

В диссертационный Совет Д 411.006.01
при Федеральном государственном
унитарном предприятии «Центральный
научно-исследовательский институт
конструкционных материалов
«Прометей» имени И.В. Горюнина
Национального исследовательского
центра «Курчатовский институт»»

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

ОТЗЫВ

официального оппонента Шахназарова Карэна Юрьевича
на диссертацию и автореферат **Зизы Алексея Игоревича** на тему
«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЮ МЕТАЛЛА
БАЛЛОНОВ ВВД ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ CR-NI-MO-V
КОМПОЗИЦИИ»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

АКТУАЛЬНОСТЬ

Работа посвящена повышению эксплуатационной надежности
используемых в судовых системах баллонов ВВД путем совершенствования
технологии их изготовления и корректировки требований, предъявляемых к
материалу баллонов. Работа позволяет создать научно-техническую основу
для производства изделий типа баллонов, металл которых сочетает высокую
прочность с высокой ударной вязкостью при отрицательных температурах, а

ИМЦ «Курчатовский институт»		1
ЦНИИ КМ «Прометей»		
Вх. №	1564	
№	25.05.18	
Осн.	9	л.
Подп.		подп.

также обеспечивает требуемый уровень трещиностойкости в коррозионной среде и на воздухе.

Работа представляет системное исследование влияния термдеформационных параметров при горячей деформации, режимов предварительной и окончательной термической обработки на структуру и свойства среднеуглеродистых высокопрочных сталей известного состава – 38ХНЗМФА и 35ХНЗМФА и разработанных перспективных экономнолегированных сталей. Также в работе исследуется способ повышения ударной вязкости и характеристик сопротивления разрушению путем управления продуктами превращения остаточного аустенита. Таким образом, диссертационная работа Зизы А.И. вносит существенный вклад в материаловедение конструкционных среднеуглеродистых сталей, являясь, безусловно, **актуальной**.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов по работе и акта внедрения, оформленного приложением. Работа изложена на 203 страницах, включая 73 рисунка и 21 таблицу. Библиографический список содержит 150 источников.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи, научная и практическая значимость, приводятся положения, выносимые на защиту, изложены данные о личном участии автора в выполнении работы, апробации работы, публикациях.

В первой главе рассмотрены основы технологии изготовления баллонов ВВД и проанализированы случаи их разрушения, представлен аналитический обзор данных по влиянию термдеформационных параметров горячей пластической деформации и предварительной термообработки на размер аустенитного зерна, а также данные по влиянию размера зерна и продуктов превращения остаточного аустенита на механические свойства и

сопротивляемость разрушению, рассмотрены возможности совершенствования технологических процессов производства баллонов ВВД. Сформулирована цель и конкретные задачи диссертационного исследования.

Во второй главе приведены составы изучаемых сталей, рассмотрены используемые в работе методики исследования их структуры, включающие оптическую металлографию, просвечивающую и растровую микроскопию, EBSD анализ, механических свойств, включая испытания на растяжения, ударную вязкость, статическую трещиностойкость и склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением. Представлено описание и сравнение методов определения количества остаточного аустенита и характера его распределения, а также методы имитации технологических процессов с использованием дилатометров DIL 805A/D и DIL 402C и пластометрического комплекса GLEEBLE 3800. Особое внимание уделено описанию и выбора способа выявления границ бывших аустенитных зерен методом вакуумного травления с помощью дилатометра DIL 805A/D.

Третья глава посвящена исследованию влияния термдеформационных параметров при деформации и предварительной термообработке на структуру металла баллонов, представлены как результаты моделирования технологических процессов производства баллонов, так и сравнение структуры металла баллонов, произведенных по существующей технологии и произведенных с учетом разработанных рекомендаций.

Показано, что превышение температуры нагрева заготовки при горячей деформации выше 1240°C приводит к катастрофическому росту аустенитного зерна и сопутствующему снижению уровня ударной вязкости ниже минимально допустимого уровня, неисправимого последующей термической обработкой.

По результатам определения интервала температур рекристаллизации регламентирована температура окончания деформации. На основе данных о

интервале рекристаллизации и изучения кинетики превращения аустенита назначен режим предварительной термообработки – рекристаллизационный отжиг.

Ограничение температуры нагрева при деформации до 1230-1240 °С, окончание деформации ниже интервала температур рекристаллизации при 880-940°С, последующий рекристаллизационный отжиг с нагревом и выдержкой при 920-960 °С позволили добиться значительного измельчения среднего размера зерна с 23 мкм до ~12 мкм по сравнению с существующей технологией изготовления баллонов.

Четвертая глава посвящена определению количества остаточного аустенита, кинетики его превращения, исследования продуктов превращения и влияния их на свойства стали.

Показано, что после закалки в стали 38ХНЗМФА и 35ХНЗМФА остается до 12% непревращенного аустенита, который распадается в процессе отпуска стали. Автором отмечено, что остаточный аустенит распадается либо на этапе нагрева до температуры отпуска, либо на этапе последующего охлаждения.

Продуктами распада остаточного аустенита являются либо смесь карбидов типа Fe_3C и α -фазы, либо вторичный мартенсит, которые являясь концентраторами напряжений, приводят к снижению ударной вязкости и хладостойкости стали.

Для управления продуктами превращения остаточного аустенита предложено проведение двукратного отпуска после закалки. В ходе исследования влияния двукратного отпуска на структуру и свойства стали показано, что он практически не влияет на прочностные свойства, однако приводит к увеличению уровня ударной вязкости за счет придания пластинчатым карбидам, образовавшимся из остаточного аустенита, глобулярной формы и уменьшению их размера.

Также автором предложен вариант окончательной термообработки, предусматривающий проведения после закалки первого кратковременного отпуска и второго по штатному режиму. Первый отпуск в таком случае необходим для распада остаточного аустенита, второй отпуск служит для придания карбидам глобулярной формы, изменения их размеров и, в конечном итоге, получения требуемого комплекса свойств. Использование такого режима позволит сократить длительность термообработки при обеспечении высоких показателей характеристик работоспособности.

Пятая глава содержит сравнение механических характеристик и характеристик сопротивления разрушению металла баллонов, произведенных по существующей и усовершенствованной (включающей применение рекомендованных термомодеформационных параметров и двукратного отпуска после закалки) технологиям. Установлено, что металл баллонов, произведенных по усовершенствованной технологии, при обеспечении требуемой прочности превосходит по уровню ударной вязкости во всем диапазоне температур испытаний, трещиностойкости на воздухе и в коррозионной среде металл баллонов, произведенных по существующей технологии.

Показано, что существующие требования технической документации не гарантируют безопасную эксплуатацию баллонов, в связи с чем по известным соотношениям определены вытекающие из условий эксплуатации: норма ударной вязкости, определяемой на образцах с острым надрезом при температуре -50°C , максимально допустимое значения предела текучести, твердости, параметра β , гарантирующего отсутствие склонности к коррозионному растрескиванию под напряжением. На основе полученных данных внесены изменения в техническую документацию.

Отмечено, что металл баллонов, произведенных по усовершенствованной технологии, полностью удовлетворяет новым ужесточенным требованиям.

Шестая глава посвящена разработке перспективной экономнолегированной высокопрочной стали, рекомендациям по предварительной и окончательной термической обработке, а также исследованию ее структуры и свойств.

Показано, что при применении рационального режима предварительной термической обработки – рекристаллизационного отжига с нагревом до интервала температур рекристаллизации и последующей выдержкой в интервале температур феррито-перлитного превращения, достигается эффективное измельчение структурных составляющих в перспективных сталях, что обеспечивает получение требуемого уровня прочностных свойств при повышенной относительно применяемых сталей хладостойкости.

Применение разработанной стали позволит получить положительный экономический эффект, снизив стоимость баллонов, за счет уменьшения содержания в стали дорогостоящего никеля и сокращения длительности термообработки.

После каждой из глав представлены частные выводы, которые отражают их сущность. Заключение и общие выводы также **обоснованы и достоверны**. Полученные результаты работы соответствуют поставленной цели и задачам. **Научные положения**, вынесенные на защиту, обоснованы, достоверны и отличаются новизной.

ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность полученных результатов основана на применении взаимодополняющих современных методов исследований. Приведенные результаты, полученные с использованием различных методик, хорошо согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям. Проведение исследований с использованием различных

методов и хорошая сходимость данных свидетельствуют о достоверности результатов, положений и выводов диссертации.

ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Значимость для науки представляют наиболее важные научные результатов работы Зизы А.И.:

- в результате исследования превращения остаточного аустенита установлено, что он распадается в процессе отпуска на смесь карбидов типа Fe_3C и α -фазы или превращается во вторичный мартенсит, повторный отпуск не влияет на дальнейшее превращение остаточного аустенита и плотность дислокаций, приводя к уменьшению среднего размера карбидов и изменению их формы с пластинчатой на глобулярную, что сопровождается повышением ударной вязкости и сопротивления разрушению;

- на основе исследований характеристик сопротивления разрушению установлены корреляции характеристик ударной вязкости и трещиностойкости в коррозионной среде и прочностных характеристик. Для предотвращения нестабильного хрупкого разрушения при отрицательной температуре эксплуатации определена норма ударной вязкости, для предотвращения коррозионного растрескивания под напряжением установлен максимально допустимый предел текучести металла баллонов;

- определены оптимальные термомодеформационные параметры при производстве изделий типа баллонов, позволяющие добиться измельчения зерна, гарантировав высокий комплекс механических свойств и характеристик работоспособности;

- проработано перспективное направление – изготовление баллонов ВВД из разработанной экономнолегированной стали, позволяющей в будущем снизить себестоимость баллонов.

Значимость для практики. Практическая ценность работы Зизы А.И. заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для

усовершенствования технологии изготовления и термической обработки изделий из широкого диапазона высокопрочных конструкционных среднеуглеродистых сталей.

Результаты работы включены в технологическую документацию на производство баллонов ВВД на АО «ВМЗ «Красный Октябрь», что подтверждено актом внедрения, а также внесены в нормативно-техническую документацию.

Замечания по диссертации

1. В пятой и шестой главах при сравнении механических свойств металла баллонов, произведенных по различным технологиям, не представлены данные о загрязненности неметаллическими включениями, оказывающих сильное влияние на ударную вязкость сталей.
2. В четвертой главе мало внимания уделено рассмотрению вопроса о том, в каких случаях остаточный аустенит превращается во вторичный мартенсит при охлаждении с температуры отпуска, в каких – распадается на этапе нагрева.
3. В шестой главе отсутствуют данные о критических точках разработанных перспективных сталей.
4. Очевидно, что снижение содержания никеля на 1 % и более приведет к удешевлению стали и баллонов из нее, однако в диссертации отсутствует хотя бы приблизительная оценка положительного экономического эффекта от применения разработанных перспективных сталей.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Зизы А.И. и не снижают ее научной и практической ценности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Зизы Алексея Игоревича является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой вносят вклад в решение

научно-технической проблемы повышения эксплуатационной надежности баллонов ВВД и имеют несомненное значение для теории и практики материаловедения.

Содержание диссертации полностью соответствует пунктам 1 и 3 паспорта специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение). Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Полученные результаты соответствуют поставленным задачам и цели и отражены в 11 публикациях автора, в том числе 6 в журналах, рекомендуемых перечнем ВАК, и 2 – входящих в базы данных Scopus.

Диссертация Зизы Алексея Игоревича на тему «Разработка технологических методов повышения характеристик сопротивления разрушению металла баллонов ВВД из высокопрочной стали Cr-Ni-Mo-V композиции» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842., а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Официальный оппонент
Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры материаловедения
и технологии художественных изделий,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский
горный университет»



Шахназаров Карэн Юрьевич

Россия, 199106, Санкт-Петербург
Васильевский остров, 21 линия, д.2

Тел. (812) 328-89-37
mthi@spmi.ru



Подпись
заверяю:

начальник отдела
делопроизводства



Е.Р. Яновицкая

" 28 " 05 2018 г.