

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Третьякова Андрея Алексеевича «Разработка и применение метода
определения поверхностных остаточных напряжений для оценки
технического состояния деталей машин»

Актуальность выбранной темы

Повышение эксплуатационных характеристик деталей для конструирования машин и агрегатов является актуальной научно-технической проблемой, связанной не столько с поиском альтернативных, сколько с дальнейшим совершенствованием конструкционных металлических материалов, а также с технологиями восстановления. Решение проблемы снижения рисков аварийности и увеличения сроков службы восстановленных деталей можно искать в области снижения остаточных напряжений их в поверхностных слоях. Следует упомянуть, что остаточные напряжения могут играть и позитивную роль в вопросах повышения уровня свойств металла. Управление уровнем и характером распределения остаточных напряжений (например, намеренное создание поля сжимающих остаточных напряжений на поверхности металла) может позволить значительно повысить ряд эксплуатационных характеристик металлопродукции. Главной проблемой, не позволяющей науке двигаться в вышеуказанном направлении, является отсутствие научной базы, достоверных методик и способов измерения остаточных напряжений. Различные способы дают разный результат. Кроме того, популярные методики, такие как рентгеновские или ультразвуковые, позволяют измерять лишь напряжения 1-го рода (микроуровень, напряжения между атомами решетки) и ничего не могут сказать о напряжениях на макроуровне (в объеме изделия), которые и влияют на долговечность и надежность работы деталей машин. Таким образом, разработка новых способов определения

поверхностных остаточных напряжений 2-го и 3-го рода является действительно актуальной задачей.

Структура работы

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, в которых отражены документы, подтверждающие авторские права диссертанта на представленный способ, а также использование и внедрение полученных в работе результатов.

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертационной работы, ее научной новизны и практической значимости, сформулирована цель исследования, выделены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен критический обзор известных достижений и теоретических положений по тематике диссертации. Упомянуты авторитетные ученые и их результаты, как в области обеспечения надежности, восстановления и технической диагностики деталей, так и в области механики контактного взаимодействия а также в теории остаточных напряжений и методиках их определения.

Также в первой главе описан способ определения остаточных напряжений с применением сферического индентора и показаны его недостатки. Рассмотрены задачи о вдавливании конического индентора в упруго-пластическое полупространство и сделан вывод о целесообразности применения этого типа индентора для анализа остаточных напряжений.

В конце первой главы на основании проделанного обзора сформулированы цель и задачи исследования. Можно говорить о том, что цель и задачи конкретны и вытекают из проделанного обзора.

Во второй главе представлено аналитическое описание взаимосвязи остаточных напряжений с перемещениями поверхности контртела вокруг

отпечатка конического индентора. Проведена постановка задачи исследования, описана «базовая» модель взаимодействия конического индентора с упруго-пластическим полупространством (модель Джонсона). Проведен анализ взаимодействия индентора с контртелом методом конечных элементов. Получена факторная зависимость и аппроксимирована функция профиля наплыва.

Также в главе анализируется влияние различных факторов на геометрию наплыва, в том числе с помощью компьютерного моделирования устанавливается влияние остаточных напряжений на распределение нормальных перемещений в наплыве.

Полученная автором многофакторная математическая модель формирования отпечатка является основой дальнейших расчетов и разработанного способа измерения остаточных напряжений.

В третьей главе представлена методика экспериментальных исследований перемещений вокруг отпечатка конического индентора и их взаимосвязи с остаточными напряжениями. Описаны принципиальные основы электронной спекл-интерферометрии, приведены методики индентирования, измерения нормальных перемещений в наплыве и статистической обработки результатов.

В третьей главе диссертантом решены некоторые не простые вопросы, связанные с особенностями применения измерительного оборудования, верификации и статистической обработки результатов экспериментов. В частности, методика фиксации интерференционных картин требует проведения измерения «первой экспозиции», а после эксперимента – «второй экспозиции», после чего можно выявить расхождение интерференционных картин при их наложении.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований перемещений вокруг отпечатка конического индентора и их взаимосвязи с остаточными напряжениями. Представлена программа экспериментальных исследований. Проанализированы факторы,

оказывающие влияние на распределение перемещений в наплыве: усилие вдавливания индентора, механические свойства материала контртела и остаточные напряжения в поверхностном слое контртела.

Сделаны выводы о том, что в работе экспериментально подтверждены ключевые положения созданной математической модели.

В пятой главе непосредственно представлен метод измерения остаточных напряжений, описана последовательность действий при проведении экспериментальной части и расчетной. Приведены окончательные формулы для расчета остаточных напряжений на поверхности образца. Проведен анализ погрешности метода и сделаны выводы по области рационального его применения.

Также в главе приведены данные по апробации результатов диссертационной работы и их внедрении в рамках совместной научно-исследовательской деятельности с ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» и ПКФ «Ресурс» (Республика Башкортостан). Описаны экспериментальные исследования по измерению остаточных напряжений в образцах после электроконтактной приварки металлической ленты, порошковых материалов, наплавочной проволоки и металлической сетки.

Описано применение разработанного способа для анализа остаточных напряжений в образцах восстановленных деталей после поверхностного пластического деформирования и после электроконтактного упрочнения. Подтверждено влияние остаточных напряжений на долговечность по критерию усталостной прочности.

Кроме того в главе обосновано применение конического индентора в разработанном способе и показана экономическая эффективность работы.

Научная новизна полученных результатов

1. Развиты научные основы и представления о влиянии остаточного напряженного состояния на деформированное состояние тела при внедрении

конуса в упруго-пластическое полупространство в части закономерностей формирования «наплыва» в окрестности точки индентирования.

2. Теоретически и экспериментально доказана возможность измерения поверхностных остаточных напряжений в восстановленных деталях машин с использованием конического индентора.

3. Разработана математическая модель, описывающая зависимость параметров распределения нормальных перемещений в наплыве вокруг отпечатка конического индентора от усилия вдавливания, механических свойств материала поверхностного слоя детали и поверхностных остаточных напряжений.

4. Разработан новый способ измерения поверхностных остаточных напряжений.

5. Получены новые данные о поверхностных остаточных напряжениях в деталях машин, восстановленных электроконтактной приваркой присадочных материалов. Показано, что использование данных об остаточных напряжениях, измеренных разработанным способом, позволяет усовершенствовать технологии восстановления машиностроительных деталей и повысить их долговечность.

Практическая значимость

1. Разработана простая в применении методика измерения остаточных напряжений, позволяющая оперативно получать информацию, необходимую при совершенствовании технологий восстановления деталей с целью повышения их долговечности;

2. Разработанный способ был опробован, были получены результаты измерения остаточных напряжений при исследовании способов восстановления деталей, которые позволили выбрать рациональные технологические режимы восстановления.

Достоверность полученных результатов

Достоверность научных положений работы, подтверждена сравнением результатов численного моделирования и экспериментальных исследований. Расхождение полученных результатов не превышает 8...10%. Достоверность полученных результатов компьютерного и физического моделирования определяется использованием широко применяемых программ, таких как Ansys, Abaqus, SigmaPlot и Excel.

Апробация

По теме диссертации опубликовано 27 научных работ, из них 6 в журналах, рекомендованных ВАК, 1 в издании, входящем в базу данных Scopus, получен 1 патент на изобретение. Результаты исследований обсуждались на 9 международных, российских и региональных конференциях и конгрессах.

Замечания к работе

1. Одним из важнейших вопросов в области измерения остаточных напряжений любыми разрушающими или условно не разрушающими методами является вопрос, связанный со степенью повреждения исходного изделия. Известно, что любое локальное воздействие (тем более механическое) на изделие меняет в нем поле остаточных напряжений. Предложенная в диссертации методика предполагает подготовку поверхности. Не ясно, проводилась ли оценка влияния указанного фактора (подготовки поверхности) на остаточные напряжения. Меняет ли зачистка наждачной бумагой реальное поле остаточных напряжений на поверхности?

2. При анализе процесса формирования наплыва после индентирования утверждается, что трение вносит не значительный вклад в формирование диаметра и высоты наплыва – 10 %, однако не ясна целесообразность отбрасывания этого фактора, поскольку индентирование

проводится без смазки и учет трения только повысил бы точность модели, практически не усложнив ее.

3. Методика регистрации интерференционных картин на спекл-интерферометре предполагает предварительное измерение «первой экспозиции», а после эксперимента – «второй экспозиции», при этом для вдавливания конического индентора «деталь извлекается из оптической системы, а затем возвращается на прежнее место». Не ясно, каким образом обеспечивалась точность повторного расположения детали в узле крепления оптико-электронной установки, ведь даже незначительное отклонение положения образца может привести к серьезной ошибке в интерпретации интерференционных картин при их наложении.

4. При аппроксимации экспериментальных данных по поиску зависимости перемещений от остаточных напряжений в образце, диссертант утверждает, что «Набор экспериментальных данных описывается выражением (4.16), полностью совпадающим с полученным при теоретическом анализе задачи», однако, совпадения формул 2.17 и 4.16 в действительности не происходит. Формулировка «полностью совпадающим» представляется не корректной в данном случае, либо допущена опечатка, о которой требуется сказать.

5. В работе диссертант использует понятие модуля упрочнения, который имеет ограниченную область рационального применения. Кривые упрочнения большинства металлов и сплавов в холодном состоянии имеют далеко не линейный вид, а скорее степенной. В диссертации же факт зависимости модуля упрочнения от степени деформации отрицается, а кривые упрочнения представляются в кусочно-линейном виде. Справедливо отметить, что этот факт может вносить свой вклад в точность полученных результатов, особенно при анализе абсолютных величин остаточных напряжений.

6. При анализе влияния остаточных напряжений на перемещения в наплыве диссертантом проведены крайне любопытные эксперименты по

индентированию предварительно напряженных образцов с применением тензометрии, которые в диссертации почему-то не нашли должного отражения. Вместе с тем именно вокруг этого эксперимента (обоснования его нюансов, точности фиксации созданного предварительно напряженного состояния, различия природы созданных «активных» напряжений и «реактивных» остаточных напряжений и т.д.) можно было бы построить важную часть обсуждения работы. Считаю, отсутствие описания этого эксперимента в работе существенным замечанием.

7. При исследовании остаточных напряжений в цилиндрических образцах (при электроконтактной приварке наплавочной проволоки и металлической сетки) индентирование, судя по схемам измерений остаточных напряжений (рис. 5.5 и 5.6), проводили на боковой поверхности деталей, имеющей не плоскую поверхность. Проводилась ли оценка влияния величины радиуса образца на точность способа с учетом того, что в методике эллиптический отпечаток приводится к условно круглому.

8. Одной из основных проблем в сфере исследования остаточного напряженного состояния является достоверность полученных результатов. Проводилась ли оценка точности измерения ОН в исследованных деталях в сравнении с другими способами измерения ОН?

В целом высказанные замечания, затрагивающие некоторые спорные моменты, не меняют сущности и не снижают ценности описанных в работе результатов исследований и созданной методики измерения остаточных напряжений.

Общее заключение по работе

Диссертационная работа, подготовленная А.А. Третьяковым, представляет законченную научно-квалификационную работу, которая выполнена на актуальную тему и решает важную задачу разработки нового способа измерения остаточных напряжений.

Результаты научных исследований, выполненных автором, имеют важное теоретическое и практическое значение. Их внедрение вносит значительный вклад в повышение эффективности восстановления деталей машин и металлопродукции в целом. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Диссертация А.А. Третьякова соответствует паспорту специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

Представленная 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».

Официальный оппонент

канд. техн. наук, доцент

28.11.2018

Г.В. Шимов

Шимов Георгий Викторович

Кандидат технических наук, доцент

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт новых материалов и технологий, доцент кафедры «Обработка металлов давлением».

620002, Екатеринбург, Свердловская область, ул. Мира 19

тел. 89022795904

e-mail: g.v.shimov@urfu.ru

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
ОЗЕРЕЦ Н.Н.

