

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования
«Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет
информационных технологий,
механики и оптики» (Университет ИТМО)

Кронверкский проспект, д. 49, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация, 197101
тел.: (812) 232-97-04 | факс: (812) 232-23-07
od@mail.ifmo.ru | www.ifmo.ru

04.04.2019 № 1.03/1636

Ученому секретарю диссертационного
совета Д411.006.001
Доктору технических наук, профессору
Е.И. Хлусовой

191015, Санкт-Петербург, ул. Шпалерная,
д. 49

НИИ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 1185	в ДЕЛО
«15.04.2019» г.	№ _____
Осн. 4 л.	подп. _____
Прил. _____ л.	

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

ОЛЕНИНА Михаила Ивановича

«Разработка научно-технологических основ термической обработки хладостойких перлитных и мартенситных сталей для ответственных конструкций атомной техники», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Актуальность темы исследований. Направления исследований диссертационной работы Оленина М.И. являются безусловно актуальными, поскольку посвящены разработке режимов термической обработки для изготовления изделий ответственного назначения машиностроения и атомной энергетики, эксплуатируемых при низких температурах. Для обеспечения заданного уровня эксплуатационных свойств сталей перлитного и мартенситного классов, применяемых для корпусов и их сварных соединений, а также крепежных деталей оборудования контейнеров для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива, работающих при температурах до минус 50 °С, необходима разработка обоснованных технологических режимов обработки. В работе представлены общие принципы и методология повышения хладостойкости сталей перлитного и мартенситного классов, а также перспективные направления разработок и практической реализации результатов исследований.

Основная цель рассматриваемой работы состоит в разработке и научном обосновании методов повышения сопротивления хрупкому разрушению

сталей перлитного и мартенситного классов, применяемых в атомной энергетике, за счет создания специальных технологий термической обработки.

Задачи исследования, сформулированные автором диссертации для достижения поставленной цели, предусматривали последовательное и методичное решение проблем в области материаловедения и термической обработки. Разнообразие задач исследования связано с широким спектром исследуемых материалов и, как следствие, - необходимостью разработки общих принципов и методологии повышения хладостойкости сталей перлитного и мартенситного классов; исследованием влияния дополнительного отпуска на хладостойкость сталей перлитного и мартенситного классов и разработкой усовершенствованных технологий термической обработки, обеспечивающих за счет старения α - фазы выделение и коагуляцию цементита, повышение сопротивления хрупкому разрушению сталей перлитного и мартенситного классов марок 09Г2СА-А, 25Х1МФ, 38ХНЗМФА; разработкой режимов послесварочного отпуска, обеспечивающего, за счет снижения водородного охрупчивания и коагуляции цементита, повышение хладостойкости сварных соединений феррито-перлитной стали марки 09Г2СА-А; выявлением природы тепловой хрупкости реакторных сталей и разработкой режимов термической обработки, обеспечивающих ее ослабление; исследованием влияния гомогенизации перед окончательной термической обработкой коррозионно-стойкой стали мартенситного класса марки 07Х16Н4Б и разработкой режима термической обработки, обеспечивающего снижение количества δ -феррита и повышение сопротивления хрупкому разрушению стали при сохранении заданного комплекса механических свойств; построением диаграммы структурно-фазовых превращения мартенситно-стареющей стали марки 01Н17К13М5ТЮ; разработкой совмещенных режимов процесса старения с термической правкой и калибровкой тонкостенных трубных заготовок из мартенситно-стареющей стали марки 01Н17К13М5ТЮ, обеспечивающей повышение прочности и вязкопластических свойств и точности геометрических размеров тонкостенных изделий. И как итог - внедрение и промышленное освоение разработанных режимов термической обработки при изготовлении ответственных изделий атомной техники.

Анализ диссертации по главам

Первая глава посвящена анализу основных причин охрупчивания сталей перлитного и мартенситного классов с оценкой влияния различных факторов на склонность к хрупкому разрушению. Тщательный анализ литературных источников позволил установить, что можно добиться снижения

охрупчивания металла ЗТВ сварных соединений из кремнемарганцевых феррито-перлитных сталей за счет разработки специальных режимов после-сварочного отпуска. Показано, что к настоящему моменту нет единого мнения относительно кинетики процессов старения мартенситно-стареющих сталей.

Литературный обзор характеризуется методичностью рассмотрения различных аспектов проблемы, использованием большого массива современных и классических литературных источников (как отечественных, так и зарубежных), показывая большую глубину проработки материала по рассматриваемым проблемам. С учетом проведенного анализа и на основании собственных исследований автором предложены общие принципы повышения хладостойкости сталей перлитного и мартенситного классов. Общие принципы учитывают хладостойкость не пересыщенного по углероду феррита, охрупчивание сталей перлитного класса ввиду растворения третичного цементита и высокой плотности выделения мелкодисперсных карбидов после отпуска, важность проведения дополнительного отпуска после термического улучшения в сталях мартенситного класса для снижения содержания углерода в α -фазе.

Во второй главе представлена концепция повышения хладостойкости сталей перлитного и мартенситного классов. На основании проведенных исследований на металле поковки и листовом прокате определен температурно-временной режим дополнительного отпуска для стали 09Г2СА-А. В результате выявлено, что применение дополнительного отпуска способствует повышению ударной вязкости сталей перлитного класса на стадии изготовления изделий, особенно в зонах сварных соединений.

В третьей главе приведены результаты исследований по повышению сопротивляемости хрупкому разрушению сталей для оборудования атомной энергетики. Диссертант выполнил большой объем работ по исследованию возможностей повышения хладостойкости сталей с различным уровнем прочности и степени легирования. Показано, что применение дополнительного отпуска для материалов оборудования атомной техники после длительной эксплуатации позволит продлить ресурс эксплуатации материала ответственных и нагруженных конструкций.

Четвертая глава посвящена сравнительным исследованиям процессов, протекающих в мартенситно-стареющих и термоулучшаемых сталях. В ней подробно рассмотрена кинетика процесса старения мартенситно-старе-

ющих сталей (МСС) и вторичного твердения сталей перлитного и мартенситного классов в процессе дополнительного отпуска после термического улучшения. Тщательно проведенный анализ с учетом фазового физико-химического, металлографического, электронно-микроскопического и рентгеноструктурного исследований, а также результаты изменения электросопротивления, магнитных свойств, плотности, ползучести и механических свойств, позволили построить диаграмму структурно-фазовых превращений в мартенситно-стареющей стали 01Н17К13М5ТЮ, отображающую качественные и количественные изменения стадий распада мартенсита и образования аустенита при различных температурно-временных условиях. Автором показано, что кинетика вторичного твердения термоулучшаемых сталей аналогична кинетике процесса старения мартенситностареющих сталей. Вместе с тем, в отличие от мартенситно-стареющих сталей, процессы предвыделения и выделения карбидных фаз в термоулучшаемых сталях могут повторяться и приводить к повторному их охрупчиванию.

В пятой главе приведены результаты исследований, посвященных повышению хладостойкости стали мартенситного класса 07Х16Н4Б, применяемой для изготовления крепежных деталей контейнеров с ОЯТ. Подробно рассмотрены процессы, протекающие в ходе гомогенизации, при отпуске и термическом улучшении. Проведенные исследования позволили разработать технологии термической обработки для поковок и листов из сталей мартенситного и мартенситно-ферритного классов, а также сварных соединений из мартенситно-ферритной стали, обеспечивающие повышение значений комплекса механических свойств.

Шестая глава содержит сведения об особенностях изготовления тороидальных металлических уплотнений для контейнеров с ОЯТ. В этой главе представлены основные подходы к разработке технологии термической правки и калибровки изделий из мартенситно-стареющих сталей с учетом перевода материала в состояние сверхпластичности, при котором правка осуществляется при минимальных напряжениях. Большое значение имеют данные по исследованию ползучести для высокоточной калибровки изделий из мартенситностареющей стали. Установлено, что термическая правка позволяет уменьшить эллипсность тонкостенных труб из мартенситно-стареющих сталей $\text{Ø}100 \times 0,4 \times 500$ мм в 10 раз, при сохранении заданного уровня упругих свойств.

В целом работу Оленина М.И. отличает последовательность и методичность выполнения исследований. Каждый этап исследования имеет четкую постановку задачи, методическое обеспечение, широкий спектр исследований, анализ полученных результатов, и - как результат - разработку принципов и методологии повышения хладостойкости сталей различных классов, а также режимов термической калибровки и правки изделий из высокопрочных мартенситно-старяющихся сталей. Такой методичный подход характеризует диссертацию как законченную научную работу.

Положительным аспектом рассматриваемой работы является широкое внедрение разработанных технологических решений в промышленных условиях. Представленные в работе материалы и технологии отмечены многочисленными наградами всероссийских и международных выставок.

Достоверность научных результатов, основных положений и выводов работы обусловлена воспроизводимостью и согласованностью полученных данных, доказана значительным объемом разнообразных экспериментальных исследований, выполненных в обоснование основных теоретических положений, применением современного исследовательского оборудования и лицензионных программных средств для обработки информации, значительным количеством разнообразных экспериментальных исследований, проверкой технических решений в лабораторных и промышленных условиях. Выводы полностью соответствуют поставленным задачам исследования.

Научная новизна работы состоит в разработке концепции повышения сопротивления хрупкому разрушению сталей перлитного и мартенситного классов для изделий атомной техники за счет выделения избыточного углерода из пересыщенной α -фазы с последующей коагуляцией карбидов цементитного типа в процессе двухступенчатого отпуска. Предложенная концепция учитывает общие принципы хладостойкости и охрупчивания сталей перлитного и мартенситного классов, подтверждена значительным объемом экспериментальных исследований по разработанным режимам термической обработки для сталей разных систем легирования, широким внедрением полученных результатов на предприятиях специального машиностроения.

Практическая значимость работы состоит во внедрении:

- комплексной технологии полного цикла получения и обработки стали 09Г2СА-А при изготовлении контейнеров ОЯТ и подогревателей высокого давления;
- разработанных режимов термической обработки заготовок для дета-

лей из стали марки 07Х16Н4Б при изготовлении контейнеров ОЯТ и подогревателей высокого давления.

Замечания по диссертационной работе

На основании рассмотрения диссертационной работы и автореферата можно сделать следующие замечания:

1. В литературном обзоре показано, что высокая хладостойкость стали с малым количеством примесных элементов и углерода обеспечивается, в том числе, благодаря большому количеству плоскостей скольжения в решетке ОЦК. Однако, к сожалению, в дальнейшем это предположение в работе не учитывается.

2. Известно, что замедленное охлаждение на воздухе после высокого отпуска может приводить к отпускной хрупкости второго рода. Однако, этот вопрос автором в работе не рассматривается.

Заключение

Объем и оформление работы соответствует уровню диссертаций, представленных на соискание ученой степени доктора технических наук. Стиль изложения материала диссертации и автореферата отвечает нормам научной лексики.

Содержание исследования полностью соответствует паспорту специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов». В автореферате в достаточном объеме отражены основные идеи, содержание и выводы диссертации. На основании анализа литературных источников в работе корректно сформулированы цель и определены задачи исследования.

Степень новизны представленных в диссертационной работе результатов не вызывают сомнений. Результаты достоверны и имеют практическую ценность, на их основе сделаны обоснованные выводы. Автор имеет 38 публикаций, в том числе статьи, опубликованные в изданиях, рекомендуемых перечнем ВАК РФ, и патенты. Основные результаты работы докладывались на всероссийских и международных научно-технических конференциях.

Совокупность полученных соискателем новых знаний, теоретических положений и выводов о превращениях, происходящих в сталях перлитного и мартенситного классов можно классифицировать как крупное достижение в развитии научного направления «Соппротивление материалов хрупкому разрушению», а изложенные в диссертации научно обоснованные технические и технологические решения позволяют повысить надежность оборудования атомной энергетики и изделий ответственного назначения машиностроения.

Считаю, что диссертационная работа Оленина Михаила Ивановича на тему «Разработка научно-технологических основ термической обработки хладостойких перлитных и мартенситных сталей для ответственных конструкций атомной техники» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. По актуальности, научной новизне, практической и теоретической значимости, объему работа отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842; Постановлением Правительства РФ от 21.04.2016 г. №335, а автор Оленин Михаил Иванович заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО)

Кронверкский проспект, д. 49, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 197101, тел.: (812) 232-97-04, факс: (812) 232-23-07, od@mail.ifmo.ru

Доктор технических наук, доцент,
доцент факультета низкотемпературной
энергетики

Светлана Антониновна Вологжанина



Вологжаниной С.А.

С.С. Сергеев С.А.