

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе ФГБОУ ВО  
«Новосибирский государственный  
технический университет»  
доктор технических наук, доцент  
Брованов Сергей Викторович

кабря 2022 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Шайманова Григория Сергеевича на тему «Исследование влияния деформационно-термической обработки на структуру, механические свойства и особенности изломов углеродистых и низколегированных конструкционных сталей» по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов на соискание ученой степени кандидата технических наук.

### **Актуальность темы выполненного исследования.**

Разрушение элементов металлоконструкций и деталей машин – крайне нежелательное явление. Среди распространенных видов разрушения вязкое разрушение оказывается наиболее сложным с точки зрения анализа его протекания и связи с микроструктурой конструкционных сталей. По этой причине актуальность диссертационной работы Шайманова Г. С., посвященной количественному исследованию параметров вязких изломов и выявлению основных, в наибольшей степени влияющих на показатели надежности конструкционных сталей в различном структурном состоянии, не вызывает сомнений.

### **Общая характеристика содержания работы.**

Диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ, состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературных источников из 166 наименований. Работа изложена на 182 страницах машинописного текста, включает 96 рисунков, 12 таблиц и 1 приложение. Приводимые автором факты и цитаты имеют корректные ссылки на первоисточники. Название, форма, содержание диссертационной работы и положения выносимые на защиту соответствуют специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и полученные в ней результаты.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость результатов исследования, количество и виды публикаций, структура и объем работы.

**В первой главе** проведен анализ актуального состояния методов и подходов к созданию ультрамелкой структуры в конструкционных материалах,

рассмотрены перспективные методы изучения параметров изломов – поверхности разрушения и пластически деформированных зон под этой поверхностью. Определен ряд проблем, требующих решения.

**Во второй главе** приведено описание материалов, традиционных и авторских методик исследования.

**В третьей главе** проведена паспортизация исследуемых конструкционных сталей, подвергнутых термической и деформационно-термической обработке. На исследуемых трубных сталях, обработанных по различным режимам термической деформационно-термической обработки, проведена апробация методики определения динамической трещиностойкости, разработанной для закаленных и отпущенных листовых конструкционных сталей. По результатам апробации построены диаграммы динамической трещиностойкости и определены ее основные параметры:  $K_{CT}^*$ ,  $\lambda^*$ ,  $R$ . Совместный анализ полученных в третьей главе результатов показывает, что отжиг холоднодеформированных сталей 09Г2С, 25 и 35Х при температуре 600 °С устраняет все несовершенства структуры, образованные вследствие недостаточной прокаливаемости, и формирует в них однородную ультрамелкозернистую микроструктуру с размером зерен/субзерен 0,7 мкм, 0,9 мкм и 0,55 мкм, что, в свою очередь, позволяет достигнуть комплекса механических свойств с характеристиками надежности на уровне высокоотпущенного состояния, при повышенных характеристиках прочности.

**В четвертой главе** выполнены подробные исследования макро и микростроения поверхности изломов конструкционных сталей. Соискатель исследует изломы конструкционных сталей, на поверхности которых, после проведения холодной радиальнойковки и последующих отжигов, отчетливо видны расщепления. Оказывается, что доля расщеплений оказывается максимальной на поверхности изломов сталей, подвергнутых последеформационному отжигу при температуре 300 °С, а среди исследуемых сталей – в изломах стали 09Г2С.

Показано, что причинами появления расщеплений на поверхности изломов являются определенные элементы ямочного микрорельефа поверхности разрушения – ямки-тоннели. Стадийное слияние нескольких близкорасположенных глубоких ямок-тоннелей, в условиях вытянутости элементов структуры и неметаллических включений после холодной радиальнойковки, в более крупные объединения и затем нескольких таких объединений в еще более крупные, приводит к формированию, как утверждает автор, мезо- и макрорасщеплений. Помимо специфических ямок-тоннелей в работе были выделены следующие ямки: ямки-конусы, уплощенные ямки-конусы и микро-ямки. Важно отметить, что классифицировать элементы ямочного микрорельефа по типам и размерам оказалось возможным благодаря применению методики трехмерной количественной оценки параметров рельефа разрушения. По результатам количественных исследований ямок были выявлены общие для конструкционных сталей тенденции в изменении доли и размеров ямок различной морфологии в зависимости от режима обработки.

**В пятой главе** проведены систематические исследования микротвердости сталей под поверхностью разрушения, по результатам которых определены форма и размеры зон пластической деформации, характер распределения мик-

ротвердости в зонах и показано влияние различных режимов обработки на строение зон. Необходимо отметить, что для построения карт распределения микротвердости в зонах пластической деформации под поверхностью разрушения исследуемых сталей автором использовано программное обеспечение, анализирующее экспериментальные данные с применением методов геостатистики.

Анализ полученных карт распределения микротвердости в зонах пластической деформации показал, что холодная радиальная ковка высокоотпущенных конструкционных сталей, а также - последеформационных отжиг при 300 °С, приводят к уменьшению как линейных размеров зон, так и уменьшению площади всей зоны или отдельных ее областей.

**В шестой главе** выполнен сопоставительный результатов исследования механических свойств, параметров макро- и микрорельефа поверхности изломов и зон пластической деформации под поверхностью разрушения конструкционных сталей, в разном структурном состоянии после проведения термической и деформационно-термической обработки.

Показано, что формирующаяся в процессе разрушения зона пластической деформации оказывает влияние на создаваемый рельеф поверхности разрушения, а сформированная зона отражает возможности материала к макро- и микро- пластической деформации в процессе динамического разрушения.

Выявлены основные параметры строения изломов исследуемых сталей, в наибольшей степени влияющие на ударную вязкость и динамическую трещиностойкости и установлены интервалы значений, в которых эти параметры напрямую определяют характеристики надежности. К таким параметрам изломов в работе отнесены: 1 – линейных размер зоны пластической деформации, определенный на расстоянии 1 мм от места старта динамической трещины; 2 – средний поперечный размер и доля крупных ямок на поверхности разрушения; 3 – общая доля макро- и мезорасщеплений.

#### **Научная новизна диссертационной работы.**

1. По результатам испытаний серии образцов на маятниковом копре впервые построены диаграммы динамической трещиностойкости конструкционных сталей 09Г2С, 25 и 35Х, подвергнутых деформационно-термической обработке, и определены ее параметры динамической трещиностойкости.
2. Показано благоприятное действие расщеплений на уровень характеристик надежности сталей в условиях повышения их характеристик прочности. Описана стадийность формирования расщеплений.
3. Построены карты распределения микротвердости в зонах пластической деформации под поверхностью разрушения высокоотпущенных конструкционных сталей, показано влияние режимов деформационно-термической обработки на форму и размеры зон. Показан линейный рост ударной вязкости и динамической трещиностойкости с увеличением линейных размеров и площади зон пластической деформации под поверхностью разрушения исследуемых сталей.
4. Установлены диапазоны значений средних поперечных размеров и доли крупных ямок на поверхности разрушения сталей, увеличение в которых,

приводит к прямо пропорциональному росту ударной вязкости и динамической трещиностойкости.

#### **Степень обоснованности и достоверности научных положений.**

Автором изучены и проанализированы известные отечественные и зарубежные результаты исследований в заявленной предметной области. Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается использованием современных средств проведения исследований, непротиворечивостью и воспроизводимостью результатов. Основные результаты диссертационной работы докладывались Шаймановым Г. С. на научно-практических конференциях с международным участием. Было опубликовано 12 работ, из них 11 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и рецензируемых в международных наукометрических базах данных.

#### **Практическая и теоретическая значимость результатов работы.**

1. Экспериментально показана применимость методики оценки динамической трещиностойкости (патент РФ № 2485476), разработанной для листовых закаленных и отпущенных сталей, для исследований на трубных сталях в состоянии после термической и деформационно-термической обработки;
2. Расширение возможностей фрактодиагностики конструкционных сталей за счет трехмерной количественной оценки параметров рельефа разрушения;
3. Разработана методика исследования зон пластической деформации, позволяющая с достаточной точностью определять форму и размеры зон, а также – использовать карты распределения микротвердости под поверхностью разрушения для поиска неравновесных структур, образованных в процессе динамического разрушения.
4. Прошла промышленную апробацию технология деформационно-термической обработки, которая установила повышение хладостойкости исходно высокоотпущенной стали 35 в интервале температур от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-100^{\circ}\text{C}$ .

#### **Рекомендации по использованию полученных результатов**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в ИФМ УрО РАН, ИМАШ УрО РАН, ЗАО «СКБ», ООО «МГМ», ЧТПЗ и других организациях.

#### **Вопросы и замечания по диссертационной работе.**

1. В работе проведены исследования влияния деформационно-термической обработки на динамическую трещиностойкость сталей, для чего, как следует из описания методики и графиков в главе 3, на образцы перед испытаниями были нанесены усталостные трещины с относительной длиной 0,27 - 0,7. Чем обусловлен такой диапазон значений относительной длины трещины?
2. В пятой главе диссертации приводятся результаты исследования зон пластической деформации под поверхностью динамического разрушения методом систематических измерений микротвердости. Возможно ли применение разработанной методики для оценки зон пластической деформации под поверхностью усталостного разрушения?

3. В главе 6 приведены изображения макроскопических расщеплений на поверхности разрушения сталей, полученных с помощью сканирующего микроскопа. Каким образом соискатель проводил фиксацию и построение расщеплений электронно-микроскопическими методами?

#### Заключение.

Диссертационная работа Шайманова Г. С. на тему «Исследование влияния деформационно-термической обработки на структуру, механические свойства и особенности изломов углеродистых и низколегированных конструкционных сталей» является законченной научно-квалификационной работой и представляет собой изложение результатов собственных исследований. Работа написана технически грамотно, материал изложен лаконично, в рассуждения прослеживается логика. Работа выполнена на актуальную тему, обладает теоретической и практической значимостью, характеризуется обоснованностью положений и выводов, отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным Положением ВАК о присуждении ученых степеней (п. 9-14), утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а сам Шайманов Г. С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа и содержание отзыва обсуждены и одобрены на заседании научного семинара кафедры материаловедения в машиностроении Новосибирского государственного технического университета, протокол №12 от 15.12. 2022 г.

Присутствовало на заседании 25 человек.

Результаты голосования: «за» – 25 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Отзыв подготовлен д.т.н. (2.6.17 – материаловедение), профессором, заведующим кафедрой материаловедения в машиностроении Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), Батаевым Владимиром Андреевичем.

Заведующий кафедрой материаловедения  
в машиностроении НГТУ,  
д-р техн. наук, профессор

Батаев Владимир Андреевич

Подпись Батаева В.А. заверяю  
начальник ОК НГТУ



Пустовалова О.К.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Новосибирский государственный технический университет

Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

Тел.: +7 (383) 346 50 01

E-mail: rector@nstu.ru

Сайт: <https://www.nstu.ru>