

О Т З Ы В

официального оппонента

Симонова Юрия Николаевича на диссертационную работу Саврая Романа Анатольевича «АНАЛИЗ УСТАЛОСТНОЙ И КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Актуальность избранной темы

Долговечность деталей во многом определяется состоянием их поверхностного слоя. Поэтому обеспечение высокого качества поверхностей деталей машин технологическими способами с применением инновационных методов финишной обработки является одной из актуальных задач современного материаловедения.

Кроме того, необходимо принимать во внимание, то, что увеличение ресурса элементов конструкций, подвергающихся в процессе эксплуатации воздействию циклических нагрузок, приводит к необходимости исследований сопротивления усталости металлических материалов на больших базах нагружения (10^8 циклов и более). Также важно иметь в виду то обстоятельство, что работоспособность многих деталей машин и механизмов определяет контактно-усталостная прочность, поскольку передача нагрузок между различными деталями происходит по площадкам контакта. В этой связи изучение контактного разрушения в области гигацикловой усталости имеет большое научное и практическое значение. При этом контактное нагружение по схеме пульсирующего контакта может быть эффективным для оценки контактной выносливости покрытий и поверхностно упрочненных материалов, поскольку при таком нагружении зарождение трещин начинается с поверхности, в отличие от схемы качения, когда зарождение трещин может протекать и в подповерхностных слоях. Здесь необходимо отметить, что в литературе практически отсутствуют

сведения о результатах испытаний на контактную гигацикловую усталость по схеме пульсирующего контакта.

В литературе имеется довольно большое количество данных о структуре и свойствах поверхностно упрочненных сталей и функциональных хромоникелевых покрытий. Однако представленные данные об усталостных свойствах подобных материалов весьма ограничены, а зачастую носят противоречивый характер. При этом недостаточно рассмотрено влияние на усталостные свойства возможных изменений структурно-фазового состояния при циклическом нагружении.

В настоящее время стало очевидно, что для изучения влияния различных упрочняющих поверхностных обработок на сопротивление усталостному разрушению необходима разработка современных неразрушающих методов контроля усталостной деградации.

В связи со всем вышесказанным, диссертационная работа Саврая Р.А., направленная на отыскание путей повышения усталостной и контактно-усталостной прочности поверхностно упрочненных сталей и функциональных хромоникелевых покрытий на основе изучения структурных факторов, определяющих характеристики прочности и сопротивление разрушению при различных видах циклического нагружения, вне всякого сомнения, является актуальной.

Анализ степени обоснованности и достоверности

Сформулированные автором научные положения, выводы и рекомендации достаточно строго обоснованы результатами экспериментальных исследований, выполненных как самим автором, так и известными ранее. Результаты, полученные современными методами исследования, хорошо согласуются между собой и не противоречат основным положениям материаловедения.

Остановимся на некоторых, выносимых на защиту положениях, которые являются ключевыми в диссертации:

1. Подобие структурных изменений в перлитных сталях при различных видах циклического нагружения и их роль в повышении усталостной прочности.

Влияние структурного состояния и его роль в повышении усталостной прочности показано с использованием световой, сканирующей (СЭМ) и просвечивающей (ПЭМ) электронной микроскопии, оценкой характеристик традиционных механических свойств, проведением подробного фрактографического исследования; проведением циклических испытаний, а также – исследованием тонкой структуры вблизи поверхности усталостных изломов.

Показана возможность обнаружения усталостных трещин магнитным методом путем измерений тангенциальной составляющей вектора магнитной индукции циклически нагруженного образца.

2. Положительное влияние упрочненного слоя, сформированного с помощью поверхностной деформационной (фрикционной) обработки, на усталостную прочность конструкционных сталей с феррито-перлитной и мартенситной структурами при статическом и циклическом растяжении подтверждено результатами испытаний на статическое и циклическое растяжение. При этом циклическое растяжение проведено в условиях как «жесткого», так и «мягкого» нагружения.

3. Последовательность процесса усталостной деградации наплавленных лазером хромоникелевых покрытий при контактно-усталостном нагружении изучали методами сканирующей электронной микроскопии с использованием современного сканирующего электронного микроскопа с системами рентгеновского волнодисперсионного микроанализа, рентгеновского энергодисперсионного микроанализа и анализа дифракции

обратно-рассеянных электронов, а также – с помощью рентгеноструктурного анализа.

4. Связь параметров микроиндентирования с контактной выносливостью поверхностно упрочненных сталей и наплавленных лазером хромоникелевых покрытий при контактно-усталостном нагружении изучали по результатам параллельно проведенных испытаний на контактную усталость с использованием специальной оснастки оригинальной конструкции и микроиндентирование с записью диаграммы нагружения.

Анализ новизны проведенных исследований и полученных результатов

Диссертант впервые провел ряд экспериментальных исследований и получил новые результаты, имеющие научную и практическую значимость.

- Новыми являются результаты, показывающие, что упрочненный слой, сформированный с помощью поверхностной деформационной (фрикционной) обработки, сохраняет запас пластичности и способствует более однородному пластическому течению поверхностно упрочненных сталей 20 и 50, соответственно, с феррито-перлитной и мартенситной структурами, при статическом и циклическом растяжении, что препятствует локализации деформации и оказывает положительное влияние на усталостную прочность.

- Новизну представляют результаты, демонстрирующие тот факт, что упрочненный слой, сформированный с помощью поверхностной деформационной (фрикционной) обработки, способствует повышению контактной выносливости в области много- и гигацикловой усталости перлитной стали У10 и метастабильной аустенитной стали AISI 321 (12X18H9T), когда контактные повреждения сосредоточены в тонком поверхностном слое с сильно диспергированной структурой, высокой твердостью и остаточными сжимающими напряжениями.

- Новым, вне всякого сомнения, является установленный автором дислокационный механизм изменения модуля упругости сталей, подвергнутых поверхностной упрочняющей фрикционной обработке, который заключается в способности подвижных дислокаций создавать дополнительную упругую деформацию и снижать модуль упругости, что положительно влияет на контактную выносливость.

- Научный интерес представляет установленная автором последовательность процесса усталостной деградации наплавленных лазером хромоникелевых покрытий при контактно-усталостном нагружении, которая заключается в формировании первоначального пятна контакта с последующим чередованием этапов роста трещин и когезионного скалывания покрытия по краю пятна контакта.

- Новизну представляет и выявленное наличие корреляции между параметрами, определяемыми при микроиндентировании (однократное нагружение), и размером контактных повреждений при контактно-усталостном нагружении.

Значимость результатов, полученных в диссертации

Результаты, полученные в диссертации Саврая Р.А. имеют важное значение для теории и практики термической обработки поверхностно-упрочненных сталей в функциональных хромоникелевых покрытиях:

- предложен теоретически обоснованный подход для оценки контактно-усталостной прочности без проведения длительных испытаний с использованием метода микроиндентирования (однократное нагружение);

- разработана новая методика, позволяющая проводить испытания на контактную гигацикловую усталость по схеме пульсирующего ударного контакта «плоскость-плоскость» с ультразвуковой частотой нагружения;

- обоснована возможность использования величины микротвердости поверхности и глубины контактных повреждений, измеренных в зоне пятен контакта, для количественной оценки степени усталостной деградации.

Результаты исследования усталостной и контактно-усталостной прочности поверхностно упрочненных сталей и функциональных хромоникелевых покрытий являются научной основой для разработки способов деформационных, химико-термических и комбинированных обработок деталей машин, а также для проведения механических испытаний с целью оценки усталостной долговечности и структурных изменений при эксплуатации.

Обоснованная возможность мониторинга магнитным и вихретоковым методами поверхностного трещинообразования в процессе усталостного нагружения объемно и поверхностно упрочненных сталей и контактно-усталостного нагружения функциональных хромоникелевых покрытий может быть использована для разработки методик оценки степени усталостной деградации и остаточного ресурса изделий после финишных поверхностных обработок.

Результаты по исследованию контактной выносливости аустенитной нержавеющей стали нашли практическое применение при усовершенствовании технологии наноструктурирующего выглаживания, обеспечивающей высокую твердость и низкую шероховатость поверхности обрабатываемых изделий, работающих в условиях повышенных контактных нагрузок. Данная технология была использована для изготовления деталей клиновых задвижек и обратных клапанов нефтепромыслового оборудования. Изготовление деталей реализовано в условиях промышленного производства на ООО «Предприятие «Сенсор» (г. Курган), что подтверждено соответствующим актом с ожидаемым годовым эффектом не менее 1,5 млн. рублей.

Практическая значимость результатов работы также подтверждена актом ООО «Вездеходы «Бурлак» (г. Курган), в котором отмечена важность исследования влияния жидкостной цементации на структуру и свойства аустенитной нержавеющей стали, а также возможность практического применения полученных результатов при разработке технологических процессов изготовления ответственных деталей трансмиссии вездеходов.

Вопросы и замечания по работе

1. Непонятно, где на рисунке 4.4 находится α' -фаза? Стрелка указывает на аустенит.

2. При испытаниях на гигацикловую усталость как контролировали температуру? На странице 128 указывается, что охлаждение есть, а вот про контроль температуры ничего не сказано.

3. В тексте, как диссертации, так и автореферата, автор неоднократно упоминает о «подобии структурных изменений». Необходимо пояснить, что автор понимает под данным термином?

4. Из рисунка 17 автореферата и рисунка 3.19 диссертации (стр.110) очевидно, что диаграмма растяжения стали 50 после закалки и отпуска при 350 °С имеет небольшую площадку текучести, а после получения поверхностного упрочненного слоя эта площадка исчезает. Необходимо пояснить, с чем связано появление площадки текучести в закаленном и отпущенном состоянии (обычно она характерна для отожженных, нормализованных и горячекатаных низко- и среднеуглеродистых сталей) и ее исчезновение после поверхностного упрочнения?

5. В работе имеются опечатки. Привожу некоторые из них:

Текст диссертации:

- стр.77, п.2.1.1, абзац 1;
- стр.94, вывод 2 к главе 2;
- стр.111, абзац 2;

- стр.121, вывод 4

Текст автореферата:

Стр.3, второй абзац снизу;

Стр.5, последний абзац;

Стр.6, задача 3

Указанные замечания ни в коей мере не снижают общей положительной оценки представленной диссертации.

Заключение

Оценивая диссертацию в целом можно заключить, что она представляет собой законченное научное исследование в области материаловедения.

Диссертация достаточно аккуратно оформлена, полученные результаты наглядно и полно представлены на иллюстрациях и в таблицах. Автор владеет научной терминологией. Диссертационная работа и автореферат написаны научным языком, стиль изложения простой и ясный.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация написана автором единолично.

Ссылки на опубликованные автором труды отражают содержание диссертации. Научные положения, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в опубликованных работах. Ссылки в диссертации соответствуют библиографическому списку использованных в работе источников.

Тема диссертационной работы соответствует специальности 2.6.17. Материаловедение.

Диссертацию отличает внутреннее единство, отраженное в последовательном решении следующих задач:

- разработка новой методики испытаний на контактную гигацикловую усталость по схеме пульсирующего ударного контакта «плоскость-плоскость» с ультразвуковой частотой нагружения для проведения

испытаний в условиях интенсивного силового воздействия на поверхность материала;

- установление закономерностей деформирования и разрушения исследуемых материалов при усталостном и контактно усталостном нагружении;

- выявление основных факторов, влияющих на сопротивление разрушению исследуемых материалов при различных видах циклического нагружения;

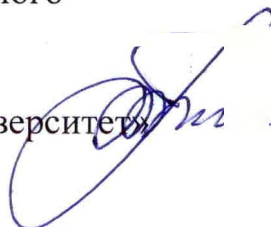
- демонстрация возможностей применения метода микроиндентирования, магнитного и вихретокового методов для оценки контактной выносливости и усталостной деградации исследуемых материалов.

Основные результаты диссертации изложены в 50 публикациях, в том числе в 32 статьях в ведущих российских и зарубежных рецензируемых научных журналах, определенных перечнем ВАК и Аттестационным советом УрФУ: «Физика металлов и металловедение», «Металловедение и термическая обработка металлов», «Дефектоскопия», «Физическая мезомеханика», «Surface and Coatings Technology», «Tribology Letters», «Materials Science and Engineering A», «Деформация и разрушение материалов», «Физика и химия обработки материалов», а также защищены 5 патентами на изобретения и полезные модели.

Представленная диссертационная работа на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.17. Материаловедение является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена важная научная и прикладная проблема, имеющая важное народно-хозяйственное значение, а именно – обеспечение высокой усталостной и контактно-усталостной прочности изделий после финишных поверхностных обработок.

Таким образом, по совокупности новых результатов, по их практической и научной значимости диссертационная работа «Анализ усталостной и контактно-усталостной прочности поверхностно упрочненных сталей и функциональных хромоникелевых покрытий» соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Саврай Роман Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент,
профессор, доктор технических наук,
заведующий кафедрой металловедения,
термической и лазерной обработки металлов
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»



Симонов
Юрий Николаевич

614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский пр-кт, д. 29
Тел. +7 (342) 2-198-021, e-mail: simonov@pstu.ru

Подпись Симонова Ю.Н. заверяю:

Ученый секретарь ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»

03.12.2024 г.



В.И. Макаревич