

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора,  
кандидат технических наук

С.В. Буров

« 10 » *20.08.2016* 2016 г.

## ОТЗЫВ

### ведущей организации

на диссертационную работу Морозовой Анны Николаевны  
«ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗКОСТИ СТАЛЕЙ ТИПА 06Г2Б С  
УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ ФЕРРИТО-БЕЙНИТНО/МАРТЕНСИТНОЙ СТРУКТУРОЙ»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.16.01 - Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallorv i splavov.

Диссертационная работа Морозовой Анны Николаевны посвящена исследованию параметров вязкости современных низкоуглеродистых сталей, отличающихся высоким металлургическим качеством. Современная технология производства данного класса сталей позволяет получить высокий комплекс механических свойств, что гарантирует их эксплуатационную надежность. При этом важным аспектом практического использования перспективных сталей типа 06Г2Б является изыскание научно обоснованных критериев и способов оценки сопротивления разрушению при натуральных и лабораторных испытаниях применительно к высоковязким материалам.

**Актуальность темы.** Выявление физической природы вязкости современных конструкционных сталей требует проведения всестороннего исследования ее разнообразных параметров: деформационных, энергосиловых и структурно-фрактографических. Высокочистые по вредным примесям и неметаллическим включениям стали типа 06Г2Б являются весьма удобным объектом для изучения природы вязкости, так как разрушаются исключительно по телу зерна, а переход в хрупкое состояние происходит в области крайне низких климатических температур ( $\leq -80$  °С). Диссертационная работа выполнена в соответствии с основными направлениями научной деятельности кафедры «Термообработка и физика металлов» ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в рамках проектной части гос. задания МОиН РФ № 11.1465.2014/К.

### Оценка содержания диссертации.

Диссертационная работа Морозовой А.Н. изложена на 159 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, включает 79 рисунков, 6 таблиц и 103 наименования цитируемой литературы. Результаты диссертационной работы представлены в научной

печати в виде 5 статей в реферируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, доложены на 5 международных научных конференциях, получен 1 патент РФ.

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, дано общее направление исследований.

**В первой главе** представлен аналитический обзор литературы по исследуемому вопросу. Описаны особенности микроструктуры и представлены основные механические свойства и технологии производства высокопрочных низкоуглеродистых микролегированных сталей, рассмотрены проблемы обеспечения сопротивления разрушению современных высоковязких сталей. Сформулированы цель и задачи исследования.

**Во второй главе** описаны материалы и методы исследования структуры и механических свойств сталей типа 06Г2Б, приведены их химический состав и технология получения листовых заготовок изученных сталей с ультрадисперсной гетерофазной структурой, включающая безрекристаллизационную контролируемую прокатку в аустенитной области и ускоренное охлаждение.

**В третьей главе** проведена оценка макро- и микропластической деформации исследованных образцов Шарпи и определен характер распределения степени деформации по высоте образца. Установлено, что с понижением  $T_{исп} < -20$  °С согласовано снижаются все характеристики макро- и микропластической деформации ударных образцов сталей типа 06Г2Б: степень пластической деформации в утяжке, площади губ среза и области пластической деформации магистральной трещины.

**В четвертой главе** представлены данные по ударной вязкости образцов исследованных сталей, разрушенных при различных температурах с записью кривых «усилие – прогиб» и «энергоемкость – прогиб». Приведены температурные зависимости ударной вязкости сталей и ее составляющих, а также схема энергоемкости разрушения в зонах излома при различных температурах испытания. Проведены подробный анализ диаграмм удара во взаимосвязи со строением излома и его отдельных участков, промер профиля и микротвердости изломов с целью выявления наиболее деформированных участков.

**В пятой главе** рассмотрены структурные параметры, ответственные за высокую вязкость исследованных сталей. Методами структурного анализа установлено, что изученные стали имеют ультрадисперсную феррито-бейнитную (мартенситную) структуру, в которой доля сдвиговых продуктов распада переохлажденного аустенита составляет 15-30 %. Установлено, что важным фактором, обуславливающим экстремально высокую

вязкость изученных сталей, является формирование внутри полос (слоев) полигонизованной структуры. Изучен процесс образования особых очаговых трещины (расщеплений) и определен их вклад в формирование характеристик ударной вязкости сталей типа 06Г2Б при различных температурах испытания.

**Научная новизна** полученных в работе результатов заключается следующем:

1. Впервые с привлечением фрактографического анализа выявлена связь отдельных участков диаграмм ударного нагружения с зонами на поверхности излома образцов Шарпи;

2. Показано, что в слоевой структуре горячекатаного листа ферритные зерна имеют малоугловые границы ( $9...11^\circ$ ), а внутри слоев формируется полигонизованная структура, обеспечивающая высокую конструкционную прочность материала;

3. Выявлены структурные параметры, ответственные за высокую вязкость исследованных сталей. Установлено, что при всех температурах испытаний наибольший вклад (до 60 %) в энергоемкость разрушения исследованных сталей вносит зона однородного вязкого излома;

4. Изучен механизм возникновения особых очаговых трещин – расщеплений, включающий образование пор и тонких трещин, их многократное объединение, приводящее к возникновению зародышей расщеплений сборно-ступенчатой морфологии, а также их последующий рост по границам слоев.

**Степень обоснованности научных положений, результатов, выводов** обеспечивается воспроизводимостью результатов опытов, согласованием их с известными литературными данными, применением комплекса современных методов исследования и использованием современных приборов анализа фазового состава, структуры и свойств.

Выводы соответствуют цели и задачам диссертации.

**Практическая значимость полученных результатов.**

1. Предложен новый способ оценки вязкости для металлических материалов при испытаниях на ударный изгиб с записью диаграмм нагружения (патент № 2570237). Данный способ может быть использован для аттестации вязкости любых металлических материалов при наличии инструментальной записи процесса ударного нагружения;

2. Сформулированы практические рекомендации по фрактографическим методам оценки трещиностойкости;

3. Результаты работы использованы при разработке учебных пособий для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям «Металлургия» и «Материаловедение и технологии материалов», а также в курсе лекции по дисциплине «Прочность сплавов» на кафедре «Термообработка и физика металлов» Института Материаловедения и металлургии УрФУ.

### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В работе слабо представлены современные методы ударных испытаний сталей и сплавов. Не описана методика разделения общей энергии разрушения на составляющие при инструментированных испытаниях на ударный изгиб;

2. Раздел литературного обзора 1.2 «Виды разрушения металлов» носят скорее монографический характер. При этом в обзоре не рассматриваются важные для понимания задачи исследования вопросы образования расщеплений и их влияние на ударную вязкость сталей;

3. В диссертации ошибочно смешиваются понятия «трещиностойкости (вязкости разрушения)» и «ударной вязкости» сталей, которые объединяются слишком общим термином «вязкость»;

4. Выносимое на защиту положение «инструментальная оценка ударной вязкости» (стр. 6 автореферата) следовало бы конкретизировать, так как эта методика уже давно используется в металловедческих исследованиях;

5. Некоторые приведенные в тексте таблицы (4.1– 4.3) плохо воспринимаются, так они слишком перегружены экспериментальными данными.

Сделанные замечания не снижают ценности диссертационной работы Морозовой А.Н., которая является вполне актуальной, имеет научную новизну, а также практическую и теоретическую значимость. Автореферат и публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

### **Заключение.**

Диссертационная работа Морозовой А.Н. является завершенной научно-исследовательской работой, в которой на основании выполненных диссертантом исследований и их интерпретации получены новые результаты, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области исследования вязкости низкоуглеродистых легированных сталей. Работа выполнена на достаточно высоком научном и методическом уровне. Выводы и результаты научно обоснованы и экспериментально подтверждены.

Тематика выполненных диссертантом исследований соответствует формуле специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, в частности, п.3 теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, механические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов; п.5 теоретические и экспериментальные исследования влияния фазового состава и

структурного состояния на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий, паспорта специальности.

Диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор - Морозова Анна Николаевна заслуживает присуждения ей искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа, автореферат и отзыв обсуждены и одобрены на научном семинаре Отдела физических проблем машиностроения ИМАШ УрО РАН (лаборатории: конструкционного материаловедения, деформирования и разрушения, микромеханики материалов, технической диагностики), протокол № 180 от 10 ноября 2016 г.

Председатель научного семинара,  
руководитель Отдела физических проблем машиностроения,  
академик РАН, главный научный сотрудник,  
доктор технических наук, профессор  
Тел.: (343) 375-47-25  
E-mail: [ges@imach.uran.ru](mailto:ges@imach.uran.ru)



Горкунов Эдуард Степанович

Ведущий научный сотрудник лаборатории  
микромеханики материалов,  
доктор технических наук, доцент  
Тел.: (343) 375-35-91  
E-mail: [nat@imach.uran.ru](mailto:nat@imach.uran.ru)



Пугачева Наталия Борисовна

Секретарь семинара,  
научный сотрудник,  
кандидат технических наук  
Тел.: (343) 375-35-96  
E-mail: [marina@imach.uran.ru](mailto:marina@imach.uran.ru)



Мясникова Марина Валерьевна

620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук; тел.: +7 (343) 374-47-25; e-mail: [ges@imach.uran.ru](mailto:ges@imach.uran.ru)

10 ноября 2016 г.