

**ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д999.003.02**

**Повестка дня**

**ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ Сизовым Сергеем Валерьевичем  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ  
НАУК**

**«ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО  
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПУТЕМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ  
ОБРАБОТКИ МНОГОСЛОЙНОГО ПОКРЫТИЯ»**

Специальность:

**05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки**

**Официальные оппоненты:**

**Мигранов Марс Шарифуллович** – д-р техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», кафедра «Основы конструирования механизмов и машин», заведующий;

**Зинина Елена Петровна** – д-р техн. наук  
ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» РАН, лаборатория «Теория механизмов и структуры машин», старший научный сотрудник

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (МГТУ «СТАНКИН»), г. Москва



Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Уважаемые коллеги! К защите предлагается диссертация Сизова Сергея Валерьевича на соискание ученой степени кандидата технических наук «Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия» по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Официальные оппоненты:

Мигранов Марс Шарифуллович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Основы конструирования механизмов и машин» Уфимского государственного авиационного технического университета;

Зинина Елена Петровна, доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Теория механизмов и структуры машин» Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН.

Ведущая организация – Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».

На заседании диссертационного совета из 20 членов совета присутствуют 16, необходимый кворум имеется. Членам Совета повестка дня известна, какие будут предложения, замечания по повестке дня. Утвердить? Голосуем. Принято единогласно. По специальности защищаемой диссертации - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки 05.02.07 на заседании присутствуют 7 докторов наук, наше заседание правомочно. Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Сизова Сергея Валерьевича «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия»

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Табаков Владимир Петрович, и.о. заведующего кафедрой «Инновационные технологии в машиностроении» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Работа выполнена в Ульяновском государственном техническом университете.

Официальные оппоненты:

Мигранов Марс Шарифуллович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Основы конструирования механизмов и машин» Уфимского государственного авиационного технического университета;

Зинина Елена Петровна, доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Теория механизмов и структуры машин» Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН.

На защите присутствуют оба оппонента. Письменные согласия на оппонирование данной работы от них были своевременно получены.

Ведущая организация - Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».

Слово предоставляется ученому секретарю – доктору технических наук Веткасову Н.И. для оглашения личного дела соискателя.

Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Уважаемые коллеги! В деле соискателя имеются следующие документы, представленные к защите: личная карточка работника, из которой следует, что Сизов Сергей Валерьевич, 1990 года рождения, закончил Ульяновский государственный технический университет по специальности «Технология машиностроения» в 2012 году и окончил аспирантуру в 2016 году по специальности «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» при Ульяновском государственном техническом университете. В настоящее время работает ведущим инженером-конструктором на АО «Ульяновский механический завод».

Имеется заключение Ульяновского государственного технического университета, принятое на расширенном заседании кафедры «Инновационные технологии в машиностроении». На этом заседании было принято заключение, в котором отмечается личное участие автора, степень обоснованности научных положений, степень научной ценности и, как итог, дается рекомендация о том, что данная работа может быть представлена к защите по специальности 05.02.07 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. Имеется нотариально заверенная копия диплома об окончании Ульяновского государственного технического университета. Имеется удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов со следующими оценками: немецкий язык – «отлично», история и философия науки – «удовлетворительно» и специальная дисциплина – «хорошо». Соискатель имеет 28 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 7 статей в изданиях из перечня ВАК, 4 статьи в изданиях из базы цитирования Scopus, 5 патентов на изобретения. Имеется заявление, которое было представлено при подаче документов в диссертационный совет, протокол заседания о приеме диссертации к предварительному рассмотрению, заключение экспертной комиссии в составе: Епифанова В.В, Полянского Ю.В. и Клячкина В.Н. о возможности защиты диссертации в нашем диссертационном совете в соответствии с требованиями ВАК по изложению материалов в автореферате в соответствии с данной специальностью. Имеются отзыв научного руководителя; протокол заседания диссертационного совета о приеме диссертации к защите. Имеется список рассылки автореферата, включающий в себя 61 адрес, в который были направлены авторефераты. Содержатся также сведения о ведущей организации, отзывы ведущей организации и официальных оппонентов. Кроме того, представлены отзывы, пришедшие на автореферат. Все необходимые документы были опубликованы на сайте университета и в Интернете, соответствуют требованиям процедуры заседания и рассмотрения диссертации.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Есть ли вопросы по личному делу соискателя к ученому секретарю совета? Нет. Есть ли вопросы к соискателю по личному делу? Нет. Сергей Валерьевич Вам предоставляется слово для доклада основных положений Вашей диссертации.

Соискатель Сизов С.В.

Уважаемые члены диссертационного совета, Вашему вниманию представляется доклад по диссертационному исследованию на тему «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия».

Повышение работоспособности режущего инструмента является актуальной проблемой, решение которой позволит снизить расход дефицитных инструментальных материалов и уменьшить себестоимость обработки заготовок. Одним из направлений повышения работоспособности режущего инструмента является нанесение износостойких покрытий.

Основные пути повышения эффективности режущего инструмента с износостойкими покрытиями представлены на слайде 2. Развитие данных путей шло по двум основным направлениям – это совершенствование оборудования для нанесения покрытий и совершенствование составов и конструкций износостойких покрытий.

Вопросами совершенствования оборудования для нанесения износостойких покрытий и оптимизации технологических параметров нанесения износостойких покрытий занимались исследователи Харьковского физико-технического института (Андреев А.А., Аксенов И.И., Саблев Л.П.), Московского государственного технологического университета «СТАНКИН» (Верещака А.С., Григорьев С.Н.) и др. Это позволило существенно повысить качество покрытий и их механические свойства.

Второе направление шло по пути разработки однослойных одноэлементных и многоэлементных покрытий, многослойных и наноструктурных покрытий.

Однослойными одноэлементными и многоэлементными покрытиями занимались отечественные и зарубежные исследователи: Верещака А.С., Григорьев С.Н., Табаков В.П., Мокрицкий Б.Я., G. Fox-Rabinovich, Veprek S., Vetter J. И др. Применение многоэлементных покрытий по сравнению с одноэлементными повышает период стойкости режущего инструмента в 2,5 - 4,5 раза.

Эффективность многослойных покрытий рассмотрена в работах Верещаки А.С., Табакова В.П., Мокрицкого Б.Я. и др. Применение многослойных покрытий повышает период стойкости режущего инструмента по сравнению с однослойными покрытиями до 3 раз.

Эффективность однослойных и многослойных наноструктурных покрытий рассмотрена в работах Верещаки А.А., Григорьева С.Н., Блинкова И.Г., Петржика М.И., Левашова Е.А., Андреева А.А., Шулаева В.М.

Несмотря на значительные успехи в данной области, эффективность инструментов с износостойкими покрытиями в ряде случаев не достаточна, в связи с этим возникает задача разработки новых составов и конструкций

износостойких покрытий. В то же время, технологический потенциал износостойких покрытий на основе нитрида титана и его модификаций, практически исчерпан. Поэтому важной и актуальной является проблема поиска новых технологий и средств повышения работоспособности режущего инструмента с износостойким покрытием.

Одним из таких путей является дополнительная упрочняющая обработка, которая представлена на слайде 3. Данная обработка направлена на повышение механических свойств покрытия и прочности адгезии покрытия с инструментальной основой.

Методы дополнительной обработки представлены на слайде 3. Это ионное азотирование, ионная имплантация и импульсная лазерная обработка. Ионным азотированием занимались исследователи: Федоров С.В., Григорьев С.Н., Касьянов С.Н., Филатова П.Н. Ионное азотирование способствует повышению периода стойкости быстрорежущего инструмента до 2,5 раз.

Применение ионной имплантации рассмотрено в работах Сафарова А.Ф., Сергеева В.П., J. Narojczyk. Ионная имплантация способствует снижению износа режущего инструмента до 2 раз.

Импульсная лазерная обработка рассмотрена в работах D.Neves, J.M. Arroyo, Власова С.Н. Импульсная лазерная обработка позволила повысить период стойкости быстрорежущего инструмента.

Из всех этих методов следует отметить импульсную лазерную обработку. Большое распространение технологических лазеров и высокие их производственные возможности делают доступной импульсную лазерную обработку режущего инструмента с износостойким покрытием, в том числе со сложной формой режущей кромки.

Для более широкого применения импульсной лазерной обработки в качестве упрочняющей обработки следует решить ряд научных и практических задач, которые представлены на слайде 4.

Исходя из вышесказанного целью диссертационного исследования является повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия.

Для достижения поставленной цели следует решить задачи, которые представлены на слайде 5.

Для определения параметров импульсной лазерной обработки была разработана математическая модель воздействия импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие - инструментальная основа». Рассматривали единичное воздействие лазерного импульса плотностью мощности  $q(x)$  на композицию, в результате которого на поверхности композиции выделилось количество теплоты  $Q$ . Для определения температур было решено уравнение теплопроводности при начальных условиях, представленных на слайде 6. Было получено выражение с помощью которого можно было определить температуры на поверхности композиции в зависимости от параметров лазерной обработки и

теплофизических свойств износостойких покрытий и инструментальной основы. Используя данное выражение можно было рассчитать температуры на поверхности композиций с однослойными и многослойными покрытиями.

Установлено (слайд 6), что температура на поверхности твердосплавной основы как с однослойными, так и с многослойными покрытиями отличается незначительно. Это связано с малым отличием их коэффициентов теплопроводности. Из графиков зависимости температуры от плотности мощности (слайд 7) были определены критические плотности мощности для композиций с однослойными и многослойными покрытиями, которые представлены в таблице на слайде 7. Критическая плотность мощности была определена по температуре, при превышении которой происходило разрушение кобальтовой связки твердого сплава.

Установлено, для определения критической плотности мощности важным представляется вопрос о напряжениях в слоях, примыкающих к твердосплавной основе с покрытием. Аналитическое определение напряжений представляет собой достаточно сложную задачу и для ее решения было проведено численное моделирование воздействия импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие - инструментальная основа» с использованием программы «ANSYS».

На слайде 8 представлены примеры распределения температур и напряжений в инструментальной основе и в композиции «покрытие - инструментальная основа».

На слайде 9 представлены результаты численного моделирования температур в композиции с однослойными и многослойными покрытиями для твердых сплавов МК8 и НТi10.

Установлено, что температура на поверхности композиции с однослойным и многослойным покрытиями отличается незначительно, что как уже было сказано, связано с малым отличием коэффициентов теплопроводности покрытий.

На слайде 10 представлены результаты исследований влияния плотности мощности на температуру и напряжения, по которым были определены критические плотности мощности, которые представлены в таблице на слайде 10. Критические плотности мощности были определены по температурному критерию  $K_T$  и критерию напряжений  $K_H$ , при превышении которых происходит образование трещин в инструментальной основе. Как видно, из таблицы, критические плотности мощности, определенные по критерию  $K_T$  отличаются незначительно, а критические плотности мощности, определенные по критерию  $K_H$ , отличаются более существенно. Отсюда следует, что в качестве критерия выбора критической плотности мощности необходимо принять критерий  $K_H$ , как более объективно характеризующий влияние импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие - инструментальная основа».

Для подтверждения результатов численного моделирования были проведены экспериментальные исследования по определению критической плотности мощности, которые представлены на слайде 11. Экспериментальные значения критической плотности мощности определяли по моменту снижения микротвердости твердосплавной основы и покрытия. Полученные экспериментальные значения критической плотности мощности согласуются с данными по численному моделированию, что подтверждает адекватность математической модели и численного моделирования.

На слайде 12 представлены составы функциональных слоев многослойных покрытий и технологические параметры нанесения данных слоев покрытий, которые использовались для экспериментальных исследований.

Известно, что большое влияние на механические свойства покрытий оказывает компоновочная схема и конструкция катодов.

Влияние компоновочной схемы рассматривали на примере покрытия TiZrN. Данные результаты представлены на слайде 13. С точки зрения хорошей адгезии и микротвердости, покрытие TiZrN следует наносить при расположении катодов титана и циркония друг противоположно другу.

Влияние конструкции катодов - отдельных и составных - на параметры структуры и механические свойства представлены на слайде 14. Установлено, что функциональные слои многослойных покрытий следует наносить из отдельных катодов. Такие покрытия имеют мультислойную структуру и более высокие механические свойства.

Таким образом, исследованиями установлено, что при нанесении функциональных слоев многослойных покрытий нужно использовать отдельные катоды и выбранную компоновочную схему.

На основе проведенных исследований были предложены схемы многослойных покрытий, которые представлены на слайде 15.

Для оценки влияния импульсной лазерной обработки на механические свойства покрытий были исследованы параметры структуры и механические свойства функциональных слоев многослойных покрытий. В качестве примера, на слайде 15 представлено влияние импульсной лазерной обработки на размеры блоков ОКР и остаточные напряжения. Установлено, что импульсная лазерная обработка способствует снижению размеров блоков ОКР, что приводит к повышению механических свойств таких как микротвердость, модуль Юнга, трещиностойкость. Снижение остаточных напряжений приводит к повышению прочности адгезии и снижению коэффициента отслоения. Аналогичные результаты были получены и для многослойных покрытий.

Повышение механических свойств и прочности адгезии в результате воздействия лазерной обработки снижает интенсивность износа твердосплавных пластин с многослойными покрытиями на 16 - 23 % в зависимости от конструкции и режима обработки.



На слайде 18 представлены результаты исследований контактных характеристик процесса резания. Установлено, что импульсная лазерная обработка приводит к снижению полной длины контакта стружки, коэффициента укорочения стружки, составляющих силы резания.

Снижение силы резания  $P_z$  уменьшает общее количество теплоты и приводит к изменению теплового состояния режущего клина инструмента. Как видно из данных, представленных на слайде 19, снижается контактная температура на передней и задней поверхностях, температура в режущем клине и напряжения в режущем клине твердосплавного режущего инструмента. Таким образом, импульсная лазерная обработка улучшает тепловое и напряженное состояние режущего инструмента.

Для оценки эффективности многослойных покрытий были проведены стойкостные испытания, которые представлены на слайде 20. Применение импульсной лазерной обработки повышает период стойкости в 1,4 - 1,7 раза, а по сравнению с покрытием TiN в 2,47 - 4,2 раза.

На слайде 21 представлены результаты опытно-промышленных испытаний на АО «УКБП» и ООО «УАЗ», которые подтвердили повышение эффективности многослойных покрытий после импульсной лазерной обработки. Коэффициент повышения стойкости составил 2,47 - 4,27 раза по отношению к покрытию TiN.

На слайде 22 представлены патенты на изобретения - способы получения многослойных покрытий, включающие в себя нанесение многослойного покрытия и последующую его импульсную лазерную обработку.

На слайде 23 представлены основные выводы, которые разрешите не зачитывать.

Спасибо за внимание, доклад окончен.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

У кого есть вопросы к соискателю?

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Известно, что покрытие работает хорошо, когда есть хорошая основа. Меня интересует какие пластины у Вас были, в исходном состоянии или Вы их дорабатывали каким-то образом?

Соискатель Сизов С.В.

Пластины были как поставил производитель, мы их никаким образом не дорабатывали, выбирали по справочнику, т.е. для стали 30ХГСА была марка сплава МК8, для нержавеющей стали была марка НТi10.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Был какой-либо входной контроль этих пластин. Мы должны понимать, что эти пластины могут быть с дефектами, вплоть до микротрещин и тогда это отразится на покрытии. Как быть в этом случае?

Соискатель Сизов С.В.

Входной контроль был. Пластины осматривали визуально и под микроскопом, чтобы никаких не было ни трещин, ни зазубрин, никаких

дефектов. Кроме того, перед нанесением покрытия они подвергались специальной подготовке перед тем, как устанавливались в установку.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

На чем Вы смотрели?

Соискатель Сизов С.В.

На оптическом микроскопе

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Только на оптическом?

Соискатель Сизов С.В.

Только на оптическом.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

На каком оптическом?

Соискатель Сизов С.В.

Микроскоп фирмы «Karl Zeiss»

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Но еще очень важна оценка связи слоев многослойных покрытий между собой. У Вас многослойные покрытия, разные составы. Скажите, чем Вы руководствовались при нанесении этих покрытий: первый слой, второй, третий и т.д.?

Соискатель Сизов С.В.

Во-первых, мы руководствовались принципом формирования таких покрытий для непрерывной обработки, т.е. для токарной обработки, который изложен в работах Табакова, Верещаки. Слой покрытия, который расположен на инструментальной основе обеспечивает высокую прочность адгезии, верхний слой обеспечивает максимальное снижение эквивалентных напряжений, а средний промежуточный слой обеспечивает трещиностойкость многослойного покрытия.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Меня интересует как Вы снимали эти характеристики каждого слоя по этим показателям? Откуда вы брали эти данные?

Соискатель Сизов С.В.

На первом этапе мы исследовали механические свойства функциональных слоев многослойных покрытий. Например, для покрытия TiN-TiZrN-TiNbAlN исследовали механические свойства покрытий TiN, TiZrN и TiNbAlN. Например, микротвердость, модуль упругости, трещиностойкость. Затем механические свойства и прочность адгезии определяли уже для многослойного покрытия по верхнему слою.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Если можно, скажите несколько слов о адгезионно-когезионном взаимодействии между слоями. Есть такие исследования? Проводили?

Соискатель Сизов С.В.

Таких исследований не проводили. Это достаточно сложная задача.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Меня еще интересуют электронно-скопические исследования, Вы их проводили? Рентгеноструктурный анализ Вы делали?

Соискатель Сизов С.В.

Рентгеноструктурный анализ делали на установке ДРОН-3М. Определяли структурные параметры отдельных функциональных слоев многослойных покрытий. Электронноскопический анализ не делали. Такой задачи не стояло.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

А может нет аппаратуры?

Соискатель Сизов С.В.

Соответствующего оборудования у нас не было. Но задач под это оборудование у нас не было.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Д-р техн. наук Салов Петр Михайлович пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Какое количество слоев обрабатывали импульсной лазерной обработкой? Сколько слоев в многослойном покрытии? Один, два, три?

Соискатель Сизов С.В.

Облучали композицию, на твердосплавную основу наносили многослойное покрытие.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Сколько в этой композиции слоев?

Соискатель Сизов С.В.

Три или два слоя.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

В основном три слоя?

Соискатель Сизов С.В.

Были и двухслойные и трехслойные. Импульсной лазерной обработке мы подвергали и однослойные покрытия и двухслойные и трехслойные.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Ясно. Вопросов нет.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Пожалуйста Петр Федорович Зибров. За ним д-р техн. наук Носов Н.В.

Д-р техн. наук, профессор Зибров П.Ф.

Сергей Валерьевич на странице 7 на рисунке 1 написано: схема распределения плотности мощности на поверхности пластины. Поверхность это как минимум трехмерная система координат или двумерная фигура. У Вас температура дана для одномерного случая, распределение для одномерного случая, Вы сами вот эти зависимости получили или где-то использовали их как готовые и адаптировали к вашей работе. Страница 7.

Соискатель Сизов С.В.

Это из автореферата?

Д-р техн. наук, профессор Зибров П.Ф.

У вас написана поверхность. Поверхность - это трехмерное пространство, обязательно, должны задаваться две координаты  $x$  и  $y$ . А у Вас написано вот температура начальная на линии  $x$  меняется только, дальше полученный результат  $x(t)$ . Ну  $t$  - время, это следующая, четвертая координата измерения, и вот я спрашиваю: Вы вот эти зависимости сами получили и использовали в своей работе или взяли где-то такие зависимости и адаптировали их к своей работе? Вопрос понятен? Вот посмотрите там, аналитическая зависимость, расчет температуры, и кстати говоря вот тоже там  $q$  написан интеграл опять одномерный. Кстати, интересная особенность там получается нормальный закон распределения, как-то это учитывалось или нет, т.е. часть первая, где это делится на корень  $\Pi$ .

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Петр Федорович, я прошу прощения зачитывайте вопрос.

Д-р техн. наук, профессор Зибров П.Ф.

Первое, сами Вы вывели эти формулы или взяли где-то и их адаптировали? На рисунке это поверхность или Вы решали одномерную задачу?

Соискатель Сизов С.В.

Приведенные на слайде и в автореферате формулы получены нами. На слайде показано действие одного импульса, решалась одномерная задача.

Д-р техн. наук, профессор Зибров П.Ф.

По данной работе есть ссылки?

Соискатель Сизов С.В.

Да, есть. По этой модели нами опубликована статья в журнале «Упрочняющие технологии и покрытия».

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Слово предоставляется д-ру Носову Н.В.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Сергей Валерьевич, у меня вот такой вопрос: Вы исследовали чистовое точение и почему остановились на чистовом? Есть получистовое, есть черновое точение. Чем обусловлена такой выбор? Вы испытывали покрытия при других глубинах обработки, кроме как 0,5 мм, а почему все же 0,5? Такая глубина скорее всего никогда не применяется. Вы же исследовали этот процесс, Вы должны посмотреть какие глубины предпочтительны для данной конструкции инструмента. Ну ладно. Итак, следующее. Непонятно почему Вы остановились на этом. Теперь, как стоимость пластин с покрытием определяли? Какая же стоимость пластин с покрытием по сравнению допустим без покрытия или с пластинами иностранных фирм, например, Sandvik Coromant. Вы сказали, что на заводе Вы получаете пластины, это что за пластины. Кто производитель?

Соискатель Сизов С.В.

Мы использовали пластины марок NT10 фирмы «Mitsubishi» и МК8 ЗАО «Твердосплавная компания». Пластины были предназначены для чистовой и получистовой обработки.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Они без покрытий приходят?

Соискатель Сизов С.В.

Да. Пластины без покрытий. Пластины от производителя были доведенными по всем контактными поверхностям.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А где покрытия наносите?

Соискатель Сизов С.В.

Покрытия наносили на установке Булат-6 в лаборатории кафедры.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А какой там твердый сплав используется?

Соискатель Сизов С.В.

Сплавы МК8 (Т8К7) и НТi10.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А вот иностранные фирмы тоже проводят исследования по нанесению покрытий. Они наносят в принципе любое покрытие под материал обрабатываемый, а подложка у них ВК8, ВК6. Почему Вы взяли в качестве подложки ТК?

Соискатель Сизов С.В.

Мы обрабатывали заготовки из конструкционной стали 38ХГН и нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Для обработки таких материалов рекомендуют эти твердые сплавы. Для обработки заготовок из конструкционной стали 38ХГН – сплав МК8, а сплав НТi10 - для обработки заготовок из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Так стоимость пластин определяли? Сколько вот пластина стоит на рынке, которые Вы покупали с завода. Сколько она стоит?

Соискатель Сизов С.В.

В диссертации данные по стоимости пластин есть. Ориентировочно стоимость пластины 350 - 400 руб.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А после покрытия сколько она будет стоить? После вашего покрытия сколько будет стоить?

Соискатель Сизов С.В.

Нанесение покрытия повышает ее стоимость на 30 - 45 %.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Нет, а Вы считали?

Соискатель Сизов С.В.

Я считал. Данные в диссертации.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

А импульсная лазерная обработка будет сколько стоить?

Соискатель Сизов С.В.

Я затрудняюсь точно сказать. В диссертации цифры есть. Сама обработка занимает пару импульсов по одному уголку твердосплавной пластины.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Это не просто по уголку. У вас пластины восьмикромочные или четырех?

Соискатель Сизов С.В.

Твердосплавные пластины были четырехгранными.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А почему Вы четырехгранную, четыре кромки использовали, можно было 8 использовать, с двух сторон, например. Ну поэтому нужна себестоимость. Итак стоимость пластины, которую покупает завод 400 руб.+себестоимость нанесения покрытий, просто мне пришлось заниматься, это приблизительно 150 рублей. Все надо считать.

Откройте слайд 11. Прокомментируйте вот эти две фотографии, пожалуйста, что на них изображено и какую информацию Вы для себя взяли?

Соискатель Сизов С.В.

Здесь показаны трещины, которые образуются в покрытии после импульсной лазерной обработки.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Показаны трещины, при определении чего?

Соискатель Сизов С.В.

Критической плотности мощности

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Глубина трещин какая?

Соискатель Сизов С.В.

Глубину трещин мы не измеряли. Мы фиксировали момент появления трещин в покрытии. Появление трещин свидетельствовало, что мы превысили критическую плотность мощности.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Трехслойные покрытия, трещина образовывалась в первом слое, или в первом и во втором или проходило через все многослойное покрытие.

Соискатель Сизов С.В.

Здесь представлены данные по трещинам для однослойных покрытий с нитридом титана.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Напряжения, которые Вы получили, это остаточные напряжения.

Соискатель Сизов С.В.

Это остаточные напряжения, которые мы определяли в твердосплавной основе и в покрытии.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Как твердосплавная основа, а как Вы до нее добрались?

Соискатель Сизов С.В.

Мы измеряли остаточные напряжения в твердосплавной основе без покрытия до и после импульсной лазерной обработки. Здесь представлены остаточные напряжения без покрытия.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Т.е. здесь в состоянии поставки.

Соискатель Сизов С.В.

До обработки твердосплавных пластин импульсной лазерной обработкой. На графике видно, что в результате превышения определенного порога плотности мощности сжимающие остаточные напряжения переходили в растягивающие.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Т.е. импульсная лазерная обработка проведена для твердосплавной основы?

Соискатель Сизов С.В.

На данных графиках на твердосплавной основе без покрытия.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А потом на твердый сплав Вы наносили покрытие?

Соискатель Сизов С.В.

Нет. Мы наносили покрытие на твердый сплав, а затем проводили лазерную обработку. И исследовали ее влияние на микротвердость и остаточные напряжения.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Поясните все же, когда Вы делали импульсную лазерную обработку.

Соискатель Сизов С.В.

Мы брали твердосплавную пластину, наносили на нее необходимое покрытие и дальше обрабатывали лазером.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну а напряжения в покрытиях Вы измеряли?

Соискатель Сизов С.В.

Мы их измеряли когда исследовали влияние лазерной обработки на структурные параметры. При проверке адекватности для покрытий мы их не измеряли.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Понятно. У вас какая форма передней поверхности? Почему Вы взяли такую? Такие пластины в принципе на производстве не применяются. Почему Вы взяли именно такую? А внедряли на какой пластине? На таких, которые исследовали?

Соискатель Сизов С.В.

Плоская форма передней поверхности была выбрана по причине, что на ней удобнее измерять контактные характеристики процесса резания, например, длину контакта стружки с передней поверхностью, а также измерять механические свойства покрытий и параметры структуры на ДРОНе. Промышленные испытания проводили на заводских пластинах.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А что у Вас не было пластин со стружколомающей геометрией, стружку нужно дробить. У Вас какая стружка, сливная была?

Соискатель Сизов С.В.

Для нержавеющей стали была сливная.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Вы ее не дробили?

Соискатель Сизов С.В.

Нет, геометрией пластины стружку не дробили. При стойкостных исследованиях резание проводили с использованием накладных стружколомов.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Т.е. это была обычная стальная стружка.

Соискатель Сизов С.В.

Да.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну все, спасибо.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Д-р Лобанов Д.В. пожалуйста.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

У меня два вопроса. Могли бы Вы обозначить сейчас о какой толщине многослойного покрытия идет речь?

Соискатель Сизов С.В.

Толщина многослойного покрытия составляла 6 мкм. Толщина слоев, например, двухслойного покрытия составляла по 3 мкм. Т.е. 50 на 50. Толщины слоев трехслойного покрытия составляли по 2 мкм.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

Тогда такой вопрос, скажите пожалуйста, а исследовали ли Вы влияние покрытия на радиус при вершине вашего режущего клина. Это определяет в первую очередь какую глубину резания Вы снимали и на какой операции чистовой ли обработки можете использовать или только на черновой можно использовать пластины с покрытием. Исследовали ли Вы это или нет? Потому что это очень важный вопрос, от величины округления лезвия будет зависеть при каком виде обработки можете использовать пластины? Это первый вопрос. Второй, как-то немножко не стыкуется, что сама обработка вызывает рост температур на покрытии и, как правило, это окислительная реакция, которая снижает микротвердость. А вот тут вроде я вижу рост микротвердости покрытий на 10 – 12 %. А как это?

Соискатель Сизов С.В.

Радиус при вершине твердосплавных пластин был равен 0,4 мм, толщина покрытия составляла 5 мкм. Но влияние покрытия на величину радиуса мы не проводили. Повышение микротвердости на наш взгляд объясняется тем, что импульсная лазерная обработка приводит к измельчению зерна материала покрытия, а это как известно повышает механические свойства материала.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

За счет чего у Вас уменьшается размер зерна?

Соискатель Сизов С.В.



Происходит мгновенный нагрев и охлаждение, скорость охлаждения  $10^6$  °C/с. Эксперименты показали, что в результате лазерной обработки снижаются размеры блоков ОКР.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

При этом происходит увеличение микротвердости.

Соискатель Сизов С.В.

Да.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

Спасибо.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Пожалуйста, д-р Киселев Е.С.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Сергей Валерьевич, вернемся к экономике, 9 пункт ваших выводов. Там 66300 рублей на один станок. Такой большой экономический эффект, с чем сравнивали.

Соискатель Сизов С.В.

Сравнивали твердосплавный инструмент с многослойным покрытием без импульсной лазерной обработки и многослойное покрытие, прошедшее импульсную лазерную обработку, а так же сравнивали со стандартным нитридом титана.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

А какое это отношение к вашей работе имеет? У вас название многослойные покрытия, я вот вообще удивляюсь 7, 8 пункту, где там написано 4,27 по сравнению с однослойным покрытием. Это никакого отношения к вашей работе не имеет.

Соискатель Сизов С.В.

Так написано, что применение ИЛО позволяет повысить период стойкости твердосплавных пластин МК8 с многослойным покрытием в 1,48-1,7 раза.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

После запятой: а по сравнению с покрытием *TiN*, никакого отношения с вашей работой не имеет.

Соискатель Сизов С.В.

Мы здесь просто сравнили как себя покажут наши многослойные покрытия по отношению к однослойному покрытию.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Я думаю что вы и экономический эффект считали также, 4,2 раза. А на самом деле в 1,5 раза. Тема диссертации «лазерная обработка многослойных покрытий», при чем здесь однослойные покрытия?

Соискатель Сизов С.В.

Для сравнения.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

А вот я и спрашиваю, как экономику Вы считали? Если там стоит однослойное покрытие и Вы в 4,7 раза увеличили стойкость, что у вас в расчете? Однослойное?

Соискатель Сизов С.В.

Сравнивали и с многослойными покрытиями без лазерной обработки и с нитридом титана.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну я и говорю, что в 4 раза завышен экономический эффект. Нельзя так считать. Покажите пожалуйста 21 страницу. Вот смотри 1,53, 1,39, 1,48, 1,56. Значит увеличение периода стойкости 1,39 - 1,57, на 1,5 раза с погрешностью, а вы закладываете 4,7.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Я прошу прощения. Сергей Валерьевич, я еще хочу раз напомнить, что Вы можете пользоваться любыми материалами, которые в Вашем распоряжении, в том числе и диссертацией, у вас достаточно времени, чтобы найти нужное место и показать его.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Экономическая эффективность увеличена в три раза в сравнении с тем, что заявлено. Известно, что на Вашей кафедре запатентовано порядка 300-400 многослойных покрытий. Вот Вы взяли три, чем вызван выбор покрытия, которые Вы взяли, это чисто случайные или они самые распространенные, почему три покрытия в позиции 3, 4, 5.

Соискатель Сизов С.В.

Нами предложены новые конструкции покрытия, которые имеют более высокую эффективность по сравнению с другими. На данные покрытия получены патенты, что говорит о их новизне.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

А может на старых было бы еще лучше? Из каких соображений, я хочу просто понять.

Соискатель Сизов С.В.

Мы доказали эффективность лазерной обработки для повышения работоспособности твердосплавного инструмента с многослойным покрытием. Поэтому можно обрабатывать лазером и известные покрытия и можно ожидать повышения их эффективности.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Теперь еще. Производственники, с которыми я общаюсь, они говорят, что кировоградские пластины, ну МКТС это одни из самых плохих пластин в мире и используются в лучшем случае при черновой обдирке, Вы их используете при чистовой обработке.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Ну и хорошо, что используются.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ничего хорошего нет, потому что при чистовой обработке используют более эффективные пластины.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Из плохих хорошие делает, что плохого.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Вы мне дадите задать вопрос.

Соискатель Сизов С.В.

В своей диссертации я использовал не кировоградские пластины, а пластины фирмы «Mitsubishi» и Московской твердосплавной компании. Как я уже говорил, пластины были доведены по всем поверхностям.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну московские, а такие же как и кировоградские.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Евгений Степанович, дайте время ему, он чуть-чуть начинает и сразу сбивается, сосредоточьтесь и отвечайте на заданный вопрос.

Соискатель Сизов С.В.

Пластины, которые мы выбрали предназначены для чистовой обработки. Они имеют состав, предназначенный для чистового и получистового точения. Радиус при вершине 0,4 мм, что также говорит о чистовой обработки.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Ну это по старым справочникам, а если посмотреть современные справочники, то эти пластины давно на производстве не используются, используются более современные пластины и там всего-то три покрытия применяются.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Д-р Клячкин В.Н. пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

У меня пару вопросов по математической модели, по слайду 6 уже были вопросы, у меня там кое-какие уточнения. Вот величина  $Q$  - количество тепла это величина или функция?

Соискатель Сизов С.В.

Функция.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Ну тогда не может быть неопределенного интеграла. У Вас там стоит неопределенный интеграл. В результате получается функция от  $x$ . А какие пределы? Там какие-то границы должны быть?

Соискатель Сизов С.В.

Интеграл имеет пределы интегрирования и пределы интегрирования соответствуют размерам пластины.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Продолжение первого вопроса, вот уже было замечание моего соседа, о том, что формула  $T(x,t)$  сильно напоминает нормальное распределение, а вот та кривая на картинке, у Вас тоже кривая нормального распределения. А есть какая-то связь между ними. Вот и кривая нормальная, хотя вроде там  $q(x)$ , а тут  $T(x)$  и тоже формула почти ну с точностью до нескольких постоянных

это формула нормального распределения. Есть связь между этими вещами или нет? Он может взял ее и откуда-то из справочника, но вот эта ассоциация с картинкой должна была вызвать какие-то эмоции. Так не уловили. Ладно, тогда переходим ко второму вопросу. Второй вопрос по слайду 20, там тоже немного математики. Слайд 20 в уголочке написали модели, какие и сколько опытов проводилось, чтобы получить вот эти зависимости.

Соискатель Сизов С.В.

Использовали полный факторный эксперимент при проведении стойкостных испытаний.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Ну там всего два фактора, четыре опыта только ставили?

Соискатель Сизов С.В.

Да, использовали план два в квадрате.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Хорошо.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

А качество моделей каким-нибудь образом оценивалось. Вот хорошая эта модель? Можно ли взять по третьему знаку, 173, а может там 172 или 174. Как оценить качество модели? И где, кстати, Вы их получали, Вы же не вручную их считали? Каким инструментом Вы пользовались? Эти формулы вы никак не могли из справочника взять? Да?

Соискатель Сизов С.В.

Нет.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Это Ваши формулы, результаты ваших испытаний, где Вы их обрабатывали, в каком пакете или может вы программу писали?

Соискатель Сизов С.В.

Программа была написана в пакете «Mathcad».

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Уже семь членов совета задали вопросы. Еще у кого-нибудь есть.

Пожалуйста, д-р Дьяконов А.А.

Д-р техн. наук, доцент Дьяконов А.А.

Один вопрос: какие параметры работоспособности Вы повышали?

Соискатель Сизов С.В.

Работоспособность инструмента оценивали по периоду стойкости и интенсивности износа.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

Сергей Валерьевич, Вы, когда обрабатывали пластину, источник лазерный Вы перемещали относительно нее или пластину относительно источника. Непрерывно или дискретно в отдельных точках.

Соискатель Сизов С.В.

Перемещался стол лазерной установки с коэффициентом перекрытия 0,5.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

А почему 0,5?

Соискатель Сизов С.В.

Он был выбран согласно работ Григорьянца А.Г., как наиболее эффективный.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

Шестой слайд. Тут же кривая Гаусса, температура уходит в бесконечность по сути дела, а вот пятно, какое пятно Вы принимали?

Соискатель Сизов С.В.

Пятно принималось диаметром 1 мм.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

А температура как на 1 мм меняется? Существенно? Ну относительно максимальной. На сколько температура меняется? Отступим 0,5 мм от пика, отступим в право или влево на 0,5 мм?

Соискатель, С.В. Сизов.

Я затрудняюсь ответить на этот вопрос.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

Вы на кого-то ориентировались, выбирая диаметр лазерного пятна? Почему такой размер?

Соискатель Сизов С.В.

Коэффициент перекрытия?

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

Да, и коэффициент перекрытия в том числе.

Соискатель Сизов С.В.

На работы по лазерным технологиям.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

Коэффициент перекрытия понятно, а вот как расстояние Вы определяли?

Соискатель Сизов С.В.

Расстояние задавали.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Еще у кого-нибудь вопросы есть? Вопросы заканчиваем. Так, технический перерыв будем делать? Все отказываются от технического перерыва. Продолжаем работу. Слово предоставляется научному руководителю д-ру Табакову В.П.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Ученый секретарь уже говорил, что Сизов С.В. закончил машиностроительный факультет нашего университета по специальности «Технология машиностроения» в 2012 году. Потом был зачислен в аспирантуру, которую закончил в 2016 году. За это время он сложился хорошим научным работником, способным решать поставленные перед ним задачи. Способен самостоятельно ставить задачи, решать их и анализировать результаты исследований. Все задачи, которые решались в диссертации, особенно в экспериментальной части, он выполнял самостоятельно. Характеризуется как трудоспособный в этом плане человек. За время учебы в аспирантуре подготовил диссертацию на тему «Повышение

работоспособности твердосплавного инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия», где решил актуальную задачу повышения работоспособности путем импульсной обработки многослойных покрытий. Опубликовал достаточно большое количество работ: 28 публикаций, из них 7 в изданиях ВАК, 4 в базе цитирования Scopus и 5 патентов на изобретения. Считаю, что работа Сизова С.В. имеет научную и практическую ценность, отвечает требованиям, предъявляемым в диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а соискатель достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо. Д-р Веткасов Н.И. согласие и заключение организации, где выполнялась работа и отзыв ведущей организации.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Заключение федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».

Диссертация Сизова С.В. «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена на кафедре «Инновационные технологии в машиностроении» УлГТУ.

В период подготовки диссертации соискатель Сизов Сергей Валерьевич работал в АО «УКБП» в должностях инженера-технолога 3 категории и инженера-конструктора 2 категории.

В 2012 г. он окончил «Ульяновский государственный технический университет» по специальности «Технология машиностроения».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2019 г.

Научный руководитель – Табаков Владимир Петрович, профессор, д-р техн. наук, и.о. заведующего кафедрой «Инновационные технологии в машиностроении»

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Отмечено, что актуальность работы определяется существенным повышением требований к работоспособности режущего инструмента. Одним из радикальных путей решения указанной проблемы является упрочняющая обработка режущего инструмента с износостойким покрытием, направленная на модификацию физико-механических свойств самого покрытия и повышение прочности адгезионных связей износостойкого покрытия с инструментальной основой.

Соискателем рассмотрено использование импульсной лазерной обработки для упрочнения режущего инструмента с многослойными покрытиями. Это решение открывает возможность существенного повышения работоспособности режущего инструмента на операции

продольного течения, без применения СОЖ. В силу вышеизложенного, тема диссертации Сизова С.В. является актуальной.

Степень достоверности полученных результатов обеспечивается применением современных методов исследований

Научная новизна полученных в диссертации результатов теоретических и экспериментальных исследований определяется рядом новых научных положений и выводов, важнейшие из которых получены лично соискателем:

1. Математическая модель воздействия импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие - инструментальная основа».

2. Результаты численного моделирования воздействия импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие - инструментальная основа».

3. Закономерности взаимосвязи технологических параметров импульсной лазерной обработки с параметрами структуры, механическими свойствами многослойных покрытий и интенсивностью изнашивания твердосплавного режущего инструмента.

4. Математические модели периода стойкости твердосплавного инструмента с многослойным покрытием, подвергнутого воздействию импульсной лазерной обработки.

5. Новые способы получения многослойных покрытий, включающие в себя нанесение многослойного покрытия и последующую импульсную лазерную обработку.

Практическими результатами диссертационной работы являются:

1. Рекомендации по расчету и назначению режимов импульсной лазерной обработки, обеспечивающих максимальную работоспособность твердосплавного режущего инструмента.

2. Новые конструкции многослойных покрытий, новизна которых подтверждена патентами на изобретения;

3. Технологии нанесения многослойных покрытий.

Опытно-промышленные испытания, выполненные в производственных условиях заводов АО «УКБП» (г. Ульяновск) и ООО «УАЗ» (г. Ульяновск), подтвердили высокую работоспособность режущего инструмента с разработанными многослойными покрытиями после импульсной лазерной обработки.

Технологические рекомендации по нанесению многослойных покрытий с последующей импульсной лазерной обработкой переданы для использования в АО «УКБП»

Основные результаты работы доложены на 12 республиканских и международных научно-технических конференциях.

Диссертационные исследования проводились в рамках выполнения государственного задания министерства образования и науки РФ, грантов РФФИ.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Сизова С.В. написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, является целостной и завершенной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальных научно-технических задач и соответствуют требованиям Положения о присуждении ученых степеней.

Поставленные в работе задачи раскрыты достаточно полно и убедительно. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики.

Работа Сизова С.В. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Диссертация «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия» Сизова Сергея Валерьевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Заключение принято на заседании кафедры «Инновационные технологии в машиностроении».

Присутствовали на заседании 22 сотрудника кафедры, в том числе 6 докторов технических наук. Результаты голосования: «за» - 22 человека, «против» - нет, «воздержались» - нет. Протокол заседания № 2 от «19» сентября 2019 г.

Отзыв составлен и.о. заведующего кафедрой «Инновационные технологии в машиностроении» Табаковым В.П. и утвержден проректором по научной работе Ярушкиной Н.Г. Отзыв прилагается.

Отзыв ведущей организации. Ведущая организация – Московский государственный технологический университет «СТАНКИН». В отзыве ведущей организации на диссертацию Сизова Сергея Валерьевича на тему «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.02.07. Отмечается актуальность темы диссертации, в частности, говорится, что диссертационная работа Сизова С.В., связанная с повышением работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной обработки многослойного покрытия, является актуальной.

Отмечается научная новизна диссертационной работы. Научную новизну диссертационной работы Сизова С.В. представляют следующие научные результаты:

1. Математическая модель воздействия импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие - инструментальная основа».



2. Результаты численного моделирования воздействия импульсной лазерной обработки на композицию «многослойное покрытие - инструментальная основа».

3. Взаимосвязи технологических параметров импульсной лазерной обработки с параметрами структуры и механическими свойствами многослойных покрытий

4. Математические модели периода стойкости твердосплавного режущего инструмента с многослойными покрытиями, подвергнутого импульсной лазерной обработке.

5. Новые способы получения многослойных покрытий, включающие в себя нанесение многослойного покрытия и последующую импульсную лазерную обработку.

Отмечается степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, содержащихся в диссертации. Отмечается, в частности, что достоверность и обоснованность научных положений подтверждается использованием положений теории резания металлов, современных методов рентгеноструктурного анализа, математических методов моделирования и т.д.

Практическая значимость результатов диссертационной работы Сизова С.В. заключается в:

- рекомендациях по назначению режимов импульсной лазерной обработки;

- новых конструкциях многослойных покрытий;

- новой технологии нанесения многослойных покрытий.

Практическая полезность работы подтверждена результатами опытно-промышленными испытаниями на ряде машиностроительных предприятий.

Технологические рекомендации по нанесению многослойных покрытий с последующей импульсной лазерной обработкой переданы АО «УКБП».

В отзыве ведущей организации отмечены рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации, в частности, что результаты диссертационной работы Сизова С.В. могут быть рекомендованы в качестве методической и практической основы при изготовлении твердосплавного инструмента. Отмечается, что содержание диссертации соответствует заявленной специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. Отмечается, в частности, что автореферат соответствует содержанию диссертации и позволяет судить об основных положениях, изложенных в главах 1-5, целях и задачах исследований, научных выводах и результатах. Оформление автореферата отвечает установленным требованиям.

Замечания по диссертационной работе:

1. При обосновании актуальности тематики диссертационной работы и выполнения литературного обзора, представленного в главе 1 текста диссертации, автором проанализирован достаточно большой объем

публикаций российских ученых и очень незначительное количество работ авторитетных зарубежных ученых (при этом все проанализированные работы зарубежных коллег датированы лишь 1995 – 2009 гг.). Это хоть и не критичное, но определенное упущение, так как все, что касается защитных покрытий для твердосплавного инструмента, очень динамично развивается во всем мире и нельзя не учитывать последний опыт передовых научных коллективов.

2. В главе 2 текста диссертации на стр. 46 автором указано, что «для определения остаточных напряжений в покрытиях использовали образцы из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 (ГОСТ 19265-73)». Совершенно непонятно при чем здесь быстрорежущая сталь, если объектом исследований является инструмент из твердого сплава? Это либо досадная опечатка автора, либо автор считает, что уровень напряжений в покрытии не зависит от материала подложки, что в корне не соответствует действительности

3. Прочность адгезии покрытий с инструментальной основой соискатель оценивает по коэффициенту отслоения, который определялся путем индентирования поверхности покрытия, а микротвердость покрытий – по восстановленному отпечатку с использованием пирамиды Кнуппа. Более корректно было бы оценить прочность адгезии методом скрайбирования, а микротвердость – методом непрерывного наноиндентирования на нанотвердомерах.

4. В тексте диссертации, автором сравниваются, а иногда и противопоставляются (в частности, раздел 3.2) теплопроводности покрытия и твердосплавной основы. На наш взгляд, это достаточно спорно и даже некорректно, так как речь идет о пленке толщиной не более 8 мкм и массивном образце пластины из твердого сплава.

5. Соискателем представлены технологические параметры осаждения однослойных покрытий, но в тоже время отсутствуют параметры осаждения своих разработанных многослойных покрытий.

6. При проведении стойкостных исследований соискателем недостаточно обоснован выбор материала заготовок и твердосплавных пластин.

7. В тексте диссертации имеются стилистические и орфографические погрешности. Нет единообразия в оформлении графиков. Некоторые рисунки имеют плохое качество, затрудняющее их понимание (например, рис. 5.1, 5.2).

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

Заключение.

Несмотря на отмеченные выше замечания, не снижающие ценности работы, диссертация Сизова Сергея Валерьевича на тему: «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия» является научно-

квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи повышения работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия на основе анализа контактных процессов, теплового и напряженного состояния режущего инструмента. Работа выполнена на достаточном научно-теоретическом уровне, методики и средства выполненных исследований соответствуют решаемым задачам.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют заявленной специальности 05.02.07.

Основные положения диссертационной работы отражены в 28 научных работах и патентах, в том числе 7 статьях в изданиях по Перечню ВАК, и 4 статьях, индексируемых базой данных Scopus. Публикации по работе соответствуют Положению ВАК. По диссертации сделаны 12 докладов на научно-технических конференциях различного уровня, что свидетельствует о достаточной апробации работы.

На основании изложенного, учитывая актуальность работы, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, а также уровень и объем выполненных исследований, рассмотренная диссертация на тему «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия» удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Сизов Сергей Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07.

Настоящий отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры высокоэффективных технологий обработки ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», Протокол № 6 от 05 ноября 2019 года.

Отзыв составлен профессором кафедры высокоэффективных технологий обработки доктором технических наук Гуриным Владимиром Дмитриевичем и секретарем заседания, ведущим инженером кафедры высокоэффективных технологий обработки Оганян Ларисой Михайловной и утвержден проректором по научной работе и научно-технической политике ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН» Зеленским Александром Александровичем 28 ноября 2019 года. Отзыв прилагается.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.  
Спасибо.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Вот в отзыве ведущего предприятия по предыдущей защите диссертации была ссылка только на п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», здесь ссылка на 4 пункта, не будет ли законного вопроса о недооценки первой диссертации.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.  
Не будет.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Почему?

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Потому что в Положении о диссертационном совете говорится в первую очередь о соответствии по п.9, что эта работа является научно-квалификационной работой, а так в принципе мы в своих отзывах пишем соответствует требованиям второго раздела положения о присуждении ученых степеней.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Правильно пишем.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Но вот когда я оппонировал в Волгограде, там памятку прислали, что укажите обязательно, что соответствует п.9 Положения о присуждении ученых степеней.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

9 пункт не вызывает сомнений, я про остальные говорю.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

9 пункт второго раздела это основной.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

9 пункт это основной, а другие касаются публикаций и некорректных заимствований и т.д.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

На автореферат диссертации поступило 12 отзывов, все они положительные. Я так думаю, что обзор отзывов у членов совета присутствует и они успели с ним ознакомиться, во время выступления. Полный текст, наверное, не будем зачитывать, заслушаем обзор. Возражений нет. Нет.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Только я хочу сказать не 12, а 14.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

12 отзывов, а в раздаточном материале еще отзывы ведущей организации и официальных оппонентов.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Это вместе с ведущей организацией, тогда сразу, наверное, зачитаем обзор или сразу будем отвечать. Давайте перечислим организации, которые направили отзывы, а потом соискатель ответит на замечания. Пожалуйста.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Отзыв поступил с Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», подписан д-ром техн. наук, профессором Блинковым И.В. Замечания: 1. Автор сообщает об уменьшении макронапряжений в сформированных покрытиях под воздействием ИЛО. Из текста автореферата не ясно, каким методом определялись эти характеристики и с какой погрешностью? С учетом этого не ясна значимость разницы полученных значений до и после ИЛО. 2. Из многочисленных

исследований известно, что сжимающие макронапряжения существенно влияют на твердость покрытий, как правило, повышая ее значение. В работе показано обратная зависимость твердости от величины макронапряжений. С чем это связано? 3. На рисунке 4 (в) автор приводит значение ОКР с точностью до второго знака после запятой. Используемый метод определения этих величин по уширению линий рентгеновской дифракции не дает такую точность. 4. Из текста автореферата не ясны условия проведения ИЛО, в частности, состав газовой атмосферы, в которой проводили данную обработку, что могло сказаться на изменениях химического состава обработанных ИЛО покрытий, которые, как и структурные изменения, могут оказать существенное влияние на свойства обработанных покрытий.

Следующий отзыв поступил с Липецкого государственного технического университета, подписан д-ром техн. наук, профессором Козловым А.М. Замечания: 1. П.5 научной новизны – «Новые способы получения МП, включающие в себя нанесение МП и последующую ИЛО» в большей степени соответствует практической значимости работы. 2. На с.8 автореферата отмечается, что проводилось моделирование нагрева режущих пластин с покрытиями лазерным излучением круговой формы диаметром 1 мм в виде импульса длительностью 4 мс и с шагом счета 0,01 мс. Не ясно, по какой траектории перемещался луч лазера; учитывалось ли перекрытие импульсов на поверхности инструмента и т.д. 3. В автореферате имеются неудачные выражения (с. 10 «... ИЛО приводит ... к повышению полуширины...»). Полуширина не может повышаться или понижаться – она или увеличивается, или уменьшается. Не представлено, что характеризует полуширина рентгеновской линии? 4. На с. 11 отмечается, что «ИЛО способствует снижению полной длины контакта стружки с передней поверхностью (до 12 %), коэффициента укорочения стружки (до 9 %), составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  (3-8 %).» Не представлено объяснение полученных результатов.

Следующий отзыв поступил из Комсомольска-на-Амуре государственного университета, подписан д-ром техн. наук, доцентом Мокрицким Б.Я. Замечания: 1. Общепринято в разделе «На защиту выносятся» (у соискателя это названо иначе, что не принципиально) в каждом пункте указывать к какому пункту формулы научной специальности это относиться. Соискатель от этого уклонился. 2. Мне не нравится раздел «Основные выводы». Во-первых, коль в работе раздел «Введение», то обязан быть и раздел «Заключение», в котором и должно быть какая важная народнохозяйственная задача решена и поэтому нужно присудить ученую степень. Во-вторых, пункты 8 и 9 раздела «Основные выводы» не являются выводами.

Следующий отзыв поступил из Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева, подписан д-ром техн. наук, профессором Волковым Д.И. Замечания: 1. Из автореферата непонятно, как были выбраны составы и определены технологические

параметры осаждения покрытий, которые использовали в качестве функциональных слоев многослойного покрытия. 2. Некоторые графические зависимости, отражающие результаты экспериментов, не сопровождаются условиями их проведения. 3. Отсутствует расшифровка условного обозначения «d» в формуле 3.

Следующий отзыв поступил с Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, подписан д-ром техн. наук, доцентом Коротковым А.Н. Замечания: 1. Автор весьма активно использует в тексте автореферата сокращения (МП, ИЛО, РИ, МП-ИО) число которых доходит до 30 на одной странице текста. Это затрудняет понимание смысла излагаемого материала и заставляет постоянно возвращаться и искать расшифровку аббревиатуры. 2. В автореферате не указано при обработке каких материалов в производственных условиях достигнуто повышение стойкости инструментов.

Следующий отзыв поступил с Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, подписан д-ром техн. наук, доцентом Кузнецовым В.П. Замечания: 1. В автореферате не приведены основные параметры импульсной лазерной обработки, в частности частота импульсов, траектория и скорость перемещения пятна лазерного источника по пластине с покрытием. 2. Отсутствует описание конечно-элементной модели воздействия лазерного источника на инструмент с покрытием, не приведено обоснование выбора ее параметров. 3. Нет сравнения полученных результатов с зарубежными исследованиями, например по текстурированию покрытий инструмента импульсным лазером.

Следующий отзыв поступил из Донского государственного технического университета, подписан д-ром техн. наук, профессором Рыжкиным А.А. Замечания: 1. Несмотря на большой объем и высокий уровень эксперимента, в работе не представлены результаты металлографических исследований, что позволило бы визуально отследить кинетику протекающих в слоях зоны обработки структурных или иных превращений при воздействии лазерного излучения. 2. В автореферате следовало бы обосновать выбор способа упрочняющей лазерной обработки полученных покрытий. Выбранная автором лазерная поверхностная обработка излучением импульсно-периодического режима генерации является низкопроизводительным и малоэффективным процессом для внедрения в массовое инструментальное производство. Успешной и современной альтернативой ей может стать лазерная обработка излучением непрерывного режима генерации, обеспечивающая все преимущества лазерного воздействия при значительной большей скорости сканирования обрабатываемой поверхности источником энергии. 3. Предложенную модель тепловой задачи для точечного источника необходимо записать в принятую в теплофизике запись с реальными граничными условиями и показать, в каких пределах брать интеграл  $\int q(x)dx$ .

Следующий отзыв поступил из Южно-Уральского государственного университета, подписан д-ром техн. наук, профессором Шаламовым В.Г. Замечания: 1. Представленные материалы отражают процессы, происходящие на передней поверхности режущего лезвия. Почему не рассматривается задняя поверхность режущего лезвия? 2. Можно ли ожидать положительного эффекта рассматриваемого метода импульсно-лазерной обработки в условиях прерывистого резания, например, при фрезеровании?

Следующий отзыв поступил из Пензенского государственного университета, подписан д-ром техн. наук, доцентом Зверовщиковым А.Е. Замечания: 1. Проводилась ли интервальная оценка плотности мощности ИЛО и при каких толщинах покрытия производились численное моделирование и экспериментальные исследования. 2. На основе каких моделей производилось численное моделирование в ANSYS. 3. Как оценивались температуропроводности и теплопроводности границ многослойного покрытия при моделировании.

Следующий отзыв поступил из Омского государственного технического университета, подписан д-ром техн. наук, профессором Поповым А.Ю. Замечания: 1. В автореферате не отражено влияние импульсной лазерной обработки на состояние лезвия инструмента. 2. Нет описания физических процессов изменения структуры обработанной поверхности в результате импульсной лазерной обработки.

Следующий отзыв поступил из Брянского государственного технического университета, д-ром техн. наук, профессором Киричком А.В. Замечания: 1. В автореферате не указана область целесообразного применения твердосплавного инструмента с импульсной лазерной обработкой (ИЛО) многослойного покрытия (МП) – обрабатываемые материалы, условия работы – чистовая или черновая обработка и т.д., предпочтительные глубина и другие режимы резания, ограниченная по силе резания или другим параметрам. 2. Исследование влияния ИЛО МП на микротвердость, коэффициент отслоения и интенсивность изнашивания твердосплавных пластин выполнено в узком диапазоне технологических факторов.

И последний отзыв поступил из Пермского национального исследовательского политехнического университета, подписан д-ром техн. наук, профессором Макаровым В.Ф. Замечания: 1. Не обоснован выбор твердого сплава в качестве инструментального материала под нанесение покрытия. 2. Отсутствует информация о принципе построения многослойного покрытия, поэтому не ясно из каких соображений выбирали верхний, промежуточный и нижний слои покрытия. 3. В автореферате не отражено, какие технологические режимы и компоновочные схемы установок рекомендованы для нанесения многослойных покрытий для повышения работоспособности режущих инструментов.

Все отзывы положительные.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо. Ответы соискателя, пожалуйста.

Соискатель Сизов С.В.

С первым, третьим, четвертым, пятым, шестым и седьмым замечаниями ведущей организации, которые носят характер пожеланий, мы согласны.

По второму замечанию хотелось бы ответить: известно, что при определении остаточных напряжений в покрытиях на твердом сплаве не всегда удается их измерить. В этом случае мы измеряли остаточные напряжения на образцах из стали Р6М5. Влияние инструментальной основы на остаточные напряжения нам известно. Напряжения на Р6М5 больше, чем на твердом сплаве, что связано с их коэффициентами термического расширения.

По четвертому замечанию: коэффициент теплопроводности покрытий и инструментальной основы мы не противопоставляли друг другу, а лишь отметили их влияние на температуру на поверхности твердого сплава и твердого сплава с покрытием и установили, что существенное влияние на температуру оказывает теплопроводность твердосплавных основ и незначительное влияние теплопроводности самих покрытий ввиду незначительного отличия коэффициентов теплопроводности.

Обзор отзывов на автореферат.

В целях экономии времени мы разделили замечания и вопросы, содержащиеся в отзывах на автореферат, на 4 группы.

К первой группе отнесены замечания и вопросы, обусловленные ограниченностью объема автореферата, исчерпывающая информация по которым содержится в диссертации.

К этой группе замечаний относятся: четвертое замечание д-ра техн. наук, проф. Блинкова И.В., второе и четвертое замечание д-ра техн. наук, проф. Козлова А.М., первое замечание д-ра техн. наук, проф. Волкова Д.И., второе замечание д-ра техн. наук, доцента Короткова А.Н., первое и второе замечание д-ра техн. наук, доцента Кузнецова В.П., первое замечание д-ра техн. наук, проф. Рыжкина А.А., первое и второе замечания д-ра техн. наук, доцента Зверовщикова А.Е., первое замечание д-ра техн. наук, проф. Киричека А.В., третье замечание д-ра техн. наук, проф. Макарова В.Ф.

Ко второй группе отнесены замечания, носящие характер пожеланий, которые мы учтем в дальнейшей работе.

К ним относятся: первое и второе замечания д-ра техн. наук, доцента Мокрицкого Б.Я., первое и третье замечания д-ра техн. наук, проф. Рыжкина А.А.

К третьей группе относятся критические замечания, с которыми мы согласны.

Это – первое и третье замечание д-ра техн. наук, проф. Козлова А.М., второе и третье замечания д-ра техн. наук, проф. Волкова Д.И., первое замечание д-ра техн. наук, доцента Короткова А.Н., третье замечание д-ра техн. наук, доцента Кузнецова В.П., первое и второе замечания д-ра техн.



наук, проф. Попова А.Ю., второе замечание д-ра техн. наук, проф. Киричека А.В., первое и второе замечания д-ра техн. наук, проф. Макарова В.Ф.

На замечания четвертой группы нам хотелось бы ответить.

По первому замечанию д-ра техн. наук, проф. Блинкова И.В.: макронапряжения в покрытиях определяли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М. Погрешность измерения остаточных макронапряжений составляла в зависимости от состава покрытий от 8,5 % до 18 %. Разница в значениях макронапряжений в покрытиях до и после импульсной лазерной обработки составила от 18 % до 48 %, что значительно больше погрешности измерения и позволяет говорить о значимости разницы полученных значений макронапряжений до и после импульсной лазерной обработки.

По второму замечанию д-ра техн. наук, проф. Блинкова И.В.: повышение микротвердости покрытий в результате воздействия импульсной лазерной обработки связано, на наш взгляд, с уменьшением размера блоков ОКР и, следовательно, с размерами кристаллитов, что, как известно, вызывает рост твердости. Наблюдаемое повышение микротвердости при снижении макронапряжений может быть связано с различными механизмами упрочнения материала покрытия при легировании покрытия и при воздействии импульсной лазерной обработки. Повышение микротвердости покрытий при снижении величины сжимающих остаточных напряжений отмечалось также в работах других исследователей. Например, в работах проф. Табакова В.П. при легировании покрытия TiN железом, никелем и хромом, а также в работах проф. Блинкова при легировании покрытия TiN никелем.

По третьему замечанию д-р техн. наук, проф. Блинкова И.В.: размеры блоков ОКР рассчитывали по известной формуле на основе экспериментальных значений полуширины рентгеновской линии. Данный метод, из всех известных, наиболее прост в реализации и достаточно широко используется. Нами допущена не корректная запись величины данного параметра – два знака после запятой. Следовало указать среднее значение параметра и погрешность измерения.

По первому замечанию д-ра техн. наук, проф. Шаламова В.Г.: работоспособность режущего инструмента определяется контактными и тепловыми процессами, протекающие на передней поверхности. По этой причине основное внимание было уделено передней поверхности.

По второму замечанию д-ра техн. наук, проф. Шаламова В.Г.: полученные результаты позволяют сделать заключение, что использование импульсной лазерной обработки для режущего инструмента, предназначенного для фрезерования, даст положительный эффект в повышение работоспособности инструмента.

По третьему замечанию д-ра техн. наук, доцента Зверовщикова А.Е.: при математическом моделировании использовали приведенные значения температуропроводности и теплопроводности композиции «многослойное покрытие - инструментальная основа».

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо. Слово для отзыва представляется официальному оппоненту д-ру Мигранову М.Ш. Уфимский государственный авиационный технический университет.

Официальный оппонент - д-р техн. наук, доцент Мигранов М.Ш.

Добрый вечер, уважаемые коллеги! Отзыв подготовлен на шести страницах, но зная, что Вы уже давно работаете, с 12 часов, я предлагаю те формально-номинальные вещи зачитать меньше.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Нет возражений у членов совета. Нет

Официальный оппонент - д-р техн. наук, доцент Мигранов М.Ш.

А там где надо зачитать замечания, я зачитаю полностью.

Отзыв на диссертационную работу 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.

Структура работы классическая, т.е. состоит из анализа, методики, теоретической части, экспериментальной и внедренческой. В кратце я пройду. Работа состоит из 5 глав, заключения, списка литературы из 182 наименований, включает 156 страниц машинописного текста, 43 рисунка, 34 таблицы.

В 1 главе представлен анализ направлений повышения работоспособности режущего инструмента, откуда была определена актуальность поставленной цели задач исследования.

Во 2 главе, это методическая, представлена методика, оборудование и обрабатываемые и инструментальные материалы.

В 3 главе выдвинута гипотеза, это теоретическая часть, проведено математическое и численное моделирование.

В 4 главе, для того чтобы подтвердить гипотезу, проведены экспериментального исследования.

Ну и в 5 главе проведена внедренческая работа, т.е. проведены стойкостные испытания, производственные испытания, а также проведен технико-экономический анализ эффективности использования тех или иных методов обработки.

Таким образом, материал диссертации изложен строго в логической последовательности в соответствии с современными требованиями к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнения, пункт 2. Оценка новизны научно-технических исследований тоже не вызывает сомнений.

Хотелось бы несколько моментов в части научной новизны сказать. Научная новизна заключается в разработке математической модели, результатах численного моделирования воздействия импульсной лазерной

обработки, взаимосвязях технологических параметров лазерной обработки и параметров, механических свойств покрытий, математических моделях периода стойкости твердосплавного режущего инструмента и новых способах получения многослойных покрытий, как по архитектуре так и по последующей импульсной лазерной обработки.

Оценка обоснованности и достоверности научных положений выводов и заключений. Каждая глава заканчивается выводами и в конце всей работы сделаны общие выводы по всей диссертационной работе.

Общая оценка выводов по результатам выполненной диссертационной работы Сизова Сергея Валерьевича даёт основание утверждать, что работа содержит достаточно обоснованные и достоверные научные положения и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Практическая ценность работы тоже не вызывает сомнений. Практическая ценность заключается в рекомендациях по расчету и назначению режимов импульсной лазерной обработки, новых конструкциях многослойных покрытий, технологиях нанесения многослойных покрытий.

Основные результаты работы подтверждены на производстве: это Ульяновское конструкторское бюро приборостроения и автомобильный завод.

Хотелось бы подробно остановиться на замечаниях. У меня есть четыре замечания. Первое замечание. Математическое и численное моделирование соискателем проведено для двухслойных покрытий, на основе которых и выбраны технологические параметры импульсной лазерной обработки. В то же время при проведении экспериментальных исследований использовались также трехслойные покрытия, в этой связи следовало бы дать обоснование возможности использования предложенных технологических параметров импульсной лазерной обработки и для трехслойных покрытий.

Второе замечание. Соискателем дано обоснование выбора состава функциональных слоев многослойных покрытий, в то же время недостаточно аргументирован выбор толщин данных слоев.

Третье замечание. При оценке теплового состояния режущего инструмента важным является вопрос теплового баланса при резании. Однако, соискателем данный вопрос не рассмотрен.

Четвертое замечание. При исследовании работоспособности твердосплавных пластин с разработанными многослойными покрытиями после импульсной лазерной обработки желательно было расширить диапазон режимов резания, что позволило бы в большей степени оценить области применения результатов работы.

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

Теперь общая характеристика диссертационной работы. Она состоит из 8 пунктов.

1. Диссертация С.В. Сизова является научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно-обоснованные разработки, направленные на решение актуальной для отечественных машиностроительных производств задачи повышения работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия. Тем самым диссертация соответствует разделу II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

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

3. Работа выполнена на достаточном научно-теоретическом уровне, методики и средства выполненных исследований адекватны решаемым задачам.

4. Результаты исследований, выполненных соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов.

5. Диссертация имеет практическую ценность, так как разработки соискателя обеспечивают повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента.

6. Степень апробации основных положений диссертационной работы путем опубликования 28 статей и патентов, в том числе 7 статей в изданиях по Перечню ВАК, и 4 статьи, индексируемых базой данных Scopus, опубликованных в период с 2012 по 2019 гг., и докладов на двенадцати конференциях различного уровня достаточна. В отношении публикаций работа соответствует положению ВАК.

7. Содержание автореферата отражает основные положения работы и главные доказательства их истинности.

8. На основании вышеизложенного считаю, что диссертация С.В. Сизова отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. Соискатель Сизов С.В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук. Отзыв прилагается.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо, Марс Шарифуллович. Ответы, соискатель.

Соискатель Сизов С.В.

По первому замечанию официального оппонента Марса Шарифулловича хотелось бы ответить: данные полученные нами при математическом и численном моделировании показали, что критическая плотность мощности для двухслойных и трехслойных покрытий с различными составами функциональных слоев на основе нитрида титана отличается не более, чем на 2-5%. Поэтому при импульсной лазерной обработке разработанных нами двухслойных и трехслойных покрытий, мы

использовали значения критической плотности мощности, полученные при моделировании.

По остальным замечаниям носящим характер пожеланий, мы согласны. Большое спасибо Марсу Шарифулловичу за изучение моей работы.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо, Сергей Валерьевич. Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту – д-ру Зининой Е.П. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН.

Официальный оппонент - д-р техн. наук, Зинина Е.П.

Так, отзыв официального оппонента на диссертацию Сизова Сергея Валерьевича «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия». Я также вкратце пройду по пунктам, структура отзыва она такая же как и у Мигранова М.Ш.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Возражений нет? Нет.

Официальный оппонент - д-р техн. наук, Зинина Е.П.

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

В первой главе проведен анализ состояния вопроса по обзору литературы, в котором подробно рассмотрены направления повышения работоспособности режущего инструмента с износостойким покрытием. Достаточно много материала по первой главе. Проведенная оценка состояния вопроса, позволила сформулировать цел и задачи исследований.

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 что позволило оценить тепловое состояние, и выявить взаимосвязь характеристик импульсной лазерной обработки с параметрами структуры и механическими свойствами поверхностного слоя композиции.

Необходимо отметить хорошую 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

В четвертой главе выбраны и обоснованы составы слоев многослойных покрытий.

В пятой главе представлены результаты исследований контактных характеристик процесса резания, теплового и напряженного состояния режущего клина, периода стойкости твердосплавного режущего инструмента с многослойными покрытиями, прошедших импульсную лазерную обработку, опытно-промышленных испытаний и технико-экономического обоснования применения такого инструмента.

Показаны основные преимущества такого инструмента, приведены результаты опытно-промышленных испытаний в условиях АО «УКБП» и ООО «УАЗ».

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 полном объеме и адекватно отражает содержание и результаты диссертации.

Далее в отзыве представлены актуальность исследования, оценка новизны исследований и полученных результатов, а также оценка обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации, практическая ценность диссертации и замечания. На замечаниях я бы хотела остановиться. Мне как человеку, который ближе к технологическим проблемам, в данной работе не хватило визуального ряда, обычно, если говорят о режимах резания и говорят, что там усадка стружки, обязательно всегда показывают, что было до, усадка стружки шлифы делают по стружке и вот то, что стало после. Т.е. можно по крайней мере уже по этому визуальному ряду определить, как меняется характер взаимодействия стружки с обрабатываемым материалом, с поверхностью. Изменяется трение, т.е. уже можно по этим характеристикам сопоставить те результаты, которые ты сам получил и можно сопоставить тем, что здесь. Мне просто приходилось оппонировать в Волгограде и там очень хорошо можно было сопоставить их результаты с теми, которые получили для себя. Это относительно того, что вот не хватает визуального ряда, может я как чисто женский взгляд разглядывала именно это, эти мелочи

они как раз фактически просвечивают ту палитру, которая нет в данной работе. Работа очень хороша чем, вот проведено исследование, было то, на выходе получили такие-то результаты, а вот мелочи, которые украшают, которые поясняют, как это все происходило, т.е. сам процесс, он не указан, не расписан, может быть из-за того, что очень большой объем, который представлен в самой работе, его хотелось ужать, в виде таблиц, потому что чувствуется, что проведен очень большой объем именно исследовательских работ, испытаний и проведен очень большой объем измерений, которые как раз и проявился в виде таблиц. Но, а поскольку очень хочется нюансы уточнить, поэтому и вопросы у меня вот именно на более тонкие, такие узкие места, которые не проявились в самой работе.

Итак, 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 использовал 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, учитывали ли соискатель данный параметр и как он может повлиять 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 научно-квалификационной работой, в которой содержится 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 соответствуют 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 обеспечивает 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». Отзыв прилагается. Спасибо.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо Вам, Елена Петровна. Сергей Валерьевич.

Соискатель Сизов С.В.

По второму замечанию официального оппонента Елены Петровны хотелось бы ответить: полный факторный эксперимент использовался при проведении стойкостных испытаний, а элементы режима резания, указанные выше на стр. 51, использовались при проведении исследований контактных процессов и интенсивности изнашивания

По третьему замечанию: частота следования импульсов учитывалась в скорости перемещения стола. На качество импульсной лазерной обработки этот параметр не влияет.

С остальными замечаниями носящими характер пожеланий, мы согласны.

Весьма признателен Елене Петровне за полезные замечания и внимание к моей работе.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо. Переходим к выступлению. Кто хочет выступить? Профессор Янюшкин Д.В., готовится д-р Носов Н.В.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Если говорить в целом, мне работа понравилась, работа емкая и завершенная, что вызвало вопросы в этой работе. Ну прежде всего, второй плакат откройте, хотелось увидеть вот эти исследования, но после выступления Владимира Петровича я понял, что работа, наверное, выполняется достаточно долго, поэтому они остановились вот на этой колоночке, где многослойные покрытия и т.д., которые позволяют до 3 раз увеличить период стойкости твердосплавного инструмента. Да, такие исследования есть и они доказаны, обоснованы. Но что меня насторожило, что сравнение идет с периодом стойкости от нанесения нитрида титана и дальше идет повышение периода стойкости еще в 4 раза. Хотя это не исследования соискателя, но повышение периода стойкости через чур высокое. Что мне еще не понравилось. Посмотрите, в выводах пункт 7 и пункт 8. Как Вы их сформулировали. Они дублируют друг друга и какой смысл было их приводить. Но что можно добавить, работа большая и естественно как в любой большой работе, как правило, бывают какие-то недостатки и огрехи, я их в принципе для себя опустил и на них не обращаю внимания. Что мне еще понравилось. В принципе классическая работа, в направлении школы Владимира Петровича, и никаких сомнений не вызывает. Что еще понравилось. Несмотря на то, что соискатель где-то неуверенно отвечал на вопросы, но он отвечал правильно, может это волнение перед такой публикой, но давайте сделаем ему здесь снисхождение.

Понравилось мне, что за этот период они хорошо пропубликовались, это и «скопувские» публикации, это и «ваковские» публикации, в принципе этого уже достаточно для докторской диссертации, поэтому, если Вы будете дальше продолжать, у Вас очень хороший задел в этом направлении. А в целом, если говорить, да, работа, отвечает всем требованиям ВАК, особых нареканий не вызывает, поэтому считаю, что такую работу следует поддержать. Спасибо.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо. Д-р Носов Н.В. следующий.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну что можно сказать, работа как уже сказал предыдущий коллега, выполнена в классическом варианте, который характерен для Ульяновской школы. Есть все, начало, содержание, конец, все взаимосвязано, никаких претензий нет, но я бы все-таки отметил и это отмечают оппоненты основные, что слишком сузили область исследования в части исследования режимов обработки при резании. Надо было пошире сделать и понятно, что появились какие-то другие результаты, более существенные. Потом мне подумалось недостаточно экономически обоснован выбор варианта трехслойного покрытия. Если это связано с тем, что все импортные пластины тоже трехслойные, то почему бы их не сравнить друг с другом и посмотреть какого уровня достигли Вы и тогда будет понятно, что мы предлагаем производству, покупать импортные пластины или делать те, которые мы можем сделать и не хуже этих импортных. Еще хотелось бы отметить критерий мощности лазерного излучения, вот диссертант выбрал разрушение кобальтовой фазы, действительно это есть, и это всегда происходит при нагревании, а тогда при чем остаточные напряжения. А почему за критерий нельзя было взять остаточные напряжения. Тем более я задал вопрос, после лазерной обработки появились трещины, почему бы не взять в качестве критерия вот формирование остаточных напряжений в поверхности, это было бы более обоснованно.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Как их измерять?

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А это уже следующий вопрос. А вот Вы покажите как разрушилась кобальтовая фаза, мы явно этого не увидим, поэтому это пожелание диссертанту на будущее. Тем более у него сейчас хорошие связи с производством, желаю ему продолжить эту работу. Ну и конечно работа мне понравилась, я буду голосовать – «за».

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Д-р Салов П.М. следующий.

Д-р техн. наук, профессор Салов П.М.

Работа мне очень понравилась, ну будем считать как недостаток работы - это конечно, не совсем проработан доклад, не сделаны в докладе акценты на основные вопросы. В диссертации представлен очень большой

объем и диссертант не выделил все же главное и существенное, т.е. физику процесса. Стоило немножко сузить объем работы, но доработать физику процесса упрочнения материала покрытий. Ведь именно физика процесса показывает то, что у вас действительно происходит упрочнение материала покрытия. И не важно там, упрочняем пластинку со стружколомающей геометрией или с какой-то другой геометрией, здесь у вас, кстати, сказано, что в принципе ваш лазер можно применить для любой формы пластины. Далее, лазеры совершенствуются, они становятся более мощными, вы применили очень слабый лазер, надо вам лазер увеличить может раз в 10 и тогда возможности обработки лазером будут существенно большими. То, что вы волновались, было об этом сказано. Но я смотрю перечень работ, которые Вы опубликовали, все те вопросы, которые вам задали, в этих работах присутствуют. И однозначно Вы знаете ответы на все эти вопросы, не нужно волноваться. Работа понравилась. Я буду голосовать – «за».

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Спасибо. Есть еще желающие выступить? Нет. Спасибо.  
Заключительное слово.

Соискатель Сизов С.В.

Хочу выразить огромную благодарность своему научному руководителю Табакову Владимиру Петровичу за огромные затраты времени и сил, которые он вложил в эту работу. Своим официальным оппонентам – Мигранову Марсу Шарифулловичу и Зининой Елене Петровне за проявленное внимание к моей работе. Так же благодарю всех членов диссертационного совета за активное участие в обсуждении моей работы и за полезные замечания. Большое спасибо.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Так, переходим к голосованию. Есть предложения по составу счетной комиссии у ученого секретаря совета.

Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Предлагаю технический состав комиссии: Булыжев Е.М., Худобин Л.В. и Ковальногов В.Н.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Кто за? Просим голосовать. Единогласно, возражений нет. Прошу счетную комиссию приступить к работе. Кто за то, чтобы объявить технический перерыв на голосование. Все за. Объявляется технический перерыв. Без выхода членов совета из аудитории. Не члены совета могут выйти.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Уважаемые члены совета! У нас есть шанс закончить заседание до 18 часов.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Уважаемые члены совета! Сообщу протокол. Состав избранной комиссии: Булыжев Е.М., Худобин Л.В. и Ковальногов В.Н. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Сизова С.В. на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 20 человек приказом Министерства образования и науки РФ № 123/нк от 17.02.2015 г. на период действия номенклатуры специальностей научных работников. В состав диссертационного совета дополнительно введено 0 человек, присутствовало на заседании 16 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 7 человек, роздано бюллетеней 16, осталось не розданных 4, оказалось в урне 16, результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата технических наук Сизова Сергея Валерьевича. «За» - 16, «Против» - 0, недействительных - 0. Подписи председателя и членов счетной комиссии.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Предлагаю утвердить результаты голосования. Кто за? Кто против? Воздержался? Утверждено.

Таким образом, на основании результатов тайного голосования (за-16, против-нет, недействительных-нет) объединенный диссертационный совет Д999.003.02, созданный на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» и ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» признает, что диссертация С.В. Сизова содержит решение актуальной задачи повышения работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия, имеющей существенное значение для повышения конкурентоспособности продукции, выпускаемой машиностроительными предприятиями, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и присуждает Сизову Сергею Валерьевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Поздравляем, Сергей Валерьевич!

Соискатель Сизов С.В.

Спасибо.

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

У членов совета имеется проект заключения по диссертации С.В. Сизова. Предложения есть? Есть предложение принять его за основу. Нет возражений? Нет. Принимается.

*Обсуждение заключения*

Заместитель председателя – д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Есть предложение принять заключение в целом с учетом редакционных замечаний. Нет возражений? Принимается единогласно.

*Заключение диссертационного совета объявляется соискателю*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
Д999.003.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
И ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 19.12.2019 г. № 54

О присуждении Сизову Сергею Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия», по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, принята к защите 17.10.2019 г., протокол № 52, объединенным диссертационным советом Д999.003.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего образования (ВО) «Ульяновский государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Министерства науки и высшего образования РФ, по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, действующим на основе приказа №123/нк от 17.02.2015 г.

Соискатель Сизов Сергей Валерьевич, 1990 года рождения. В 2012 году соискатель окончил ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет». В 2016 году соискатель окончил аспирантуру на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Работает ведущим инженером-конструктором на АО «Ульяновский механический завод».

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты», Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Табаков Владимир Петрович, и.о. заведующего кафедрой «Инновационные технологии в машиностроении» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

Мигранов Марс Шарифуллович – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Основы конструирования механизмов и машин» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»;

Зинина Елена Петровна – д-р техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории «Теория механизмов и структуры машин» ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» РАН (г. Москва) дали свои положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, в своем положительном заключении, рассмотренном на заседании кафедры «Высокоэффективные технологии обработки» ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», подписанном д-р техн. наук, профессором В.Д. Гуриным и утвержденном проректором по научной работе и научно-технической политике, канд. техн. наук А.А. Зеленским, указала, что диссертация С.В. Сизова является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи повышения работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия на основе анализа контактных процессов, теплового и напряженного состояния режущего инструмента. Работа выполнена на достаточном научно-теоретическом уровне, методики и средства выполненных исследований соответствуют решаемым

задачам. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют заявленной специальности 05.02.07 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. Диссертационная работа Сизова С.В. на тему «Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия» по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, уровню и объему выполненных исследований удовлетворяет требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Сизов Сергей Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 7 статей в изданиях из перечня ВАК, 4 статьи в изданиях из базы цитирования Scopus, 5 патентов на изобретения. Работы посвящены теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса воздействия импульсной лазерной обработки на многослойное покрытие твердосплавного инструмента, оценке влияния импульсной лазерной обработки на параметры структуры, механические свойства многослойных покрытий и работоспособность инструмента. Авторский вклад составляет 4,73 п.л., в общем объеме научных изданий 10,28 п.л.

Научные работы соискателя отражают результаты проведенного исследования и раскрывают основные положения, выносимые на защиту. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Научные труды представлены статьями в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, из базы цитирования Scopus, материалах научных конференций и патентами на изобретения. Наиболее значимые научные работы соискателя из числа опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Власов С.Н., Сизов С.В., Табаков В.П. Моделирование воздействия импульсного лазерного излучения на многослойное покрытие // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 12. – С. 15-19. – 0,6 п.л. / авт. 0,2 п.л.
2. Табаков В.П., Власов С.Н., Сизов С.В., Чихранов А.В. Работоспособность режущего инструмента с покрытиями при обработке заготовок из труднообрабатываемых материалов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2015, – № 7, –С. 5-9. – 0,6 п.л. / авт. 0,2 п.л.
3. Табаков В.П., Сизов С.В. Исследование параметров структуры и механических свойств покрытий на основе нитрида титана, циркония и ниобия// Упрочняющие технологии и покрытия. – 2017. – № 2. – С. 70-73. – 0,56 п.л. / авт. 0,28 п.л.
4. Табаков В.П., Сизов С.В., Чихранов А.В. Новые износостойкие покрытия на основе нитрида ниобия // Вестник рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2017. – №2. – 235-240. – 0,44 п.л. / авт. 0,15 п.л.
5. Сизов С.В., Табаков В.П. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия // Вестник рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2017. – №2. – 240-245. – 0,44 п.л. / авт. 0,22 п.л.
6. Табаков В.П., Сизов С.В. Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем направленного выбора механических свойств функциональных слоев многослойного покрытия // Вестник СТАНКИНА. 2017, № 4 (43), С. 16-21. – 0,62 п.л. / авт. 0,31 п.л.
7. Сизов С.В., Табаков В.П. Моделирование воздействия импульсной лазерной обработки на композицию «твердосплавная основа – износостойкое покрытие» // Вестник машиностроения. – 2019. – №6. – 80-84. – 0,7 п.л. / авт. 0,5 п.л.



8. Tabakov V.P., Shirmanov N.A., Sizov S.V., Chikhranov A.V. Influence of cathode structure and configuration on complex nitride coatings // Russian engineering research. – 2017. - Т.37. - №12. – 1048-105. – 0,3 п.л. / авт. 0,18 п.л.

9. V. Tabakov, A. Chikhranov, S.Sizov. Increasing of the carbide cutting tool life by developing multilayer coatings // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) - MATEC Web Conf. Volume 129, 2017. doi: 10.1051/matecconf/201712901038. – 0,3 п.л. / авт. 0,1 п.л.

10. S.Sizov, V. Tabakov, A. Chikhranov. Functional parameters of the cutting process of the cutting tool with multilayer coatings after pulsed laser treatment // International Conference on Current trends in technology and equipment (ICMTMTE 2018) - MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. doi:10.1051/matecconf/201822401087. – 0,4 п.л. / авт. 0,2 п.л.

11. S.V. Sizov, V.P. Tabakov, A.V. Chikhranov, I.N. Bobrovskij and V.A. Adakin. Study of the additional strengthening treatment impact on structural parameters and mechanical properties of coatings based on nitrides of niobium, titanium, zirconium and aluminium // 14th International Conference on Films and Coatings/ Volume 1281, 2019. doi.org/10.1088/1742-6596/1281/1/012074. – 0,25 п.л. / авт. 0,1 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв ведущей организации – **ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»**, подписанный доктором технических наук, профессором кафедры «Высокоэффективные технологии обработки» Гуриным В.Д. и утвержденный проректором по научной работе и научно-технической политике, кандидатом технических наук Зеленским А.А. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. При обосновании актуальности тематики диссертационной работы и выполнения литературного обзора, представленного в главе 1 текста диссертации, автором проанализирован достаточно большой объем публикаций

российских ученых и очень незначительное количество работ авторитетных зарубежных ученых (при этом все проанализированные работы зарубежных коллег датированы лишь 1995 – 2009 гг.). Это хоть и не критичное, но определенное упущение, так как все, что касается защитных покрытий для твердосплавного инструмента, очень динамично развивается во всем мире и нельзя не учитывать последний опыт передовых научных коллективов.

2. В главе 2 текста диссертации на стр. 46 автором указано, что «для определения остаточных напряжений в покрытиях использовали образцы из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 (ГОСТ 19265-73)». Совершенно непонятно при чем здесь быстрорежущая сталь, если объектом исследований является инструмент из твердого сплава? Это либо досадная опечатка автора, либо автор считает, что уровень напряжений в покрытии не зависит от материала подложки, что в корне не соответствует действительности.

3. Прочность адгезии покрытий с инструментальной основой соискатель оценивает по коэффициенту отслоения, который определялся путем индентирования поверхности покрытия, а микротвердость покрытий – по восстановленному отпечатку с использованием пирамиды Кнуппа. Более корректно было бы оценить прочность адгезии методом скрайбирования, а микротвердость – методом непрерывного наноиндентирования на нанотвердомерах.

4. В тексте диссертации, автором сравниваются, а иногда и противопоставляются (в частности, раздел 3.2) теплопроводности покрытия и твердосплавной основы. На наш взгляд, это достаточно спорно и даже некорректно, так как речь идет о пленке толщиной не более 8 мкм и массивном образце пластины из твердого сплава.

5. Соискателем представлены технологические параметры осаждения однослойных покрытий, но в тоже время отсутствуют параметры осаждения своих разработанных многослойных покрытий.

6. При проведении стойкостных исследований соискателем недостаточно обоснован выбор материала заготовок и твердосплавных пластин.

7. В тексте диссертации имеются стилистические и орфографические погрешности. Нет однообразия

в оформлении графиков. Некоторые рисунки имеют плохое качество, затрудняющее их понимание (например, рис. 5.1, 5.2).

2. Отзыв официального оппонента – **Мигранова Марса Шарифулловича**, д-ра техн. наук, доцента, заведующего кафедрой «Основы конструирования механизмов и машин» ФГБОУ ВО Уфимского государственного авиационного технического университета. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Математическое и численное моделирование соискателем проведено для двухслойных покрытий, на основе которых и выбраны технологические параметры ИЛО. В тоже время при проведении экспериментальных исследований использовались также и трехслойные покрытия. В этой связи следовало бы дать обоснование возможности использования предложенных технологических параметров ИЛО и для трехслойных покрытий. 2. Соискателем дано обоснование выбора состава функциональных слоев многослойных покрытий, в тоже время недостаточно аргументирован выбор толщин данных слоев. 3. При оценке теплового состояния режущего инструмента важным является вопрос теплового баланса при резании. Однако, соискателем данный вопрос не рассмотрен. 4. При исследовании работоспособности твердосплавных пластин с разработанными многослойными покрытиями после ИЛО желательно было расширить диапазон режимов резания, что позволило бы в большей степени оценить области применения результатов работы.

3. Отзыв официального оппонента – **Зининой Елены Петровны**, д-ра техн. наук, старшего научного сотрудника лаборатории «Теория механизмов и структуры машин» ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» РАН, г. Москва. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 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 использовал 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,  $S_p$  – площадь пятна фокусирования,  $t_i$  – длительность импульса,  $d_p$  – диаметра 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 повлиять на качество ИЛО? 4. Предлагая конструкции многослойных покрытий, соискатель обосновывает выбор состава отдельных функциональных слоев многослойных покрытий. В тоже время не объясняется 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.

4. **Отзыв из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»**, г. Москва, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Функциональные наносистемы и высокотемпературные материалы» Блинковым Игорем Викторовичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Автор сообщает об уменьшении макронапряжений в сформированных покрытиях под воздействием ИЛО. Из текста автореферата не ясно, каким методом определялись эти характеристики и с какой погрешностью? С учетом этого не ясна значимость разницы полученных значений до и после ИЛО. 2. Из многочисленных исследований известно, что сжимающие макронапряжения существенно влияют на твердость покрытий, как правило, повышая ее значение. В работе показано обратная зависимость твердости от величины макронапряжений. С чем это связано? 3. На рисунке 4 (в) автор приводит значение ОКР с точностью до второго знака после запятой. Используемый метод определения этих величин по уширению линий рентгеновской дифракции не дает такую точность. 4. Из текста автореферата не ясны условия проведения ИЛО, в частности, состав газовой атмосферы, в которой проводили данную обработку, что могло сказаться на изменениях химического состава обработанных ИЛО покрытий, которые, как и структурные изменения, могут оказать существенное влияние на свойства обработанных покрытий.

5. **Отзыв из ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»**, г. Липецк, подписанный д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Козловым Александром Михайловичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. П.5 научной новизны – «Новые способы получения МП, включающие в себя нанесение МП и последующую ИЛО» в большей степени соответствует практической значимости работы. 2. На с.8 автореферата отмечается, что проводилось моделирование нагрева режущих пластин с покрытиями лазерным излучением круговой формы диаметром 1 мм в виде

импульса длительностью 4 мс и с шагом счета 0,01 мс. Не ясно, по какой траектории перемещался луч лазера; учитывалось ли перекрытие импульсов на поверхности инструмента и т.д. 3. В автореферате имеются неудачные выражения (с. 10 «... ИЛО приводит ... к повышению полуширины...»). Полуширина не может повышаться или понижаться – она или увеличивается, или уменьшается. Не представлено, что характеризует полуширина рентгеновской линии? 4. На с. 11 отмечается, что «ИЛО способствует снижению полной длины контакта стружки с передней поверхностью (до 12 %), коэффициента укорочения стружки (до 9 %), составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  (3-8 %).» Не представлено объяснение полученных результатов.

6. **Отзыв из ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»**, г. Комсомольск-на-Амуре, подписанный д-ром техн. наук, доцентом Мокрицким Борисом Яковлевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Общепринято в разделе «На защиту выносятся» (у соискателя это названо иначе, что не принципиально) в каждом пункте указывать к какому пункту формулы научной специальности это относиться. Соискатель от этого уклонился. 2. Мне не нравится раздел «Основные выводы». Во-первых, коль в работе раздел «Введение», то обязан быть и раздел «Заключение», в котором и должно быть какая важная народнохозяйственная задача решена и поэтому нужно присудить ученую степень. Во-вторых, пункты 8 и 9 раздела «Основные выводы» не являются выводами.

7. **Отзыв из ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»**, г. Рыбинск, подписанный д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования имени С.С. Силина» Волковым Дмитрием Ивановичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Из автореферата непонятно, как были выбраны составы и определены технологические параметры осаждения покрытий,

которые использовали в качестве функциональных слоев многослойного покрытия. 2. Некоторые графические зависимости, отражающие результаты экспериментов, не сопровождаются условиями их проведения. 3. Отсутствует расшифровка условного обозначения «d» в формуле 3.

8. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Кузбасского государственного технического университета им Т.Ф. Горбачева»**, г. Кемерово, подписанный д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Коротковым Александром Николаевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Автор весьма активно использует в тексте автореферата сокращения (МП, ИЛО, РИ, МП-ИО) число которых доходит до 30 на одной странице текста. Это затрудняет понимание смысла излагаемого материала и заставляет постоянно возвращаться и искать расшифровку аббревиатуры. 2. В автореферате не указано при обработке каких материалов в производственных условиях достигнуто повышение стойкости инструментов.

9. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»**, г. Омск, подписанный д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Поповым Андреем Юрьевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В автореферате не отражено влияние импульсной лазерной обработки на состояние лезвия инструмента. 2. Нет описания физических процессов изменения структуры обработанной поверхности в результате импульсной лазерной обработки.

10. Отзыв из **ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**, г. Екатеринбург, подписанный д-ром техн. наук, доцентом кафедры «Термообработка и физика металлов» Кузнецовым Виктором Павловичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В автореферате не приведены основные параметры импульсной лазерной обработки, в частности частота импульсов, траектория и скорость перемещения пятна

лазерного источника по пластине с покрытием. 2. Отсутствует описание конечно-элементной модели воздействия лазерного источника на инструмент с покрытием, не приведено обоснование выбора ее параметров. 3. Нет сравнения полученных результатов с зарубежными исследованиями, например по текстурированию покрытий инструмента импульсным лазером.

11. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»**, г. Ростов-на-Дону, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Рыжкиным Анатолием Андреевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Несмотря на большой объем и высокий уровень эксперимента, в работе не представлены результаты металлографических исследований, что позволило бы визуально отследить кинетику протекающих в слоях зоны обработки структурных или иных превращений при воздействии лазерного излучения. 2. В автореферате следовало бы обосновать выбор способа упрочняющей лазерной обработки полученных покрытий. Выбранная автором лазерная поверхностная обработка излучением импульсно-периодического режима генерации является низкопроизводительным и малоэффективным процессом для внедрения в массовое инструментальное производство. Успешной и современной альтернативой ей может стать лазерная обработка излучением непрерывного режима генерации, обеспечивающая все преимущества лазерного воздействия при значительной большей скорости сканирования обрабатываемой поверхности источником энергии. 3. Предложенную модель тепловой задачи для точечного источника необходимо записать в принятую в теплофизике запись с реальными граничными условиями и показать, в каких пределах брать интеграл  $\int q(x)dx$ .

12. Отзыв из **ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет»**, г. Челябинск, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология автоматизированного машиностроения» Шаламовым Виктором Георгиевичем. Отзыв положительный со следующими



замечаниями: 1. Представленные материалы отражают процессы, происходящие на передней поверхности режущего лезвия. Почему не рассматривается задняя поверхность режущего лезвия? 2. Можно ли ожидать положительного эффекта рассматриваемого метода импульсно-лазерной обработки в условиях прерывистого резания, например, при фрезеровании?

13. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»**, г. Пенза, подписанный д-ром техн. наук, доцентом, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Зверовщиковым Александром Евгеньевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Проводилась ли интервальная оценка плотности мощности ИЛО и при каких толщинах покрытия производились численное моделирование и экспериментальные исследования. 2. На основе каких моделей производилось численное моделирование в ANSYS. 3. Как оценивались температуропроводности и теплопроводности границ многослойного покрытия при моделировании.

14. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»**, г. Брянск, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Киричком Андреем Викторовичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В автореферате не указана область целесообразного применения твердосплавного инструмента с импульсной лазерной обработкой (ИЛО) многослойного покрытия (МП) – обрабатываемые материалы, условия работы – чистовая или черновая обработка и т.д., предпочтительные глубина и другие режимы резания, ограниченная по силе резания или другим параметрам. 2. Исследование влияния ИЛО МП на микротвердость, коэффициент отслоения и интенсивность изнашивания твердосплавных пластин выполнено в узком диапазоне технологических факторов.

15. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**, г. Пермь, подписанный д-ром техн. наук, профессором, зам. заведующего кафедрой

«Инновационные технологии машиностроения» Макаровым Владимиром Фёдоровичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Не обоснован выбор твердого сплава в качестве инструментального материала под нанесение покрытия. 2. Отсутствует информация о принципе построения многослойного покрытия, поэтому не ясно из каких соображений выбирали верхний, промежуточный и нижний слои покрытия. 3. В автореферате не отражено, какие технологические режимы и компоновочные схемы установок рекомендованы для нанесения многослойных покрытий для повышения работоспособности режущих инструментов.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается тем, что они являются ведущими специалистами в области разработки технологий нанесения износостойких покрытий и исследования эффективности применения режущих инструментов с износостойкими покрытиями на операциях механической обработки, имеют научные публикации по данному направлению в рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов. В ведущей организации и организациях, в которых осуществляют свою деятельность официальные оппоненты, выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** математическая модель воздействия импульсной лазерной обработки композиции «многослойное покрытие-инструментальная основа», позволяющая определить параметры импульсной лазерной обработки;

**разработаны** новые способы нанесения многослойных покрытий, включающие в себя нанесение многослойных покрытий и последующую импульсную лазерную обработку;

**предложены** пути повышения работоспособности твердосплавного инструмента на основе применения разработанных конструкций многослойных покрытий, технологий их нанесения и технологических параметров импульсной лазерной обработки;

**доказана** перспективность использования импульсной лазерной обработки для повышения работоспособности твердосплавного инструмента с многослойным покрытием;

новые понятия **не вводились**.

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что:

**доказана** возможность использования импульсной лазерной обработки для повышения работоспособности твердосплавного инструмента с многослойными покрытиями, что расширяет область использования твердосплавного инструмента;

применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс существующих базовых методик, в том числе метод конечных элементов для оценки теплового и напряженного состояния композиции «многослойное покрытие-инструментальная основа», многофакторное планирование для получения регрессионных моделей периода стойкости в зависимости от элементов режима резания, натурный эксперимент для оценки влияния импульсной лазерной обработки на параметры структуры, механические свойства многослойных покрытий;

**изложены** доказательства влияния импульсной лазерной обработки на работоспособность твердосплавного инструмента, основанные на результатах исследований влияния импульсной лазерной обработки на механические свойства многослойных покрытий, контактные характеристики процесса резания, тепловое и напряженное состояние режущего инструмента;

**раскрыты** особенности выбора критической плотности мощности импульсной лазерной обработки твердых сплавов с различными покрытиями

и влияние импульсной лазерной обработки на тепловое и напряженное состояние композиции «многослойное покрытие-инструментальная основа»;

**изучены** связи и закономерности влияния импульсной лазерной обработки на параметры структуры и механические свойства многослойных покрытий;

**проведена модернизация** известных математических моделей воздействия импульсной лазерной обработки на различные композиции, позволяющая определять величину критической плотности мощности на основе анализа напряжений, возникающих на границе твердосплавной основы с многослойным покрытием.

Значения полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны** новые конструкции и способы нанесения многослойных покрытий, технологические режимы импульсной лазерной обработки, эффективность которых **подтверждена** в производственных условиях АО «УКБП» и ООО «УАЗ»; результаты исследований **внедрены** в учебный процесс подготовки магистров по направлению 15.04.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

**определены** перспективы практического использования полученных результатов диссертационного исследования для повышения работоспособности режущего инструмента, что обеспечит повышение эффективности механической обработки;

**представлены** и переданы, для использования в производственных условиях АО «УКБП», технологические рекомендации по нанесению многослойных покрытий с последующей импульсной лазерной обработкой.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

**для экспериментальных работ** использованы современные измерительные средства, результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана достаточная статистическая воспроизводимость

результатов исследований, полученных в лабораторных и производственных условиях;

**теоретические исследования (теория)** построены на известных проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуются с опубликованными экспериментальными данными других исследователей по тематике диссертации;

**идея** диссертационного исследования базируется на анализе практики резания материалов, использования и обобщения передового опыта российских и зарубежных ученых в области разработки технологий нанесения износостойких покрытий, исследования процессов резания инструментами с износостойкими покрытиями;

**использовано** сравнение данных, полученных автором, с данными полученными ранее другими авторами по тематике диссертации;

**установлено** качественное и количественное совпадение результатов, полученных автором, с результатами, представленными в научных работах других ученых по проблематике диссертации в независимых источниках периодической печати;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, сравнение данных, полученных автором по разработанным моделям, с данными, полученными в ходе прямых экспериментов, других ученых, а также с производственными данными.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- включенном участии на всех этапах процесса, определении цели, задач, непосредственном выполнении научных исследований, как теоретического, так и экспериментального характера, необходимых для решения поставленных задач и достижения цели диссертационной работы: разработка **математической модели** воздействия импульсной лазерной обработки композиции «многослойное покрытие-инструментальная основа», **результаты численного моделирования** теплового и напряженного состояния композиции «многослойное покрытие-инструментальная основа», разработка

**новых способов** получения многослойных покрытий и **режимов** импульсной лазерной обработки, **экспериментальные исследования** влияния импульсной лазерной обработки на параметры структуры, механические свойства многослойных покрытий и работоспособность твердосплавного инструмента;

- личном участии в опытно-промышленной апробации результатов исследования;

- обработке и интерпретации экспериментальных данных;

- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

**Результаты исследований рекомендуется использовать:**

**на предприятиях машиностроительной отрасли**, занимающихся механической обработкой заготовок из различных обрабатываемых материалов;

**проектно-конструкторских и научно-исследовательских институтах**, занимающихся разработкой технологий нанесения износостойких покрытий для режущего инструмента;

**в высших учебных заведениях** при подготовке специалистов, бакалавров и магистров направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием плана исследований и основной идейной линии, взаимосвязью поставленных задач и полученных результатов, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены научные результаты.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая содержит

решение актуальной задачи повышения работоспособности твердосплавного режущего инструмента путем импульсной лазерной обработки многослойного покрытия, имеющей существенное значение для повышения конкурентоспособности продукции, выпускаемой машиностроительными предприятиями.

Работа соответствует критериям, установленным в разделе II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 19 декабря 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Сизову С.В. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.02.07. – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, участвующих в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовал: за присуждение ученой степени – 16 человек, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя д-р техн. наук, профессор Бобровский Н.М.

Поздравляем еще раз соискателя с успешной защитой. Защита окончена. Есть ли замечания по процедуре защиты? Нет. Благодарю членов совета и всех участников.

Заместитель председателя  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, профессор

 Бобровский Николай Михайлович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, доцент

 Веткасов Николай Иванович

