических процессов азотсодержащей стали, позволяющие управлять процессами рекристаллизации и деформационного упрочнения для формирования заданной структуры стали и обеспечения гарантированных механических и служебных свойств стали в широком диапазоне, за счет варьирования обжатий и температуры деформации на каждом этапе термомеханической обработки;
2. Впервые получены данные по кристаллизации аустенитной стали марки 04X20H6Г11М2АФБ и непосредственно установлены механизмы кристаллизации, формирующие ее литую структуру в зависимости от конкретного содержания основных легирующих элементов;
3. Выявлены особенности химической неоднородности при кристаллизации, ее изменение в процессе последующего нагрева и выдержки;
4. Установлены температурно-скоростные условия динамической рекристаллизации азотсодержащей стали, а также влияние содержания δ -феррита на изменение этих условий. Определены оптимальные температурные интервалы проведения горячей деформации;
5. Установлены основные закономерности формирования структуры азотсодержащей стали в зависимости от технологических параметров при многопроходной горячей деформации;
6. Определены условия образования вторичных фаз в стали марки 04X20H6Г11М2АФБ при горячей деформации, последующей высокотемпературной выдержке и охлаждении. Выявлено влияние температуры выдержки при термической обработке на превращение δ -феррита в стали;
7. Показано, что формирование рекристаллизованной структуры при листовой прокатке происходит в три этапа за счет начала, развития и завершения динамической и метадинамической рекристаллизации. Конечное формирование структуры стали происходит на последнем этапе горячей деформации и осуществляется за счет деформационного упрочнения различной интенсивности в зависимости от требуемых механических свойств предела текучести в диапазоне 500–900 МПа;

8. Выявлено влияние однократного и многократного динамического нагружения со скоростью 10^3-10^4 с^{-1} , а также степени деформации при динамическом нагружении на изменение структуры азотсодержащей стали;

9. Определено значение деформации локализации и критическая деформация при разрушении при одноосном статическом нагружении азотсодержащей стали со скоростью деформации 10^{-3} с^{-1} и влияние предварительного динамического нагружения на изменение этих значений.

Практическую значимость диссертационной работы составляют:

1. Разработанные и внедренные в промышленность технологии производства листового проката толщиной от 4 до 45 мм с пределом текучести от 475 до 900 МПа и профильного проката с пределом текучести от 450 до 1000 МПа;

2. Разработанные технологические схемы изготовления поковок из стали марки 04Х20Н6Г1М2АФБ;

3. Разработанная и внедренная технология изготовления штампованных деталей для изготовления сварных конструкций;

4. Подтвержденная высокая работоспособность азотсодержащей стали при статическом, динамическом и циклическом нагружении, позволяющая применять ее для строительства конструкций морской техники, высоконагруженных деталей буровых машин и другого оборудования.

Важным достоинством работы можно считать, что разработанные технологии позволяют в рамках одного марочного состава получать стальные полуфабрикаты различного сортамента в широком диапазоне механических и служебных свойств и обеспечить потребности ключевых отраслей промышленности перспективными материалами. Кроме того, полученные новые данные, технологические принципы и положения, которые дополняют предшествующие научные и практические знания в этой области материаловедения могут стать основой при разработке новых современных аустенитных материалов с заданными свойствами и для усовершенствования существующих технологических процессов изготовления традиционных сталей аустенитного класса.

Достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов диссертационной работы подтверждены большим объемом данных, полученных в лабораторных условиях и их верификацией в промышленности на металлургических заводах. Значительный объем выполненных

исследований, а также применение современного высокоточного экспериментального оборудования и многообразных методов исследования структуры совместно с примененным термодинамическим и физическим моделированием технологических процессов являются весомой аргументацией полученных результатов и сделанных выводов.

Диссертационная работа Фоминой О.В. представляет собой законченную цельную научно-исследовательскую работу. Основное содержание работы опубликовано в 42 печатных работах, из них 18 статей в журналах, рекомендованных перечнем ВАК, в том числе 9 публикаций, индексируемых в базе данных Scopus.

Материалы диссертации представлены на высоком научно-техническом уровне. В автореферате и публикациях отражены основные положения, новизна и выводы диссертационной работы.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В тексте диссертации говорится о наличии более существенной дендритной химической неоднородности литой структуры при кристаллизации азотсодержащей стали через δ -феррит, чем при кристаллизации через аустенит; Указано, что в результате высокотемпературной выдержки перед горячей деформацией химическая неоднородность по ряду элементов при кристаллизации через δ -феррит исчезает, а при кристаллизации через аустенит характер распределения легирующих элементов практически не изменяется. Однако неясно, какое влияние данный факт может оказывать на последующее формирование структуры при горячей деформации.

2. Автором установлено, что скорость охлаждения при кристаллизации через аустенит оказывает существенное влияние на размер зерна. Однако причины такого влияния не указаны, также, как и последующее влияние размера зерна на изменение литой структуры при горячей деформации.

3. В тексте диссертации неоднократно упоминается о положительном влиянии δ -феррита на горячую пластичность исследуемой стали и уменьшении склонности к образованию горячих трещин, но при этом отмечено, что δ -феррит снижает ударную вязкость стали и ее долговечность при циклическом нагружении. Представляется необходимым сделать общий вывод: в каких случаях и какое количество δ -феррита допускается в

структуре стали (с учетом обеспечения требуемой магнитной проницаемости, возможности образования σ -фазы при выдержке и медленном охлаждении и пр.).

4. В диссертации нет пояснения, каков уровень прочностных характеристик металла шва и за счёт чего обеспечивается равнопрочность основного металла с учётом существенной разницы в химическом составе металла шва и основного металла. Поскольку в зоне сплавления обнаружено некоторое количество микротрещин, следовало бы показать, что подобные дефекты не влияют на заявленный комплекс свойств сварных соединений.

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

На основании анализа представленных материалов диссертационная работа «Создание технологических принципов управления структурой и физико-механическими свойствами высокопрочной аустенитной азотсодержащей стали» по актуальности, научному уровню, содержанию, 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 01.10.2018 г. №1168, а ее автор – Фомина Ольга Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Доктор технических наук, профессор, академик РАН,
Президиум Российской Академии наук,
советник РАН



Леонтьев Леопольд Игоревич

Подпись Леонтьева Леопольда Игоревича удостоверяю

Адрес: г. Москва, Ленинский проспект, дом 11

Электронная почта: leo@presidium.ras.ru

Телефон: (985)920 76 68

