

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»  
(НИТУ «МИСиС»)

Ленинский проспект, 4, Москва, 119991  
Тел. (495)955-00-32; Факс: (499)236-21-05  
http://www.misis.ru  
E-mail: kancela@misis.ru  
ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749  
ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

№ \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_  
Отзыв ведущей организации

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по науке и инновациям

М.Р. Филонов

2019 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

НИЦ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 1320	в ДЕЛО
«24» 04 2019 г.	№ _____
Осн. 9 л.	подп. _____
Прил. _____ л.	

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

**Актуальность избранной темы.** Развитие атомной энергетики неизбежно связано с решением проблемы отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Необходимость перевозки ОЯТ к месту переработки и хранение в течение от 50 до 100 лет (в условиях Крайнего Севера и Сибири) предъявляет высокие требования к материалам, используемым для изготовления металлобетонных контейнеров (МБК). В связи с этим есть потребность в разработке новых технологий термической обработки, обеспечивающих заданный комплекс свойств металла, в т.ч. их хладостойкости. Отсюда необходимость в развитии научных основ

процессов термической обработки. Эти обстоятельства и определили актуальность постановки диссертационной работы.

### **Структура диссертации и ее основное содержание**

Диссертация состоит из введения, шести глав с выводами, общих выводов, списка литературы, содержит 311 страниц машинописного текста, включая 127 рисунков, 19 таблиц, 248 библиографических ссылок.

**Во введении** обоснована актуальность решаемой научной и технической проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** диссертации рассмотрены условия работы МБК и требования к материалам для их изготовления, проанализированы факторы хладостойкости сталей, в первую очередь перлитного и мартенситного классов, роль карбидной составляющей в микроструктуре.

Обсуждены особенности сварки кремнемарганцевых феррито-перлитных сталей, в частности, протекание структурных превращений в зоне термического влияния (ЗТВ) сварных соединений, оценен возможный вклад повышенного содержания водорода и выделения дисперсных карбидов в охрупчивании металла зоны термического влияния сварных соединений.

Рассмотрена кинетика процессов старения мартенситно-старееющих сталей. В целом это позволило обосновано сформулировать цели и задачи настоящей работы.

**Во второй главе** диссертации на основе системных исследований тонкой структуры 09Г2СА-А после различных отпусков установлены закономерности коагуляции и сфероидизации карбидов, морфология которых после выбранного оптимального отпуска при 450°C (5 час), что в итоге способствует повышению хладостойкости. Показано также, что хладноломкость ЗТВ сварных соединений, связанную с выделением водорода и третичного цементита, можно подавить за счет замедленного нагрева в области флокенообразования (150-300°C) и последующего



ускоренного охлаждения, в области температур, соответствующих выделению карбидов цементитного типа (350-250°C). Эти результаты защищены патентом и внедрены в отрасли.

**В третьей главе диссертации** рассмотрены технологии термической обработки, защищенные патентами РФ, снижающие температуру вязкохрупкого перехода на 15-25°C и повышающие ударную вязкость в 1,5-2 раза без снижения прочности и пластичности сталей 09Г2СА-А, 10ГН2МФА, 38ХНЗМФА, 15Х2МФА, 25Х1МФ. На основе исследования структурных механизмов восстановления свойств после теплового охрупчивания вследствие длительной эксплуатации разработана соответствующая технология (защищена патентом РФ).

Показано, что среднетемпературный дополнительный отпуск перед азотированием на сталях бейнитного класса позволяет за счет выделения углерода из  $\alpha$ -фазы более чем в 2 раза увеличить глубину азотированного слоя (защищено патентом РФ).

**В четвертой главе диссертации** для мартенситно-старееющих и дисперсионно-твердеющих сталей и сплавов, применимо к тороидальным металлическим уплотнениям МБК, исследованы структурные факторы, определяющие их упрочнение и охрупчивание, построена диаграмма структурно-фазовых превращений мартенситно-старееющей стали 0Ш17К13М5ТЮ, отображающая процессы распада мартенсита и образований аустенита при различных температурно-временных условиях.

Сопоставлены закономерности кинетики процессов карбидообразования в улучшаемых и старения в мартенситно-старееющих сталях.

**В пятой главе диссертации** рассматриваются вопросы, связанные с совершенствованием технологии термической обработки поковок и листового проката из высокохромистых коррозионно-стойких сталей мартенситного и мартенситно - ферритного классов марок 07Х16Н4Б и 15Х11МФБ на основе изучения влияния содержания  $\delta$  – феррита,



найденный оптимум которого обеспечивается гомогенизацией при температуре 1150°C с выдержкой от 2 до 5 часов, для стали 07X16H4Б и от 15 до 17 часов соответственно для стали 15X11МФБ, проведенной перед термическим улучшением. Это обеспечивает соответствующее увеличение ударной вязкости в 2 и 4 раза при сохранении уровня прочности.

Показано также, что для стали 15X11МФБ замена послесварочного отпуска при температуре 700°C на процесс гомогенизации с последующим термическим улучшением, снижает более чем в 3 раза содержание  $\delta$  – феррита, что повышает в 4 раза ударную вязкость сварных соединений при сохранении значений прочности и пластичности на уровне КП 70.

**В шестой главе диссертации** дано научное обоснование технологии термической правки (старение под напряжением) уплотнений главного разъема контейнеров с ОЯТ, обеспечивающей за счет перевода мартенситно-старяющей стали в состояние субструктурной сверхпластичности 10-кратное повышение качества правки - снижение эллиптичности тороидальных металлических уплотнений.

**Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

В работе на основе систематических исследований структур в диапазоне наблюдения от нано- до микромасштабов развиты представления о возможностях формирования стабилизированной структуры в улучшаемых сталях, основывающихся на процессах выделения избыточного углерода из пересыщенной  $\alpha$ -фазы и последующей коагуляции и сфероидизации карбидов цементитного типа при дополнительном отпуске в среднетемпературном интервале. Полученные закономерности существенно расширяют представление о процессах, происходящих при отпуске, и вносят весомый вклад в развитие технологии термической обработки конструкционных сталей, что нашло свое весомое подтверждение не только в рамках лабораторных исследований, но и в производственных масштабах атомной отрасли.



На основе всестороннего исследования морфологии структур обоснованы и получили практическое подтверждение в производственной практике способы повышения хладостойкости сталей перлитного и мартенситного классов для изделий атомной техники – на основе выделения избыточного углерода из пересыщенной  $\alpha$ -фазы с последующей коагуляцией и сфероидизацией карбидов цементитного типа в процессе дополнительного отпуска после термического улучшения (снижение температуры вязко-хрупкого перехода на 15–28°C) и повышения сопротивляемости хрупкому разрушению высокохромистых коррозионноустойчивых сталей мартенситного и мартенситно-ферритного класса (при сохранении уровня прочности), вследствие снижения содержания  $\delta$  – феррита (в 1,7-4 раза) при введении процесса гомогенизации перед окончательной термической обработкой - термическим улучшением.

Показано, что среднетемпературный дополнительный отпуск при температуре 450°C, совмещенный с послесварочным отпуском стали 09Г2СА-А, обеспечивает коагуляцию карбидов цементитного типа в зоне термического влияния сварных соединений, и увеличивает более чем в 3 раза ударную вязкость зоны термического влияния при минус 50°C, а реакторной стали 10ГН2МА ослабляет охрупчивание после старения при температуре 270-310°C с выдержкой 60000 часов - ударная вязкость повышается более чем в 2 раза.

Установлено, что среднетемпературный дополнительный отпуск при температуре 450°C, осуществленный после термического улучшения, позволяет за счет выделения углерода из  $\alpha$ -фазы при последующем азотировании более чем в 2 раза увеличить глубину упрочненного слоя стали 38ХЗМ1Ф1А, что способствует увеличению работоспособности и соответственно срока эксплуатации высоконагруженных пар трения.

#### **Практическая значимость полученных результатов.**

Основные результаты работы внедрены:

- на ОАО «Производственное объединение «Северное машиностроительное предприятие» при проведении термической обработки сварных конструкций и крепежных изделий при изготовлении более 75 МБК для перевозки и длительного хранения ОЯТ:

- на АО «Балтийский завод» при проведении термической обработки для снятия напряжений сварных конструкций из хладостойких сталей 09Г2С и 09Г2СА-А для изделий АЭС;

- на ЗАО «Энерготекс» при проведении отпуска сборок МБК и термической обработки заготовок для крепежных изделий.

**Результаты работы представляют несомненный интерес** для предприятий атомного машиностроения, использующих технологии термической обработки для производства продукции:

- ОАО "ПО "Севмаш", ЗАО "Энерготекс", ОАО "Уралхиммаш", ОАО "Савеловский машиностроительный завод", ОАО "Балтийский завод", ОАО "Волгодонский завод металлургического и энергетического оборудования", ООО "ОМЗ-Спецсталь" при изготовлении контейнеров для перевозки и длительного хранения отработавшего ядерного топлива;

- ОАО Машиностроительный завод "ЗиО – Подольск" и АО "Таганрогский завод "Красный Котельщик" при изготовлении подогревателей высокого давления для атомных водо-водяных реакторов.

Результаты работы представляют научный интерес для исследовательских организаций, занимающихся вопросами, связанными с разработкой технологии термической обработки. Полученные закономерности протекания процессов при термической обработке конструкционных сталей могут быть использованы вузами материаловедческого и металлургического профиля в рамках учебных курсов в области металловедения, термической обработки и специальных сталей.

**Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.**



Основные научные положения и выводы работы, сделанные автором, представляются обоснованными. Обоснованность выводов основана на большом объеме экспериментального материала, полученного с применением современных методов эксперимента, широкой проверкой технических решений в лабораторных и промышленных условиях, получением стабильных требуемых свойств металла промышленного производства при изготовлении более 200 металлобетонных и цельнометаллических контейнеров для перевозки и длительного хранения отработавшего ядерного топлива, а также других изделий атомной техники.

Достоверность выводов обеспечивается также воспроизводимостью и согласованностью полученных результатов и их соответствием известным научным представлениям.

Автореферат полностью соответствует основным положениям диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в открытой печати в 21 статье (из списка ВАК), монографии и 15 патентах (с соавторами).

#### **Замечания по работе.**

1. Некоторые формулировки научной новизны не в полной мере отражают масштаб результатов, полученных в работе.

2. Основная цель работы – оптимизация режимов термической обработки, однако в этой связи представляет интерес оценка влияния различных сценариев протекания технологической наследственности на стабильность получаемых (на основе предлагаемых рекомендаций) результатов. Эти вопросы требуют более полного обсуждения.

3. Факт внедрения результатов работы на некоторых предприятиях не подкреплен соответствующими документами (в приложении к диссертации).

4. Подавление эффекта тепловой хрупкости реакторных сталей представлено только для стали 10ГН2МФА.

5. В диссертационной работе отсутствуют электроннограммы рефлексов, позволяющие идентифицировать карбиды в стали мартенситного класса марки 38ХНЗМФА.

6. Больше внимание следовало бы уделить анализу изломов сталей для выявления критических факторов структуры, определяющих уровень сопротивляемости металла разрушению, в частности, в результате изменений, внесенных в технологию термической обработки.

7. В ряде случаев, например на рис. 3.16 диссертации, не приведен уровень ошибок средних значений величин, что затрудняет оценку значимости полученных результатов.

**Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.**

Диссертация М.И. Оленина представляет собой законченное исследование, в котором разработаны и применены на производстве новые научно обоснованные технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие атомной энергетики – в области создания материалов и технологий их обработки для ответственных изделий, обеспечивающих перевозку и длительное хранение отработавшего ядерного топлива, а также для других изделий атомной техники.

Работа обладает всеми основными качествами докторской диссертации: актуальностью решаемой проблемы, новизной методов решения, интересными и важными научными результатами, практической ценностью разработанных способов их получения, широтой их применения для изделий ответственного назначения в атомной отрасли. Важно, что сформулированные подходы и представления интересны для дальнейшего развития, как в части их научного исследования в области термической обработки сталей, так и практического применения.

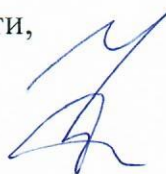
Выполненная работа соответствует критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением



Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842 (в ред. от 30.07.2014г.), а её автор Оленин Михаил Иванович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертация была заслушана и обсуждена на заседании кафедры металловедения и физики прочности НИТУ «МИСиС» 20 марта 2019года (протокол № 6).

Заведующий кафедрой  
металловедения и физики прочности,  
проф., д.т.н.



С.А. Никулин

Ученый секретарь кафедры,  
доц., к.т.н.



В.А. Белов