

## **Отзыв**

официального оппонента, д.т.н., доцента Седаковой Елены Борисовны на диссертацию Раткевича Германа Вячеславовича «Повышение износостойкости поверхностей трения модифицированием структуры сплавов лазерным излучением», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 - Трение и износ в машинах

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Список цитируемой литературы содержит 150 наименований.

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертация Раткевича Г.А. посвящена проблеме повышения износостойкости узлов трения. Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования способов модификации рабочих поверхностей деталей узлов трения, а также разработкой информативных структурных критериев их износостойкости.

### **Общая характеристика работы**

Во **введении** обоснована актуальность, цель и задачи диссертационного исследования, сформулированы практическая значимость работы и представлены положения, выносимые на защиту.

В **главе 1** отражено состояние изученности проблемы, дана краткая характеристика основных видов изнашивания, сделан вывод, что для модифицированных поверхностных слоев машиностроительных материалов критерии оценки износостойкости недостаточно разработаны. На основе совместного решения уравнений Хольма – Арчарда и Холла – Петча автором показана возможность принятия в качестве критерия износостойкости размер структурной составляющей материала. Далее, в главе отмечено, что применение технологии лазерного нанесения покрытий и модификации поверхностей трения дает возможность управлять процессом структурообразования, позволяя формировать модифицированные слои с требуемыми параметрами микроструктуры. В качестве объектов

исследования автором определены Ni-Cr-B-Si покрытия, используемые в подвижных соединениях уплотнительной арматуры, и инструментальные быстрорежущие стали Р6М5, предназначенные для работы в условиях воздействия высоких контактных нагрузок и повышенных температур.

**Глава 2** посвящена описанию используемых методик проведения триботехнических испытаний и способов формирования поверхностных упрочненных слоев. Для установления закономерностей влияния лазерного модифицирования на износостойкость рабочих поверхностей, проводилось сравнение износостойкости образцов Ni-Cr-B-Si покрытий, имеющих структуру, сформированную при различных режимах наплавки, а также образцов из стали Р6М5 подвергнутых поверхностной модификации с помощью лазерного плавления на разных режимах. В главе подробно описаны методики подготовки поверхностных слоев исследуемых образцов, конструктивные особенности испытательных установок - трибометров и методы исследования микроструктуры и фазового состава поверхностных слоев образцов.

В **главе 3** рассмотрены вопросы влияния размера структурного параметра наплавленного Ni-Cr-B-Si покрытия на его износостойкость. В качестве структурного параметра предложено принять среднее расстояние между дендритными ветвями второго порядка (дендритный параметр). Приведены результаты исследований износостойкости, результаты металлографического анализа и измерений микротвердости покрытий, полученных методом порошковой лазерной наплавки с последующей высокоскоростной перекристаллизации на разных режимах. Автором установлена зависимость между скоростью охлаждения, величиной дендритного параметра и микротвердостью покрытия. Показано существование линейной зависимости между дендритным параметром и характеристиками износостойкости.

**Глава 4** посвящена исследованию влияния лазерной модификации поверхности быстрорежущей стали Р6М5 на ее триботехнические характеристики. На основании значительного количества полученных данных металлографических и триботехнических исследований приведены результаты исследований структурных превращений в поверхностных слоях

стали, происходящих при различных режимах модификации, установлена их связь с износостойкостью.

**В заключении** перечислены основные результаты работы.

### **Обоснованность выводов, достоверность результатов**

По теме диссертации опубликованы 23 печатные работы, включая 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в базах Web of Science и Scopus, а также результаты исследований доложены на многочисленных конференциях всероссийского и международного уровней. Получено 3 патента на изобретения.

**Достоверность и обоснованность результатов** работы обеспечена строгостью постановки задач и используемых методов исследований.

**Личный вклад автора** подтверждается научными публикациями.

### **Научная новизна, практическая ценность**

К наиболее значимым результатам работы Раткевича Г.В. с научной и практической точки зрения можно отнести:

- предложен структурный параметр (дендритный параметр) в качестве критерия износостойкости наплавленных покрытий, позволяющий оценить износостойкость формируемого покрытия на завершающей стадии его формирования;
- разработан инженерный метод оценки износостойкости Ni-Cr-B-Si покрытий по фотоизображению оплавленной лазерным излучением поверхности, что упрощает оценку величины дендритного параметра и, далее, используя полученные автором регрессионные зависимости, облегчает определение характеристик изнашивания;
- разработаны способы лазерной модификации рабочей поверхности быстрорежущей стали Р6М5, подобраны режимы отпуска, позволяющие существенно повысить износостойкость стали.

### **Замечания по работе.**

1. Не вполне корректным является утверждение автора о том, что для адгезионного и абразивного видов изнашивания справедливы одни и те же закономерности (п.1.2, стр. 14). Известно, что адгезионный вид изнашивания для рассматриваемых в диссертации пар трения является крайне нежелательным, приводящим к схватыванию рабочих поверхностей и вырывам материала с поверхности трения.
2. Автор утверждает, что «...если материалы пары трения имеют близкие значения твердости, то главную роль начинает играть адгезионный вид изнашивания», однако известно, что такой вид изнашивания является предпочтительным для пар трения с существенно различной твердостью (стали - цветные антифрикционные сплавы, стали – полимерные материалы), то есть в случае возможности достижения неравновесной термодинамической системой равновесного состояния.
3. В табл. 3.5, как следует из ее названия, приведены значения коэффициентов статического трения. Если автор имел в виду коэффициенты трения страгивания, то не понятно, как можно делать вывод по этим данным о механизме изнашивания (стр. 79-80 текста диссертации)?
4. В тексте диссертации и автореферата не все параметры, используемые в уравнениях и на поясняющих рисунках, имеют расшифровку. В тексте диссертации используются одинаковые обозначения, имеющие различный смысл, например,  $\Theta$  на рис. 1.1 и  $\Theta$  в разделе 4.2., путь трения в автореферате обозначен через  $L$ , а в диссертации -  $x$ .

### **Заключение**

В диссертационной работе Раткевича Г.В. выполнено объемное исследование триботехнических характеристик, а также структурных особенностей инструментальной стали Р6М5 и Ni-Cr-B-Si покрытия, подвергнутых модификации лазерным воздействием, впервые предложено рассматривать величину дендритного параметра модифицированного слоя в качестве структурного параметра, связанного с износостойкостью, повышающие ее износостойкость более, чем в 3 раза.

Приведенные замечания не снижают ценности работы и не затрагивают ее основные результаты и выводы. Результаты работы имеют большую научную и практическую значимость, а сама диссертация является завершенной научно-квалификационной работой. Текст диссертации логично выстроен, последовательно и грамотно изложен. Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации. Основные результаты работы изложены в реферируемых научных журналах и материалах научных конференций.

Диссертационная работа Раткевича Германа Вячеславовича соответствует специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах. Диссертационная работа отвечает критериям, перечисленным в постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 01.10.2018 г. с изм. от 26.05.2020 г.) «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Раткевич Герман Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник,  
руководитель лаборатории трения и износа  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт проблем машиноведения Российской Академии наук

 /Седакова Е.Б./

199178, Санкт-Петербург, В.О., Большой пр., д.61  
ИПМаш РАН  
Телефон: +7(812) 321-47-78  
E-mail: ipmash.ran@gmail.com

