

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

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» **Сидякина Юрия Ивановича** на диссертационную работу **Соколова Вячеслава Дмитриевича** «Создание технологии упрочнения свободнодвижущимися инденторами на базе энергетической оценки качества поверхностного слоя», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

1. Актуальность темы диссертации

Диссертационное исследование Соколова В.Д. посвящено повышению эффективности упрочняющей механической обработки деталей динамическими методами поверхностного пластического деформирования (ППД) путем обоснования и использования при осуществлении технологических процессов нового энергетического критерия оценки качества обработки и эксплуатационных свойств деталей. В качестве него принято предельное значение внутренней энергии, накопленной в локальном микрообъеме упрочненного поверхностного слоя в результате упругопластического контактного воздействия (ППВ) на поверхность упрочняемых деталей.

Актуальность темы обусловлена тем, что при осуществлении технологических операций ППД деталей, проводимых, главным образом, с целью повышения их циклической прочности, решающее значение имеет выбор наиболее рациональных технологических режимов обработки. К настоящему времени для оценки эффективности процессов ППД разработано несколько разнообразных силовых и деформационных критериев, среди которых наиболее часто применяются такие как: предельная степень деформации поверхности, толщина наклепанного слоя, приращение твердости, благоприятная система остаточных сжимающих напряжений и пр. При этом выбор наиболее приемлемого варианта, который на начальной стадии проработки техпроцесса изготовления деталей, большей частью, определяется конструктором, практически всегда остается за технологом. К сожалению, не всегда и он оказывается оптимальным. Поскольку обобщенного критерия оптимизации техпроцессов ППД механическими способами (в широком смысле этого слова) пока не создано, то любые исследования в данном направлении будут востребованы практикой и актуальны. Тем более, когда речь идет о новом энергетическом критерии оценки качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей, связанным с предельным уровнем внутренней энергии, накапливаемой в упрочненном поверхностном слое в результате ППВ. Отличительной особенностью энергетического подхода является то, что для критериальной оценки процессов пластической деформации на микро- и субмикроскопическом уровнях предлагается использовать основные фундаментальные термодинамические характеристики материалов упрочняемых деталей, что, несомненно, для их практической реализации потребует решения целого комплекса вопросов. Представленная работа ориентирована на достижение именно этой цели, что в полной мере определяет её теоретическую и практическую значимость.

В результате выполненных исследований автор:

- определил структуру модели изменения энергетического состояния упрочненного поверхностного слоя при ППВ;
- экспериментально обосновал новый энергетический критерий оценки эффективности динамических процессов ППД, на основе которого разработал метод определения физико-механических параметров качества поверхностного слоя;

- на основе энергетического подхода установил условия возможного разрушения поверхностного слоя деталей при циклическом характере нагружения;
- получил зависимость для расчёта продолжительности обработки деталей динамическими методами ППД до начала образования перенаклёпа на поверхности;
- разработал методику назначения рациональных режимов обработки деталей ППВ и предложил практические рекомендации по использованию результатов исследования на машиностроительных предприятиях.

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

В диссертации изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, которые позволяют повысить эффективность динамических способов ППВ с использованием свободнодвижущихся рабочих тел. Проведен анализ технологических возможностей этих процессов и установлены закономерности упрочнения поверхностного слоя металлических материалов динамическими способами ППВ, сформулированы и подтверждены экспериментом основные положения нового энергетического подхода к оценке эффективности обработки, с позиций которого предложен и обоснован новый энергетический критерий оценки качества обработки и эксплуатационных свойств деталей.

Научная новизна работы заключается: в обосновании нового энергетического критерия оценки эффективности процессов механического деформационного упрочнения поверхностей деталей динамическими методами ППВ и в установлении на его основе взаимосвязи основных технологических параметров режимов обработки с требуемыми по условиям эксплуатации физико-механическими характеристиками упрочненного поверхностного слоя; в разработке расчётных зависимостей по определению оптимальной продолжительности процесса обработки и прогнозированию усталостной долговечности упрочненных деталей.

Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения; выполнена на 131 страницах, содержит 50 рисунков, 22 таблицы, список использованных литературных источников из 152 наименований и приложения. Автореферат диссертации в целом отражает ее содержание и соответствует предъявляемым к нему требованиям.

Во введении обоснована актуальность работы, связанная с возможностью учета запаса энергии в некотором «локальном» микрообъёме упрочнённого поверхностного слоя в результате ППВ и использования его предельного значения для оценки эффективности процессов ППД, назначения рациональных режимов обработки, прогнозирования характеристик качества поверхностного слоя и ресурса изделий на этапах проектирования техпроцесса и дальнейшей эксплуатации. Сформулированы цель и задачи предстоящего исследования.

В первой главе приведён подробный анализ литературных источников по рассматриваемой проблеме с акцентом на современное состояние и достижения последних лет в области развития и промышленного освоения упрочняющих технологий, основанных на ППД с упором, большей частью, на динамические способы. Дано описание практически всех традиционно используемых на практике критериев оценки напряжённо-деформированного состояния упрочненных поверхностей. Отражена роль отечественных и зарубежных ученых в совершенствовании и развитии деформационных видов обработки на различных этапах. Раскрыты закономерности и технологические возможности деформационной механической обработки поверхностей деталей. Подробно рассмотрены физические явления, происходящие в упрочненном поверхностном слое, с позиций возможности использования ресурса внутренней энергии, запасённой в этом слое при ППВ, для оценки эффективности технологических процессов обработки деталей. На основе сделанного анализа уточнены цель и задачи исследования.

Во второй главе приведено обоснование использования в производственной практике машиностроительных предприятий нового энергетического критерия оценки эффективности

процессов деформационного упрочнения поверхностей деталей динамическими методами ППВ. Рассмотрено и проанализировано энергетическое состояние упрочнённого поверхностного слоя. Сформулированы положения и допущения для разработки математической модели, основанной на энергетическом подходе, для оценки этого состояния и определения предельного количества внутренней энергии в локальном микрообъёме поверхностного слоя. Проведена комплексная экспериментальная проверка предложенной энергетической модели. На её основе исследован механизм изменения энергетического состояния локального микрообъёма поверхностного слоя при ППВ и установлены условия оптимального контактного деформирования упрочняемых деталей свободнодвижущимися инденторами, не приводящие к разрушению поверхностей.

В третьей главе на основе предложенного энергетического критерия установлены и расчетные зависимости для определения основных физико-механических характеристик качества поверхностного слоя после ППВ. Для проверки адекватности расчетных зависимостей были использованы не только результаты экспериментов автора, но и литературные данные других исследователей.

Четвёртая глава посвящена оценке влияния динамических процессов ППВ на эксплуатационные свойства упрочнённых деталей, в частности, на их пределы выносливости и долговечность. Экспериментально подтверждена правомерность использования полученного на основе энергетической модели условия разрушения поверхностного слоя и прогнозирования оптимальной продолжительности обработки деталей ППВ.

В пятой главе разработана практическая методика расчетного назначения рациональных технологических режимов обработки деталей ППВ на стадиях подготовки и проектирования техпроцессов их изготовления. Даны практические рекомендации по использованию этой методики в производственных условиях.

Все главы диссертационной работы изложены четко, последовательно, в полном соответствии с решаемыми задачами, хорошо проиллюстрированы и завершаются обобщениями. Диссертационная работа содержит 6 выводов, которые резюмируют основные результаты, полученные в ходе исследования, и полностью соответствуют поставленным задачам.

Оценка практической ценности

Практическая ценность работы состоит в разработке инженерной методики расчетного определения режимов упрочняющей обработки деталей ППВ с учётом получения требуемых по условиям эксплуатации качественных показателей упрочнённого поверхностного слоя, а также рекомендаций по проектированию технологий динамических процессов ППВ.

Достоверность полученных результатов и **обоснованность** выводов и рекомендаций обеспечена корректным использованием основ технологии машиностроения, термодинамики, физики металлов и металловедения, теорий прочности и сопротивления разрушению твердых тел, последних достижений теории упругопластических контактных деформаций, применением современных методов испытаний, оборудования и измерительных приборов, методов математической статистики, а также данными экспериментальной проверки принятых решений и успешным внедрением полученных результатов в производство.

Содержание диссертации и автореферата в основном ясно и аргументировано раскрывает цель и основные задачи исследования, достаточно полно отражает достигнутые научные и практические результаты, которые апробированы докладами на многочисленных научно-технических конференциях различного уровня и публикациями в открытой печати. Язык и стиль изложения материала свидетельствуют о научной зрелости автора, его относительно высоком научном потенциале. Достоверность полученных результатов исследования не вызывает сомнений.

Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в 10-ти статьях, опубликованных в журналах, которые включены в перечень ВАК России и рекомендованы для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата наук.

3. Замечания по диссертации и автореферату

1. Не ясно, что понимается под «эффективной» твёрдостью и о каких составляющих интенсивности остаточных напряжений (вне зависимости от формы детали или образца) идет речь? Почему на графиках рис. 3.2-3.11 не отмечены доверительные интервалы разброса экспериментальных значений?

2. В уравнениях энергетических моделей используются два коэффициента: коэффициент перенапряжений k_σ на межатомных связях и коэффициент k_n , учитывающий долю механической энергии в общем балансе работы деформации, накапливаемой в локальном объеме поверхностного слоя и устанавливаемый экспериментально. Однако значения и способы их определения для выполнения расчетов не указаны. Как при этом оценивать предварительное значение энергии E_0 на предшествующих ППД технологических операциях и как определялась (см. с. 25) «степень деформации ϵ локального микрообъёма поверхности», что под ней понимается?

3. При расчетах на усталостную долговечность деталей не учитывается то обстоятельство, что энергетическое состояние поверхностных слоёв невозможно создать одинаковым и однородным по всей поверхности деталей из-за особенностей их формы и наличия различных концентраторов напряжений, что, несомненно, должно отразиться на адекватности полученных расчетных зависимостей для назначения рациональных режимов упрочняющей обработки ППВ.

4. В качестве критерия оценки эффективности процесса ППВ самодвижущимися инденторами принято предельное значение внутренней энергии пластически деформированного «локального» (молярного) микрообъёма в упрочненном поверхностном слое. Не совсем четко представлен алгоритм расчётного определения и этого микрообъёма в сложных по структуре материалах типа стали, и предельного значения накопленной в нём энергии. Не понятно, какими данными должен располагать технолог, чтобы по значению предлагаемого критерия не только назначать рациональные технологические режимы обработки, но и контролировать его реализацию в процессе деформационного упрочнения конкретной детали?

5. При всей обоснованности преимуществ энергетического критерия оценки эффективности упрочняющей обработки деталей ППВ не ясно, может ли он носить универсальный характер в смысле применимости не только к динамическим, но и квазистатическим методам, таким как обкатка роликами или шариками, выглаживание и пр.? Есть ли какая-нибудь взаимосвязь его с традиционно используемыми «механическими» деформационными критериями?

6. Почему для достижения предельного значения накапливаемой в локальном микрообъёме металла внутренней энергии достаточно 10-14 актов контактного нагружения, а для начала разрушения поверхности - всего 72-77? Каковы при этом были: энергия единичного удара, форма и размеры инденторов? Чем подтверждаются эти цифры? Практика динамических процессов упругопластического контактного взаимодействия твердых тел свидетельствует о том, что после стабилизации роста деформационных (геометрических) параметров отпечатка, в частности, на сталях среднего уровня твердости при постоянной энергии единичных ударов, появление видимых следов разрушения поверхности в виде микротрещин, и то не в самой контактной зоне, а на её периферии, вблизи контура отпечатка, наступает лишь после нескольких сотен ударов.

7. Почему в уравнении энергетического баланса локального объёма металла (см. ф. 2.9 или 4 в автореферате) используется «статическая» твёрдость HV, хотя рассматривается динамический процесс упрочняющей обработки? Не сказано, как определяется значение коэффициента диссипации K_d обрабатывающей среды, от чего он зависит?

8. Результаты проведенных исследований были применены для вибрационно-ударного упрочнения поверхностей зубьев зубчатого колеса и промежуточного вала. Однако в представленном описании не указываются ни тип колеса, ни форма, размеры и материал этих деталей, а также режимы их упрочнения, которые привели к повышению эксплуатационных свойств в 1,2 раза, что не позволяет в достаточной степени оценить практические возможности полученной методики расчета технологических режимов ППВ. Не понятна конкретика этих «эксплуатационных» свойств и за счет чего получен эффект? Здесь, в отличие от акта внедрения, следовало бы привести назначенные по предлагаемой автором методике режимы обработки этих изделий в сравнении с традиционно применяемыми режимами.

9. Имеются недостатки редакционного характера и в оформлении диссертации:

- на подписи к рис. 3.6 для стали 40X исходная твердость указана как 1000 МПа, тогда как на самом графике её значение порядка 1900 МПа;
- размерность твердости HV должна соответствовать ГОСТу, т.е. кгс/мм²; поэтому в табл. 2.4 для сталей 20, 35 и 45 она указана как 163, 111-167 и 170 МПа соответственно, что не верно;
- имеются различия в обозначениях одних и тех же параметров, что затрудняет понимание: например, на с. 53 величина энергии, накопленной в пластически деформированном локальном объеме, обозначена как $E_{уп}$, тогда как в форм. (2.11) на с. 51 как $E_{пл}$, а в табл. 2.9-2.11 как E_y ;
- в тексте диссертации отсутствуют ссылки на иностранные источники из списка литературы.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают значимости выполненного исследования. Результаты диссертационной работы заслуживают внимания, полезны с теоретической и практической точек зрения.

4. Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа **Соколова В.Д.** представляет собой решение важной научно-технической задачи, имеющей большое значение для многих отраслей машиностроения. Она является самостоятельным завершенным научным трудом, выполненным на высоком научном и методическом уровнях. Её актуальность, научная новизна и практическая значимость не вызывают сомнений. Основные положения исследований достаточно полно представлены в опубликованных трудах автора.

На основании автореферата, его содержания, объекта и предмета исследования можно заключить о соответствии представленной диссертации требованиям ВАК РФ, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, изложенным в п.п.9-14 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановление правительства РФ от 24.09.2013 г. за № 842), а её автор, **Соколов Вячеслав Дмитриевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Технология машиностроения»

Волгоградского государственного технического

университета, доктор технических наук, доц.

специальность: 01.02.06 «Динамика, прочнос

приборов и аппаратуры»

Адрес: 400005, г. Волгоград, ВолгГТУ, пр.

E-mail: techmash@vstu.ru

раб. тел.: 8 (8442) 24-84-38

сот. тел.: _____

Сидякин

Юрий Иванович

Сидякин Ю.И.
6 июля 2023
В.Д. Соколов
(подпись)