

ОТЗЫВ

официального оппонента
кандидата технических наук Федониной Светланы Олеговны
на диссертационную работу Митрофановой Кристины Сергеевны
«Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей машин методом
поверхностного пластического деформирования мультирадиусным роликом»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения»

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Одной из ключевых задач современного машиностроения является повышение качества поверхностного слоя и эксплуатационных свойств ответственных деталей машин. Кемеровская область – Кузбасс является лидером по добыче угля в России, и до недавнего времени на предприятиях угольной промышленности превалировало импортное оборудование. Практически все виды горно-шахтного оборудования (ГШО) являются гидрофицированными ввиду высокой газоопасности угольных пластов; при этом основой горнодобывающих комплексов является силовая гидравлика: гидроцилиндры, гидродомкраты, гидрораспределители, а также валы вентиляционных насосов и другие. Штоки, как наиболее ответственные компоненты силовой гидравлики, изготавливаются из конструкционных сталей. Это связано с тем, что цилиндры силовой гидравлики в составе крепей обеспечивают поддержку крыши шахтных выработок на глубинах 200-400 м и более, испытывая при этом большое горное давление; штоки испытывают предельную нагрузку как статическую, работая в условиях растяжения, сжатия и кручения, так и динамическую (циклическую), связанную с колебаниями горного давления. Достичь требуемые параметры качества возможно методами поверхностного пластического деформирования (ППД). Однако, статические методы ППД не обеспечивают требуемую глубину и степень упрочнения поверхностного слоя до 4-5 мм и более 40% соответственно, из-за физических особенностей. Динамические методы, такие как центробежная и дробеструйная обработка, обработка микрошариками и др. также имеют ограничения, включая увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности. Комбинированные методы упрочнения статической и динамической нагрузками также имеют недостатки, такие как малый КПД при динамическом нагружении (глубина упрочненного слоя составляет не более 0,09...0,15 мм), низкая производительность процесса упрочнения и сложность управления процессом упрочнения. Чтобы получить большие значения глубины упрочнения и степени необходимо увеличивать усилие обкатывания (натяг деформирующих инструментов). Однако существуют ограничения, связанные с возникновением впереди деформирующего инструмента пластической волны, которая разрушается при превышении натягов свыше 0,05 мм.

Анализ результатов исследований позволил выявить направления интенсификации процессов статического ППД, включая создание схем обработки с применением сложнопрофильных инструментов, сочетающих в одной наладке несколько деформирующих инденторов. Одним из таких инструментов является мультирадиусный ролик (МР-ролик, патент РФ № 2557377), разработанный на кафедре «Технология машиностроения» КузГТУ (Россия, г. Кемерово). МР-ролик позволяет создать требуемую схему нагружения даже при натягах свыше 0,15 мм, обеспечить высокие сжимающие напряжения в очаге деформации и обеспечить требуемые параметры качества поверхностного слоя.

Несмотря на эффективность данного процесса / данной схемы нагружения, которая характеризуется возможностью накопления больших деформаций и одновременным повышением качества ПС, остаётся ряд нерешённых задач. К числу таковых относятся: отсутствие теоретического обоснования процесса, стабильных результатов исследования качества поверхностного слоя, развитых проектных моделей, позволяющих проектировать данную технологию и другие. Отсутствие этих научных результатов сдерживает широкое внедрение

процесса в промышленность. **Целью настоящего диссертационного исследования** является повышение качества поверхностного слоя деталей путем создания высокого гидростатического давления в очаге деформации при ППД мультирадиусным роликом (МР-роликом).

2. Общая характеристика, структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка, включающего 282 источника и 2 приложения. Работа изложена на 255 страницах, содержит 105 рисунков, 43 таблицы, 2 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, основная идея и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость результатов работы, основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ результатов отечественных и зарубежных исследований в области поверхностного пластического деформирования (ППД), который позволил выявить перспективные направления, установить направления интенсификации режимов и повышения качества поверхностного слоя (ПС), обеспечивающие высокую долговечность в условиях приложения эксплуатационных циклических нагрузок.

Во второй главе представлены разработанные структурная, феноменологическая и конечно-элементная (МКЭ) модели процесса ППД мультирадиусным роликом и выполнен расчет напряженно-деформированного состояния очага деформации и упрочненного поверхностного слоя на основе механики технологического наследования (ТН).

В третьей главе изложены программа и методики экспериментальных исследований на основе применения современных средств и методов исследований, таких как, оптическая микроскопия, атомно-силовая микроскопия, рентгеноструктурно-фазовый анализ; были использованы также методы измерения микротвердости, шероховатости, остаточных напряжений 2-го рода и др.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований геометрических параметров очагов деформации, влияния режимов процесса ППД МР-роликами с различной геометрией рабочей части инденторов на качество поверхностного слоя.

В пятой главе содержатся сведения о практическом применении результатов исследований. Разработаны алгоритм проектирования, технология и сложнопрофильные инструменты (ролики) для поверхностного пластического деформирования, позволяющие использовать исследуемый процесс, как при изготовлении новых, так и при восстановлении изношенных поверхностей эксплуатирующихся деталей машин на универсальных станках и станках с ЧПУ.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов настоящего диссертационного исследования подтверждается достаточным объемом анализа литературных источников, использованием современных методик экспериментальных и теоретических исследований и обработки полученных данных.

Выводы по главам и по работе в целом в достаточной степени обоснованы, опираются на существующие научные положения и не противоречат существующим теориям и исследованиям. Принятые граничные условия являются допустимыми и не оказывают существенного влияния на результаты работы. В процессе диссертационного исследования автор корректно ссылается на заимствованные методики и научные результаты, полученные другими авторами.

Изложенные в диссертации результаты прошли апробацию на международных и российских конференциях различного уровня.

Основные научные результаты достаточно полно отражены в публикациях: опубликованы 34 научные работы, в том числе, 1 патент, 5 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ, 4 статьи в изданиях, входящих в перечень *Scopus* и *Web of Science*, 24 материала и тезисов в сборниках трудов научных конференций и семинаров.

4. Научная новизна исследований

1. Теоретически обоснована и экспериментально апробирована технология поверхностного пластического деформирования мультирадиусным роликом (МР-роликом), отличающаяся оригинальной схемой нагружения поверхностного слоя, обеспечивающей высокое гидростатическое давление (до -960 МПа) в очаге деформации с получением высокого уровня накопленных деформаций (касательные компоненты тензора полных деформаций ε_{xy} и пластических деформаций $\varepsilon_{плxy}$ от -0,916 до -0,787) и остаточных сжимающих напряжений, мелкозернистой структуры ($8\pm 1,5$ мкм, при исходном размере зерна $55\pm 4,5$ мкм) без разрушения поверхностного слоя детали (п. п. 3, 4 паспорта научной специальности 2.5.6).
2. Методами оптической (ОМ), атомно-силовой микроскопии (АСМ), рентгеноструктурного анализа (РСА) установлен характер влияния обработки ППД МР-роликом на формирование структурно-фазового состояния металла поверхностного слоя, выявлено (на примере стали 45) существенное увеличение остаточных напряжений второго рода (σ_{II} , от -1106 до -1408 МПа); увеличение микродисторсии (микроискажений) кристаллической решетки ($\langle \varepsilon^2 \rangle^{1/2}$, 10^{-3} от 1,6 до 2,2) с одновременным существенным уменьшением области когерентного рассеивания (ОКР) (D , нм, с 71 до 40 нм) в зонах перекрытия зон очага деформации с преобладающим высоким гидростатическим давлением (п. 7 паспорта научной специальности 2.5.6).
3. Установлен вид связи между микротвердостью, глубиной упрочнения, размерами зерна и режимами обработки ППД МР-роликом (п. п. 2, 7 паспорта научной специальности 2.5.6).

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей формирования качества поверхностного слоя при интенсификации напряженно-деформированного состояния очага деформации методом поверхностного пластического деформирования мультирадиусным роликом.

Практическая значимость работы заключается в создании финишного отделочно-упрочняющего способа обработки сложного профиля инструментом, обеспечивающим высокое гидростатическое давление в очаге деформации и значительный упрочняющий эффект с образованием наноразмерной структуры без разрушения поверхностного слоя металла обрабатываемой детали.

6. Анализ публикаций автора по теме диссертационного исследования

По результатам диссертационной работы опубликовано 34 научные работы, в том числе, 1 патент, 5 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ, 4 статьи в изданиях, входящих в перечень *Scopus* и *Web of Science*, 24 материала и тезисов в сборниках трудов научных конференций и семинаров.

В публикациях полностью отражены основные научные результаты исследований.

7. Соответствие автореферата диссертации

Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание диссертации и отвечает требованиям ВАК РФ.

8. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа Митрофановой Кристины Сергеевны соответствует паспорту заявленной автором научной специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения», а именно, следующим пунктам областей научных исследований:

2. Технологические процессы, операции, установовы, позиции, технологические переходы и рабочие хода, обеспечивающие повышение качества изделий и снижение их себестоимости.

3. Математическое моделирование технологических процессов и методов изготовления деталей и сборки изделий машиностроения.

4. Совершенствование существующих и разработка новых методов обработки и сборки с целью повышения качества изделий машиностроения и снижения себестоимости их выпуска.

7. Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин.

9. Замечания по диссертационной работе

1. Несмотря на анализ перспективных направлений развития методов ППД, не указан критерий их выбора для исследуемых защитных втулок центробежного насоса.
2. В предложенном методе определения микротвердости упрочнённых материалов (стали 45 и армко-железа) мультирадиусным роликом не указана область рационального применения.
3. В диссертации неоднократно упоминается о «частичном залечивании накопленных дефектов» в микроструктуре металла после упрочнения. Однако, какие именно дефекты имеются в виду и чем подтверждено это утверждение не указано (например, фото микроструктуры до упрочнения с дефектами и после - без дефекта или с его уменьшением).
4. Нет пояснения, почему при упрочнении мультирадиусным роликом выбрана именно схема обработки с чередованием нагрузки-разгрузки. И чем такой вариант обработки предпочтительнее, чем применение постоянного нагружения.
5. Не указаны коэффициенты корреляции в зависимостях (4.4- 4.5, глава 4).
6. «Технологические рекомендации по проектированию нового технологического процесса и процесса восстановления поверхностного слоя деталей, обеспечивающие высокое качество поверхностного слоя изделия на технологической операции ППД МР-роликом» целесообразно было добавить в практическую значимость работы.
7. В работе имеются неточности в оформлении таблиц, приведенных на страницах 17, 44, 53, 60, 100, 119, 152, 205, заключающиеся в переносе части таблицы на другую страницу без заголовка.

Приведенные замечания носят частный характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

10. Заключение

Диссертационная работа Митрофановой Кристины Сергеевны «Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей машин методом поверхностного пластического деформирования мультирадиусным роликом», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную автором на высоком техническом уровне. В работе содержатся научная новизна результатов и технологических решений в области обеспечения высокого качества поверхностного слоя ответственных деталей машин методом поверхностного пластического деформирования с применением сложнопрофильного деформирующего инструмента – мультирадиусного ролика; также диссертация обладает теоретической и практической значимостью в области повышения эффективности упрочняющей обработки деталей статическими методами ППД. Основные результаты и выводы по работе обоснованы теоретически и экспериментально и опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Автореферат достоверно и полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемых к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Митрофанова Кристина Сергеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Официальный оппонент – кандидат технических наук
(05.02.08 – «Технология машиностроения»),
старший преподаватель кафедры «Металлорежущие
станки и инструменты»

ФГБОУ ВО БГТУ

Тел. (4832) 58-82-89

e-mail: fedonina.sv2015@gmail.com

Федонина Светлана Олеговна

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО БГТУ)

Почтовый адрес: 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7.

Тел.: 8 (4832) 58-83-32.

