

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ОАО «РосНИТИ»,
д-р техн. наук



И.Ю. Пышминцев

« 08 04 » 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Маковецкого Александра Николаевича

**«Влияние термической обработки в межкритическом интервале температур на свойства низколегированных трубных сталей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 –
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов**

Актуальность темы работы. Многие месторождения нефти и газа в Российской Федерации расположены в труднодоступных районах с холодным климатом. В связи с этим актуальным является разработка технологии производства труб повышенной хладостойкости и стойкости против коррозии. Единый подход к способам обеспечения вышеизложенных требований пока не выработан. Прогнозирование микроструктуры и свойств стальных труб возможно с помощью термокинетических диаграмм распада аустенита и точно рассчитанных скоростей охлаждения. Однако для решения уравнения теплопроводности необходимо знание коэффициента интенсивности теплообмена. Между тем, в литературе отсутствуют надежные данные о величине этого коэффициента при струйном охлаждении. Определение коэффициента теплоотдачи для реальных условий производства представляет собой сложную задачу, в которой приходится учитывать ряд факторов. Одним из перспективных методов повышения комплекса свойств является применение термической обработки из межкритического интервала (МКИ) температур. Однако многие вопросы межкритической закалки, такие как влияние исходной микроструктуры и технологических параметров обработки (температура, длительность) на получаемый комплекс свойств еще не достаточно изучены. Не для всех сталей подтверждается концепция увеличения ударной вязкости при отрицательных температурах вследствие перехода фосфора в феррит при выдержке стали в МКИ. В целом оптимальные режимы обработки из МКИ для низколегированных трубных сталей еще недостаточно выяснены. Основной целью работы является разработка научно-обоснованных принципов термической обработки, обеспечивающей повышение KCV⁶⁰

низколегированных трубных сталей за счет применения нагрева и охлаждения из МКИ; другая цель работы заключалась в разработке методов расчета коэффициента теплообмена при обычном и спрейерном охлаждении труб и достигаемых скоростей охлаждения.

Для достижения указанных целей были поставлены следующие **задачи**:

- произвести тепловые расчеты скоростей охлаждения при спрейерной и обычной закалке труб водой; - определить коэффициенты теплоотдачи при спрейерной закалке на промышленном оборудовании; - изучить кинетику образования и распада аустенита трубных сталей после термической обработки из МКИ температур; - изучить влияние исходной микроструктуры на свойства закаленных из МКИ и отпущенных трубных сталей; - изучить особенности проявления обратимой отпускной хрупкости сталей после закалки от температур МКИ.

Структура и содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, 8 глав, общих выводов и списка литературы из 112 наименований, содержит 27 таблиц, 188 рисунков и 1 приложение. Работа изложена на 353 страницах.

В первой главе проанализированы основные способы формирования требуемого комплекса свойств и требования, предъявляемые к современным трубам для транспортировки нефти и газа. Рассмотрены особенности спрейерной закалки труб и известные данные о величине коэффициента теплоотдачи, особенности технологии закалки из межкритического интервала, а также сформулированы задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены методы лабораторных и промышленных исследований.

В третьей главе приводится методика решения уравнения теплопроводности и экспериментального определения коэффициента интенсивности теплообмена. Рассчитаны скорости охлаждения для труб различных размеров при спрейерной закалке, спокойной воде, а также при охлаждении на воздухе.

В четвертой главе описаны результаты экспериментов, позволивших выявить закономерности формирования структуры и механических свойств низколегированной трубной стали 13ХФА и микролегированной стали 20 при аустенитизации в межкритическом интервале температур и последующем охлаждении в зависимости от исходной микроструктуры феррито-перлитной и бейнито-мартенситной.

В пятой главе построены для различной исходной микроструктуры термокинетические диаграммы и исследована микроструктура сталей 20ФА и 13ХФА. Кинетика распада аустенита изучена для аустенитизации выше A_{c3} и в зависимости от температуры межкритического интервала и времени выдержки в нем.

В шестой главе изучены особенности проявления отпускной хрупкости стали 13ХФА после закалки из межкритического интервала температур. Установлено отсутствие склонности стали 13ХФА к обратимой отпускной хрупкости. Рост ударной вязкости при повторном отпуске объяснен изменением равновесной концентрации углерода в феррите.

В седьмой главе исследована кинетика образования и распада аустенита в стали 20ХГ2Б, применяемой для изготовления обсадных труб повышенной хладостойкости. Построены термокинетические диаграммы распада аустенита для различных температур в межкритическом интервале температур.

В восьмой главе представлены данные о промышленном использовании полученных в диссертации научно-технологических результатов: промышленного освоения производства труб из стали 13ХФА с толщиной стенки 16 и 32 мм, применения микролегированной ниобием стали 20ФА, а также хладостойких обсадных труб из стали 20ХГ2Б при разработке режимов термообработки в межкритическом интервале температур которых были учтены выявленные в предыдущих главах особенности.

По каждой главе сделаны выводы. По всей диссертационной работе также сделаны общие выводы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана математическая модель, достаточно точно описывающая температурное поле трубы при спрейерном охлаждении и в спокойной воде и воздухе, что позволяет определить и устанавливать необходимую скорость охлаждения, регулируя расход воды; - основными процессами, определяющими уровень ударной вязкости и прочности низкоуглеродистых, малофосфористых трубных сталей с исходной бейнито-мартенситной структурой после закалки из МКИ и отпуска являются: разупрочнение (отпуск) исходной структуры в результате нагрева и выдержки выше A_{c1} ; закалки образовавшегося аустенита и окончательного отпуска мартенсита или бейнита. Максимальная ударная вязкость наблюдается после аустенитизации в МКИ на температуру на 15—20°С превышающую A_{c1} , тогда как максимальная прочность (σ_B, σ_T) в верхней части МКИ; - низкий уровень KCV после закалки из МКИ сталей, прошедших нормализацию или отжиг объясняет образование пленки высокоуглеродистого аустенита по границам исходного ферритного зерна; - представлены дилатограммы нагрева и охлаждения с указанием точек начала превращения и диаграмм распада аустенита по разным ступеням; - на основании электронных микроскопических исследований показано, что образование γ -фазы в МКИ в случае исходно ориентированной структуры происходит как по упорядоченному механизму, особенно в первой половине МКИ, так и

неупорядоченному, во второй половине МКИ; - у сталей, содержащих менее 0,009%P отпускная хрупкость не проявляется, однако в случае высокого отпуска может наблюдаться снижение KCV, обусловленная либо образованием специального карбида, либо со- хранением в α -фазе повышенного содержания углерода, упрочняющего стали; - однако повышенный углерод может выделяться на карбидах Fe_3C , появившихся при отпуске. В этом случае ударная вязкость повышена.

Теоретическая значимость.

Состоит в разработке теплофизической модели спрейерной закалки труб, рассчитаны значения коэффициента теплоотдачи, позволяющие вести практические расчеты скоростей охлаждения труб; В анализе влияния исходной микроструктуры сталей 13ХФА, 20ФА, 20ХГ2Б на свойства после закалки из МКИ, изучении кинетики распада аустенита в зависимости от исходной микроструктуры до аустенитизации в МКИ; Установлен характер процессов, протекающих при аустенитизации в МКИ и последующей закалки для различных исходных структур стали.

Практическая значимость.

Состоит в разработке методов закалки из МКИ, позволяющих обеспечивать высокую ударную вязкость и учитывающих влияние исходной микроструктуры. В результате проведения исследований получен экономический эффект в размере 20 млн руб/год.

В целом работа оставляет благоприятное впечатление, однако следует указать на следующие **замечания**:

1. В третьей главе рассмотрены решения уравнения теплопроводности методом конечных разностей и точное решение, но не используется нашедший в последние годы широкое применение метод конечных элементов.

2. В четвертой главе приведены сравнительные данные по механическим свойствам микролегированной стали 20 после закалки из МКИ и из γ -области, а аналогичное сравнение для других сталей не приводится.

3. В шестой главе отмечено влияние дисперсионного твердения – выделения карбидов ванадия при повторном отпуске, а в других главах при описании связи микроструктуры и свойств этому явлению уделяется недостаточно внимания.

Указанные замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на общее положительное мнение о диссертации.

Внедрение предложенного в диссертации способа позволило обеспечить в ОАО «ЧТПЗ» значительный экономический эффект за счет сокращения брака при термической обработке и освоения нового для ОАО «ЧТПЗ» сортамента труб, что говорит о высокой

практической значимости диссертационного исследования. Использование изобретения подтверждено соответствующим актом внедрения.

Учет указанных в диссертации особенностей влияния исходной микроструктуры и температуры нагрева в МКИ на механические свойства после закалки может применяться на других металлургических предприятиях для повышения ударной вязкости при отрицательных температурах и подавления обратимой отпускной хрупкости.

Автореферат диссертации правильно отражает ее основное содержание, научную новизну, выводы и другие ключевые моменты.

Заключение. Диссертационная работа Маковецкого Александра Николаевича соискателя «Влияние термической обработки в межкритическом интервале температур на свойства низколегированных трубных сталей» является законченным научным исследованием по актуальной теме. В работе представлены результаты, имеющие важное научное и практическое значение для специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Результаты исследований, представленные в диссертации, делают существенный вклад в решение актуальной проблемы исследования влияния исходной микроструктуры на свойства после термообработки в межкритическом интервале температур и повышения ударной вязкости трубных сталей.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор А.Н.Маковецкий, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв подготовлен заведующим лабораторией термической обработки ОАО «РосНИТИ», кандидатом технических наук Мальцевой Анной Николаевной.

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании Научно-технического Совета ОАО «РосНИТИ» (Протокол № 4 от «08» апреля 2016 г.).

Мальцева Анна Николаевна
Заместитель начальника отдела
по материалам – Заведующий лабораторией
термической обработки, канд. техн. наук
тел (351) 734-73-78
e-mail: maltsevaan@rosniti.ru


