

В диссертационный совет Д 999.003.02.  
при ФГБОУ ВО «УлГТУ».  
ученому секретарю диссертационного совета  
д.т.н., доценту Н.И. Веткасову

---

432027, г. Ульяновск, ул.Северный венец,  
д. 32, УлГТУ

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию Сизова Сергея Валерьевича «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Диссертационное исследование Сизова Сергея Валерьевича посвящено решению актуальной проблемы повышения износостойкости металлорежущего инструмента на основе упрочняющей импульсной лазерной обработки многослойных покрытий сложного состава, направленной на модификацию физико-механических свойств самого покрытия и повышение прочности адгезионных связей покрытия с инструментальной основой.

#### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, списка литературы из 182 наименований, приложений (10 страниц), 43 рисунков, 34 таблиц. Общий объем работы составляет 156 страниц.

**Во введении** представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна.

**В первой главе** проведен анализ состояния вопроса по обзору литературы, в котором подробно рассмотрены направления повышения работоспособности режущего инструмента с износостойким покрытием, связанные с разработкой оборудования, новых составов и конструкций покрытий, в том числе с нанокристаллической структурой, а также показана актуальность применения упрочняющей обработки с применением импульсной лазерной обработки. Кроме того, отмечены нерешенные вопросы,

обусловленные отсутствием математических моделей для определения технологических параметров импульсной лазерной обработки твердосплавного режущего инструмента с многослойным покрытием, закономерностей, связывающих технологические параметры импульсной лазерной обработки с механическими свойствами многослойных покрытий, интенсивностью их изнашивания и механизмом изменения свойств МП после импульсной лазерной обработки. Проведенная оценка состояния вопроса позволила сформулировать цель работы и задачи, решение которых обеспечивают ее достижение:

- разработать математическую модель теплового состояния композиции «МП-ИО» при воздействии на неё ИЛО;
- выполнить численное моделирование воздействия ИЛО на композицию «МП-ИО», на основе которого определить технологические параметры ИЛО;
- разработать конструкции МП и технологии их нанесения;
- исследовать тепловое и напряженное состояние композиции «МП-ИО» с целью установления закономерностей воздействия ИЛО на структурные параметры и механические свойства МП;
- исследовать контактные, тепловые процессы и изнашивание РИ с МП после ИЛО с целью выявления их взаимосвязи с механическими свойствами и структурными параметрами МП;
- экспериментально подтвердить высокую работоспособность твердосплавного РИ с разработанными МП после ИЛО;
- дать оценку эффективности твердосплавного РИ с разработанными МП в условиях действующего производства.

**Во второй главе** рассмотрены методика экспериментальных исследований, описано оборудование, применяемое для нанесения износостойких покрытий и лазерной обработки, приведены химические составы и физико-механические свойства инструментальных и обрабатываемых материалов, используемых при проведении исследований. Описаны методики исследования параметров структуры, полученных износостойких покрытий, их физико-механических свойств, работоспособности режущего инструмента и обработки результатов экспериментальных исследований.

**В третьей главе** представлены результаты разработки математической модели и численного моделирования воздействия импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие-инструментальная основа», что позволило оценить тепловое состояние, и выявить взаимосвязь характеристик импульсной лазерной обработки с параметрами структуры и механическими свойствами поверхностного слоя композиции. При этом изменение теплофизических свойств слоёв покрытия влияет на распределение

температур в композиции. Отмечается, что влияние теплофизических свойств каждого слоя на распределение температур снижается с увеличением количества слоёв, что делает возможным управление температурным полем в объеме всей композиции. Выявлена зависимость критической плотности мощности ИЛО для композиции «многослойное покрытие-инструментальная основа» от теплофизических свойств основы и покрытий.

Отмечается хорошая согласованность данных, полученных аналитическим решением по разработанной математической модели и численным моделированием. Это позволило определить значения критической плотности мощности лазерного излучения, обеспечивающие необходимые механические свойства поверхностного слоя твердосплавной основы и композиций с однослойными и многослойными покрытиями. Показано, что в качестве критерия выбора критической плотности мощности излучения следует принимать критерий, учитывающий величину напряжений, возникающих на границе покрытия с инструментальной основой, как более объективно характеризующего влияние импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие-инструментальная основа».

**В четвертой главе** выбраны и обоснованы составы слоев многослойных покрытий. Рассмотрены технологические особенности осаждения покрытий в зависимости от компоновочной схемы установки «Булат» и различные конструкции катодов (раздельных и составных) и показано их влияние на изменение параметров структуры и механических свойств многослойных покрытий с использованием в функциональных слоях редкоземельных элементов TiZrN, TiZrAlN и TiZrNbAlN.

Приведены результаты исследований и показано влияние импульсной лазерной обработки на структурные параметры, механические свойства однослойных и многослойных покрытий и интенсивность износа.

Отмечается, что применение импульсной лазерной обработки позволяет уменьшить интенсивность износа режущего инструмента с многослойными покрытиями на 16-23 % в зависимости от конструкции покрытий и условий течения заготовок из хромомарганцовоникелевой стали 38ХГН и хромоникелевой стали аустенитного класса 12Х18Н10Т.

**В пятой главе** представлены результаты исследований контактных характеристик процесса резания, теплового и напряженного состояния режущего клина, периода стойкости твердосплавного РИ с МП, прошедших импульсной лазерной обработки, опытно-промышленных испытаний и технико-экономического обоснования применения РИ с МП после ИЛО. В исследованиях применяли пластины МК8 с TiN-TiZrNTiZrAlN, TiN-TiZrN-TiZrNbAlN (в сравнении с покрытием TiN) до и после ИЛО.

Показано, что применение импульсной лазерной обработки изменяет контактные характеристики твердосплавных пластин с многослойными покрытиями, уменьшает полную длину контакта стружки с передней поверхностью, коэффициент укорочения стружки, составляющие силы резания, а также снижает температуру на передней и на задней поверхностях режущего клина. Это позволяет повысить период стойкости твердосплавных пластин МК8 с многослойными покрытиями в 1,48-1,7 раза в зависимости от их конструкции, а по сравнению с покрытием TiN - в 2,7-4,2 раза. Наибольший период стойкости имеют пластины МК8 с многослойными покрытиями TiN-TiZrN-TiNbAlN. Наибольшее повышение периода стойкости режущего инструмента имеет место при обработке заготовок из стали 38ХГН, несколько меньшее - из стали 12Х18Н10Т.

Эффективность импульсной лазерной обработки твердосплавных пластин МК8 с многослойными покрытиями подтверждена опытно-промышленными испытаниями в условиях АО «УКБП» и ООО «УАЗ». Кроме того, проведенные технико-экономические расчеты показали снижение себестоимости операции точения за счёт сокращения расходов на режущий инструмент и получение ожидаемого экономического эффекта при механической обработке заготовок из конструкционных легированных сталей до 66300 рублей на один станок.

Диссертация грамотно оформлена, написана хорошим и понятным для читателя языком, ее автор Сизов Сергей Валерьевич – продемонстрировал хорошее знание литературы по рассматриваемой тематике. Автореферат, изложенный на 18 стр., в полной мере и адекватно отражает содержание и результаты диссертации.

### **Актуальность исследования**

Современное производство характеризуется широким применением легированных сталей и сплавов, а также других материалов с высокими прочностными характеристиками. Повышение износостойкости металлорежущего инструмента является актуальной задачей на всех этапах развития машиностроения. Одним из направлений повышения надежности инструмента является повышение его стойкости при лезвийной обработке, в частности за счет создания инструмента с модифицированной рабочей частью. Известно много технологических способов и приемов, приводящих к повышению износостойкости инструмента, в том числе и комбинированные, сочетающие нанесения износостойких покрытий с последующим лазерным воздействием на поверхность инструмента. Однако детальное исследование способов формирования и модификации многослойных покрытий сложного

состава с высокой адгезией к инструментальной основе, физико-механических свойств таких покрытий и их изнашивание всегда являются актуальными и вызывают интерес в научном сообществе.

В связи с этим представляются актуальными исследования, выполненные в диссертационной работе Сизовым С.В., направленные на повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия.

### **Оценка новизны исследования и полученных результатов**

На защиту выносятся следующие научные положения работы, связанные с повышением работоспособности твердосплавного инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия, обоснованные и решенные в диссертационной работе соискателем, определяющие новизну решенных в ней задач:

1. Математическая модель воздействия ИЛО на композицию «МП-ИО».
2. Результаты численного моделирования воздействия ИЛО на композицию «МП-ИО».
3. Взаимосвязи технологических параметров ИЛО с параметрами структуры и механическими свойствами МП и интенсивностью изнашивания твердосплавного РИ.
4. Математические модели периода стойкости твердосплавного РИ с МП, подвергнутого ИЛО.
5. Новые способы получения МП, включающие в себя нанесение МП и последующую ИЛО.

По каждому из научных положений, выносимых на защиту, соискателем в достаточном объеме выполнены исследования с применением научных положений и методов теории резания металлов, новейших методов рентгеноструктурного анализа, с использованием высокотехнологичных процессов вакуумно-дугового нанесения покрытий. Это позволило разработать применительно к твердосплавному инструменту комбинированный способ формирования на его поверхности многослойных покрытий, включающий нанесение покрытий и последующую их импульсную лазерную обработку. Проведенные исследования их свойств дали новые данные о влиянии импульсной лазерной обработки на контактные процессы, тепловое и напряженное состояние режущего клина инструмента с многослойным покрытием.

Новизна полученных результатов подтверждается также полученными соискателем патентами на изобретение.

Из сказанного следует, что диссертационная работа Сизова С.В.

полностью отвечает требованиям, относящихся к новизне исследований и научных результатов.

### **Оценка обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации**

Все главы содержат выводы, обобщающие результаты о проведенных исследованиях.

В заключении представлены обобщающие выводы по всем выполненным исследованиям, которые показывают высокую эффективность применения импульсной лазерной обработки для повышения работоспособности инструмента из твёрдого сплава. Результаты диссертационного исследования раскрывают возможности создания технологического обеспечения производства высококачественным твердосплавным режущим инструментом с многослойными износостойкими покрытиями, обеспечивающим повышение эффективности механической обработки высоколегированных сталей.

Достоверность результатов исследований обеспечена применением надежного оборудования, апробированных методик исследований, согласованием результатов с проведенными результатами исследований.

Все выводы и рекомендации подтверждаются лабораторными исследованиями, выполненными с применением аттестованных приборов и средств измерительной техники.

### **Практическая ценность диссертации**

Практическую ценность имеют:

- рекомендации по расчету и назначению режимов импульсной лазерной обработки, обеспечивающих максимальную работоспособность твердосплавного режущего инструмента;
- новые конструкции многослойных покрытий, новизна которых подтверждена патентами на изобретения;
- технологии нанесения многослойных покрытий.

Опытно-промышленные испытания, выполненные в производственных условиях заводов АО «УКБП» (г. Ульяновск) и ООО «УАЗ» (г. Ульяновск), подтвердившие высокую работоспособность твердосплавного режущего инструмента с разработанными многослойными покрытиями после импульсной лазерной обработки. Технологические рекомендации по нанесению многослойных покрытий с последующей импульсной лазерной обработки переданы АО «УКБП» для использования в производственных условиях.

Результаты исследований включены в учебный процесс подготовки магистров по направлению 15.04.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

### **Замечания по диссертации:**

1. На стр. 44 приведены этапы технологических переходов формирования многослойного покрытия, включая процесс осаждения износостойкого покрытия. Приведены значения технологических параметров давления и температуры осаждения. Однако отсутствуют показатели, характеризующие скорость осаждения, такие как время осаждения и скорость вращения образцов, которые, как известно, оказывают влияние на характеристики многослойных покрытий.

2. При исследовании влияния элементов режима резания на период стойкости режущего инструмента с покрытием соискатель использовали метод планирования полного факторного эксперимента (планирование  $2^2$ ) (см. стр. 51). Однако на стр. 49 сказано, что «элементы режима резания назначали из справочной литературы [149]». не ясно, как могут быть связаны между собой эти подходы для назначения режимов резания?

3. В выражение для плотности мощности импульсного лазерного излучения, определяемого из выражения (2.1), введены  $E$  – энергия импульса,  $S_{\text{П}}$  – площадь пятна фокусирования,  $\tau_{\text{и}}$  – длительность импульса,  $d_{\text{П}}$  – диаметр пятна фокусирования. Однако в технических характеристиках лазерной технологической установки КВАНТ-15 имеется параметр «частота повторения импульсов излучения». Из текста диссертации не ясно, учитывал ли соискатель данный параметр и как он может влиять на качество ИЛО?

4. Предлагая конструкции многослойных покрытий, соискатель обосновывает выбор состава отдельных функциональных слоев многослойных покрытий. В тоже время не объясняет из каких соображений выбрано количество слоев в данных покрытиях.

5. Исследуя интенсивность изнашивания и период стойкости твердосплавного инструмента с многослойными покрытиями, подвергнутых импульсной лазерной обработке, соискатель ограничился только оценкой величины износа по задней поверхности. При этом не рассмотрен такой важный вопрос как влияние ИЛО на характер разрушения покрытий различной конструкции. Диссертационная работа от этого существенно бы выиграла.

6. Важное значение имеют вопросы влияния покрытий на точность обработанных поверхностей и качество обработанной поверхности. Однако эти вопросы в работе не рассмотрены.

7. Соискателем не обоснован выбор режимов резания при исследовании работоспособности твердосплавного инструмента с многослойными покрытиями, подвергнутых импульсной лазерной обработке.

В целом, отмеченные недостатки не снижают научную и практическую ценность диссертационной работы Сизова С.В.

### **Соответствие паспорту научной специальности**

Основные положения выполненных исследований соответствуют пунктам 2, 3, 4 паспорта научной специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Автореферат соответствует основному содержанию работы.

### **Заключение:**

Диссертационная работа Сизова Сергея Валерьевича является законченным научным исследованием, содержащим решение актуальной проблемы повышения износостойкости металлорежущего инструмента на основе упрочняющей импульсной лазерной обработки многослойных покрытий сложного состава, направленной на модификацию физико-механических свойств самого покрытия и повышение прочности адгезионных связей покрытия с инструментальной основой.

Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствует заявленной специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Полученные в диссертационной работе результаты достоверны, выводы и заключения достаточно обоснованы.

Работа написана доходчиво, грамотно и аккуратно, оформлена правильно, язык и стиль изложения четкие и понятные. Автореферат диссертации достаточно полно раскрывает содержание работы, её основные научные положения.

Диссертация имеет практическую ценность, так как результаты, полученные соискателем, обеспечивают повышение работоспособности твердосплавного инструмента.

Степень апробации диссертационной работы достаточна. Основные результаты работы доложены на 12 республиканских и международных научно-технических конференциях. По материалам диссертации опубликовано 28 печатных работ, в том числе 7 статей в изданиях из перечня ВАК, 4 статьи в изданиях из базы цитирования Scopus, получено 5 патентов на изобретения.

По содержанию, объёму материала, научному уровню, практической ценности она полностью отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к



работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, изложенным в п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление правительства РФ от 24.09.2013 г. за № 842), а её автор, Сизов Сергей Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Официальный оппонент  
Старший научный сотрудник лаборатории  
«Теория механизмов и структуры машин»  
Института машиноведения  
имени А.А. Благонравова РАН,  
доктор технических наук



Е.П. Зинина

г. Москва, Харитоньевский мал. пер., д.4

e-mail: e-zinina@bk.ru

моб. тел.: 8 906 313 87 46

Диссертация защищена по специальности 05.02.07

«03» декабря 2019 г.

*Сизов Сергей Валерьевич*  
*Зинина Елена Павловна*



*Сизов Сергей Валерьевич*