

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Мусихина Сергея Александровича «Влияние химической неоднородности среднеуглеродистых низколегированных сталей на формирование структуры и комплекса свойств при термическом воздействии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность диссертации. Изучение закономерностей фазовых и структурных превращений в сталях и сплавах, при различных вариантах их реализации и выявления особенностей, связанных с химическим составом и режимами термической обработки является актуальной проблемой современного металловедения и представляет научный и практический интерес.

В работе Мусихина С. А. подробно изучено влияние исходного состояния металла при наличии в нем структурной неоднородности, обусловленной гетерогенной структурой, на формирование структуры и свойств низколегированных сталей при термическом воздействии. Особое внимание в диссертационной работе уделено рассмотрению неоднородности, формирующейся в процессе внутреннего окисления в локальных областях металла и ее влияние на кинетику $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Проведено физическое моделирование эволюции дефекта в процессе горячей пластической деформации.

Необходимо отметить, что в работе использованы самые разнообразные современные методы исследования. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 149 страницах, включая 107 рисунков, 8 таблиц. Библиографический список содержит 98 источников.

Во введении обсуждаются общие вопросы по теме диссертационной работы, обосновывается ее актуальность, цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, а также достоверность и апробация результатов работы.

В первой главе представлен обзор литературы. Мусихин С.А. подробно описывает и анализирует работы по влиянию термической обработки из межкритического интервала температур на свойства конструкционных низколегированных и легированных сталей. При этом автор диссертации отмечает недостаток данных по изучению кинетики

распада переохлажденного аустенита в межкритическом интервале температур для высокопрочных трубных сталей. Проанализированы данные ряда исследователей на особенности формирования структурной неоднородности в процессе внутреннего окисления локальных областей металла. В конце главы сформулированы основные цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе описаны материалы исследования, схема термической обработки для стали 26Х1МФА, а также подробно изложены применяемые в работе методы исследования.

Третья глава посвящена исследованию структурных и фазовых превращений в стали 26Х1МФА при нагреве в межкритический интервал температур (МКИ). Показано влияние температуры нагрева в МКИ на кинетику распада переохлажденного аустенита. Установлено, что увеличение продолжительности выдержки в МКИ приводит к растворению карбидной фазы и обогащению вновь образовавшегося аустенита углеродом. Изучены фазовые и структурные превращения протекающие при отпуске стали 26Х1МФА в интервале температур от 450 до 630°С при продолжительности выдержки от 30 до 240 мин. Показано что увеличение продолжительности отпуска после двойной закалки влияет на размер и морфологию карбидной фазы. На основании полученных экспериментальных данных определены два перспективных режима термообработки для стали 26Х1МФА, позволяющие получить значение механических свойств, соответствующих группе прочности М (ГОСТ 632-80) и группе прочности Т. При этом относительное удлинение выше значения установленного ГОСТом примерно в два раза, а ударная вязкость в 4,5 раза. Проведенное методом EBSD кристаллографическое исследование структуры показало, что она является устойчивой после нагрева в МКИ и высокого отпуска.

В четвертой главе содержится экспериментальные данные по изучению структурной неоднородности по сечению стенки трубы из стали 32Г2Ф. Установлено, что содержание углерода и марганца значительно изменяется по сечению трубы. Показано что вследствие зональной ликвации легирующих элементов и примесей наблюдается аномальное изменение прочностных свойств по сечению стенки трубы.

В пятой главе рассмотрено существование зон внутреннего окисления (области дисперсных окисных включений в металле) обусловленных повышенной концентрацией неметаллических включений сталеплавильного и прокатного происхождения. Установлено что скопление неметаллических включений уменьшают устойчивость переохлажденного аустенита в стали 50ХГФА по первой ступени. Проведение физического моделирования

позволило автору получить интересные и важные результаты и показать, что горячая пластическая деформация приводит к неравномерному увеличению зоны внутреннего окисления в направлении действия растягивающих напряжений.

Новые научные результаты и положения, выносимые на защиту.

В работе Мусихина С. А. получен ряд новых и важных научных результатов. К наиболее существенным можно отнести:

- Исследована кинетика распада переохлажденного аустенита в стали 26Х1МФА в зависимости от температуры нагрева и продолжительности выдержки в МКИ. На основании полученных экспериментальных данных предложены и научно обоснованы режимы термической обработки стали 26Х1МФА из межкритического интервала температур с целью повышения ударной вязкости при сохранении прочностных характеристик, соответствующих ГОСТу.
- Установлена взаимосвязь между наличием структурной неоднородности, обусловленной зональной ликвацией с аномальным изменением прочностных свойств по сечению стенки трубы нефтегазового сортамента.
- Впервые установлено, что планарные скопления неметаллических включений уменьшают устойчивость переохлажденного аустенита в области диффузионного превращения в стали 50ХГФА.

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждается большим объемом экспериментальных данных с использованием современных методов исследования, включающих просвечивающую и растровую электронную микроскопию, дюрOMETрический анализ и механические испытания. Полученные результаты согласуются с известными экспериментальными данными других исследователей.

Практическая значимость. Полученные в диссертационной работе экспериментальные результаты о кинетике распада переохлажденного аустенита в МКИ в стали 26Х1МФА позволили разработать режимы термической обработки, обеспечивающие в исследуемой стали большой запас по относительному удлинению и ударной вязкости.

Особый интерес для практики представляет методика определения устойчивости переохлажденного аустенита в локальных объемах, содержащих дефекты типа внутреннего окисления.

Замечания по работе.

1. В третьей главе диссертации (стр.48) указано, что температура начала мартенситного превращения в стали 26Х1МФА снижается на 40 градусов при повышении температуры нагрева с 880 до 930 °С. Автор

объясняет это явление растворением карбидов ванадия, которое приводит к обогащению аустенита углеродом и ванадием. Простые расчеты показывают, что 0,08% ванадия может связать: $0,08 \times \frac{12,011}{50,942} = 0,019\%$ углерода (12,011 и 50,942 атомные массы углерода и ванадия). Известно, что удаление 0,1 %С повышает M_s на 42 °С. Следовательно, при полном растворении карбидов ванадия при 930 °С снижение M_s должно составить 8 °С, то есть при полном растворении карбидов ванадия мартенситная точка может снизиться на 7–8 градусов, но не на 40 °С. Рост зерна также повышает M_s , поэтому объяснение снижения M_s , предложенное автором нельзя считать однозначным.

2. Не ясно, почему аустенит в стали 26Х1МФА, образующийся в нижней части МКИ (780 °С), обогащен углеродом за счет малой объемной доли, а не вследствие термодинамического равновесия или диаграммы Fe – С.

3. В структуре стали 26Х1МФА приведенном на рисунке 3.9 (изображение получено в сканирующем электронном микроскопе) доля карбидной фазы составляет почти половину, в то же время на рисунке 3.11 видно, что число карбидных частиц в стали после закалки от 810 °С значительно меньше.

4. В тексте диссертации (стр.60-62) отмечается, что к резкому снижению прочности приводит распад мартенсита на феррито-карбидную смесь. Эта фраза не совсем точная так как необходимо учитывать такое важное явление, как аннигиляция дислокаций в реальных кристаллах, что безусловно отражается на прочности (понижение) и на ударной вязкости (повышение). Возможно, снижение плотности дислокации при нагреве на 780 °С у основной части феррита – есть главная причина повышения ударной вязкости у смешанной структуры.

5. Автор считает, что к устранению отпускной хрупкости может приводить переход фосфора в сохранившуюся при 780 °С ферритную составляющую. Однако содержание фосфора в стали очень низкое (0,009 масс. %), поэтому ожидать эффекта охрупчивания при отпуске вряд ли возможно.

В целом диссертация Мусихина С. А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу по исследованию влияния химической неоднородности на устойчивость переохлажденного аустенита и формированию структуры и свойств в среднеуглеродистых низколегированных сталях. Полученные результаты могут быть использованы для рекомендаций по корректировке технологии производства нефтегазовых труб.

Учитывая научную и практическую ценность рассматриваемой диссертационной работы считаю, что она соответствует критериям которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленными пунктом 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации, а ее автор Мусихин Сергей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент
доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Ирина Леонидовна Яковлева

Главный научный сотрудник
лаб. физического металловедения
ФГБУН Института физики металлов
им. М. Н. Михеева УрО РАН

e-mail: labmet@imp.uran.ru
620990, г. Екатеринбург,
ул. С. Ковалевской, 18

01.12.2015г



Подпись	<i>Яковлева</i>
заверяю	
Руководитель общего отдела	
<i>Лямина</i>	Н.Ф.Лямина
"01" 12	2015г.