

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Маковецкого Александра Николаевича «Влияние термической обработки в межкритическом интервале температур на свойства низколегированных трубных сталей», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертационная работа **Маковецкого Александра Николаевича** посвящена разработке принципов термической обработки, обеспечивающей высокий уровень хладостойкости низколегированных трубных сталей за счет применения нагрева и охлаждения из межкритического интервала температур (МКИТ); а также - разработке методов расчета коэффициента теплообмена при обычном и спрейерном охлаждении труб и достигаемых скоростей охлаждения.

Актуальность темы. Наша страна является одним из основных мировых производителей нефти и газа, при этом старые месторождения находятся на завершающей стадии эксплуатации, а большинство новых расположено в труднодоступных районах с холодным климатом. В связи с этим разработка технологии производства труб повышенной хладостойкости и стойкости против коррозии, несомненно, является актуальной.

Исходя из вышесказанного, диссертационная работа Маковецкого А.Н., в которой, при использовании целого комплекса методов исследования, получены данные о механизме формирования аустенита при выдержке в МКИТ у сталей с исходной феррито-перлитной и бейнито-мартенситной структурами, а также установлены закономерности влияния закалки из МКИТ на хладостойкость (KCV^{-60}) сталей с исходной феррито-перлитной и бейнито-мартенситной структурами, вне всякого сомнения, является актуальной.

Оценка содержания 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.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, дано общее направление исследований.

В первой главе диссертант привел аналитический обзор литературы по исследуемой проблеме. Систематизированы данные о современных требованиях, предъявляемых к нефтегазопроводным трубам, способах их термической обработки. Рассмотрены теплотехнические особенности спрейерного охлаждения и приведены данные о влиянии расхода воды на величину коэффициента теплоотдачи при спрейерной

закалке труб. Показана необходимость учитывать при обработке стали из МКИ влияние величины зерна и исходной микроструктуры на ударную вязкость. Рассмотрен вопрос об оптимальной с позиции повышения ударной вязкости температуре закалки из МКИ, кинетике образования аустенита в МКИ и его распада при последующем охлаждении. В завершение главы 1 сформулирована цель работы и сформулированы конкретные задачи исследования.

Во второй главе представлены химический состав исследованных сталей и методики механических и теплофизических исследований, дилатометрии, металлографии и электронной микроскопии.

В третьей главе для оценки параметров охлаждения после горячей прокатки, нормализации и закалки в водяном спреере были проведены расчеты температурных полей в трубах. Уравнение теплопроводности для постоянных по сечению трубы начальной температуры и коэффициента теплоотдачи решали двумя способами. Для решения уравнения теплопроводности и вычисления корней характеристического уравнения были разработаны специальные программы в среде Mathcad.

В четвертой главе исследованы процессы формирования структуры аустенита предварительно закаленной стали 13ХФА и предварительно нормализованной стали 20ФА при выдержке в межкритическом интервале температур (МКИТ) и его превращению при охлаждении.

В пятой главе исследовано влияние изотермической выдержки в двухфазной области на кинетику образования аустенита при исходных феррито-перлитной и бейнито-мартенситной микроструктурах и экспериментально построены диаграммы распада аустенита стали 13ХФА.

В шестой главе изучены особенности проявления отпускной хрупкости в стали 13ХФА, закаленной из межкритического интервала температур.

В седьмой главе полученные ранее данные о кинетике образования и распада аустенита после обработки в МКИТ подтверждены исследованиями легированной стали 20ХГ2Б, применяемой для производства хладостойких обсадных труб.

В восьмой главе представлены результаты практического применения полученных в работе научных результатов.

Полученные в диссертационной работе результаты свидетельствуют о достижении поставленной цели и решении сформулированных задач, а степень их достоверности обеспечена использованием проверенных и апробированных методов испытаний материалов; применением математических способов обработки экспериментальных данных и определения погрешностей измерений, а также

использованием современных методов структурного анализа. Результаты исследований, приведенные в настоящей работе, и опубликованные в 7 статьях в журналах из перечня ВАК, хорошо согласуются с полученными ранее другими исследователями расчетными данными и экспериментальными результатами.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

1. Разработана математическая модель, удовлетворительно описывающая температурное поле трубы в спокойной воде, при спрейерном охлаждении и на воздухе, что позволяет определить и устанавливать необходимую скорость охлаждения, регулируя расход воды.
2. Установлены основные процессы, определяющие уровень ударной вязкости и прочности низкоуглеродистых, малофосфористых трубных сталей с исходной бейнитомартенситной структурой после закалки из МКИТ и отпуска, а именно: разупрочнение (отпуск) исходной структуры в результате нагрева и выдержки немного выше A_{c1} ; закалки образовавшегося аустенита и окончательного отпуска мартенсита или бейнита.
3. Объяснена причина низкого уровня ударной вязкости после закалки из МКИТ сталей, прошедших нормализацию или отжиг, которая заключается в образовании пленки высокоуглеродистого аустенита по границам исходного ферритного зерна.

Практическая значимость работы состоит:

1. В предложенном для труб с толщиной стенки 16-18 мм режиме термической обработки с закалкой от 840 °С (закалка из МКИТ) и отпуска при 710-740 °С. Всего по данному режиму обработано 72 партии труб. Разработанная технология термической обработки позволила стабильно обеспечить механические свойства, микроструктуру и коррозионную стойкость требуемые по ТУ 1317-006.1-593377520-02 (К52).
2. В разработанных рекомендациях по микролегированию стали 20ФА ниобием, позволивших уменьшить объем термической обработки за счет исключения предварительной термообработки и, тем самым, - снизить себестоимость производства труб.
3. В разработке (на основании модели охлаждения при двухсторонней закалке труб и исследованной кинетики образования и распада аустенита в стали 13ХФА) режима термоциклической обработки, позволившего в значительной мере снизить эффект структурной наследственности. Разработанный режим позволил измельчить зерно с № 6-7 до №10-9 и обеспечить требуемое повышение ударной вязкости труб $\varnothing 426 \times 32$ мм.
4. В разработанном (на основе исследований кинетики распада аустенита после выдержки в МКИТ) режиме термической обработки труб 426x11 мм из стали 20ХГ2Б. По данному режиму было обработано 179 партий труб, при этом количество партий, несоответствующих требованиям ТУ по доле вязкой составляющей и ударной вязкости

снизилось с 15 до 3,3%. Производительность термообработки труб за счет исключения необходимости охлаждения в воде и соответствующего уменьшения количества проходов с 3х до 2х увеличилась на 30 %.

Диссертация написана четким, грамотным языком, оформлена в полном соответствии с установленными требованиями. Содержание работы соответствует пункту 2 - «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях» и пункту 3 - «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов» паспорта специальности 05.16.01 - Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov i spлавov. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации, а личный вклад автора диссертационной работы не вызывает сомнений.

По диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. Вывод 5 на стр.117: «предложена простая металловедческая схема структурных превращений в ходе нормализации, последующей аустенитизации в МКИ, закалке и отпуске, объясняющая причину низкой ударной вязкости».

Схема предложена, но непонятно, каким образом она объясняет причину низкого уровня ударной вязкости?

По мнению оппонента, одним из общих недостатков работы является отсутствие электронной фрактографии. Если бы она была сделана, хотя бы выборочно, то возможно мнение диссертанта по поводу природы пониженной вязкости при закалке из нижней половины МКИТ изменилось бы. Еще О.М. Романивым было показано что при формировании сетки мартенсита, хрупкое разрушение претерпевает феррит расположенный во внутренних объемах, а не мартенсит или мартенситно-бейнитная смесь, расположенная в виде сетки.

2. Вывод 6 на стр.129: «Характер изменения твердости при повышении температуры закалки для всех предварительных обработок весьма схож. Твердость в среднем непрерывно возрастает при повышении температуры аустенитизации. При этом наибольшую твердость обеспечивает предварительная закалка от 1050 °С, вероятно вследствие растворения карбидов хрома, а пониженную - отжиг, вследствие высокого содержания феррита после закалки».

Какие могут быть карбиды хрома в низколегированной стали?

3. На рисунках 6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.1.4 в главе 6 отсутствует доверительный интервал или хотя бы экспериментальный разброс. Но если на рисунке 6.1.1 разница между значениями ударной вязкости KCV^{80} составляет от 30 до 80 Дж/см², что значительно, то различия в твердости на рис.6.1.2 не превышают 10-20 НВ, а на рисунке 6.1.3 они находятся на уровне менее 10 НВ. Значения KCV^{60} на рисунке 6.1.4 не превышают 10-20 Дж/см², только при отпуске 700 °С они достигают 50 Дж/см². Всем этим изменениям даются подробные объяснения на стр.245-255. Стоит ли «копья ломать», если нет ни доверительного интервала, не экспериментального разброса, а общий уровень ударной вязкости весьма высок!?

4. Стр. 292-293 диссертации: «в некоторых крупных кристаллах α -фазы бейнита присутствуют игольчатые выделения карбидов, ориентированные по двум кристаллографическим направлениям (рис.7.2.2 в-д)»... И далее: «выделение частиц цементита внутри кристаллов α -фазы характерно для нижнего бейнита или мартенсита, испытавшего самоотпуск в процессе охлаждения».

Могут ли в бейните выделяться карбиды нескольких кристаллографических ориентировок?

5. Стр. 286: название раздела 7.2.1 «Структура стали 20ХГ2Б после обработки: аустенитизация 900°С 0,5 ч, охлаждение в воде», а в тексте идет рассказ об охлаждении с различными скоростями от температур 830, 800 и 755 °С. Нет ли противоречия?

6. На стр. 53-54 диссертант пишет: «определение ударной вязкости проводилось», «определение твердости по Бринеллю проводилось», «измерение микротвердости проводилось»...и.т.д. Про мнению оппонента, никакие испытания сами по себе не проводятся, испытания проводят (например, их проводит диссертант), поэтому «определение твердости проводили», и т.д.

7. Нумерацию рисунков, наверное, лучше было вести по главам, тогда можно было бы избежать таких номеров, как например, рисунок 5.7.3.3.1.1.

8. Считаю, что приводить все, до единой, дилатометрические кривые (стр. 162-180 и стр.267-280), причем каждую на отдельной странице, нерационально. Это в большой степени и привело к значительному увеличению общего объема диссертации и в то же время практически ничего не добавило в информационном плане.

Наверное, можно было бы не приводить очевидные структуры, например, феррито-перлитные структуры типа рис. 5.7.3.3.1.1, а-б. Это также способствовало бы компактизации работы.

9. Ошибки на стр: 82, (неменьшей степени) 113 (не смотря на), 159 (13хфа), 208 (по истечение) 246 (из МКИ), 281, и т.д.

Высказанные замечания ни в коей мере не снижают значимости результатов и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение. Диссертация Маковецкого А.Н. «Влияние термической обработки в межкритическом интервале температур на свойства низколегированных трубных сталей», является цельной и законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны принципы и конкретные режимы термической обработки с нагревом в межкритический интервал температур, обеспечивающие высокий уровень хладостойкости низколегированных трубных сталей, а также - методы расчета коэффициента теплообмена и достигаемых скоростей охлаждения при обычном и спрейерном охлаждении труб.

По актуальности поставленных задач, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов, обоснованности выводов представленная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, **Маковецкий Александр Николаевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Зав. кафедрой «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» механико-технологического факультета
ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский
политехнический университет,
доктор технических наук, профессор

 **Симонов Юрий Николаевич**

614990, г. Пермь - ГСП, Комсомольский пр., 29;

тел. +7 (342) 2-198-021, E-mail: simonov@phph.ru

Ученый секретарь ФГБОУ ВО Пермский национальный
исследовательский политехнический университет
канд. ист. наук, доцент



 **Макаревич В.И.**