

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Третьякова А.А.

«Разработка и применение метода определения поверхностных остаточных напряжений для оценки технического состояния деталей машин»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин

### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

В производстве используются технологии получения покрытий путем наращивания поверхностного слоя с использованием различных способов массопереноса, что позволяет восстанавливать работоспособность изношенных деталей. Одним из существенных факторов, влияющих на надежность и долговечность деталей, их статическую и динамическую прочность, коррозионную стойкость и износостойкость после наращивания, являются остаточные напряжения. Ввиду недостаточной развитости методов измерения остаточных напряжений, проблема их анализа и наведения в настоящий момент очень актуальна.

### **2. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, теоретически обоснованы и подтверждены результатами натуральных экспериментов. Весь комплекс научно-исследовательских работ проведен на системной основе.

Автор глубоко изучил различные современные способы и технологии измерения остаточных напряжений, провел их сравнительный анализ, выявил преимущества нового подхода, основанного на упругопластичном контактном взаимодействии. Анализ состояния вопроса позволил выявить недостатки существующих методов, ограничивающие их возможности. С учетом этого сформулированы цель и задачи работы.

Автор корректно и квалифицированно использует современные численные методы решения контактной задачи, методы анализа и обоснования полученных результатов.

Экспериментальные исследования проведены с использованием оптико-электронных средств измерения и подтверждают все положения теоретического исследования с допустимой погрешностью.

*Обоснованность выводов.*

Первый вывод, посвященный теоретическому анализу и получению уравнений, описывающих влияние усилия вдавливания, механических свойств материала поверхностного слоя и поверхностных остаточных напряжений на распределение нормальных перемещений в наплыве, достоверен и обоснован.

Достоверность и научная новизна второго вывода, посвященного анализу основных зависимостей, полученных в ходе экспериментальной проверки не вызывает сомнения, поскольку он сформулирован на основе комплекса проведенных теоретических и экспериментальных исследований, результаты которых грамотно статистически обработаны.

Третий вывод посвящен обоснованию применения конического индентора. Обоснованность вывода подтверждается результатами численного моделирования процесса нагружения и проведенного комплекса экспериментальных исследований.

В четвертом выводе констатируется разработка нового способа определения поверхностных остаточных напряжений в восстановленных деталях. Параметры процесса обоснованы, а сам вывод обладает новизной.

Пятый вывод содержит анализ результатов исследования измерений поверхностных остаточных напряжений в восстановленных деталях. Вывод обладает научной новизной и достоверностью.

### **3. Оценка новизны и достоверности полученных результатов**

Новизна и достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями, доказывающими возможность оценки технического состояния деталей машин, а также повышение долговечности восстановленных деталей на основе информации об остаточных напряжениях для создания благоприятного напряженного состояния поверхностного слоя при разработке или совершенствовании технологий восстановления деталей.

Научная новизна работы заключается:

1) В разработке математической модели, описывающей зависимость параметров распределения нормальных перемещений в наплыве вокруг отпечатка конического индентора от усилия вдавливания, механических свойств материала поверхностного слоя детали и поверхностных остаточных напряжений.

2) В нахождении однозначной связи между поверхностными остаточными напряжениями и качественными и количественными характеристиками распределения нормальных перемещений в наплыве вокруг отпечатка при вдавливании конического индентора

По результатам работы автором сформулированы основные выводы, которые являются ответами на поставленные задачи и подтверждаются выполненными соискателем теоретическими и экспериментальными исследованиями.

### **4. Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа изложена на 153 страницах и включает в себя 20 таблиц, 52 рисунка. Работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка из 242 наименований и приложений.

Материал диссертации изложен логично, представляет собой единую, взаимоувязанную работу. Текст диссертации и автореферат достаточно полно отражают содержание выполненных исследований. Автореферат

соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация написана грамотно, текст отредактирован.

**В первой главе** автором по материалам отечественной и зарубежной литературы проведен анализ существующих методов определения остаточных напряжений. Показаны преимущества и недостатки. Установлены перспективы развития и совершенствования методов. Сформулированы цель и задачи исследования.

Задачи исследования, сформулированные автором в первом разделе, полностью реализованы в процессе выполнения работы.

**Во второй главе** приводятся результаты численного моделирования контактной задачи о вдавливании жесткого конуса в упругопластическое полупространство. В результате исследований получена регрессионная модель, описывающая взаимосвязь параметров отпечатка и остаточных напряжений, учитывающая усилие вдавливания и механические свойства исследуемого материала.

**В третьей главе** приведена методика определения остаточных напряжений, включающая методику регистрации нормальных перемещений поверхности с использованием оптико-электронной установки, создания отпечатка конического индентора, получения распределения нормальных перемещений, обработки экспериментальных данных и определения высоты образованного наплыва.

**В четвертой главе** изложены результаты экспериментальных исследований. Проведен сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных. Отклонение экспериментальных значений от теоретических в среднем составляет 7-8%. Качественные и количественные результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований, соответствуют данным теоретического анализа. Что позволило сделать вывод об адекватности всех положений математической модели.

**В пятой главе** приведено полное описание разработанного метода, а также представлен анализ чувствительности и погрешности. Приводятся

результаты, полученные в ходе исследования остаточных напряжений в деталях восстановленных при помощи различных технологий электроконтактной приварки присадочных материалов: металлической сетки, порошка, ленты и проволоки. Использование полученных результатов позволило скорректировать технологию восстановления, применив поверхностное пластическое деформирование и электроконтактное упрочнение, что позволило повысить предел выносливости восстановленных деталей в 1,5...2,5 раза.

### **5. Значение полученных результатов для науки и практики**

В диссертационной работе усовершенствован условно неразрушающий метод определения остаточных напряжений, позволяющий оперативно получать информацию, необходимую при совершенствовании технологий восстановления с целью повышения долговечности восстановленных деталей, отличающийся высокой чувствительностью, точностью и информативностью измерений, простотой применения.

Получены новые данные о поверхностных остаточных напряжениях в деталях машин, восстановленных электроконтактной приваркой присадочных материалов. Показано, что использование данных об остаточных напряжениях позволило усовершенствовать технологию восстановления валов электроконтактной приваркой присадочных материалов и повысить их долговечность на 18...30% по отношению к новой детали.

### **6. Внедрение и предложения по дальнейшему использованию результатов диссертационного исследования**

Полученные данные об остаточных напряжениях в восстановленных деталях используются в опытно-технологических работах по разработке и совершенствованию технологий восстановления деталей, проводимых Башкирским государственным аграрным университетом. Результаты исследований позволили разработать ресурсосберегающие технологии восстановления цилиндрических деталей машин. Внедрение результатов

исследований подтверждено Актами внедрения ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» и ПКФ «Ресурс» (Республика Башкортостан).

### **7. Полнота публикаций научных результатов**

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на 9 научных конференциях в 2013-2017 гг.

Основные результаты исследований по теме диссертационной работы опубликованы в 27 научных работах, из них 1 в издании, входящем в базу данных Scopus и 6 в изданиях, рекомендованных ВАК.

### **8. Замечания по содержанию и оформлению работы**

1. В диссертационной работе рассматриваются поверхности восстановленных деталей, что менее актуально, чем исследование упрочненных поверхностей или поверхностей с различными функциональным покрытиями.
2. Из работы не ясно, почему автор выбрал для исследования остаточных напряжений покрытия, полученные электроконтактной приваркой присадочных материалов, а не более перспективные способы восстановления и упрочнения, как сверхзвуковое или детонационное напыление. Дело в том, что при электроконтактной приварке присадочных материалов, на поверхности образуются зоны закалки и отпуска, при измерении которых получатся разные значения остаточных напряжений.
3. В работе не даны рекомендации по минимально возможному диаметру детали, который можно использовать для определения остаточных напряжений поверхности, а также по шероховатости поверхности.
4. Как согласуются экспериментальные данные по остаточным напряжениям, полученным спекл-интерферометрией и остаточными напряжениям, полученными другими способами (рентгеновский, магнитный, ультразвуковой, механические).

5. Из работы не ясно, как проверялись и сравнивались истинные и замеренные спекл-интерферометрией значения остаточных напряжений в покрытиях.
6. В автореферате имеются ссылки на использование программных пакетов Ansys, Abaqus, SigmaPlot, однако в работе не приведены конкретные данные, как и где использовались эти программы.
7. При электроконтактной приварке стальной ленты не наблюдается полного сплавления покрытия с основным металлом детали, как при наплавке. Есть ли какая-либо связь остаточных напряжений на поверхности и под покрытием, так как именно остаточные напряжения в основном металле будут играть решающую роль в выносливости детали.
8. Из работы не ясно, как в выражениях (2.10-2.13), стр.49-50 определяются показатели степени, для какого конкретного материала данные показатели степени и как сильно они отличаются для других материалов.
9. В представленной работе мало наглядного, демонстрационного материала, в виде рисунков с наложенными измерениями, в которых было бы проиллюстрирована обработка интерференционных полос.
10. На стр. 67 упоминается об использовании для вдавливания индентора твердомера типа ТШ, однако для алмазного конического индентора используют обычно твердомер типа ТК.
11. На стр. 69 приводятся примеры из работы [232]. Почему не приводятся свои примеры?
12. Во втором столбе таблицы 4.3 не приведены отклонения среднего значения измеренных величин.
13. Из работы не ясно, каким экспериментальным методом определяли остаточные напряжения, приведенные на рисунке 4.7, стр. 87.
14. На рисунке 5.10, стр. 114 приведена неверная ссылка на результаты усталостных испытаний.

## 9. Заключение

Диссертация Третьякова Андрея Алексеевича представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, решает важную научно-практическую задачу, выполнена автором самостоятельно. В работе приведены результаты, позволяющие их квалифицировать как существенный вклад в развитие науки об остаточных напряжениях, способах и технических средствах их определения. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа написана доступным, грамотным языком, аккуратно оформлена.

Диссертационная работа отвечает критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в редакции постановления Правительства Российской Федерации № 1024 от 28.08.2017), а ее автор Третьяков Андрей Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин.

Доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры технологии металлов и  
ремонта машин» ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»

 Сайфуллин Р.Н.

ФИО лица, предоставившего отзыв	Сайфуллин Ринат Назирович
Место работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»
Адрес	450001, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул. 50-летия Октября, 34
e-mail	bashagregat@mail.ru
Телефон	89173726541, 8(347)241-64-1

Подпись   
ЗАБЕРЯЕТ  
Заведующий канцелярией  
  
« 07 06 12 20  
ИНН 0278011005

