

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Попелюха Альберта Игоревича «Деформация и разрушение сталей в
условиях ударно-усталостного нагружения», представленную к защите на
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
2.6.17 – Материаловедение

Актуальность диссертационной работы. Выбор материалов, обладающих требуемым комплексом механических и эксплуатационных характеристик, лежит в основе высокой эксплуатационной надежности тяжелонагруженных деталей энерговооруженных погружных ударных машин. Наиболее перспективным способом повышения скорости проходки скважин является увеличение амплитуды ударных импульсов, что требует отыскания новых технологических способов повышения конструктивной прочности сталей.

Имеющийся опыт эксплуатации машин ударного действия свидетельствует о том, что одной из основных причин выхода их из строя является усталостное разрушение наиболее нагруженных деталей – бойков и инструментов (например, буровых коронок). При этом существенное различие между расчетным и реальным ресурсом работы деталей связано с наличием в металле несплошностей разного вида (неметаллических включений, пор и др.).

В связи с вышеизложенным, диссертационная работа А.И. Попелюха, направленная на изучение особенностей деформации и разрушения среднеуглеродистых легированных сталей при ударно-усталостном нагружении и отыскание новых технологических способов повышения конструктивной прочности тяжелонагруженных деталей ударных машин является актуальным исследованием.

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

– определены закономерности зарождения и роста усталостных трещин при ударно-усталостном сжатии в сталях в разном структурно-фазовом состоянии;

– показаны основные особенности формирования двухфазной мартенсито-бейнитной структуры в среднеуглеродистых легированных сталях при термической обработке с превращением аустенита, на основе чего предложен новый метод термомеханического упрочнения в стали 40X2H2MA;

– на основе анализа новых экспериментальных данных установлено, что интенсификация процессов разрушения деталей при циклическом сжатии при воздействии внешней среды связана с ростом локальных напряжений в окрестности вершины усталостной трещины на этапе сжатия материала и повышением остаточных растягивающих напряжений в этой области на этапе разгрузки из-за развития процессов фреттинг-коррозии и микрогидравлических ударов;

– выявлены особенности влияния морфологии, типа, размера и ориентации неметаллических включений на сопротивление сталей усталостному разрушению в условиях нагружения по схеме многократного динамического сжатия.

Теоретическая значимость работы состоит в расширении знаний об особенностях процессов разрушения сталей в условиях нагружения по схеме многократного динамического сжатия на воздухе, в коррозионно-активных и инертных жидких средах.

Практическая значимость работы Попелюха А.И. подтверждена предложенными техническими решениями по повышению эксплуатационной надежности энерговооруженных ударных машин, разработкой нового

экспериментального оборудования для оценки усталостных свойств материалов при циклическом динамическом сжатии и изгибе.

Степень обоснованности научных положений, достоверность результатов, выводов и рекомендаций обеспечивается использованием комплекса взаимодополняющих методов исследований, использованием современного аналитического оборудования.

Работа состоит из введения, восьми глав, заключения и основных выводов. Список цитируемой литературы включает 326 источников. Диссертация изложена на 395 страницах, включая 189 рисунков и 31 таблицу.

Анализ содержания диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы 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 приведен обзор литературных источников, в котором проанализированы условия работы и причины выхода из строя машин ударного действия, обобщены основные гипотезы разрушения материалов в при циклическом приложении сжимающей нагрузки, а также выявлены перспективные технологические способы обработки для повышения конструктивной прочности тяжело нагруженных деталей ударных машин.

Во второй главе приведены методы и оборудование для исследования структуры и механических свойств изученных сталей в различных структурно-фазовых состояниях. Подробно описан разработанный в НГТУ испытательный комплекс для изучения поведения образцов под действием циклически изменяющихся сжимающих напряжений.

Третья глава посвящена исследованию процессов зарождения и роста усталостных трещин в сталях с различной структурой. Детально описано поведение усталостных трещин в образце под действием циклических

сжимающих напряжений, которое включает в себя ряд стадий: 1) зарождение трещины у вершины поверхностного дефекта, 2) нестабильный рост трещины, сопровождающийся разной по градиенту скоростью, 3) стабильный рост трещины с низкой скоростью, 4) разрушение (долом) образца. Выявленные особенности наглядно проиллюстрированы изображениями трещин и поверхности изломов, зависимостями скорости роста и распределения напряжений от длины трещины.

Особый интерес представляет предложенная автором модель роста усталостной трещины вдали от поверхностного концентратора напряжений, и попытка использовать ее для объяснения траектории, поскольку продолжительность этапа зарождения трещин значительно уступает по величине стадии распространения магистральной трещины.

В четвертой главе рассматривается влияние химического состава и структуры на конструктивную прочность сталей и сплавов, подвергнутых термообработке по различным режимам. Показано, что для изготовления тяжело нагруженных деталей энерговооруженных погружных ударных механизмов целесообразно использовать высокопрочные стали с пределом текучести не менее 1000 МПа, обладающие высокой трещиностойкостью и сопротивлением изнашиванию. При этом выбор методов и рациональных режимов упрочнения деталей ударных машин, подвергаемых ударно-усталостному нагружению, целесообразно проводить с учетом анализа параметров конструктивной прочности, а, именно, предела текучести, ударной вязкости, циклической трещиностойкости, усталостной долговечности в условиях многократного динамического сжатия и сопротивления изнашиванию.

Проанализированы по показателям долговечности химический состав сталей и типы структур в них после термообработки по разным режимам, используемых для тяжело нагруженных деталей ударных машин. Обоснованы

наиболее рациональные композиции и режимы термической обработки для обеспечения надежной и долговечной работы изделий.

Кроме того, на примере пневмоударника АШ43 показано, что замена стальных бойков титановыми является эффективным способом увеличения ударной мощности погружных пневмоударников за счет повышения частоты динамического нагружения, что позволило в 1,5 раза повысить ударную мощность и на 30 % увеличить скорость бурения.

В пятой главе основное внимание уделяется рассмотрению способов повышения конструктивной прочности деталей ударных машин за счет формирования в исследуемых сталях гетерофазных структур. Одним из путей для решения поставленной задачи является термическая обработка, обеспечивающая формирование мартенсито-бейнитной структуры с регламентированным соотношением количества и морфологии структурных составляющих. В частности, приведенные результаты свидетельствуют о повышении на 200-250 МПа прочностных свойств (при сопоставимых значениях трещиностойкости) либо об увеличении в 1,5-2 раза сопротивления распространению усталостных трещин (при равных показателях прочности) сталей со структурой, состоящей из 40 % отпущенного мартенсита и 60 % нижнего бейнита.

Так, разработан процесс термопластического упрочнения стали 40Х2Н2МА, в результате которого конечная структура стали представляет собой двухфазную смесь из чередующихся областей отпущенного мартенсита и нижнего бейнита. Однако использование подобной обработки наиболее рационально для сталей, обладающих сквозной прокаливаемостью, тогда как формирование мартенсито-бейнитной структуры в нелегированных сталях эффективно лишь для деталей небольшого сечения.

Детально проведено сопоставление структуры и уровня механических свойств сталей, подвергнутых традиционным и перспективным способам термоупрочнения, таким как изотермическая обработка на

наноструктурированный бейнит, Q&P обработка, высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), включая последующее мартенсито-бейнитное превращение аустенита (ВТММБ). Показано, что повышение механических свойств сталей при ВТММБ-обработке в основном обусловлено диспергированием низкотемпературных продуктов распада переохлажденного аустенита

Шестая глава посвящена оценке влияния неметаллических включений на сопротивление усталостному разрушению при циклическом сжатии. Результаты численного моделирования и рентгеноструктурный анализ свидетельствуют о том, что максимальная концентрация локальных напряжений при сжатии наблюдается вблизи пор и низкопрочных пластичных включений, тогда как уровень локальных напряжений вблизи более твердых включений – ниже среднего значения в образце. Это позволяет считать высокопрочные твердые включения при сжатии менее опасными дефектами при распространении усталостной трещины.

В седьмой главе приведены результаты исследований деталей машин, подвергнутых циклическому сжатию в условиях жидкой внешней среды. Показано, что процесс разрушения становится более интенсивным в присутствии жидкой среды (воды, минерального масла), а механизм и степень влияния определяется ее кинематической вязкостью и коррозионной активностью.

В восьмой главе приведены данные о внедрении результатов диссертации на промышленных предприятиях РФ: АО «Томский электромеханический завод им В.В. Вахрушева», ООО «Сибирская горная компания», ООО «Алтайский завод прецизионных изделий», Институт горного дела СО РАН, а также об их использовании в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

Так, внедрение разработанного в диссертации метода объемного термического упрочнения сталей на Томском электромеханическом заводе

им В.В. Вахрушева позволило существенно повысить надежность работы отбойных молотков с ударниками из стали 5ХВ2С при увеличении срока эксплуатации с 600 до 900 ч.

Использование на рудниках ООО «Евразруда» и карьерах ООО «Сибирская горная компания» бойков погружных пневмоударников из стали 40Х2Н2МА с мартенсито-бейнитной структурой привело к двукратному повышению ресурса их работы при существенном снижении эксплуатационных расходов.

В заключении диссертационной работы изложены основные выводы и результаты.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. Основное замечание касается полного отсутствия в выводах к каждой главе и в заключении к диссертационной работе в целом конкретных числовых значений усталостных характеристик (предела выносливости, долговечности, скорости роста усталостной трещины, порогового значения и размаха коэффициента интенсивности напряжений и др.) сталей в различном структурно-фазовом состоянии, что не позволяет оценивать корректность полученных результатов.

2. Одним из основных параметров, по которому проводилась оценка трещиностойкости исследуемых материалов, являлась скорость роста усталостной трещины при циклическом приложении нагрузки, а по ее изменению на кинетической диаграмме усталостного нагружения была выделена стадийность процесса разрушения. При этом в методике испытания образцов при многоцикловом ударном нагружении детально описана процедура регистрации нагрузки, однако нет никаких сведений о процедуре и точности измерения в ходе испытания длины усталостной трещины. Как измерялась длина усталостной трещины с учетом того, что для определения скорости ее роста необходимо знать, согласно уравнению 2.24, длину трещины после каждого цикла нагружения?

3. Каким комплексом прочностных, вязко-пластических и эксплуатационных свойств должны обладать материалы для тяжело нагруженных деталей ударных машин? Поскольку в тексте обзора литературных источников и экспериментальных главах эти требования не сформулированы, непонятно как можно оценивать целесообразность использования той или иной обработки для повышения конструктивной прочности материала.

4. В таблице 2.1 показан химический состав исследованных в работе сталей, однако в последующих экспериментальных главах приведены результаты изучения и других материалов: технического железа, титановых сплавов, бронз, сталей аустенитного класса типа 110Г13Л и других. Чем объяснить невключение этих материалов в главу 3?

5. В тексте главы 2 приведена предложенная Шабановым А.П. модель поведения усталостных трещин при циклическом нагружении (стр. 40-42, рис. 1.4). Объясните, в чем главные отличия модели Шабанова и предложенной в работе (рис. 3.48) модели поведения трещин?

6. На стр. 42 отмечен уже известный факт, что «зарождение и распространение усталостных трещин происходит в направлении действия максимальных касательных напряжений». Об этом свидетельствует и полная идентичность морфологии усталостных трещин у концентратора напряжений для образцов алюминиевого сплава (рис. 1.5) и стали 45 (рис. 3.14). Как объяснить вывод 6 к главе 3, в котором делается тоже самое заключение?

7. Каков механизм и масштаб влияния на трещиностойкость материала несплошностей – очаговых трещин разного размера, формирующихся вдали от поверхностного концентратора напряжений?

8. Чем предложенный в работе режим термической обработки с мартенсито-бейнитным превращением аустенита, приведенный на рис. 5.2, принципиально отличается от схемы Q&P-обработки (рис. 1.7)?

9. Известно, что мартенсит и нижний бейнит достаточно близки как по морфологии, так и по твердости, поэтому отыскание объемной доли каждой составляющей в двухфазной структуре является сложной металловедческой задачей. В то же время в выводах к главе 5 и по всей работе автор делает заключение об оптимальном комплексе свойств при формировании структуры, содержащей 40 % отпущенного мартенсита и 60 % нижнего бейнита. Какова точность измерений объемной доли этих составляющих в смешанной структуре? С помощью какого технологического приема можно варьировать их соотношение?

10. Какой минимальный размер и количество неметаллических включений обеспечивают требуемую долговечность работы тяжело нагруженных деталей ударных машин?

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

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные закономерности деформации и разрушения при циклическом ударном нагружении сталей и разработаны технологические способы повышения их конструктивной прочности. Результаты работы имеют важное народно-хозяйственное значение в области металлургии и машиностроения, а также представляют интерес для специалистов в области физического металловедения и механики разрушения.

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении) (в соответствии с новой номенклатурой научных специальностей: 2.6.17 – Материаловедение) по пунктам 1, 3, 5, 6.

Текст автореферата в достаточной мере отражает содержание диссертации. Полученные результаты соответствуют целям и задачам

диссертационной работы и отражены в 17 работах автора в журналах, рекомендованных ВАК, получен 1 патента РФ на изобретение.

Представленная диссертационная работа по своим актуальности, содержанию, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Попелюх Альберт Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Официальный оппонент:

Хотинов Владислав Альфредович

01.12.2021

ученая степень: доктор технических наук,
шифр научной специальности 05.16.01 –
Металловедение и термическая обработка
металлов и сплавов,
ученое звание: доцент по специальности,
должность: доцент кафедры Термообработки
и физики металлов ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина»
адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 28
тел. +7-9089019912
e-mail: khotinov@yandex.ru

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФ
МОРОЗОВА В.А.

Поступил в совет 07.12.2021
Игорь А.И.

С отзвсом ознакомлен 09.12.2021. В. Погославский