

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Скоробогатова Андрея Сергеевича
«УПРАВЛЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ
ВЫСОКОСКОРОСТНОМ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕМ ВЫГЛАЖИВАНИИ
С ТЕПЛОТВОДОМ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

Диссертационная работа Скоробогатова Андрея Сергеевича посвящена изучению и совершенствованию физико-механического процесса наноструктурирующего выглаживания для формирования нанокристаллической структуры и повышения свойств поверхностного слоя мартенситных сталей при высоких скоростях скольжения индентора инструмента.

Актуальность темы. Выявление резервов по повышению прочности и других важнейших физико-механических характеристик конструкционных сталей с целью их использования на практике является эффективным способом повышения эксплуатационной надежности машин и оборудования без значительных капиталовложений. Одним из возможных способов повышения эксплуатационных характеристик поверхности материалов является разработка и совершенствование методов поверхностного пластического деформирования. В этой связи, диссертационная работа Скоробогатова А.С., в которой рассматривается формирование структуры и свойств мартенситных сталей при наноструктурирующем выглаживании, безусловно, является актуальной.

Оценка содержания диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, 9 приложений, содержит 142 страницы, включая 81 рисунок, 14 таблиц и список литературы из 101 наименования.

Во введении обоснована актуальность работы, указана степень проработанности темы, сформулированы цели и задачи исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, показана научная новизна и практическая значимость.

В первом разделе диссертант представляет аналитический обзор литературных источников, в котором проанализированы закономерности формирования нанокристаллической структуры в условиях интенсивной пластической деформации при трении; влияние температурно-скоростного режима деформации на процесс наноструктурирования конструкционных материалов, а также возможности управления данным режимом.

Во втором разделе рассмотрены теоретические подходы к управлению формированием нанокристаллической структуры поверхностного слоя при наноструктурирующем выглаживании в условиях высокой скорости скольжения индентора и отвода фрикционного тепла из контактной зоны. Разработана математическая модель теплопередачи фрикционного тепла и получены расчетные зависимости степени деформации, скорости деформации и контактной температуры от скорости скольжения индентора. На основе модели созданы алгоритмы расчета коэффициента отвода фрикционного тепла в инструмент и температуры охлаждающей жидкости, обеспечивающих поддержание контактной температуры в диапазоне теплой деформации мартенситных сталей в условиях изменения скорости скольжения индентора и силы трения.

Третий раздел посвящен экспериментальному исследованию контактных сил, температуры, степени и скорости пластической деформации сдвига непосредственно при наноструктурирующем выглаживании мартенситных сталей инструментом без теплоотвода и с системой отвода тепла. Исследования проводились на образцах из стали 20X после газовой цементации, закалки при 830 °С в масле и отпуска при 250 °С и из стали 20X13 после закалки при 1050 °С в масле и отпуска при 150 °С. Установлено существование критической скорости скольжения, превышение которой приводит к скачкообразному росту коэффициента трения. Показано влияние отвода фрикционного тепла на стабилизацию коэффициента трения, снижение контактной температуры, повышение степени и скорости пластической деформации сдвига при увеличении скорости скольжения индентора.

В четвертом разделе рассмотрены условия формирования наноструктурного состояния материала при повышении скорости скольжения индентора. Получены расчетные зависимости контактной температуры и коэффициента отвода тепла от скорости скольжения индентора для выглаживания инструментом без теплоотвода и с системой отвода тепла. Установлено, что зависимости объемной фракции нанокристаллитов и толщины наноструктурированного слоя от параметра Зинера-Холломона после наноструктурирующего выглаживания сталей 20X и 20X13 инструментом с теплоотводом имеют ярко выраженный максимум. Определены оптимальные значения параметра Зинера-Холломона по критериям обеспечения максимальных объемной фракции нанокристаллитов и толщины наноструктурированного слоя.

В пятом разделе представлены результаты исследования физико-механических и трибологических свойств поверхностного слоя образцов мартенситных сталей после наноструктурирующего выглаживания инструментом без теплоотвода и с системой отвода фрикционного тепла. Показано, что управление формированием минимальной шероховатости и максимальной микротвердости наноструктурированного слоя возможно

путем определения оптимальной величины параметра Зинера-Холломона. Показано существенное снижение интенсивности изнашивания наноструктурированных поверхностей сталей 20X и 20X13 после обработки инструментом с системой отвода тепла по сравнению с обработкой инструментом без теплоотвода.

Научная новизна результатов работы. Наиболее важным научным результатом работы является установление наличия экстремума на зависимостях объемной фракции нанокристаллитов и толщины наноструктурированного слоя от параметра Зинера-Холломона при наноструктурирующем выглаживании мартенситных сталей, который обусловлен наличием оптимального температурно-скоростного режима деформации. Важным результатом является также разработанная математическая модель теплопередачи фрикционного тепла из контактной зоны и расчетные зависимости температуры, степени и скорости пластической деформации при наноструктурирующем выглаживании мартенситных закаленных сталей 20X и 20X13.

Практическая значимость результатов работы. В работе убедительно показано, что наноструктурирующее выглаживание мартенситных сталей может быть осуществлено при повышении скорости скольжения индентора до 50 м/мин, что сопоставимо со скоростью резания при предшествующей чистовой токарной обработке или фрезеровании. Это обусловлено возможностью управления температурой в зоне контакта индентора с образцом за счет применения инструмента с теплоотводом. При этом также было установлено, что высокоскоростное наноструктурирующее выглаживание позволяет получить более высокие значения твердости и износостойкости поверхностного слоя мартенситных сталей 20X и 20X13 по сравнению с выглаживанием при скоростях скольжения индентора до 15 м/мин. Получены патенты РФ № 2635987 и № 150111. Усовершенствованный физико-механический процесс наноструктурирующего выглаживания с системой отвода фрикционного тепла внедрен на ООО «Предприятие «Сенсор» при производстве шпинделей MKTZ-300.25.012 и MKTS-100.25.004 для задвижек высокого давления, что позволило получить годовой экономический эффект в размере 2,157 млн. рублей (подтверждено актом внедрения).

Достоверность результатов работы. Достоверность результатов и корректность выводов, изложенных в диссертации, в целом не вызывают сомнений и обеспечены большим объемом выполненных экспериментов, использованием современных методов испытаний, структурного и текстурного анализа, а также применением метода электротепловых аналогий для моделирования процесса теплопередачи фрикционного тепла при

выглаживании; метода сминаемой термопары для экспериментального исследования контактной температуры; оригинальной установки для экспериментального исследования контактных сил и коэффициента трения.

Замечания по работе:

1. Структура диссертационной работы несколько затрудняет ее прочтение. В частности, методики исследований не только вынесены в большое количество приложений, но и чередуются с экспериментальными результатами. Следовало бы все методики исследований привести в одном разделе диссертации. Условные обозначения и сокращения, используемые в тексте диссертации, также целесообразно было бы привести отдельным списком.

2. В ряде случаев следовало бы провести более детальный анализ полученных результатов. В частности, указать возможные причины, почему:

- применение системы теплоотвода способствует увеличению длины накопленного валика (с. 59);
- на зависимостях степени деформации материала поверхностного слоя от скорости скольжения при выглаживании сталей 20X и 20X13 без теплоотвода наблюдается экстремум (с. 61), а с теплоотводом – стабилизация значений (с. 62);
- наибольшая микротвердость, формируемая при выглаживании в условиях отвода фрикционного тепла, на 13-16 % выше максимальных значений микротвердости, полученных при обработке без теплоотвода (с. 88-89);
- у стали 20X13 наблюдается такой низкий коэффициент трения (порядка 0,12) при испытаниях без смазки (с. 98).

3. Утверждается (с. 23), что «эффект поддержания контактной температуры при высоких скоростях скольжения индентора за счет применения сред без смазывающего эффекта (аргон, охлажденный воздух) будет минимальным». Данное утверждение требует обоснования, которое в работе не приводится.

4. При описании основных технологических параметров наноструктурирующего выглаживания (с. 26-27), оказывающих существенное влияние на параметры пластической деформации материала и свойства поверхностного слоя, не упоминается среда обработки, и далее в работе этот вопрос не рассматривается. Между тем, по данным многочисленных исследований, использование безокислительной среды при реализации различных способов поверхностного пластического деформирования, позволяет существенно улучшить комплекс свойств формируемого поверхностного слоя. Поэтому, следовало было бы отдельно

пояснить, как среда обработки может повлиять на процесс формирования и свойства поверхностного слоя при наноструктурирующем выглаживании.

5. Представленные на рисунке 2.7 расчетные зависимости температуры охлаждающей жидкости от скорости скольжения индентора при выглаживании сталей 20X и 20X13 свидетельствуют о том, что при скорости скольжения индентора 20 м/мин температура охлаждающей жидкости должна быть 36-52 °С. Означает ли это, что для поддержания требуемой контактной температуры при таких скоростях скольжения, охлаждающую жидкость нужно подогревать?

6. В формулах 2.12 и 2.13, по-видимому, имеется опечатка. Тангенс острого угла определяется как отношение противолежащего катета к прилежащему. Следовательно, в обеих формулах должно быть указано отношение h/l , а не наоборот.

7. Отмечается (с. 44), что «использование ПТНБ «Композит 09» для обработки стали 20X13 вместо РСД обусловлено необходимостью развития более высокой деформации сдвига за счет большей микротвердости и шероховатости поверхности». По-видимому, здесь имеется ввиду шероховатость поверхности индентора, и следовало бы пояснить, насколько важен этот параметр и нужно ли его всегда учитывать при определении параметров процесса наноструктурирующего выглаживания.

8. Целесообразно было бы привести схему, описывающую четкую последовательность действий по назначению технологических параметров наноструктурирующего выглаживания при выборе другой марки стали (другого материала).

Высказанные замечания не меняют в целом безусловно положительную оценку представленной работы, включая ее научное и практическое содержание.

Заключение. Диссертационная работа Скоробогатова А.С. представляет собой законченное исследование. Содержание диссертации отражено в 7 публикациях в периодических изданиях из перечня ВАК. Материалы диссертации обсуждены на 9 конференциях различного уровня. Получены два патента РФ на изобретение и полезную модель. Содержание автореферата соответствует положениям диссертации. Полученные результаты имеют важное значение для развития научных и методологических основ наноструктурирующего выглаживания и методов поверхностного пластического деформирования в целом. Выводы и практические рекомендации работы могут быть использованы при назначении технологических параметров наноструктурирующего выглаживания конструкционных материалов.

В целом по актуальности решаемых задач, научной новизне, практической значимости, достоверности полученных результатов и обоснованности выводов,

диссертационная работа «Управление формированием структуры и свойств поверхностного слоя мартенситных сталей при высокоскоростном наноструктурирующем выглаживании с теплоотводом» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Скоробогатов Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение (в машиностроении)».

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
конструкционного материаловедения
Института машиноведения УрО РАН


Саврай
Роман Анатольевич

16 мая 2018 г.

620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34;
Тел. +7 (343) 362-30-14, E-mail: ras@imach.uran.ru

«Подпись Р.А. Саврая заверяю»
Ученый секретарь ИМАШ УрО РАН, к.т.н.



А.М. Поволоцкая