

В диссертационный совет 24.2.286.06
в Федеральном государственном
бюджетном образовательном
учреждении высшего образования
«Воронежский государственный
технический университет»

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой машиностроительных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им Г. Ф. Морозова» Кадырметова Анвара Минировича на диссертационную работу Яковлевой Анны Петровны на тему «Разработка процессов комбинированной обработки деталей концентрированными потоками энергии и поверхностной пластической деформацией для получения модифицированных износостойких поверхностных слоев», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Актуальность и существо представленной работы

Развитие промышленного комплекса России определяется внедрением в производство инновационных технологий машиностроения, в том числе, в области инженерии поверхности деталей, определяющих высокую надёжность технических изделий. В значительной мере это относится к системам машин с гидравлическим оборудованием, в которых доля отказов гидравлических систем доходит до 50 %, из которых значительная величина отказов связана с отказами золотниковых и плунжерных пар, обусловленных их изнашиванием. Недостаточная надёжность гидравлического оборудования увеличивает простои техники на ремонт, снижает производительность работ, ведет к росту издержек. Одним из эффективных путей решения данной проблемы является модификация трибоповерхностей с созданием научно обоснованных технологических процессов их получения, сочетающих различные методы обработки, позволяющих добиться синергетического эффекта формирования высокого качества упрочняемых поверхностей с заданной износостойкостью.

Все это составляет научно-техническую проблему, на решение которой направлена диссертационная работа с логичным приведением ее к

необходимости исследования перспективного метода комбинированной обработки (КО) деталей концентрированными потоками энергии (КПЭ) с поверхностной пластической деформацией (ППД). Решение вышеуказанной научно-технической проблемы и достижение поставленной в работе цели направлено на разработку новых научно-технических и технологических решений и обеспечивает **актуальность** темы исследования.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Автор диссертации ставит своей целью разработать процессы КО с наложением физических воздействий КПЭ и ППД для получения модифицированных поверхностных слоев и создать резерв для увеличения ресурса работы гидравлического оборудования у различных видов техники.

Полученные научные результаты и выводы отвечают поставленным задачам. Представленные в диссертации научные положения обоснованы и вытекают из анализа научно-технической литературы и публикаций ученых по теме диссертации. Достоверность результатов диссертационного исследования обусловлена применением существующих и разработанных автором методик теоретических и экспериментальных исследований с применением современной измерительной аппаратуры, методов планирования многофакторных экспериментов, научно-методологического комплекса управления структурообразованием в инженерии поверхности металлов, использованием современного сертифицированного оборудования, оценкой погрешности проведённых измерений, а также повторяемостью экспериментальных результатов. Теоретические положения и результаты моделирования не противоречат литературным и известным экспериментальным данным.

Достоверность и новизна *первого вывода* о разработке методики проектирования КО подтверждается теоретическим обоснованием на основе:

- получения взаимосвязи режимов КО и параметров качества обработанного поверхностного слоя;
- возможности формирования модифицированной поверхности при КО, отличающейся учетом технологической наследственности и типа производства при выборе технологического оснащения.

Достоверность и новизна *второго вывода* о механизме формирования модифицированного слоя при КО подтверждается использованием теоретических, апробированных и оригинальных методик экспериментальных

исследований процессов КО и экспериментальными результатами, заключающимися в возможности устранения зон концентрации напряжений в поверхностном слое и влиянии режимов КО на параметры обработанного поверхностного слоя (шероховатость, глубину масляного кармана, глубину упрочнения).

Достоверность и новизна *третьего вывода* о рациональных режимах КО поверхностного слоя подтверждается использованием теоретических и апробированных методик экспериментальных исследований на основе получения взаимосвязи режимов КО, включающей обработку КПЭ (лазерной закалкой или электро-механической обработкой) с ППД алмазным выглаживанием, и параметрами качества обработанного поверхностного слоя, обеспечивающими получение модифицированной поверхности с созданием остаточных сжимающих напряжений поверхности и снижающих ее шероховатость. Это отличает данные процессы КО тем, что: во-первых, на обрабатываемой поверхности формируются масляные карманы; во-вторых, исключаются зоны концентрации напряжений; в-третьих, учитывается технологическая наследственность; в-четвертых, учитывается тип производства при выборе технологического оснащения; в-пятых, все вместе это позволяет установить закономерности управления факторами процесса КО.

Новизна и достоверность *четвертого вывода* состоит в экспериментально подтвержденной математической модели описания параметров слоя модифицированной поверхности в зависимости от режимов обработки, позволяющей рассчитывать режимы при проектировании процессов КО.

Новизна *пятого вывода* о возможности исключения операции шлифования из технологического процесса изготовления золотников и плунжеров, отличающаяся низкой шероховатостью и благоприятными остаточными сжимающими напряжениями, подтверждается достоверностью использования апробированных и оригинальных методик экспериментальных исследований процессов КО и экспериментальными результатами.

Новизна *шестого вывода* о повышении износостойкости обработанных комбинированным процессом поверхностей на величину до 52 % по сравнению с традиционными методами (закалкой ТВЧ, цементацией, азотированием, электромеханической обработкой, лазерной закалкой), отличающаяся возможностью ее регулирования методами и режимами, подтверждается достоверностью использования апробированных и

оригинальных методик триботехнических экспериментальных исследований и экспериментальными результатами.

Новизна *седьмого вывода* о возможности управления процессом КО путем сохранения параметров высокого качества деталей, отличающемся возможностью создания технологического барьера для скрытых дефектов, подтверждается достоверностью использования апробированных и оригинальных методик экспериментальных исследований и экспериментальными результатами.

Достоверность и новизна *восьмого вывода* об универсальности разработанного метода КО обеспечивается повышением износостойкости других деталей, кроме плунжеров и золотников, что подтверждается актами внедрения на различных предприятиях.

Достоверность и новизна *девятого вывода* о развитии применения предлагаемых методов КО для деталей, эксплуатируемых при низких температурах, подтверждает перспективность их дальнейшего исследования на основе положительных результатов предварительных испытаний по параметрам твердости и остаточных напряжений. Также перспективность методов КО относится к *десятому выводу* в отношении развития применения предлагаемых методов КО для зубчатых колес легкомоторной авиации и беспилотных летательных аппаратов в отношении повышения твердости и глубины упрочнения цементируемых хромоникелевых сталей.

Научная новизна работы

Научную новизну работы представляют:

- методика проектирования технологических процессов комбинированной обработки с наложением физических воздействий КПЭ и ППД для получения модифицированных поверхностных слоев, отличающаяся учетом типа производства при выборе технологического оснащения и тем, что анализ результатов (параметров качества модифицированной поверхности) проводят с учетом технологической наследственности;
- установленные зависимости параметров качества поверхностного слоя модифицированных поверхностей (остаточных напряжений, глубины масляного кармана и шероховатости поверхности) от режимов комбинированной обработки с учетом влияния технологической наследственности;
- система технологических режимов КО поверхностей деталей на примере

золотников и плунжеров, отличающихся обеспечением создания резерва повышения их износостойкости за счет модифицирования поверхностей и формирования свойств с требуемыми твердостью, глубиной упрочнения, шероховатостью и остаточными напряжениями сжатия в сочетании с масляными карманами;

– впервые установлено влияние технологической наследственности, методов и режимов комбинированной обработки на образование зон концентрации напряжений (ЗКН) в модифицированном поверхностном слое. После КО в поверхностном слое не выявлены ЗКН. Установлено, что алмазное выглаживание является технологическим барьером для поверхностных дефектов, а методы термического воздействия (лазерная закалка, электрохимическая обработка или плазменная закалка) не являются таковыми для некоторых поверхностных дефектов;

– закономерности управления технологическими факторами комбинированной обработки, позволившие ограничить их значения рациональными диапазонами и решить задачу установления рациональных режимов комбинированной обработки по заданному диапазону эксплуатационной износостойкости. Решена обратная задача определения режимов КО по схеме: оптимальный уровень эксплуатационных свойств (износостойкость) → оптимальный диапазон режимов комбинированной обработки.

Теоретическая значимость работы

1 Разработанная методика проектирования процессов КО с применением концентрированных потоков энергии и ППД дает возможности использования ее в качестве теоретического инструмента, расширяющего технологические знания для создания поверхностей с форсированным уровнем свойств деталей по износостойкости и др. свойств. Это открывает дальнейшие перспективы научного развития КО.

2 Полученные теоретические зависимости параметров модифицированных поверхностей от режимов КО важны в качестве теоретических знаний для использования при прогнозировании заданных свойств поверхностных слоев на этапе технологической подготовки производства.

3 Полученные результаты для деталей золотниковых и плунжерных пар в качестве исходной информации могут быть использованы при разработке процессов КО на широкий круг деталей цилиндрического и другого профиля с расширенными требованиями по свойствам.

Ценность работы для практики

Практическая значимость заключается в разработанных технологиях комбинированной обработки, включая технологические рекомендации по выбору режимов обработки для различных сталей, руководства по эксплуатации установок ЭМО и др., направленных на формирование модифицированных износостойких поверхностей с улучшенными характеристиками, успешно внедренных на десяти промышленных предприятиях для повышения ресурса золотниковых и плунжерных узлов.

Материалы диссертационного исследования получили широкое практическое признание, прошли всестороннюю апробацию и в значительной степени нашли отражение в научных публикациях.

Оценка содержания диссертации

Диссертация является самостоятельной, завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические разработки, имеющие практическое подтверждение: технологии и технические средства для комбинированной обработки деталей КПЭ и ППД на примере плунжеров и золотников для получения модифицированных износостойких поверхностных слоев.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений, списка используемой литературы, включающего 339 наименований, и приложения.

Работа изложена на 279 страницах, содержит 75 рисунков и 24 таблицы.

Во введении изложена актуальность диссертации, определены объект, предмет, цель и методы исследований, научная новизна и основные результаты научно-исследовательской работы, выносимые на защиту; обозначена теоретическая и практическая ценность работы, а также продемонстрирована возможность применения её результатов в конкретной практической области.

В первой главе был проведен анализ причин отказов различных видов техники, классификация технологических методов повышения износостойкости, а также исследованы литературные источники по обеспечению эксплуатационных свойств деталей с учетом технологической наследственности, изучены комбинированные методы обработки. В качестве перспективных и универсальных способов повышения износостойкости деталей машин обоснован выбор комбинированных методов упрочнения с

использованием концентрированных потоков энергии, создающих дополнительный ресурс за счет формирования новых свойства поверхностных слоев.

Во второй главе теоретически подтверждена правильность предположения о том, что совмещение методов обработки концентрированными потоками энергии и ППД может дать положительный эффект – создать резерв для повышения износостойкости золотников и плунжеров у гидравлического оборудования. Теоретически определены основные параметры качества поверхностного слоя, представлены теоретические зависимости остаточных напряжений, глубины упрочнения, глубины масляного кармана в зависимости от режимов комбинированной обработки, а также эмпирические зависимости шероховатости поверхности от режимов комбинированной обработки. Рассмотрены варианты комбинированной обработки: электромеханическая обработка и алмазное выглаживание; лазерная закалка и алмазное выглаживание. Разработана методика проектирования процессов КО, отличающаяся учетом типа производства и технологической наследственности.

В третьей главе представлены экспериментальные и промышленные установки для исследований комбинированных процессов обработки, подробно описаны принципы работы, показан инструмент и рациональные режимы обработки. Разработана программа научного исследования, содержащая основные научные и экспериментальные направления, по которым проводились исследования с использованием современных, высокоточных методик для общих измерений и специальных исследований.

В четвертой главе экспериментально подтверждены основные результаты исследования по остаточным напряжениям, шероховатости поверхности, наличию зон концентрации напряжений. Доказано, что разработанные процессы КО могут создать резерв для повышения износостойкости золотников и плунжеров у гидравлического оборудования. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований показало высокую степень сходимости – до 80 %. Впервые было установлено, что алмазное выглаживание является технологическим барьером для большинства поверхностных дефектов.

В пятой главе представлены исследования износостойкости образцов с модифицированным слоем после комбинированной обработки. Доказано, что процессы комбинированной обработки создают резерв для повышения износостойкости деталей гидравлического оборудования из различных

материалов, применяемых для изготовления золотников и плунжеров.

В шестой главе дана оценка экономического эффекта (около 4,5 млн. руб), полученного после замены заводской технологии (азотирование), при изготовлении партии деталей, на процесс комбинированной обработки (электромеханическая обработка и алмазное выглаживание).

Также рассмотрены перспективы развития нового научного направления комбинированных методов обработки с наложением физических воздействий, по которым проведены исследования и имеются положительные результаты: применение в авиационной промышленности, например для изготовления деталей легкомоторных самолетов и беспилотных летательных аппаратов; экспериментальное исследование параметров модифицированного поверхностного слоя в низкотемпературных средах; дальнейшая разработка методов с наложением физических воздействий, например сочетание методов упрочнения концентрированными потоками энергии и методов ППД с ультразвуком.

Основные результаты диссертационной работы изложены *в заключении*, даны рекомендации производству.

Приложение к диссертационной работе содержит заключения и акты о проведенных испытаниях, акты внедрения в производство, патент на полезную модель, технологические рекомендации.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе приведены примеры сталей, для которых были получены положительные результаты применения предлагаемой технологии КО, но не представлены системные данные по группам сталей и сплавов, для которых может быть эффективна предлагаемая технология.

2. Неясно, чем руководствовался автор при выборе марок сталей для исследования КО.

2. Первая часть 3-го вывода первой главы малоинформативна.

3. Во 2-й главе не приведена величина расчетного значения критерия Фишера, подтверждающая адекватность уравнения регрессии (26) на стр. 125.

4. На некоторых графиках зависимостей приведены аппроксимационные линии без самих экспериментальных точек и/или доверительных интервалов, что затрудняет представление об их разбросе и погрешностях (рис. 4.1 на стр. 161, рис. 4.4 б) и в) на стр. 165-166, рис. 4.24 на стр. 191, рис. 5.1 на стр. 203-205).

5. Целесообразно было бы провести сопоставление полученных в работе

теоретических и экспериментальных результатов по остаточным напряжениям, шероховатости, глубине упрочненного слоя.

6. Замечания по оформлению. Некоторые абзацы выровнены не по ширине, как везде в тексте (стр. 49, 51, 52, 82, 96-98). Имеется опечатка на стр. 100: в 1-м выводе первой главы имеется лишний предлог «в» между словами «поверхностями» и «трения». В обозначениях параметров формулы (24) на стр. 123 до и после тире отсутствуют пробелы.

Замечания и недостатки по диссертационной работе не оказывают существенного влияния на полученные автором результаты.

Опубликованность результатов работы в печати и соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

По результатам исследований опубликовано 37 научных работ: две монографии в соавторстве, 17 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, две статьи в международной базе «Web of Science», получен один патент РФ на полезную модель.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях, в том числе, в публикациях по перечню изданий ВАК. В автореферате кратко изложены основные положения, отражающие сущность выполненной работы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Заключение

Диссертационная работа, выполненная Яковлевой Анной Петровной на тему «Разработка процессов комбинированной обработки деталей концентрированными потоками энергии и поверхностной пластической деформацией для получения модифицированных износостойких поверхностных слоев», представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой разработаны новые научно обоснованные технические и технологические решения по повышению эффективности производства класса деталей с контактными поверхностями трения на примере золотников и плунжеров, применяемых в строительной, сельскохозяйственной, железнодорожной и дорожной технике, в авиационном машиностроении, внедрение которых имеет существенное значение для развития машиностроительного производства России. Полученные данные обладают универсальностью и могут быть адаптированы для использования в условиях серийного и массового производства.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Яковлева Анна Петровна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Официальный оппонент

доктор технических наук (05.02.07 – технология
и оборудование механической и физико-
технической обработки, 05.02.08 – технология
машиностроения), доцент,
заведующий кафедрой
машиностроительных технологий
ФГБОУ ВО «ВЛГТУ»



Кадырметов Анвар
Минирович

16 июня 2025 г.



Е-mail: kadyrmetov.a@mail.ru
Тел. +7 (951) 568-50-27

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»
(ФГБОУ ВО «ВЛГТУ»)
Тел. +7 (473) 253-84-11, vglta@vglta.vrn.ru
394084, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

