

УТВЕРЖДАЮ



Директор Института проблем механики  
им. А.Ю. Ишлинского РАН, д.ф.-м.н.

С.Е. Якуш

2021 г.

## ОТЗЫВ

Ведущей организации (Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук) на диссертационную работу 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

### **Актуальность темы диссертации.**

Любые научные исследования, направленные на разработку новых материалов трибологического назначения и методик их обработки, являются актуальными. В данном диссертационном исследовании разрабатываются методы улучшения трибологических свойств защитных покрытий на основе сплава, содержащего в своем составе Ni-Cr-B-Si, а также стали марки Р6М5, которая широко используется при изготовлении металлообрабатывающих инструментов. В основе метода поверхностной модификации заложен принцип лазерного воздействия на материалы, которое изменяет их микроструктуру. Трансформация микроструктуры материалов оказывает значительно влияние на их физико-механические и трибологические свойства. Следует отметить, что различные способы высокоэнергетического спекания металлических сплавов в последние несколько лет стали масштабно внедряться в технологии послойного наращивания и синтеза конечных изделий. Полученные таким образом материалы имеют хорошие эксплуатационные свойства, а возможность автоматизации процесса нанесения сплава (3D печать) позволяет создавать изделия с формой и весом ранее не достижимыми. Поэтому тема научных исследований, заявленная в диссертационной работе, является современной и актуальной.

### **Структура диссертационной работы.**

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения (два акта о внедрении и использовании результатов диссертационной работы).

Введение содержит описание актуальности, новизны, практической значимости работы. Также постулируются цели и задачи работы, положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор исследований по влиянию структуры и механических свойств сплавов на их изнашивание. Обзор является достаточно подробным и затрагивает аспекты, важные для данного исследования.

Вторая глава полностью посвящена методикам исследования – испытаниям на износ, определению коэффициента трения, исследованию микроструктуры поверхностных слоев.

В третьей главе работы проведен анализ результатов, полученных для упрочняющих покрытий (состав Ni-Cr-B-Si) наплавленных с использованием лазерного излучения. Проводится корреляция между результатами испытаний на износ и структурой поверхности покрытия.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния лазерной обработки поверхности быстрорежущей стали с последующим отпуском на триботехнические характеристики и выявлению оптимальных режимов для повышения износостойкости фасонной фрезы.

#### **Новизна исследования.**

Соискателем впервые предложено величину дендритного параметра микроструктуры сплава Ni-Cr-B-Si использовать в качестве критерия его износостойкости. Оценивая эволюцию дендритного параметра при изменении режимов лазерного воздействия на покрытие возможно *in situ* оптимально и быстро подобрать режимы модификации поверхности, которые обеспечат ее максимальную износостойкость. Отметим, что возможность оценки дендритного параметра микроструктуры сплава без предварительного травления поверхности или ее микрошлифования стала доступной из-за высокотемпературного термического травления, происходящего в процессе воздействия лазера на материал.

Также в диссертационной работе впервые были установлены закономерности влияния способа лазерной модификации и последующего отпуска на износостойкость быстрорежущей стали марки P6M5, которая широко применяется в различных областях техники.

#### **Значимость для науки и практики полученных результатов.**

Можно предположить, что полученные результаты применимы при совершенствовании технологий 3D печати металлическими сплавами. Защита полученных результатов патентами РФ свидетельствует о

прикладной направленности конечных результатов диссертационного исследования.

### **Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы**

Достоверность и обоснованность результатов представленной работы определяется применением современных методов исследований и сертифицированного экспериментального оборудования. Полученные данные согласуются с опубликованными результатами других исследователей. Результаты исследований неоднократно докладывались и обсуждались на различных научных конференциях. Материалы работы представлены в публикациях, включая пять статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Оформлено три патента.

### **Соответствие содержания диссертации указанной специальности**

Содержание диссертационной работы, ее цели и методы проведенных исследований соответствуют специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

### **Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации**

Автореферат диссертации и публикации в полной мере отражают содержание работы.

### **Преимущества работы**

1. В диссертационной работе большое внимание уделено изучению влияния лазера на изменение микроструктуры исследуемых материалов. Такое глубокое изучение связи микроструктуры материала с его трибологическими свойствами является неоспоримым преимуществом.
2. Проведено большое количество испытаний по оценке трибологических свойств исследуемых сплавов. Особенно хочется отметить испытания по оценки интенсивности изнашивания быстрорежущей стали марки Р6М5 (глава 4), поверхность которой подвергалась не только модификацией на разных режимах работы лазера, но и последующему отпуску при различных температурах, причем время отпуска также варьировалось.
3. Выводы, сделанные по результатам работы к каждой главе, не только научно обоснованы и верны, но и демонстрируют высокую квалификацию соискателя в области трибологии и материаловедения.
4. Разработанный метод лазерной модификации поверхности для стали марки Р6М5 позволяет провести термическую стадию отпуска на этом же лазере путем уменьшения подобранных температуры и времени нагрева модифицированного участка поверхности, что позволяет повысить

износостойкость поверхности в 3,2 раза с одновременным снижением коэффициента трения на 15%.

#### **Замечания.**

1. В первой главе следовало бы упомянуть степенные законы изнашивания.
2. Интересно было бы увидеть результаты по исследованию режимов модификации поверхности на основе сплава Ni-Cr-B-Si с добавлением других элементов, например, кобальта, карбида вольфрама и их комбинаций. Это позволило бы обобщить частный в данном случае результат о связи износостойкости с микроструктурой, в частности с ее дендритным параметром.
3. Испытания на износ и измерения коэффициента трения никак не связаны между собой, используются разные контр-тела, принципиально разные нагрузки. При оценке статического коэффициента трения был выбран диапазон нормальных нагрузок от 0.05 до 0.6 гр., который является весьма малым для оценки коэффициента трения для покрытий (Ni-Cr-B-Si) предназначенных для работы в гораздо более жестких условиях, например, аналогичные покрытия используются при восстановлении кулачков, толкателей, шеек валов и т.п.
4. В пункте 2.3.1. "Определение коэффициента трения" не указан диаметр контртела-шарика, что затрудняет оценку контактного давления, уровень которого хочется определить для понимания диапазона номинального нормального давления при котором происходит исследование трибологических свойств модифицированного покрытия.
5. Так как большинство сопряжений меняют свои фрикционные характеристики в процессе трения, было бы интересно увидеть эволюцию коэффициента трения.
6. Полезно было бы дополнить результаты износостойких испытаний при истирании поверхности шариком с закрепленным абразивом, результатами стандартных испытаний по склерометрии с использованием алмазных инденторов Виккерса или Берковича.
7. В тексте диссертации встречаются опечатки, нарушения согласования в предложениях. Так, из-за опечаток теряется смысл последнего предложения вывода 4 Главы 3.

Указанные замечания не влияют на общую высокую положительную оценку выполненной работы, ее компетентность, законченность и логическую связность.


## Заключение.

Ведущая организация, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, считает, что диссертационная работа Раткевича Германа Вячеславовича «Повышение износостойкости поверхностей трения модифицированием структуры сплавов лазерным излучением» соответствует требованиям п. II.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор – Раткевич Герман Вячеславович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

Диссертация, автореферат диссертации и отзыв обсуждены и одобрены на Семинаре по механике фрикционного взаимодействия им. И.В. Крагельского ИПМех РАН.

Отзыв составили:

Ведущий научный сотрудник лаборатории трибологии ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, доктор физико-математических наук, (код специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела), Профессор РАН


  
Елена Владимировна Торская

Старший научный сотрудник лаборатории трибологии ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, кандидат технических наук, (код специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах)

  
Алексей Владимирович Морозов

119526, Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 101, корп. 1, ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук; e-mail: [torskaya@mail.ru](mailto:torskaya@mail.ru); [morozovalexei@mail.ru](mailto:morozovalexei@mail.ru) тел. (495) 434-20-90.

Собственноручную подпись Торской Е.В., Морозова А.В. заверяю.

Ученый секретарь ИПМех РАН, к.ф.-м.н.  М.А. Котов