

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Морозовой Анны Николаевны «Исследование параметров вязкости сталей типа 06Г2Б с ультрадисперсной феррито-бейнитно/мартенситной структурой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

### **Актуальность диссертационной работы.**

Актуальность работ по исследованию высокопрочных трубных сталей обусловлена значительными перспективами применения труб большого диаметра, особенно при строительстве газопроводов, рассчитанных на повышенные давления, в этом случае становится целесообразным применение сталей повышенной прочности. Создание сталей и труб класса прочности К65 (Х80) позволяет снизить металлоемкость газопроводов по сравнению с газопроводами из труб класса прочности Х70 (К60) и благодаря этому улучшить многие технико-экономические показатели их строительства и эксплуатации. В рассматриваемой работе изучались конструкционные стали типа 06Г2Б, относящиеся к классу прочности К65, и особое внимание было уделено изучению структурных, энергетических и фрактографических параметров разрушения, ответственных за высоковязкое состояние после высокотемпературной термомеханической прокатки в аустенитном состоянии и ускоренного охлаждения. Установление баланса в достижении сочетаний механических свойств в системе " прочность- вязкость - хладостойкость" является достаточно непростой задачей, поэтому постановка данного исследования актуальна, и его результаты имеют важную научную и практическую значимость.

Актуальность темы диссертационной работы подтверждается также ее соответствием тематике выполненных проектов, реализованных в рамках программ Минобрнауки РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 159 страницах, включая 79 рисунков, 6 таблиц. Библиографический список содержит 103 источника.

**Во введении** обсуждаются общие вопросы по теме диссертационной работы, обосновывается ее актуальность, степень разработанности, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы диссертационного исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

**В первой главе** представлен аналитический обзор литературы по исследуемому вопросу. Описаны особенности микроструктуры сталей класса прочности К65 (Х80). Рассмотрены основные механические свойства и

технологии производства высокопрочных низкоуглеродистых микролегированных сталей, проблемы обеспечения сопротивления протяженному вязкому разрушению современных высоковязких сталей. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во **второй главе** описаны материалы исследования, схема вырезки образцов стали 06Г2Б, а также подробно изложены применяемые в работе методы исследования.

В **третьей главе** исследованы деформационные параметры вязкости, проведена оценка макро- и микропластической деформации образцов Шарпи исследованных сталей.

Исходя из литературных и собственных экспериментальных данных (распределения микротвердости по траектории распространения магистральной трещины вблизи поверхности разрушения, ширины области пластической деформации магистральной трещины, ее профиля) заключено, что образование зон вязкого разрушения однородной  $L_C$  и волокнистой  $L_B$  происходит соответственно в растянутой и сжатой частях пластически изгибаемого образца. Положение нейтральной линии (плоскости), разделяющей эти зоны – протяженность зоны  $L_C$  является фрактографическим параметром вязкости.

В области долома  $L_D$  недоразрушенных образцов Шарпи обнаружено формирование пластического шарнира, окаймленного двумя очаговыми трещинами, распространяющиеся навстречу магистральной трещине.

В **четвертой главе** описаны энергосиловые параметры вязкости, приведены данные исследования ударной вязкости образцов, разрушенных при различных температурах с записью кривых «усилие  $F$  – прогиб образцов  $S$ » и «энергоемкость  $KV$  – прогиб  $S$ ».

Установлено, что возникновение протяженной уникальной зоны однородного вязкого разрушения  $L_C$ , обеспечивает наибольший уровень энергозатрат при разрушении.

Показано, что волокнистая макровязкая зона  $L_B$ , в которой предполагается наличие хрупкой компоненты разрушения, контролирует уровень вязкости ( $KCV$ ) образцов и его падение при понижении температуры испытаний. Площадь ( $W_B$ ) под линейно ниспадающим участком на диаграмме  $F = f(S)$ , интегрально отражающая ее протяженность и угол наклона к оси абсцисс, коррелирует с величиной  $KCV$  образца, что положено в основу способа определения вязкости стали по параметру  $W_B$ , защищенного патентом РФ № 2570237. Протяженность зоны  $L_B$  и параметр  $K_B$  являются ключевыми параметрами вязкости.

В **пятой главе** рассмотрены структурно-фрактографические параметры, ответственные за высокую вязкость исследованных сталей.

С помощью EBSD-анализа установлено, что в структуре сталей имеется два типа границ – малоугловые (с углами разориентировки  $\Theta = 2...15^\circ$ ), принадлежащие зернам феррита и бейнита/мартенсита и

большеугловые ( $\Theta > 50^\circ$ ), разделяющие слои (полосы), которые унаследованы от безрекристаллизационной горячей прокатки аустенита.

Обосновано, что массовое образование расщеплений в образцах Шарпи в районе климатических температур ( $T_{исп} \geq -40^\circ\text{C}$ ) нежелательно, так как является началом слоистого разрушения сталей, способного привести к потере несущей способности конструкций.

Фрактографические характеристики (размер зон вязкого разрушения: однородной  $L_C$  и волокнистой  $L_B$  на поверхности изломов, температура возникновения расщеплений, их количество и размер) является параметрами трещиностойкости и, в определенном смысле, вязкости стали, хотя расщеплений оказывают сравнительно слабое влияние на величину KCV.

**В заключении** диссертации излагаются итоги выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

### **Научная новизна и теоретическая ценность работы:**

В качестве наиболее важных новых научных результатов работы, с моей точки зрения, можно указать следующие:

- впервые с привлечением фрактографического анализа выявлена связь отдельных участков диаграмм ударного нагружения с зонами на поверхности излома образцов Шарпи;

- показано, что в слоевой структуре горячекатаного листа ферритные зерна имеют малоугловые границы ( $9...11^\circ$ ), то есть внутри слоев формируется полигонизированная структура, обладающая высокой конструктивной прочностью;

- установлено, что при всех температурах испытаний наибольший вклад (до 60 %) в энергоемкость разрушения исследованных сталей вносит зона однородного вязкого излома;

- выявлены структурные параметры, ответственные за высокую вязкость исследованных сталей.

### **Практическая значимость работы:**

- предложен способ оценки вязкости для металлических материалов при испытаниях на ударный изгиб с записью диаграмм нагружения (патент № 2570237). Предлагаемый способ может быть использован его для аттестации вязкости любых металлических материалов при наличии инструментальной записи кривой разрушения;

- сформулированы практические рекомендации по фрактографическим методам оценки трещиностойкости;

- результаты работы использованы при разработке учебных пособий по инструментальным испытаниям на ударный изгиб и измерениям микротвердости металлических материалов для студентов высших учебных

заведений, обучающихся по направлениям «Металлургия» и «Материаловедение и технологии материалов»;

– результаты исследования используются в курсе лекции по дисциплине «Прочность сплавов» на кафедре Термообработки и физики металлов Института Материаловедения и металлургии УрФУ.

**Степень достоверности результатов диссертации** определяется применением современной экспериментальной техники и измерительных приборов, комплекса современных методов исследования, а также воспроизводимостью и непротиворечивостью результатов полученных различными методами.

### **Замечания по работе**

1. На рисунке 4.5 (стр. 90 диссертации) представлены диаграммы разрушения "усилие  $F$ - прогиб  $S$ " и "энергоемкость  $KV$ -прогиб  $S$ " исследованных сталей, а по верхней оси абсцисс указана протяженность зон  $L_C$ ,  $L_D$ ,  $L_B$  на поверхности разрушения. Как это удалось найти, если  $S$  – прогиб образца и  $L$  – протяженность зон совершенно различные, напрямую не связанные параметры.

2. Отмечено, что расщепления и расслоения имеют одинаковую природу, но в тоже время неясно, почему расщепления являются очаговыми трещинами, а расслоение – магистральной трещиной.

3. Какие имеются экспериментальные доказательства, что деформация в ходе пластического изгиба образца в зоне  $L_B$  протекает по ротационно-трансляционному механизму с образованием большеугловых границ деформационного происхождения?

В целом диссертация Морозовой А.Н. представляет собой законченную научно-квалификационную работу по исследованию параметров вязкости сталей типа 06Г2Б с ультрадисперсной феррито-бейнитно/мартенситной структурой. Результаты работы целесообразно использовать для оценки механических свойств трубных сталей.

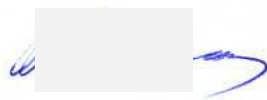
### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Указанные выше замечания не снижают научной и практической ценности результатов представленной Морозовой А.Н. диссертации и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку выполненной диссертационной работы.

Диссертация написана доступным языком и аккуратно оформлена. Автореферат диссертации и публикации автора (из них пять по списку ВАК) соответствуют содержанию диссертации и достаточно полно ее отражают.

В целом, диссертационная работа Морозовой Анны Николаевны по своему теоретическому, методическому и экспериментальному уровню, объему работы, актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленными пунктом 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (в ред. Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор Морозова Анна Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 –«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент



Калетин Андрей Юрьевич

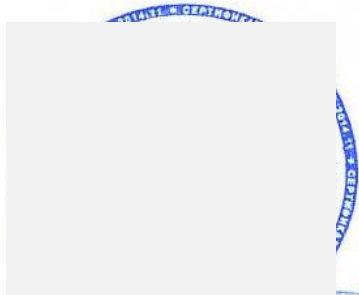
кандидат технических наук  
старший научный сотрудник  
лаборатории прецизионных сплавов  
и интерметаллидов  
ФГБУН Института физики металлов  
имени М.Н.Михеева УрО РАН

E-mail: akalet@imp.uran.ru

Тел. (343) 378-37-11

620990, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

«29» ноября 2016 г.



Подпись *Калетина*  
зарегистрирована  
Руч. *[Redacted]* общего отдела  
Н.Ф.Лямина  
29 11 2016 г.