

Отзыв

официального оппонента на диссертацию и автореферат Маковецкого Александра Николаевича на тему «Влияние термической обработки в межкритическом интервале температур на свойства низколегированных трубных сталей», представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01- «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Трубные стали занимают большую долю в объеме промышленного производства России. При этом их эксплуатация возможна в различных климатических условиях как в условиях Крайнего Севера, так и в южных широтах. Это обуславливает необходимость создания в сталях таких структурных состояний, которые обладая высокой прочностью обеспечивали повышенную вязкость материала при температурах до -60°C . Решение такой проблемы является актуальной задачей и поэтому тема диссертационной работы А.Н.Маковецкого, направленная на анализ процессов формирования структуры и свойств низколегированных трубных сталей, обработанных в межкритическом интервале температур, является весьма своевременной и целесообразной.

Диссертация состоит из введения, 8 глав, общих выводов по работе, библиографического списка из 112 наименований, изложена на 353 страницах, содержит 188 рисунков, 27 таблиц и приложения.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель, научная и практическая значимость, приводятся положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** автором выполнен аналитический обзор литературных источников по исследуемой проблеме, в котором критически проанализированы: основные результаты исследований ведущих российских и зарубежных ученых в области экспериментальных и теоретических исследований процессов термической обработки трубных сталей, влияния различных факторов на ударную вязкость. Поставлены цель работы и сформулированы задачи исследований.

Во **второй главе** представлены марки исследованных сталей и их химический состав, а также описаны методики исследования структуры и свойств сталей, которые использованы в данной работе. Выбор методов исследования оппоненту кажется обоснованным и правильным.

Третья глава диссертации посвящена расчету температурных полей в трубах после различных режимов обработки. Для решения уравнения теплопроводности разработаны специальные программы в среде Mathcad, которые позволили рассчитать кривые охлаждения для всех видов термообработки: нормализации, закалки в спреере, закалки в водяном баке с двухсторонним охлаждением, а также определить предельно достижимые скорости охлаждения при $V_i \rightarrow \infty$. На основании выполненных расчетов диссертант делает вывод о невозможности подавить выделение феррита и перлита при закалке с односторонним охлаждением труб при толщине стенки более 14 мм для стали 20ФА, в то время как в стали 13ХФА подавить выделение перлита возможно, но нельзя осуществить закалку на мартенсит.

В четвертой главе рассмотрено образование аустенита при выдержке в МКИ и его превращение при охлаждении. Рассмотрено влияние величины зерна перед закалкой из МКИ на развитие рекристаллизации фазонаклепанного восстановленного аустенита. Для стали 20ФА изучено влияние дисперсности феррито-перлитной структуры, температуры и длительности выдержки в МКИ, а также высокого отпуска на ударную вязкость KCV -50 и долю вязкой составляющей в изломе ударных образцов.

Установлено, что если предварительной обработкой является отжиг или нормализация, то закалка от температур, немного превышающих A_{c1} , приводит к сильному охрупчиванию, обусловленному образованием пленки высокоуглеродистого аустенита по границам ферритных зерен, в то время как если предварительная обработка – закалка из аустенитной области, то аналогичная обработка обуславливает высокие значения ударной вязкости.

Пятая глава рассматривает кинетику образования аустенита при исходных феррито-перлитной и бейнито-мартенситной структурах для стали 13ХФА. Построены кинетические кривые, с помощью которых можно рассчитать полноту превращения при нагреве до заданной температуры. Методом дилатометрии построены термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита после выдержки при 830, 800 или 760°C и охлаждения со скоростями от 5 до 70 град/сек. Рассмотрены механизмы образования аустенита при выдержке в двухфазной области в зависимости от температуры выдержки и показана возможность различных механизмов превращения – от механизма восстановления до механизма неупорядоченного роста.

В шестой главе анализируются особенности проявления отпускной хрупкости в стали 13ХФА, закаленной из МКИ и отпущенной, которые после высокого отпуска (580-700°C) автор предположительно связывает с выделением дисперсных карбидов VC. При отпуске при 520°C, который наиболее сильно охрупчивает сталь, повторный отпуск приводит к возрастанию ударной вязкости. Предложенное автором объяснение такого

эффекта изменением равновесной концентрации углерода в феррите оппоненту кажется спорным и нуждается в обсуждении в ходе защиты.

Седьмая глава рассматривает полученные ранее закономерности применительно к стали 20ХГ2Б. Наблюдаемые особенности диссертант объясняет влиянием марганца, который замедляет распад по первой ступени и, тем самым, способствует формированию бейнитных и бейнито-мартенситных структур.

В восьмой главе представлены результаты практического применения результатов работы. Так, автором разработаны практические рекомендации по микролегированию стали 20ФА, режимы термоциклической обработки стали 13ХФА и термической обработки стали 20ХГ2Б, что позволило получить требуемые характеристики продукции и уменьшить затраты на ее производство.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации основана на применении взаимодополняющих современных методов исследований структуры, измерения механических и физических свойств. Приведенные в работе результаты исследований, полученные с использованием различных методик, достаточно хорошо согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям и результатам. Полученные экспериментальные данные о структуре и физико-механических свойствах сплавов обсуждены на основе общепринятых положений современного физического материаловедения. Проведение исследований с использованием различных методов и хорошая сходимость данных свидетельствуют о достоверности и надежности результатов, положений и выводов диссертации.

Значимость работы для науки и практики. Проведенное исследование структуры, фазовых превращений и физико-механических свойств низколегированных трубных сталей позволило получить ряд важных новых результатов и может служить научным фундаментом для совершенствования режимов обработки трубных сталей используемых в нефте-газовой промышленности.

Диссертация Маковецкого А.Н. обладает **научной новизной**. Так, по мнению оппонента, наиболее новыми интересными результатами является установление смены механизма образования аустенита, в сталях с исходно ориентированной структурой, в двухфазной области с упорядоченного на неупорядоченный при повышении температуры обработки. Значимыми также являются расчеты температурных полей трубы при различных скоростях охлаждения. Заслуживает интерес и предложенная схема, объясняющая низкую ударную вязкость сталей после закалки из МКИ, прошедших нормализацию или отжиг, образованием пленки высокоуглеродистого аустенита по границам исходного ферритного зерна.

Практическая значимость работы заключается в разработке методов обработки сталей в МКИ, которые обеспечивают высокую ударную вязкость труб. Так, в частности, разработана технология термической обработки бесшовных труб из стали 13ХФА с толщиной стенки 16...18 мм, позволяющая обеспечить высокий уровень хладостойкости и коррозионной стойкости; даны рекомендации по микролегированию стали 20ФА ниобием для уменьшения продолжительности цикла термической обработки и т.п.

Несмотря на общее положительное мнение о работе у оппонента имеется ряд замечаний и вопросов.

1. Диссертант утверждает, что повышенный углерод может выделяться на карбидах цементита, которые образуются при отпуске. Непонятно какие процессы должны способствовать такому явлению, так как в этом случае видимо образуется диффузионный поток атомов углерода в сторону обратную градиенту концентраций. Причины, которые вызовут восходящую диффузию, оппоненту не очевидны.
2. Автор предполагает эволюцию частиц цементита в карбид типа M_7C_3 в стали 13ХФА (стр.134). При этом в стали возможно выделение карбида ванадия, который более предпочтителен, чем карбид хрома. Для сделанного в работе такого вывода нужны веские аргументы, которых в тексте диссертации недостаточно.
3. Непонятно утверждение автора о том, что «...темный цвет участков (микроструктуры после отпуска) свидетельствует о том, что это неупорядоченный аустенит» (стр. 86). Чем обусловлено такое утверждение?
4. Объем диссертации слишком большой для кандидатской диссертации. Диссертация сильно перегружена иллюстративным материалом, который не всегда обработан. Расшифровка электронограмм дана не во всех случаях из представленных многочисленных рисунков, что определенно затруднило анализ некоторых из полученных результатов оппоненту.
5. Наряду с единицами измерения в международной системе в диссертации часто встречаются значения прочности и ударной вязкости в несистемных единицах ($кгс/мм^2$; $кгсм/см^2$), что затрудняет сравнение полученных результатов.

Однако, сделанные замечания не изменяют общей безусловно положительной оценки результатов диссертационной работы и не снижают ее научной и практической ценности. Диссертация Маковецкого А.Н. представляет собой законченное исследование, которое характеризуется обоснованностью вынесенных на защиту научных положений, а также выводов и предложений по практическому использованию. Представленная

работа соответствует паспорту специальности 05.16.01- металлосведение и термическая обработка металлов и сплавов.

Таким образом, диссертация Маковецкого А.Н. является законченной научно-квалификационной работой, отвечающей критериям Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата технических наук и содержащей научно обоснованные технические и технологические решения по важной народно-хозяйственной задаче повышения качества труб для нефтегазовой отрасли. Диссертация 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 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Автореферат и опубликованные статьи полностью отражают содержание диссертации.

Официальный оппонент,

Заведующий кафедрой Термообработки
и физики металлов Уральского федерального
университета, профессор, доктор техн. наук

А.А.Попов

Попов Артемий Александрович
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
Уральский федеральный университет.
Тел.: 343-3745964
E-mail: a.a.popov@urfu.ru

Подпись
заверяю

