

ОТЗЫВ

Официального оппонента Громова Виктора Евгеньевича на диссертационную работу Попелюха Альберта Игоревича на тему «Деформация и разрушение сталей в условиях ударно-усталостного нагружения», представленную к защите по специальности "2.16.17 – материаловедение" на соискание ученой степени доктора технических наук

Актуальность темы диссертации

Технология ударно-вращательного бурения с применением погружных ударных машин в настоящее время является из наиболее современных, производительных и эффективных способов формирования скважин и шпуров в горных породах средней и высокой крепости. Однако экстремальные условия работы – высокие ударные нагрузки и контакт с абразивными частицами бурового шлама приводят к быстрому выходу из строя ответственных тяжело нагруженных деталей и инструмента ударных машин. Ресурс работы их ограничен и редко превышает нескольких сотен часов. Для решения проблемы повышения надежности ударных систем требуется проведение детальных исследований процесса повреждения сталей, оценка влияния их структурного состояния на процессы зарождения и распространения в них усталостных трещин с выявлением механизма разрушения материалов при многократном воздействии на них ударных импульсов.

Проблему повышения безотказности и долговечности деталей энерговооруженных ударных машин позволяет решить использование новых методов термического и термомеханического упрочнения, в основе которых лежат принципы создания в сталях смешанной структуры. Высокое сопротивление материала разрушению в условиях динамического и циклического нагружения может быть обеспечено смешанной структурой, состоящей из прочных твердых мартенситных кристаллов и реек нижнего бейнита, в которой может дополнительно могут находиться высокодисперсные (наноразмерные) прослойки остаточного аустенита, расположенные по границам кристаллов высокопрочной α -фазы.

Кроме разработки новых способов объемного упрочнения, позволяющих обеспечить высокие показатели конструктивной прочности стали, актуальной задачей является выявление рациональных режимов при использовании традиционных способов термического упрочнения, позволяющих обеспечить высокие показатели усталостной долговечности бойков ударных машин, что позволяет минимизировать временные и финансовые затраты в условиях реального производства.

Свои исследования автор проводит с использованием современного технологического, испытательного и аналитического оборудования, что

позволяет решать ряд фундаментальных и прикладных задач и расширить имеющиеся представления о процессах разрушения материалов при многократном воздействии на них ударных импульсов сжатия.

Диссертационная работа Попелюха А.И. результаты которой позволяют найти обоснованные технические решения по увеличению ресурса работы и безотказности высокопроизводительных ударных машин нового поколения, а так же других механизмов, работающих в условиях ударно-усталостного нагружения, несомненно является актуальной.

Анализ содержания диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель и задачи исследования, изложены положения, выносимые на защиту, приведена новизна результатов, их теоретическая ценность и практическая значимость.

В первой главе представлен литературный обзор, содержащий актуальные данные по результатам исследований разрушения материалов при нагружении их по схеме многократного динамического сжатия, выявлены основные причины выхода из строя машин ударного действия, а так же определены перспективные способы повышения конструктивной прочности ответственных деталей энерговооруженных ударных механизмов.

Во второй главе изложены основные методики исследования структуры и свойств сталей. В диссертационной работе автором разработан и использован оригинальный испытательный комплекс, позволяющий оценивать различные свойства и исследовать процессы разрушения материалов в условиях, максимально приближенным к реальным условиям эксплуатации горных машин ударного действия.

Третья глава посвящена анализу процессов накопления повреждений в материалах, кинетике зарождения и распространения в них усталостных трещин и выявлении возможных механизмов усталостного разрушения стальных деталей при многократном воздействии на них сжимающей нагрузки. Показано, что в условиях ударно-циклического сжатия усталостные трещины растут с высокой скоростью в окрестности поверхностных дефектов и механических концентраторов напряжений. По мере роста усталостных трещин их скорость уменьшается в 10-20 раз и в дальнейшем не зависит от ее длины и от фактической площади оставшегося поперечного сечения. Рост трещин происходит под действием остаточных растягивающих напряжений, возникающих у вершины дефекта по окончании разгрузки материала. Причиной формирования напряжений является наличие незамкнутого фрагмента трещины вблизи ее фронта и отсутствие смыкания противоположных берегов излома на стадии сжатия деформируемого объекта.

Показано, что при данном типе нагружения в низкопрочной стали «длинные» усталостные трещины распространяются преимущественно в направлении действия максимальных касательных напряжений по сдвиговому механизму, что обуславливает образование на поверхности разрушения рельефа виде усталостных бороздок. В сталях с высокопрочными структурами мартенсита и бейнита траектория роста усталостных трещин обычно совпадает с границами кристаллов α -фазы. Предложен механизм разрушения, позволяющий объяснить рост трещин, и доказано, что в условиях многократного воздействия сжимающей нагрузки трещины могут расти до полного разрушения детали.

В четвертой главе приведены результаты химического состава, структуры и механических свойств сталей, используемых для изготовления ответственных деталей энерговооруженных ударных механизмов и определены режимы традиционных видов термической обработки, при которых обеспечиваются максимальные показатели усталостной долговечности в условиях многократного динамического сжатия. Показано, что для изготовления бойков целесообразно применение сталей, содержащих 0,45 - 0,8 % углерода, а рациональной термической обработкой является закалка с последующим отпуском при 300 °С, что обеспечивает уровень твердости 48-52 HRC. При ударно-циклическом сжатии высокое сопротивление разрушению стали может быть достигнуто при формировании в ней структуры нижнего бейнита, однако вследствие недостаточной прочности использовать изотермическую закалку для упрочнения тяжело нагруженных деталей энерговооруженных ударных машин не целесообразно.

В последнем разделе главы произведена оценка применения титановых сплавов для изготовления бойков малогабаритных пневмударников. Показано, что модифицирование поверхности титановых бойков цементацией позволяет увеличить их износостойкость паре трения со сталью. Результаты промышленных испытаний малогабаритного пневмударника свидетельствуют, что использование высокопрочных материалов с низким удельным весом, позволяет в полтора раза увеличить мощность пневмударников за счет роста частоты ударного нагружения, что в свою очередь обеспечивает 30 % рост скорости проходки.

В пятой главе проанализированы способы повышения конструктивной прочности стали, основанные на формировании в ней смешанных структур мартенсито-бейнитного типа. Определены оптимальные режимы, позволяющие обеспечивать высокие прочностные стали в сочетании со значительными показателями усталостной долговечности и трещиностойкости. Выявлено, что для бойков ударных механизмов наиболее рациональной является структура, состоящая из 40 % отпущенного мартенсита и 60 % нижнего бейнита.

Автором разработан новый способ высокотемпературной термомеханической обработки с мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ), при реализации которого легированная сталь обладает комплексом высоких механических свойств за счет формирования в ней градиентной (полосчатой) структуры из чередующихся зон отпущенного мартенсита и нижнего бейнита. Сталь, упрочненная по технологии ВТММБ, при сопоставимых прочностных характеристиках по показателям ударной вязкости и трещиностойкости в два раза превосходит закаленную и отпущенную сталь, и в полтора раза сталь, обработанную по известной технологии высокотемпературной термомеханической обработки. Способ термомеханической обработки стальных изделий защищен патентом Российской Федерации.

Исследования сталей со структурой наноструктурированного бейнита, а также сталей, для упрочнения которых использован технологический процесс Quenching and Partitioning показали, что данные технологические процессы позволяют обеспечить высокие прочностные характеристики сталей, в 1,5-2 раза повысить их сопротивление распространению трещин. Данные технологии могут быть так же использованы для упрочнения ответственных деталей ударных машин

В шестой главе представлены результаты исследований влияния неметаллических включений на сопротивление сталей разрушению при циклическом воздействии сжимающих напряжений. Данные, полученные математическим моделированием и рентгеноструктурным анализом, свидетельствуют о том, что при действии сжимающей силы включения транслируют нагрузку в соседние объемы основного материала. По этой причине наиболее существенное влияние на интенсивность поля напряжений оказывает тип неметаллических включений.

Седьмая глава посвящена изучению влияния внешней среды на сопротивление сталей ударно-усталостному разрушению при циклическом воздействии сжимающих напряжений. Выявлено, что наличие жидкой среды на поверхности стальных образцов до пяти раз снижает показатели их усталостной долговечности по сравнению с испытаниями в воздушной среде. Результаты, проведенных исследований, свидетельствуют, что механизмы разрушения в средах с различными показателями коррозионной активности и кинематической вязкости различны. Быстрое разрушение сталей в воде автор связывает с интенсивным развитием процессов фреттинг-коррозии в вершине растущей трещины. При наличии на поверхности образцов минерального масла интенсификация процессов разрушения обусловлена микрогидравлическими ударами, возникающими в жидкости, находящейся в трещине на этапе сжатия. В результате микрогидравлических ударов происходит рост локальных напряжений в окрестности вершины усталостной трещины и, соответственно, увеличение остаточных растягивающих напряжений в этой области на этапе разгрузки.

Восьмая глава содержит информацию о применении результатов работы в промышленности и учебном процессе. Результаты исследований, представленных в диссертационной работе, используются Институтом горного дела СО РАН, АО «Томский электромеханический завод им В.В. Вахрушева», ООО «Сибирская горная компания», ООО «Алтайский завод прецизионных изделий», а также Новосибирским государственным техническим университетом при реализации образовательных программ в области материаловедения.

В заключении изложены основные выводы по диссертационной работе, сформулированы рекомендации по дальнейшим направлениям исследований.

Соответствие автореферата содержанию работы

Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы и опубликованным статьям.

Научную новизну работы составляет совокупность теоретических и экспериментальных данных, полученных при исследовании особенностей разрушения материалов при многократном воздействии на материал ударных импульсов сжатия, а так же аспектов формирования в сталях высокопрочной структуры смешанного типа, обладающей повышенным уровнем ударной вязкости и трещиностойкости. Автором предложен механизм, объясняющий рост усталостных трещин в сталях при ударно-усталостном нагружении по схеме сжатия, который дает объяснение полному разрушению объектов исследований при данном типе нагружения. Выявлено, что в отличие от испытаний по схемам растяжения и изгиба, при циклическом воздействии сжимающей силы скорость разрушения максимальна на начальном этапе. При продвижении трещин вглубь образца их скорость уменьшается более чем на порядок и в дальнейшем не зависит от их длины и фактической площади поперечного сечения деформируемого объекта.

Значительный интерес представляют результаты исследований, направленных на выявление особенностей формирования смешанной структуры в стали при термической и термомеханической обработке с мартенсито-бейнитным превращением аустенита. При реализации нового метода термомеханического упрочнения в легированной стали 40X2H2MA обнаружен эффект образования градиентной структуры из чередующихся зон отпущенного мартенсита и нижнего бейнита. Градиентной структура подобного типа позволяет обеспечить высокую прочность стали в сочетании с высокой вязкостью разрушения при действии ударных нагрузок. Показано, что условием образования градиентной структуры является незавершенность рекристаллизационных процессов в деформированном легированном аустените, развивающихся на стадии последеформационной выдержки.

В работе выявлены особенности влияния морфологии, типа, размера и ориентации неметаллических включений на сопротивление сталей усталостному разрушению в условиях нагружения по схеме многократного динамического сжатия, а так же получены новые экспериментальные данные по влиянию внешней среды при данном типе внешнего силового воздействия.

Научная значимость работы заключается в получении новых знаний о процессах зарождения трещин и особенностях роста трещин в сталях при их нагружении ударными импульсами сжатия на воздухе и жидких средах; выявлении влияния дефектов и структурного состояния сталей на их сопротивление ударно-усталостному разрушению.

Практическая значимость работы заключается в разработке способов термического и термомеханического упрочнения ответственных деталей ударных машин. Защищен патентом Российской Федерации на изобретение способ термомеханической обработки сталей с мартенсито-бейнитным превращением аустенита, обеспечивающий высокие значения прочности стальных деталей и сопротивления ударно-усталостному разрушению. Предложенные технические решения позволяют существенно повысить показатели надежности серийно выпускаемого погружного ударного оборудования, и являются основой для производства новых образцов энерговооруженных ударных машин. При выполнении диссертации разработано и изготовлено новое экспериментальное оборудование для оценки усталостных свойств материалов в условиях многократного динамического нагружения по схемам сжатия и изгиба.

Обоснованность и достоверность научных результатов

Достоверность научных положений, результатов и выводов обеспечивается использованием широкой гаммы современных методов и нового оборудования для исследования структуры и свойств материалов, в том числе оригинального испытательного комплекса для оценки свойств материалов в условиях ударно-усталостного нагружения. Полученные данные не противоречат результатам исследований, опубликованными другими авторами, дополняют и уточняют их. Таким образом, обоснованность выводов, сформулированных на основе совокупности полученных результатов, сомнений не вызывает.

Вопросы и замечания к диссертации и автореферату:

1. В реальных деталях буровой техники вследствие их сложной формы и отражения ударных импульсов от различных поверхностей детали кроме напряжений сжатия высокого уровня возможно появление

значительных растягивающих, сдвигающих и изгибающих усилий. Автор не объясняет, будут ли рациональными режимы и методы термического упрочнения для бойков сложной формы, в которых эти нагрузки могут возникнуть.

2. В главе 4 автор предлагает использовать титановые сплавы для изготовления бойков погружных пневмударников, однако вследствие высокой стоимости титановых сплавов и трудоемкости изготовления из них деталей сложной геометрической формы экономическая целесообразность данных технических решений является сомнительной.
3. Не обоснован выбор метода цементации при модифицировании поверхности титановых бойков. При этом наиболее простым надежным и эффективным методом химико-термической обработки, считается термическое оксидирование, а традиционные методы повышения антифрикционных свойств титановых сплавов заключаются в нанесении на поверхность покрытий гальваническими методами (хромирование, никелирование).
4. Автором не объяснено, почему в качестве критерия трещиностойкости материалов при ударно-циклическом нагружении использована скорость роста трещин при значении $\Delta K = 20 \text{ МПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$ (таблица 5.5, стр. 214-215). Для сравнения сопротивления материалов усталостному разрушению наиболее целесообразно использовать критерий порогового значения коэффициента интенсивности напряжений, характеризующий максимальный уровень напряжений в вершине трещины при котором она не распространяется.
5. В ряде экспериментов автор использует технически чистое железо и малоуглеродистую нелегированную сталь, которые при изготовлении ударных машин на практике не используются. Наиболее целесообразно все эксперименты проводить на среднеуглеродистых сталях, из которых обычно изготавливают детали буровой техники.

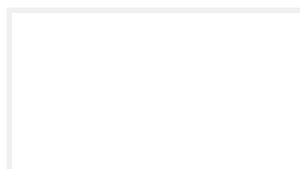
Общее заключение по работе

Диссертационное исследование Попелюха А.И. выполнено на актуальную тему, имеющее большое практическое значение для современной науки и техники. Содержание диссертационной работы соответствует пунктам 1, 3, 5, 6 паспорта научной специальности 05.16.09. – Материаловедение (в машиностроении) (в соответствии с новой номенклатурой научных специальностей: 2.6.17 - Материаловедение) Представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, предъявляемым п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ (Постановление

Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.) к докторским диссертациям. Считаю, что работа Попелюха Альберта Игоревича «Деформация и разрушение сталей в условиях ударно-усталостного нагружения» обладает научной новизной, практической значимостью, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.16.17 –«Материаловедение».

Даю свое согласие на обработку моих персональных данных и включение их в аттестационное дело Попелюха А.И.

Официальный оппонент:



Громов Виктор Евгеньевич

23.11.2021

Доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 (1.3.8) – физика конденсированного состояния), профессор, Заслуженный деятель науки РФ

Заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

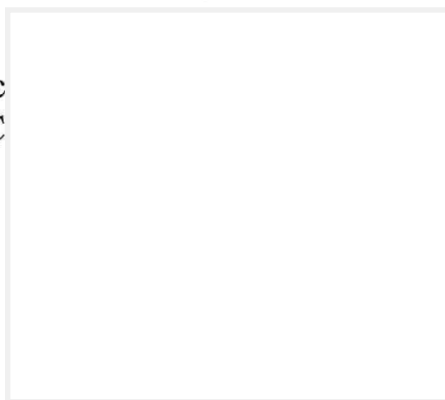
654007, Кемеровская область - Кузбасс, г. Новокузнецк,

Центральный р-н, ул. Кирова, зд.42,


Тел. +7 (3843) 77-79-79

e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

Подпись В.Е. Громова удос
Начальник отдела кадров С



Миронова
Татьяна Анатольевна

Получить в совет 07.12.2021  *Тюмин А.С.*

Семзубова ознакомлена 09.12.2021 