

О Т З Ы В

на автореферат диссертации **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 (технические науки).

Диссертация посвящена актуальной проблеме совершенствования технологических процессов получения модифицированных поверхностных слоев пар трения в жидких рабочих средах. Новая технология комбинированной обработки деталей разработана на основе воздействия на материал концентрированного потока энергии и его поверхностной пластической деформации.

Автор диссертации предложила схему формирования износостойких поверхностных слоев в парах трения, в которой объединены наиболее значимые достоинства как методов упрочнения с помощью концентрированных потоков энергии, так и методов пластической деформации. Такой, совместно действующий подход предотвращает формирование зон концентрации напряжений (ЗКН) и позволяет получать поверхностные свойства деталей с повышенным ресурсом.

В автореферате кратко излагается содержание шести глав. В первой главе дан анализ состояния проблемы и определены научные направления исследования. Аналитический обзор материалов по пяти направлениям исследования износостойких поверхностей применяемых при производстве золотников и плунжерных пар позволил установить, что возникла необходимость разработки универсальной методики для проектирования процессов комбинированной обработки (КО) с наложением физических воздействий. Цель диссертационной работы сформулирована, как «разработка теоретических основ и новых технологий КО деталям концентрированными потоками энергии с поверхностной пластической деформацией...». Для достижения поставленной цели решают семь исследовательских задач.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям влияния режимов КО на параметры модифицированного поверхностного слоя. В качестве основного параметра качества поверхностного слоя, влияющего на износостойкость, выбраны остаточные напряжения I рода, которые складываются из трех составляющих: температурных, структурно-фазовых и механических $\sigma_{ост} = \sigma_{темп} + \sigma_{ф} + \sigma_{мех}$. Используя формулы, предложенные И. А. Биргером, А.Ю. Албагачиевым и другими получена теоретическая зависимость для расчета остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое детали после КО. Результаты расчета величины остаточных напряжений, при глубине их залегания до 1,4 мм, для различных методов КО, сведены в таблицу.

Глава три посвящена методам и средствам исследования. Разработана методика научного исследования, рассмотрен математический аппарат, применяемый для статистической обработки экспериментальных данных, дан обзор базовых понятий современных разделов математики, примененных в исследовании: теории множеств, теории имитационного моделирования, метода ЛРП-тау для эффективного поиска зависимостей критериев оптимизации от выбранных параметров. Методика проектирования КО отличается от имеющихся тем, что в ней учтены типы производства, поскольку это очень важно при выпуске большой номенклатуры деталей и учтено влияние технологической наследственности на качество поверхности и образование ЗКН.

Четвертая глава представлена экспериментальными исследованиями влияния режимов комбинированной обработки на качество модифицированного поверхностного слоя. Выявление ЗКН проводили с учетом технологической наследственности (после каждой операции): механической обработки, ЭМО или лазерной закалки, алмазного выглаживания. Для этого применен метод магнитной памяти металла (МПМ), который основан на регистрации собственных магнитных полей рассеяния (СМПП) и их градиентов (dH/dx). Подробно изучена зависимость твердости и глубины модифицированного поверхностного слоя от режимов КО для различных марок стали. Сделан вывод о том, что КО приводит к повышению твердости (HRC до 64 единиц) и глубине упрочнения до 1,3 мм и может быть рекомендована для изготовления золотников и плунжеров. Теоретически установлено и экспериментально доказано, что после КО образуется рельеф, который может удерживать смазку на поверхности трения. Кроме того, выполнена проверка достоверности теоретических расчетов величины остаточных напряжений на модифицированной износостойкой поверхности образцов. Для этого использован рентгеновский метод оценки. Измерение остаточных напряжений и изучение фазового состава материала образцов проводилось на дифрактометре BRUKER D8 Discover с использованием фильтрованного $K\alpha$ -излучения хрома по стандартному рентгеновскому методу $\sin^2\psi$.

Пятая глава содержит результаты экспериментальных исследований влияния режимов КО на триботехнические свойства модифицированного поверхностного слоя. Сравнительные испытания проводили на машине трения ИИ5018. Оценка износа проведена весовым методом согласно ГОСТ 23.224-86 на аналитических весах и методом поверхностной активации (ГОСТ 27860-88). Результаты исследований показали, что КО повышает износостойкость по сравнению с закалкой токами высокой частоты на 45 %, по сравнению с цементацией – на 46 %, с азотированием – на 39 %, с электромеханической обработкой – на 45 %, по сравнению с лазерной закалкой – на 52.

В шестой главе представлен расчет технико-экономической эффективности и вектор развития комбинированных методов обработки. Экономический эффект: $\Delta = (C1 + E_n \cdot K1) - (C2 + E_n \cdot K2)$, где $C1$, $C2$ – стоимость продукции по применяемой и предлагаемой технологиям соответственно; E_n – нормативный коэффициент ($E_n = 0,15$), $K1$, $K2$ – капитальные затраты, составил 4 425 905 руб.

Основными научными результатами работы являются.

- 1) Впервые теоретически установлено и экспериментально подтверждено влияние методов и режимов КО на образование ЗКН в модифицированном поверхностном слое. Выявлено влияние фактора наследственности и отсутствие ЗКН в поверхностном слое после КО.
- 2) Создана методология проектирования технологических процессов КО, отличающаяся возможностью решения обратной задачи, обеспечивающей получение оптимального диапазона режимов КО.
- 3) Установлена взаимосвязь процессов КО, режимов обработки с параметрами качества модифицированных поверхностей и износостойкостью, сочетающих твердость, глубину упрочнения, шероховатость, остаточные напряжения с масляными карманами.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработаны процессы КО для получения модифицированных поверхностей, повышения качества поверхностного слоя и износостойкости на примере золотниковых и плунжерных пар трения.

2. Разработана научно обоснованная методика проектирования процессов КО с применением концентрированных потоков энергии и ППД с учетом технологических требований для повышения износостойкости деталей с контактными поверхностями трения в жидких рабочих средах.
3. Разработаны инженеринговые решения для внедрения на предприятиях, изготавливающих детали с контактными поверхностями трения в жидких средах.

Предложенные диссертантом выводы и рекомендации соответствуют цели и задачам.

По автореферату имеются замечания.

1. Представленный литературный обзор основан на работах отечественных исследователей.
2. Игнорирование имеющихся данных, по количественной оценке, градиента магнитных полей рассеяния, который характеризует уровень концентрации остаточных напряжений в материале.
3. Нет анализа технологического оборудования для изготовления деталей с контактными поверхностями трения в жидких рабочих средах.

Однако отмеченные замечания не снижают ценности работы и важность полученных в ней научно-методических и расчетно-экспериментальных результатов.

Диссертация Яковлевой А.П. является законченным научным исследованием, вносит значительный вклад в развитие теории и практики получения модифицированных поверхностных слоев в парах трения, содержит научно обоснованные новые технологические решения актуальной задачи совершенствования технологии комбинированной обработки деталей, подвергаемых преждевременному износу. На основе рассчитанного экономического эффекта (4425905 рублей), результаты работы рекомендованы для внедрения в авиационную и космическую промышленность.

Диссертационная работа по уровню актуальности, новизны, научному уровню и практической значимости соответствует Положению ВАК РФ о требованиях к докторским диссертациям, а ее автор Яковлева Анна Петровна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)».

к.т.н., старший научный сотрудник
ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова



Исаков Владимир Владимирович

Подпись Исакова В.В. заверяю:
Ученый секретарь ФАУ
«ЦИАМ им. П.И. Баранова»
д.э.н., доцент



22.09.2025г.

Джамай Екатерина Викторовна

Федеральное автономное учреждение
«Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова»
111116 г. Москва, ул. Авиамоторная, 2. Тел (485) 362-40-25 vvisakov@ciam.ru

Я, Исаков Владимир Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Яковлевой Анны Петровны на тему «Разработка процессов комбинированной обработки деталей концентрированными потоками энергии и поверхностной пластической деформации для получения модифицированных износостойких поверхностных слоев»