

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Хотинова Владислава Альфредовича «Закономерности формирования пластичности и вязкости низко – и среднеуглеродистых сталей и разработка методов их оценки» представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Повышенные требования к механическим и эксплуатационным свойствам конструкционных низко- и среднеуглеродистых сталей требуют получения новых и разнообразных данных о фазовых и структурных превращениях, которые влияют на прочность и пластичность материала. В связи с этим, является необходимым поиск новых технологических решений и совершенствование методов для оценки пластичности и вязкости, а также установление механизмов и создание моделей, описывающих данные процессы.

Поэтому тема диссертационной работы Хотинова В.А., направленная на изучение закономерностей формирования пластичности и вязкости низко и среднеуглеродистых сталей, и отыскания путей повышения их конструкционной прочности является безусловно актуальной.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и основных выводов. Список цитируемой литературы включает 152 источника. Диссертация изложена на 299 страницах, содержит 107 рисунков и 28 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, а также апробация работы и личный вклад автора.

**В первой главе** приведены результаты исследования пластичности феррита. Анализируются зернограницный и дислокационный механизмы упрочнения и их влияние на пластические свойства феррита. Изучено влияние параметров теплой и горячей прокатки армо железо на прочностные и пластические характеристики ферритной матрицы. Показана ведущая роль дислокационного упрочнения в снижении пластичности. Установлено, что уменьшение размера зерна феррита до 3,0 – 4,0 мкм обеспечивает наилучшее сочетание в прочности и пластичности. В конце главы приводится заключение и список цитируемой литературы.

**Вторая глава** посвящена исследованию влияния горячей прокатки на структуру и механические свойства сталей с феррито-перлитной структурой. Показано, что перлитный механизм упрочнения дает незначительное повышение прочностных свойств при существенном снижении пластичности и ударной вязкости. Для сталей типа 09Г2С и 37Г2С экспериментально найдена линейная корреляция, позволяющая использовать прочностные свойства, полученные при растяжении для оценки ударной вязкости. Показано, что уменьшение размера перлитных колонии и межпластинчатого расстояния приводит к снижению отрицательного влияния перлита на уровень вязкопластических свойств. В конце главы приводится заключение и список цитируемой литературы.

**В третьей главе** рассматривается пластичность и вязкость феррито-бейнитных и мартенситных сталей. Исследована структура семи сталей класса прочности Х80 после контролируемой прокатки и ускоренного охлаждения, а также после повторного нагрева. Показано, что в ходе этого процесса в сталях происходит выделение карбонитридных фаз и  $\epsilon$  фазы различной степени дисперсности. Проанализировано влияние структурного состояния сталей Х80 после контролируемой прокатки, ускоренного охлаждения и последующего отпуска на предел прочности, пластические и вязкие свойства. Установлены основные факторы, дающие наибольший вклад в повышение уровня вязкопластических характеристик. Особое внимание уделено роли расщепления

(РЩ). Показано, что РЩ представляют собой очаговые межслоевые трещины, имеющие характерные черты хрупких межзеренных трещин. При  $t_{исп} < -20^{\circ} \text{C}$  их роль состоит в сохранении энергоемкости разрушения в области вязко-хрупкого перехода. Рассмотрены пути повышения конструкционной прочности сталей типа X80 и определены оптимальные режимы их обработки для получения высокой прочности. В конце главы приводится заключение и список цитируемой литературы.

**В четвертой главе** рассматривается влияние эффекта деформационного старения на механические свойства и деформационное поведение низко- и среднеуглеродистых сталей. Проанализированы физические основы и механизмы пластического течения деформационного старения. Исследовано влияние деформационного старения на прочностные, пластические и вязкие свойства на сталях 48Г2БМ, 08Г2Б, 05Г2Б. На основе анализа кривых растяжения и механических свойств исследуемых сталей показано влияние деформационного старения на прочностные, пластические, градиентные и вязкие характеристики, и отмечены три основных фактора, влияющие на данные свойства. Предложена методика оценки величины деформационного старения по относительному изменению механических характеристик при растяжении. Показано, что для повышения предела текучести исследуемых сталей необходимо проводить предварительную холодную пластическую деформацию  $\varepsilon < 5\%$  и последующий нагрев при  $100-250^{\circ}\text{C}$ . В конце главы приводится заключение и список цитируемой литературы.

**Пятая глава** посвящена изучению соотношения между прочностью, пластичностью и вязкостью, а также оценке величины компонент пластичности на отдельных стадиях деформации конструкционных сталей. Детально проанализирована сосредоточенная и равномерная стадия на кривой растяжения. Показано, что сосредоточенную стадию можно разделить на три периода, различающихся по скорости и интенсивности падения напряжения. Эта стадия соответствует различным зонам излома: центральный, радиальный, губам среза.

Установлено, что в пределах каждого периода растяжения действует своя мода пластического течения и определенных видов релаксации (компенсационная, аннигиляционная, трещинообразование). Рассмотрена взаимосвязь прочности и пластичности. Установлено, что получение высокой трещиностойкости и вязкости возможно при повышенных значениях пластичности, величина которой определяется структурно-фазовым состоянием металла. Показано, что зернограничный эффект, возникающий при нагреве в межкритический интервал температур в низкоуглеродистых сталях типа X80 приводит к улучшению параметров текучести на равномерной стадии растяжения, но при этом наблюдается охрупчивание металла при ударном изгибе. Предложена методика, которая подтверждена патентами РФ для оценки трещиностойкости конструкционных сталей по диаграмме растяжения. В конце главы приводится заключение и список цитируемой литературы.

В общем заключении, на основе полученных в диссертации экспериментальных данных обобщены результаты работы. Выводы по диссертации состоят из пяти пунктов. Представлены перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

**Научная новизна.** В качестве наиболее важных результатов диссертационной работы можно отметить следующие:

- впервые на основе метода корреляции цифровых изображений на кривых растяжения определены различные стадии; на сосредоточенной стадии деформации выделены три периода I, II, III, в пределах которых экспериментально обоснованы прочностные, пластические и градиентные характеристики для оценки способности металла к пластической деформации и разрушению;
- определено влияние фазового состава и различных механизмов упрочнения на снижение пластичности в низко- и среднеуглеродистых сталях;

- анализ полей корреляции изображении позволил обосновать существование двух типов деформации Людерса в сталях с различной величиной ЭДС;
- показана возможность оценки вязкости (трещиностойкости) на основе анализа кривых ударного нагружения.

**Теоретическая значимость** состоит в разработке основных параметров текучести и разрушения на различных стадиях растяжения и ударного изгиба, позволяющих оценить упрочнение и потерю пластичности при переходе от одной стадии к другой.

Установлены факторы снижения пластичности при упрочнении и предложены способы определения ресурса пластичности и прочности конструкции в процессе их изготовления и эксплуатации.

**Практическая значимость** работы Хотина В.А. подтверждена наличием шести патентов РФ №2312904, 2337145, 2506132, 2570237, 2646548, 2735308. Разработанные в работе методы оценки вязкости и трещиностойкости введены в практику лабораторных испытаний ОАО «РосНИТИ» для образцов конструкционных сталей обычной и высокой вязкости, что подтверждено актом использования результатов диссертационной работы Хотина В.А.

**Достоверность и обоснованность результатов работы** подтверждается большим объемом экспериментов, проведенных на современном оборудовании с записью процесса нагружения, а также использование разнообразных методов исследования структуры, в том числе просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, ESBD и спектрального анализа.

Основные задачи, определяемые целью работы автором диссертации успешно решены. Тем не менее, по работе можно сделать следующие замечания.

1. На кривых растяжения автор выделяет отдельные стадии деформации: линейная, степенная, равномерная, и на сосредоточенной стадии выделено три периода I, II, III (рис. 5.18). Точки перехода от одного периода к

другому определялись весьма условно, на некоторых кривых отдельные периоды вообще отсутствуют. Не ясно, какова точность определения этих периодов.

2. Во всех главах диссертации автор мало внимания уделяет обсуждению работ других авторов. К примеру, в работах С.А. Кунавина была предложена методика ускоренной оценки ударной вязкости в интервале температур вязко-хрупкого перехода. Автор не рассматривает эти работы и не приводит на них ссылки. Кроме того, в списке литературы мало новых работ за последние 5-10 лет, в основном это статьи автора.
3. Приведенный в таблице 3.1 химический состав семи исследованных сталей типа X80 показывает очень незначительное различие, которое не должно приводить к заметному изменению механических свойств. Повышенное содержание меди в стали 2 дает упрочняющий эффект, но при этом не объясняется, вследствие каких причин величина  $\Delta\sigma_d$  в стали 1 значительно меньше, чем в стали 2.
4. Статическую трещиностойкость в мировой практике принято определять через деформационный параметр CTOD (Crack Tip Opening Displacement). Однако автор не проводит сравнительный анализ полученных им данных по критерию трещиностойкости и параметра CTOD. В связи с этим непонятно, какие преимущества имеет модель, предложенная автором, по сравнению с общепринятым параметром CTOD.
5. В работе автор часто использует метод корреляции цифровых изображений для выделения различных периодов на кривых растяжения, определение двух видов деформации Людерса и т. д. Картины изменения КЦИ приведены только для продольной компоненты тензора деформации. Имеются ли экспериментальные данные для других компонент тензора деформации?
6. Для сталей с перлитным упрочнением в работе установлена линейная корреляция  $KCV = 4,0 - 4,8\sigma_k/\sigma_B$ . В низкоуглеродистых трубных сталях

доля перлитной составляющей незначительна. Можно ли данную корреляцию применять для определения ударной вязкости в таких сталях?

7. В тексте диссертации много условных сокращений и символов без расшифровки в каждой главе, что вызывает затруднение при чтении диссертации.

Указанные замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на общее положительное мнение о диссертации.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные закономерности формирования пластичности и вязкости низко- и среднеуглеродистых сталей и разработаны методы их оценки, имеющие существенное значение для обеспечения длительной эксплуатации изделия из данных сталей. Результаты работы имеют важное народно-хозяйственное значение в области металлургии и машиностроения, а также представляют интерес для специалистов в области физического металловедения.

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» по пунктам 3, 5, 8.

Текст автореферата в достаточной мере отражает содержание диссертации. Полученные результаты соответствуют целям и задачам диссертационной работы и отражены в 42 публикациях автора в журналах, рекомендованных ВАК и Аттестационным советом УрФУ, получены 6 патентов РФ на изобретения.

Исходя из проведённой оценки актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверности и новизны, научной и практической ценности изложенных материалов следует заключить, что представленная работа отвечает требованиям к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, определённым п. 9 Положения о присуждении

учёных степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», утверждённый приказом ректора от 21 октября 2019 года № 879/03, а её автор, Хотинков Владислав Альфредович заслуживает присуждение ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

главный научный сотрудник

лаборатории физического металловедения

ИФМ УрО РАН,

доктор технических наук,

старший научный сотрудник

—  — Яковлева Ирина Леонидовна



09.03.2021

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН»

E-mail: labmet@imp.uran.ru,

620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 18.