

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Шайманова Григория Сергеевича «Исследование влияния деформационно-термической обработки на структуру, механические свойства и особенности изломов углеродистых и низколегированных конструкционных сталей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы.

Диссертация Шайманова Г. С. посвящена установлению зависимости ударной вязкости и динамической трещиностойкости конструкционных сталей в различном структурном состоянии после термической и деформационно-термических обработок от параметров строения их изломов. Особенностью работы является применение разработанных прогрессивных методик количественного исследования вязких изломов, особенности строения которых в настоящее время изучены в недостаточной степени, что свидетельствует об актуальности данной работы.

Анализ содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и одного приложения. Диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ, основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертационной работы и представлено общее направление проведения исследований.

В первой главе рассмотрены методы оценки трещиностойкости конструкционных сталей, проведен анализ перспективных методов изучения поверхности разрушения и зон пластической деформации под ней. По результатам аналитического обзора литературных источников сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлен химический состав исследуемых материалов и режимы их обработки, приведено описание стандартных и разработанных методик исследования. Проведен сравнительный анализ нескольких методик получения объемных моделей, по результатам которого был выбран способ построения по стереопарам.

В третьей главе представлены результаты исследования структуры, твердости, характеристик прочности, ударной вязкости конструкционных сталей, прошедших обработку по четырем режимам. На исследуемых сталях в состоянии после холодной пластической деформации и последующих отжигов проведена апробация методики оценки динамической трещиностойкости, построены диаграммы динамической трещиностойкости и определены основные параметры – КСТ*, λ^* , R. Результаты исследований, приведенные в третьей главе диссертации, показывают, что проведение холодной радиальной ковки и последующего отжига при температуре 600 ° формирует в исследуемых сталях однородную ультрамелкую структуру, за счет чего достигается сочетание высоких показателей характеристик надежности и повышенных, относительно состояния до холодной деформации, характеристик прочности.

Четвертая глава посвящена качественному и количественному изучению поверхности разрушения сталей после термической и деформационно-термической обработки.

Показано, что проведение холодной радиальнойковки не привело к изменению микромеханизма роста динамических трещин в образцах исследуемых сталей – во всех случаях после динамических испытаний изломы были вязкими, поверхность разрушения сформирована ямками различных размеров. Для классификации ямок по типам Шайманов Г. С. провел количественный микрофрактографический анализ на плоских микроскопических изображениях и на 3D моделях участков поверхности разрушения. По результатам количественных исследований было показано, что после проведения обработок по режимам №2 и №3 размеры крупных ямок и их доля на поверхности разрушения исследуемых сталей уменьшаются.

Макрофрактографический анализ изломов показал, что проведение холодной пластической деформации методом радиальнойковки приводит к появлению расщеплений на поверхности изломов образцов, размеры и доля которых достигают максимальных значений после обработки по режиму №3, то есть в самом высокопрочном состоянии. Подробные исследования поверхности разрушения позволили установить механизм образования расщеплений, который, по мнению автора, заключается в объединении близко расположенных глубоких ямок-тоннелей в микро-расщепления и дальнейшем объединении микро-расщеплений в более крупные.

В пятой главе проведено исследование зон пластической деформации, формирующихся в процессе динамических испытаний образцов высокоотпущенных конструкционных сталей и влияния деформационно-термической обработки на форму и размеры зон.

Характер распределения микротвердости под поверхностью разрушения исследуемых сталей в высокоотпущенном состоянии позволил выделить в строение зон пластической деформации 3 области: 1 – область старта динамической трещины, 2 – центральная область и 3 – область силового воздействия молота копра. После проведения деформационно-термической обработки строение зон не изменяется, однако отмечено изменение размеров и формы. После обработки по режимам №2 и №3 размеры областей, особенно – центральной области, сильно уменьшаются. Форма зон пластической деформации в области старта динамической трещины становится более острой после проведения обработок по режимам №2 - №4 в сравнении с формой зон исследуемых в высокоотпущенном состоянии.

В шестой главе проведен сравнительный анализ 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 формирование расщеплений на поверхности изломов исследуемых сталей, обработанных по режиму №3, способствует поддержанию достаточно высоких значений ударной вязкости и динамической трещиностойкости в условиях роста характеристик прочности. Важно отметить, что соискатель подтверждает вывод о благоприятном влиянии расщеплений на уровень характеристик надежности результатами дополнительных испытаний на ударный

изгиб стали 35, подвергнутой обработки по аналогичным режимам, в интервале температур $+20 - 100$ °С.

Показано, что среди исследуемых параметров строения вязких изломов конструкционных сталей наиболее сильное влияние на характеристики надежности оказывают размер зоны пластической деформации $r_{зпд}$, определенный на расстоянии 1 мм от места старта динамической трещины; средние поперечные размеры крупных ямок и их доля на поверхности разрушения; а также – общая доля расщеплений.

Установлена прямо пропорциональная зависимость ударной вязкости и динамической трещиностойкости от размеров зон пластической деформации, размеров и доли крупных ямок на поверхности разрушения исследуемых сталей, обработанных по различным режимам термической и деформационно-термической обработки.

Таким образом, полученные в диссертационной работе результаты свидетельствуют о решении поставленных задач и, как следствие – достижении цели работы.

Научная новизна диссертационной работы.

1. Соискателем впервые для сталей 09Г2С, 25 и 35Х, подвергнутых деформационно-термической обработке, по результатам серии динамических испытаний на маятниковом копре построены диаграммы и определены параметры динамической трещиностойкости.

2. Показано положительное влияние расщеплений на поверхности изломов сталей и установлен механизм их образования.

3. Установлена линейная зависимость ударной вязкости и динамической трещиностойкости от размеров и доли крупных ямок на поверхности разрушения сталей, обработанных по различным режимам термической и деформационно-термической обработки.

4. Впервые для сталей 09Г2С, 25 и 35Х, подвергнутых деформационно-термической обработке, построены карты распределения микротвердости в зонах пластической деформации под поверхностью разрушения, определены их форма и размеры. Показано, что увеличение размеров зон приводит к линейному росту ударной вязкости и динамической трещиностойкости.

Практическая и теоретическая значимость результатов работы.

1. Показана возможность построения диаграмм динамической трещиностойкости конструкционных сталей, подвергнутых деформационно-термической обработке, по результатам испытаний двух групп образцов на маятниковом копре;

2. Разработана и опробована на исследуемых сталях методика исследований элементов поверхности разрушения, позволяющая количественно в трех измерениях характеризовать элементы микрорельефа поверхности и в дальнейшем проводить их классификацию по типам и размерам;

3. Разработана и применена на конструкционных сталях, подвергнутых деформационно-термической обработке, методика количественного исследования зон пластической деформации под поверхностью разрушения, позволяющая оценить изменение формы и размеров зон сталей в зависимости от структурного состояния.

4. Прошли промышленное опробование режимы деформационно-термической обработки, результаты которого показывают повышение хладостойкости стали 35 в интервале температур испытания от -20°C до -100°C .

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов.

Достоверность полученных результатов обеспечена надежных методов испытания, применением современного исследовательского оборудования и современных математических комплексов обработки экспериментальных данных. Результаты исследований работы, приведенные в данной работе, опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и согласуются с ранее полученными результатами.

Вопросы и замечания по диссертационной работе.

1. С чем связан выбор исследуемых в работе марок сталей?
2. В третьей главе обсуждаются диаграммы растяжения, на которых, в состояниях после низкотемпературного и высокотемпературного отжига, отчетливо виден зуб текучести. Почему в работе не обсуждается причина появления зуба текучести?
3. В четвертой главе приведет анализ изломов образцов с помощью 3D моделей. В чем преимущество анализа с помощью 3D моделей поверхности разрушения по сравнению с анализом по обычным электронно-микроскопическим фотографиям изломов?
4. В работе использовались образцы для ударных испытаний с предварительно наведенной трещиной и с боковыми надрезами. С какой целью делались эти надрезы?

Соответствие диссертационной работы указанной специальности.

Диссертационная работа Шайманова Григория Сергеевича по содержанию и полноте изложенного материала соответствует паспорту специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов:

пункту 1 - «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм, в том числе диаграммами состояния) с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов»;

пункту 2 - «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование»;

пункту 5 - «Теоретические и экспериментальные исследования механизмов деформации, влияния фазового состава и структуры на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий, их моделирование и прогнозирование»;

пункту 6 - «Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химикотермической, термомеханической и других видов обработок, связанных с

термическим или термодиформационным воздействием, цифровизация и автоматизация процессов, а также разработка информационных технологий систем сквозного управления технологическим циклом, специализированного оборудования».

Заключение.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и 12.10.18 № 1168), а ее автор Шайманов Григорий Сергеевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент:

Директор Института
машиноведения имени Э.С.
Горкунова Уральского отделения
Российской академии наук,
доктор технических наук (05.16.01
– Металловедение и термическая
обработка металлов и сплавов)

«26» 01 2023 г.

Подпись заверяю:

Зам. директора по научной работе,
к.т.н.



— Швейкин Владимир Павлович

— Каманцев Иван Сергеевич

620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34, ИМАШ УрО РАН
Тел.: (343) 374-47-25, E-mail: shveikin60@mail.ru